

Evaluation des performances de prévision de la qualité de l'air sur la région NORMANDIE pour l'année 2022

Conformément au référentiel technique national

Référence : 1250-001

Diffusion : Juin 2023

Atmo Normandie
3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN
Tél. : +33 2.35.07.94.30
Fax : +33 2.35.07.94.40
contact@atmonormandie.fr



Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.atmonormandie.fr) ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur, elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faites sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivant du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n° 1250-001

Le 08/06/2023

Le rédacteur,
Jérôme Godart

Le responsable,
Christophe Legrand

Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN

Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : contact@atmonormandie.fr

www.atmonormandie.fr

Synthèse

Les résultats présentés dans ce document permettent d'établir un diagnostic des performances des prévisions de la qualité de l'air des modèles bruts et des prévisions issues des modèles de l'adaptation statistique ou des modèles de mélange en ozone et en particules PM₁₀ pour la région Normandie sur l'année 2022.

Atmo Normandie utilise chaque jour huit modèles pour effectuer la prévision quotidienne de la qualité de l'air : 3 sont issus de la plateforme PREV'AIR (PREVAIR_Brut4km, PREVAIR_Continental, et PREVAIR_corrige), 3 sont issus de la plateforme ESERALDA (ESM_Brut3km, ESM_Brut15km et ESM_corrige_AirParif qui est le modèle de mélange d'Esmeralda), 1 est issu de la plateforme européenne COPERNICUS et 1 est développé par AtmoNormandie (Melange_ATMO).

Au regard des objectifs de qualité fixés sur les scores classiques (RMSE, corrélation et biais), l'ensemble des indicateurs sont respectés pour les prévisions du modèle Melange_ATMO, développé par Atmo Normandie au niveau de la région pour l'ozone comme pour les PM10 et pour l'échéance J0 (jour même) comme pour l'échéance J1 (prévision pour le lendemain).

L'ensemble des modèles utilisés par AtmoNormandie pour faire sa prévision quotidienne respectent tous les objectifs de qualité.

Concernant l'**ozone**, au regard des 3 critères statistiques étudiés, sur les échéances J0 à J+2, et quel que soit la typologie des stations, le modèle **Esmeralda_corrige est le plus performant** (biais et RMSE les plus faibles et meilleure corrélation) parmi les 8 modèles évalués.

Les modèles corrigés, qui améliorent les modèles bruts, ont tendance à **sous-estimer** les concentrations prévues par rapport aux observations. Quel que soit le modèle, les meilleures performances statistiques concernent les stations **Urbaines**. Ces statistiques se dégradent avec les échéances de prévision plus lointaines.

Néanmoins, sur **les fortes concentrations**, ce sont les modèles **Prevair_corrige** et **Melange_ATMO** qui ont les meilleures performances, que ce soit en J0 ou J+1.

Par rapport à 2021, Copernicus (qui était le meilleur modèle) s'est fortement dégradé contrairement à Prevair_corrige qui s'est amélioré ; Melange_ATMO a amélioré son biais moyen et sa corrélation.

Concernant les **performances aux stations sur les seuils réglementaires** (16 dépassements aux stations du seuil IR), **Mélange_ATMO puis ensuite Prevair_corrige** ont les meilleurs taux de succès et de bonnes détections.

Concernant les **PM₁₀**, au regard des 3 critères statistiques étudiés, sur les échéances J0 à J+2, et quel que soit la typologie des stations, le modèle **Esmeralda_corrige est le plus performant** (biais et RMSE les plus faibles et meilleure corrélation) parmi les 8 modèles évalués.

Les modèles corrigés, qui améliorent les modèles bruts, ont tendance à **sous-estimer** les concentrations prévues par rapport aux observations ; **seul Esmeralda_corrige surestime** les concentrations (avec un biais moyen néanmoins très faible). A noter que pour les départements de l'Eure et de l'Orne, les modèles corrigés

ont tendance à la surestimation. Contrairement à l'ozone, les meilleures performances statistiques concernent les stations **Rurales**. Les statistiques se dégradent avec les échéances plus lointaines.

Sur **les fortes concentrations**, **Esmeralda_corrige** obtient les meilleurs scores statistiques que ce soit en J0 ou J+1 (avec un biais légèrement positif et qui respecte les OQ) alors que tous les autres modèles sous-estiment fortement les concentrations.

Dans l'ensemble, les modèles ont été moins performant en 2022 (par rapport à 2021), Esmeralda_corrige est celui qui a le moins été dégradé.

Concernant les **performances aux stations sur les seuils réglementaires** (23 dépassements aux stations du seuil IR), **Esmeralda_corrige puis ensuite Mélange_ATMO** ont les meilleurs taux de succès et de bonnes détections.

Le modèle Melange_ATMO, développé par Atmo Normandie, en plus de respecter tous les objectifs de qualité fixés sur les scores classiques, est l'un des plus performants (biais et RMSE parmi les plus faibles et corrélation parmi les meilleures) sur l'année 2022 parmi les 8 modèles utilisés par les agents d'astreintes pour établir leur prévision quotidienne sur les PM₁₀ et l'ozone. C'est également l'un des 2 modèles qui présente le meilleur taux de succès et le plus de « bonne détection » sur les épisodes de pollution, que ce soit en ozone ou PM₁₀, en J0 ou J+1.

Sommaire

Synthèse	3
Sommaire	5
Sigles, symboles et abréviations	6
1. Introduction	7
2. Présentation de la plateforme de prévision.....	8
3. Evaluation de la plateforme de prévision	10
3.1. Prévisions Ozone.....	10
3.1.1. Scores classiques (Biais, RMSE, corrélation).....	10
3.1.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité.....	10
3.1.1.2. Par typologie	12
3.1.1.3. Par échéance de prévision.....	13
3.1.1.4. Par gamme de concentration	14
3.1.1.5. Sur plusieurs années	16
3.1.2. Performances sur les seuils réglementaires.....	17.
3.1.2.1. Scores aux stations.....	17
3.1.2.1.1. Séries temporelles.....	17
3.1.2.1.2. Eléments de la table de contingence.....	19
3.1.2.2. Scores en lien avec les critères de l'Arrêté Mesure d'Urgence.....	23
3.2. Prévisions PM10.....	25
3.2.1. Scores classiques (Biais, RMSE, corrélation).....	25
3.2.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité.....	25
3.2.1.2. Par typologie	27
3.2.1.3. Par échéance de prévision	28
3.2.1.4. Par gamme de concentration.....	29
3.2.1.5. Sur plusieurs année.....	31
3.2.2. Performances sur les seuils réglementaires.....	32
3.2.2.1. Scores aux stations.....	32
3.2.2.1.1. Séries temporelles.....	32
3.2.2.1.2. Eléments de la table de contingence.....	34
3.2.2.2. Scores en lien avec les critères de l'Arrêté Mesure d'Urgence.....	38
4. Annexes.....	39
4.1. Annexe 1 : Description du modèle de prévision Mélange_ATMO	39
4.2. Annexe 2 : Méthode de calcul des scores	40
4.3. Annexe 3 : Eléments de table de contingence	41

Sigles, symboles et abréviations

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'air

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

ARS : Agence Régionale de Santé

CEN : Comité Européen de Normalisation

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique

CMM : Comparaison Modèle Mesure, outil interne de visualisation des données

CODERST : Conseil Département de l'Environnement, des Risques Sanitaires et Technologiques

COPERNICUS : Programme européen sur la mise à disposition de données fournies par infrastructure spatiale

COPERT : COmputer Programme to Calculate Émissions from Road Transport

CRIANN : Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie

CSS : Commission de Suivi de Site

DGFIP : Direction Générale des Finances Publiques

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

ECL : Ecole Centrale de Lyon

EMEP : European Monitoring and Evaluation Programme

ERP : Etablissement Recevant du Public

ESMERALDA : ÉtudeS MultiRégionALes De l'Atmosphère

INSEE : Institut National de Statistique et des Etudes Économiques

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Mesurande : la grandeur physique que l'on veut mesurer

MRN : Métropole Rouen Normandie

OLT : Objectif à Long Terme

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCAET : Plan Climat Air Énergie Territorial

PCIT Pôle National de Coordination des Inventaires Territoriaux

PDU : Plan de Déplacement Urbain

PL : Poids lourds (PLJO : trafic moyen PL pour un jour ouvré ; trafic moyen PL journalier annuel)

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

PREV'AIR : plateforme nationale de modélisation de la qualité de l'air

PRSE : Plan Régional Santé Environnement

RMSE : Root mean square deviation

RTN : Référentiel Technique National

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SOeS : Service d'Observation et des Études Statistiques

SPPPI : Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles

SRADDET : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires

1. Introduction

Ce document est demandé annuellement par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de l'air ambiant, article 13 « prévision de la qualité de l'air ».

Il a pour objectif d'évaluer, chaque année, les performances de son système de prévision et les résultats obtenus l'année précédente par ses outils de modélisation et son expertise, selon les critères préconisés par le référentiel technique national. Cette évaluation fait l'objet de ce rapport annuel adressé à la direction régionale chargée de l'environnement et au LCSQA au plus tard le 30 juin de l'année suivante.

Il se compose des parties suivantes :

- Présentation de la plateforme de prévision utilisée par les prévisionnistes au sein d'AtmoNormandie
- Evaluation de la plateforme de prévision pour l'ozone et les PM₁₀ :
 - o Sur les scores classiques
 - o Sur les performances par rapports aux seuils réglementaires
- D'une partie annexe expliquant les méthodes de calculs des scores, les éléments de table de contingence et la description du modèle de prévision « Mélange_ATMO » développé par AtmoNormandie.

2. Présentation de la plateforme de prévision

Atmo Normandie récupère quotidiennement les données de prévision (J0 à J+2) et les données corrigées de la veille avec assimilations aux stations de fond (J-1) issues des plateformes PREV'AIR, ESMERALDA, et COPERNICUS. À partir de ces données, Atmo Normandie crée pour ces quatre mêmes échéances, son propre modèle, appelé « Mélange ATMO » en utilisant des méthodes statistiques décrites en Annexe 4.1. Ces données sont ensuite stockées en base de données et visualisées sous une interface appelée CMM (CMM 2020 version 2.98). Dans cette interface sont également visualisables les concentrations aux stations (y compris les stations des régions limitrophes), les différents paramètres météorologiques analysés ou prévus (rétrotrajectoires, gradient thermique, vent, pluviométrie ...) ainsi que des comparaisons mesures/modèles. Les critères d'exposition de la population ainsi que la superficie exposée selon les critères de l'arrêté de mesures d'urgence (AMU) y sont également calculés. Au total, huit modèles de prévision de la qualité de l'air sont utilisés par l'agent d'astreinte pour effectuer la prévision quotidienne de la qualité de l'air.

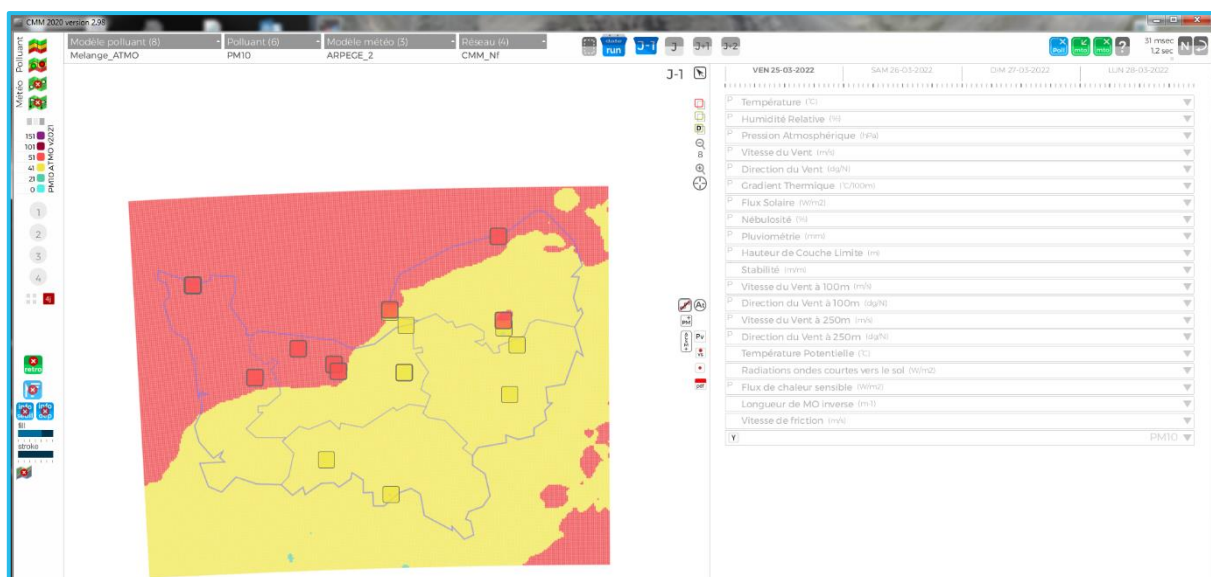


Figure 1 : Exemple de visualisation du run du 26 mars 2022, présentant la cartographie des concentrations en PM10 modélisées par le « Mélange_ATMO » pour l'échéance J-1, assimilée avec les données des stations de fond

Horaires de production des cartes :

Heure TU	Carte
01 : 15	PREVAIR continental
01-05 : 30	PREVAIR brut 4km
02 : 20	ESMERALDA brut 15km
04-10 : 30	ESMERALDA brut 3km
03 : 00	Mélange ATMO
05 : 40	PREVAIR corrigé INERIS v2
06 : 45	COPERNICUS (j et j+1)
07 : 30	ESMERALDA corrigé Airparif
07 : 40	Mélange ATMO
08 : 45	COPERNICUS (j+2)

Figure 2 : Horaire de récupération des données des modèles de la prévision de la qualité de l'air pour la Normandie

- Disponibilité

Sur l'année 2022, le taux moyen de mise à disposition des prévisions est de **97.6%**.

- Observations de fond utilisées dans l'évaluation :

- Par typologie :

Typologie	Ozone	PM10
Rurale	4	2
Périurbaine	7	3
Urbaine	11	10

- Par département :

Département	Ozone	PM10
14-Calvados	6	4
27-Eure	2	2
50-Manche	2	2
61-Orne	2	2
76-Seine-Maritime	10	5

Soit, pour la région Normandie : 22 en ozone, 15 en PM10

3. Evaluation de la plateforme de prévision

Les méthodes de calcul sont définies dans l'Annexe 2 : méthode de calcul des scores.

3.1. PREVISIONS OZONE

Les scores en O3 sont établis (en maximum horaire journalier) sur une période d'avril à septembre inclus.

3.1.1. Scores classiques (Biais, RMSE, corrélation)

3.1.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité

Polluant	Biais (µg/m3)	RMSE (µg/m3)	Corrélation
O3	-10/+10	25	0,7
PM10	-7,5/+7,5	15	0,6

Figure 3 : Objectifs de qualité définis pour O3 et PM10 pour le biais, la RMSE et la corrélation qui s'appliquent aux performances des prévisions en région et sur les zones disposant d'un arrêté mesure d'urgence et aux échéances J0 et J1.

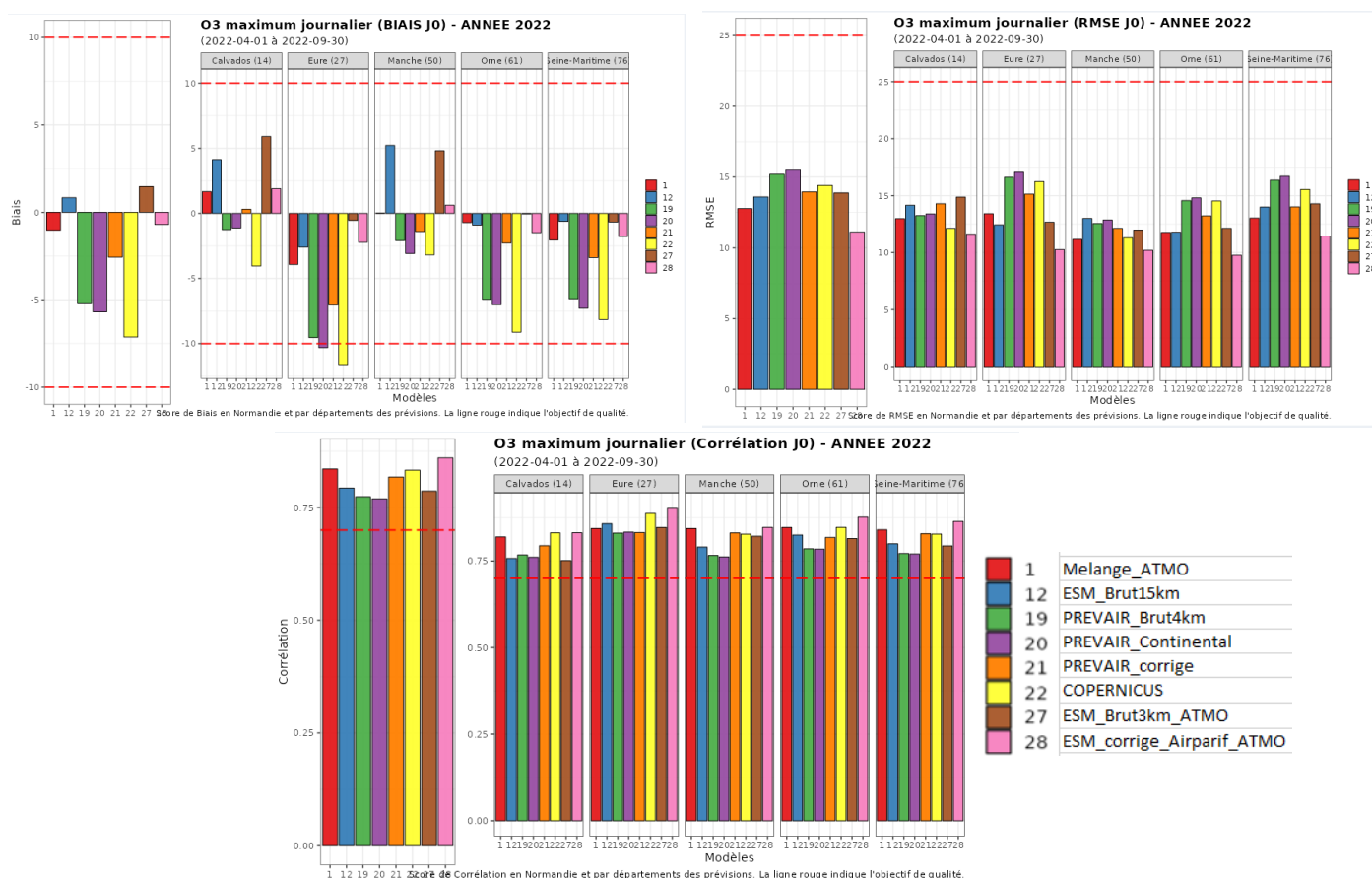


Figure 4 : Ozone - Scores de biais (gauche), RMSE (droite) et corrélation (bas) en Normandie et par département des prévisions brutes et des modèles corrigés d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J0. La ligne rouge indique l'objectif de qualité.

Les objectifs qualité sont respectés pour les prévisions en ozone à J+0 au niveau régional.
 On constate que les modèles de PREVAIR ainsi que COPERNICUS ont tendance à sous-estimer les concentrations. Il y a une amélioration des scores entre les prévisions brutes et les prévisions issues des modèles corrigés. Le modèle Esmeralda_corrige semble être le plus performant.

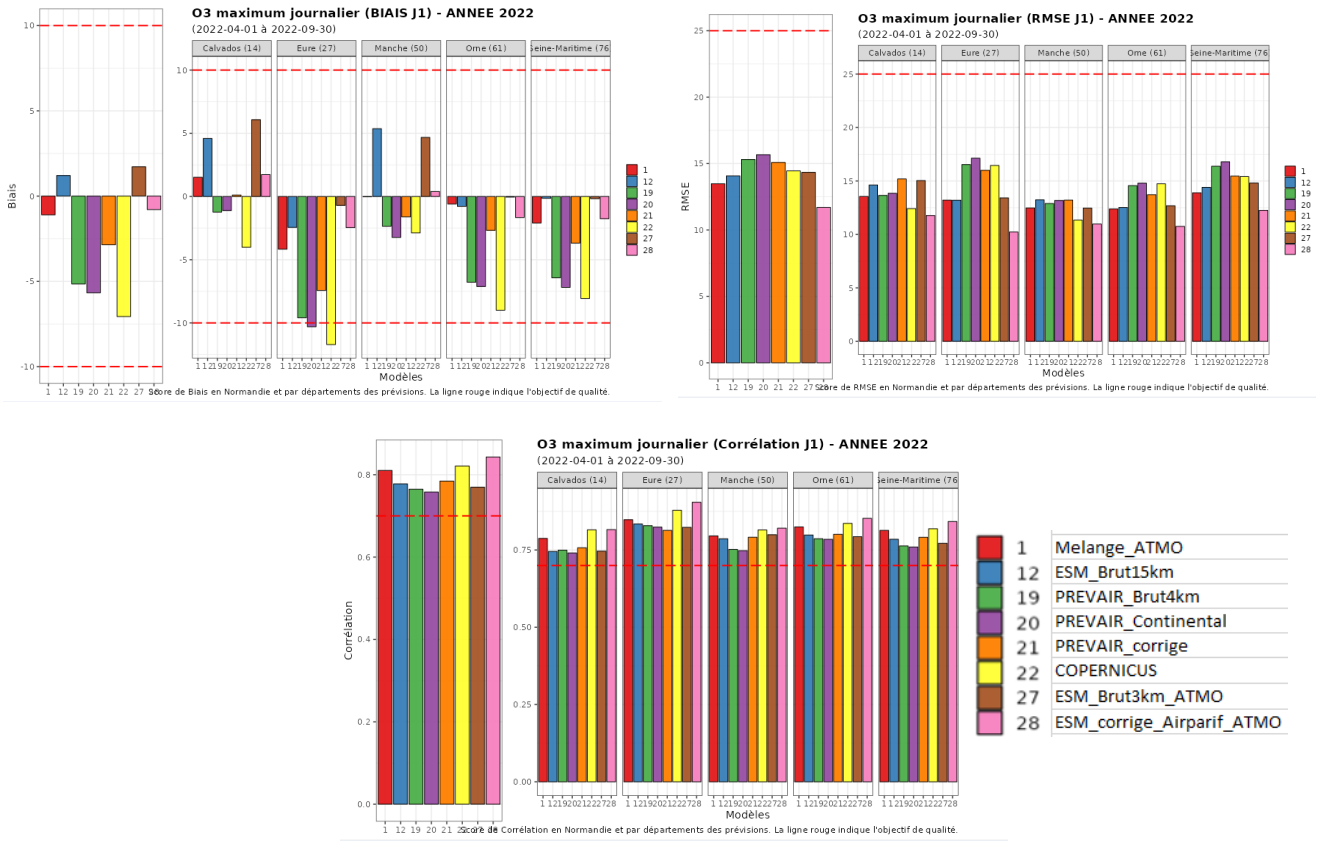


Figure 5 : Ozone - Scores de biais (gauche), RMSE (droite) et corrélation (bas) en Normandie et par département des prévisions brutes et des adaptations statistiques d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J1. La ligne rouge indique l'objectif de qualité.

Comme pour l'échéance J0, les objectifs qualité sont respectés pour les prévisions en ozone à J+0 au niveau régional.
 Les mêmes tendances qu'en J+0 sont constatées. Le modèle Le modèle Esmeralda_corrige semble être le plus performant.

Tous les modèles mis à disposition pour la prévision respectent les 3 objectifs de qualité en J+0 et J+1. Le modèle Esmeralda_corrige_Airparif est le plus performant.

1.1.1.2. Par typologie

O3 maximum journalier (J0) - ANNEE 2022

(2022-04-01 à 2022-09-30)

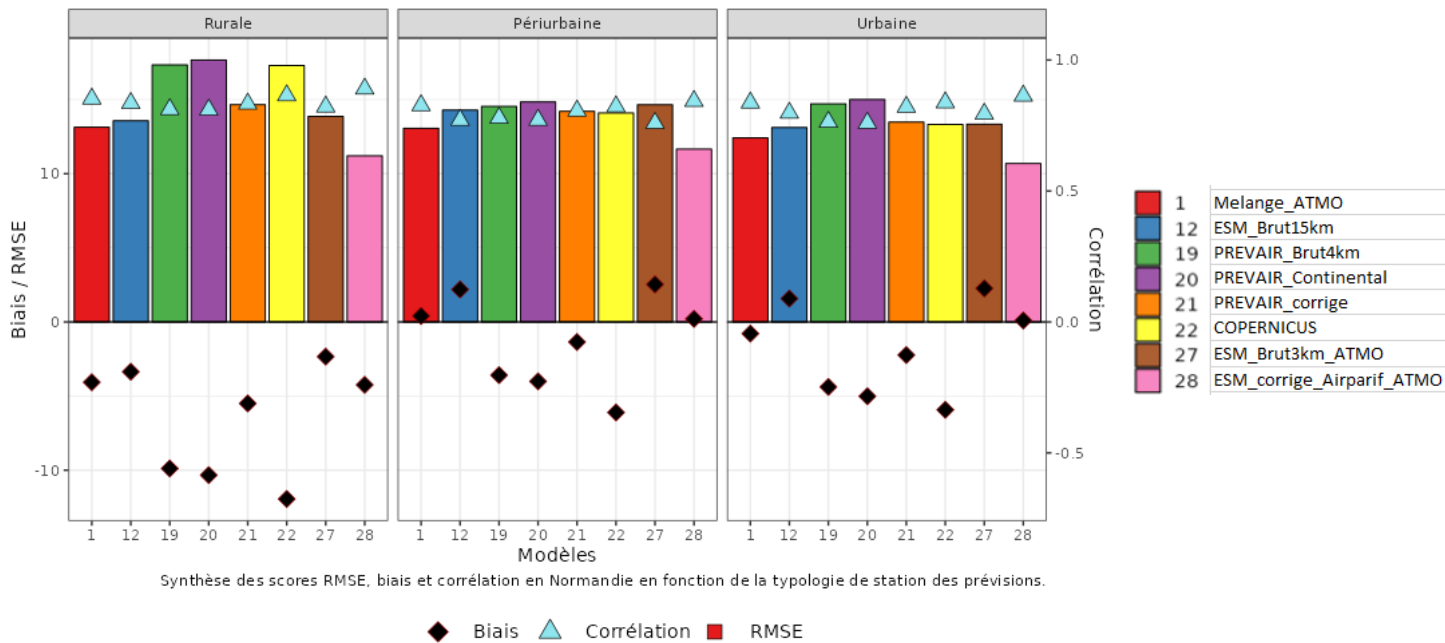


Figure 6 : Ozone – Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en Normandie en fonction de la typologie de station (urbaine, périurbaine, rurale) des prévisions brutes et des adaptations statistiques d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J0.

Ces éléments sont obtenus à partir du calcul des scores par station, puis ceux-ci sont moyennés avec un filtre sur les typologies de stations de fond (urbaines, périurbaines et rurales).

Les résultats obtenus en fonction de la typologie sont sensiblement identiques en terme de corrélation.

Quel que soit le modèle, les scores les meilleurs sont sur les stations urbaines. Sur les trois critères stats, Esmeralda_corrige semble encore le plus performant quelle que soit la typologie.

1.1.1.3. Par échéance de prévision

O3 maximum journalier - ANNEE 2022

(2022-04-01 à 2022-09-30)

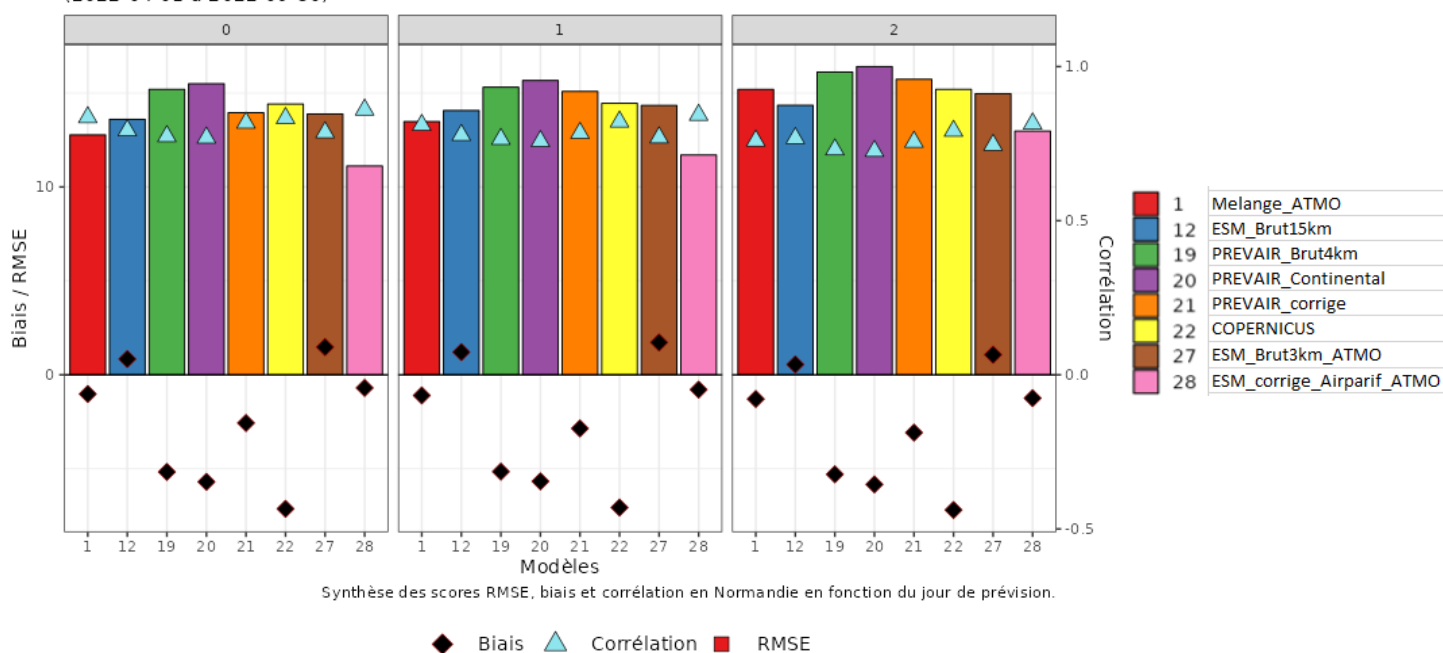


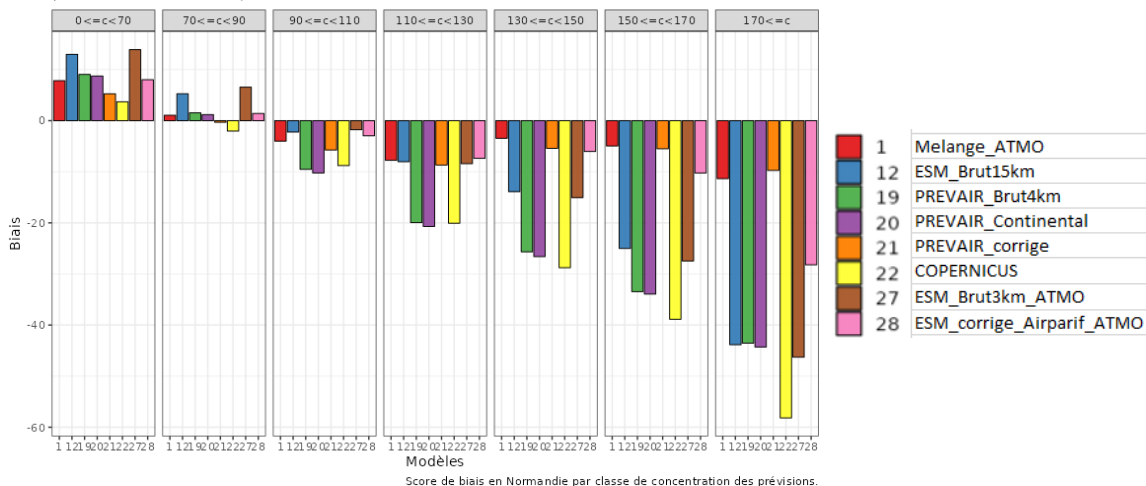
Figure 7 : Ozone – Synthèse des scores de RMSE (barres), biais (losanges) et corrélation (triangles) en fonction de l'échéance de la prévision.

Ces éléments sont obtenus à partir du calcul des scores par station, moyennés sur les différents horizons de prévisions (J0 à J2). Pour chaque modèle, les scores de RMSE se dégradent avec les échéances de prévisions à plus long terme; cela semble moins sensible sur le biais moyen et la corrélation. Là encore, les modèles corrigés améliorent les modèles bruts. Enfin, Esmeralda_corrigé apparaît être le plus performant, quelle que soit l'échéance.

1.1.1.4. Par gamme de concentration

O3 maximum journalier (BIAIS J0) - ANNEE 2022

(2022-04-01 à 2022-09-30)



O3 maximum journalier (RMSE J0) - ANNEE 2022

(2022-04-01 à 2022-09-30)

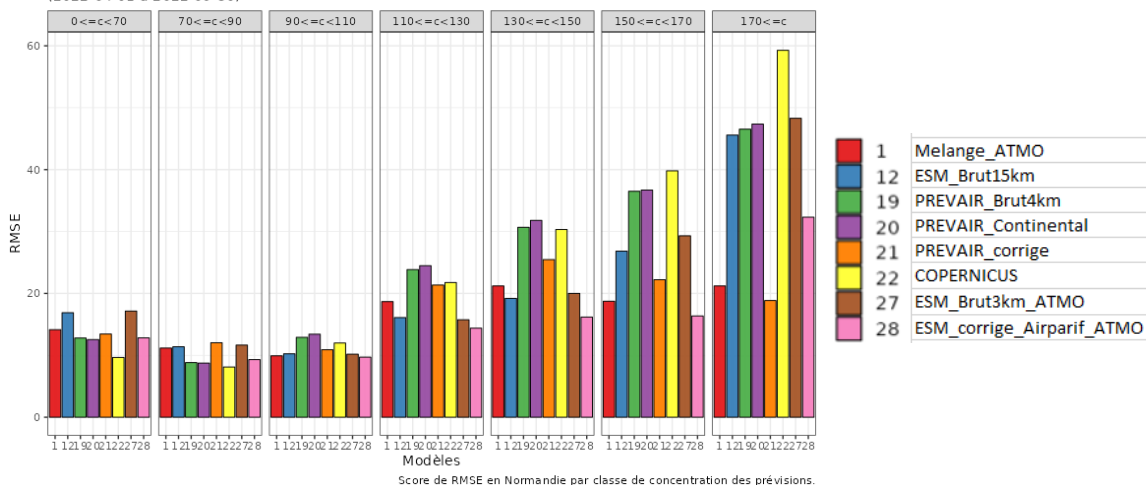


Figure 8 : Ozone – Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions brutes et des adaptations statistiques d’avril à septembre 2022 sur l’échéance J0.

Les données journalières sont groupées selon leur « classe de concentration » (par rapport aux observations). Pour chaque groupe, les scores sont ensuite calculés sur chaque station de fond puis moyennés.

On constate pour la plupart des modèles une surestimation des concentrations modélisées pour les faibles valeurs (jusqu’à environ $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, c’est-à-dire sous-indice faible et moyen), puis une sous-estimation qui augmente avec la gamme de concentration. Sur les fortes concentrations, Melange_ATMO et Prevoir_corrige (qui améliore nettement les prévisions de ses bruts) sont les modèles ayant les meilleures performances statistiques.

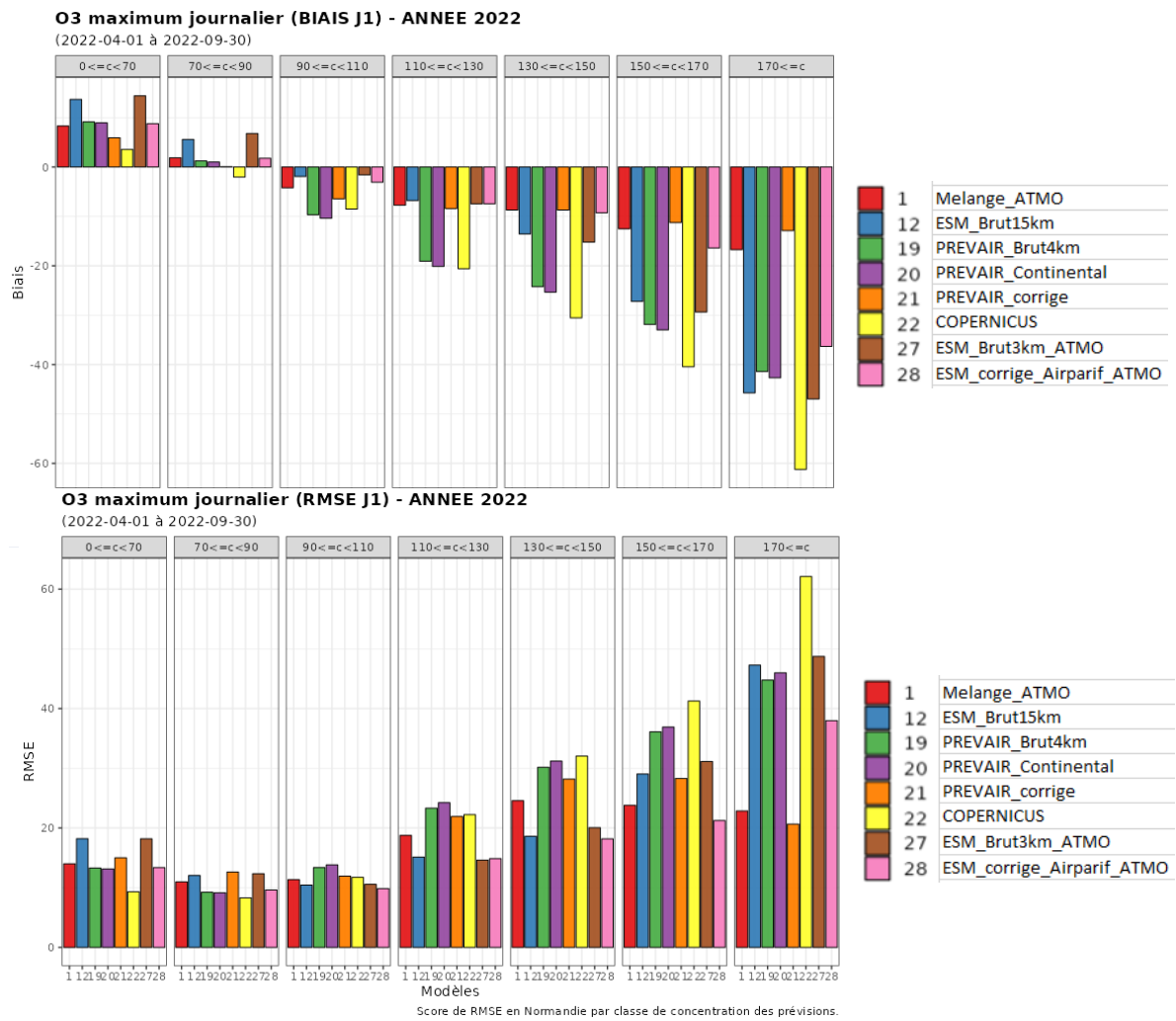


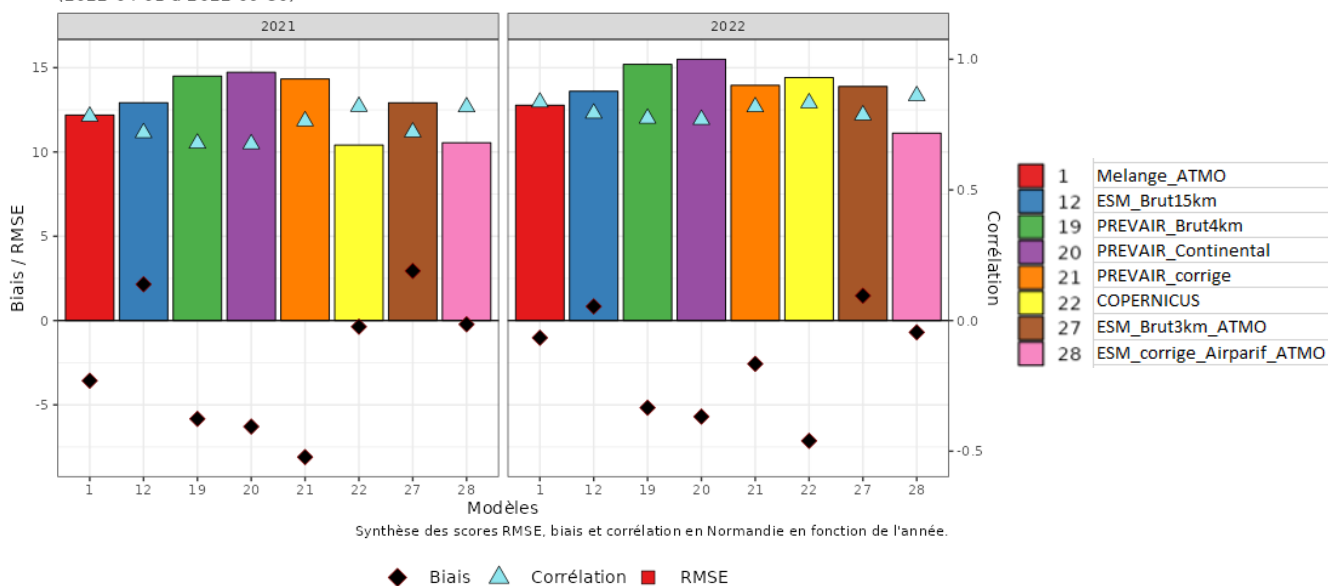
Figure 9 : Ozone – Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions brutes et des adaptations statistiques d’avril à septembre 2022 sur l’échéance J1.

À l’échéance J+1, on constate les mêmes tendances qu’à J+0.

3.1.1.5. Sur plusieurs années

O3 maximum journalier (J0) - ANNEE 2022

(2022-04-01 à 2022-09-30)



O3 maximum journalier (J1) - ANNEE 2022

(2022-04-01 à 2022-09-30)

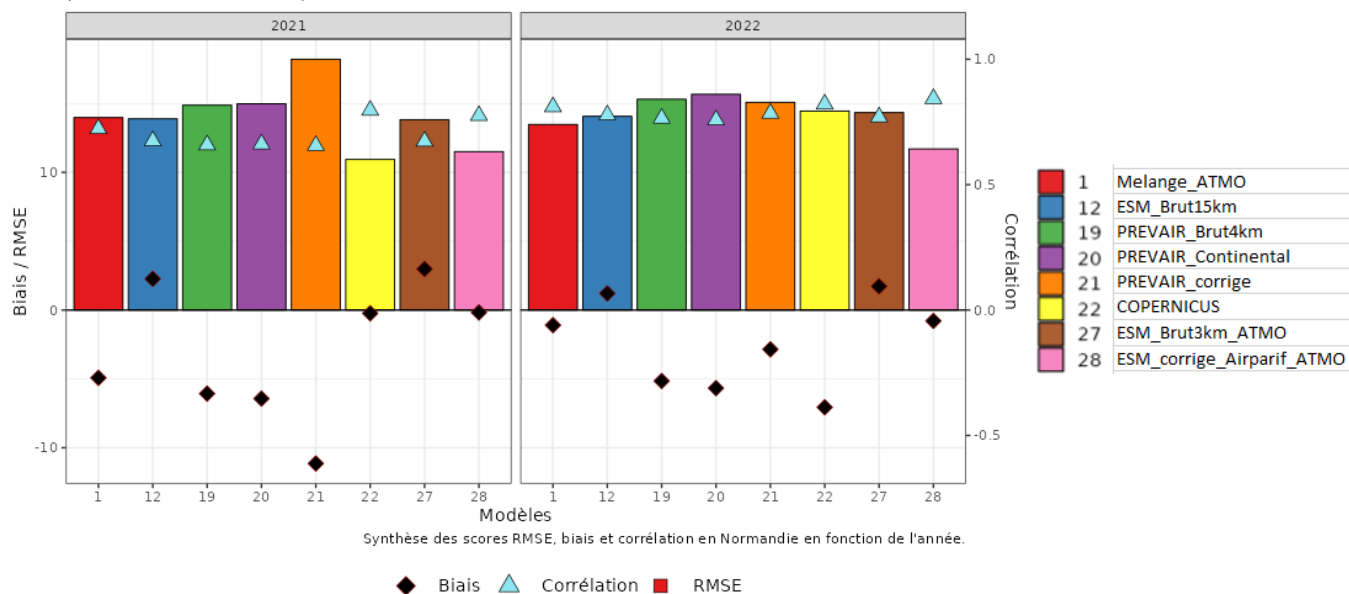


Figure 10 : Ozone – Synthèse des scores de RMSE (barres), biais moyen (losanges) et corrélation (triangle) pour 2021 et 2022.

Que cela soit en J0 ou J+1, Copernicus est moins performant qu'en 2021 (biais et RMSE), contrairement à Prevair_corrige qui s'est amélioré.

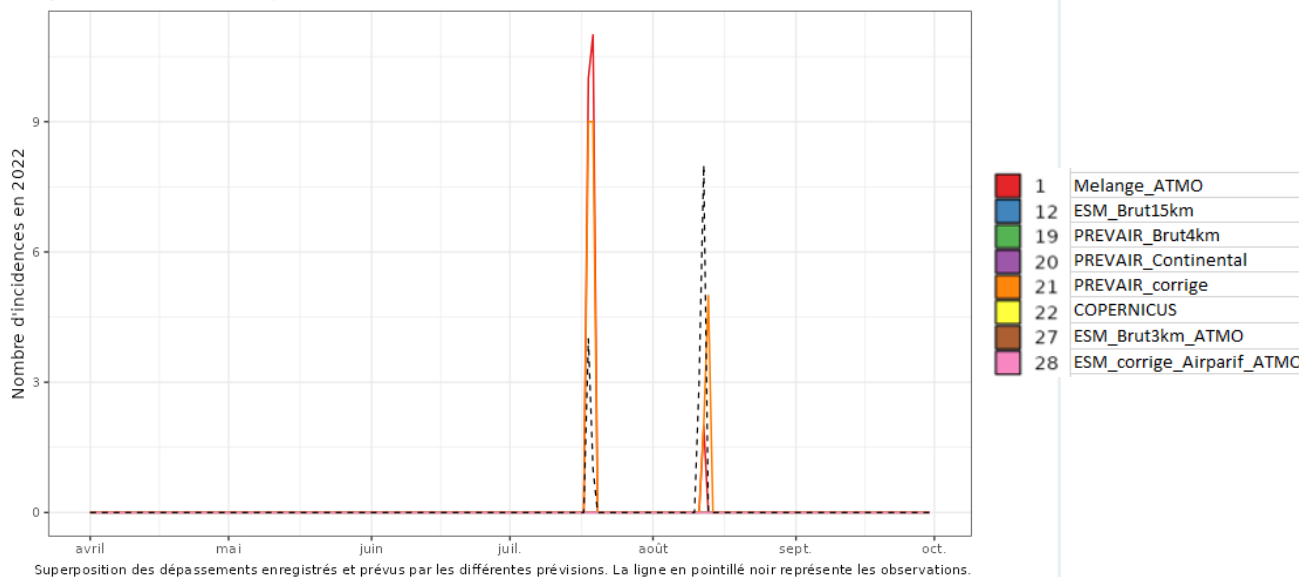
Mélange_ATMO a amélioré son biais ; Esmeralda_corrige, qui est le modèle le plus performant, semble constant sur ses performances statistiques entre les 2 années.

3.1.2. Performances sur les seuils réglementaires

3.1.2.1. Scores aux stations

3.1.2.1.1. Séries temporelles

O3 maximum horaire journalier - Nombre de dépassement des 180 µg/m3 (J0) - ANNEE 2
(2022-04-01 à 2022-09-30)



O3 maximum horaire journalier - Nombre de dépassement des 180 µg/m3 (J0) - ANNEE 2
(2022-04-01 à 2022-09-30)

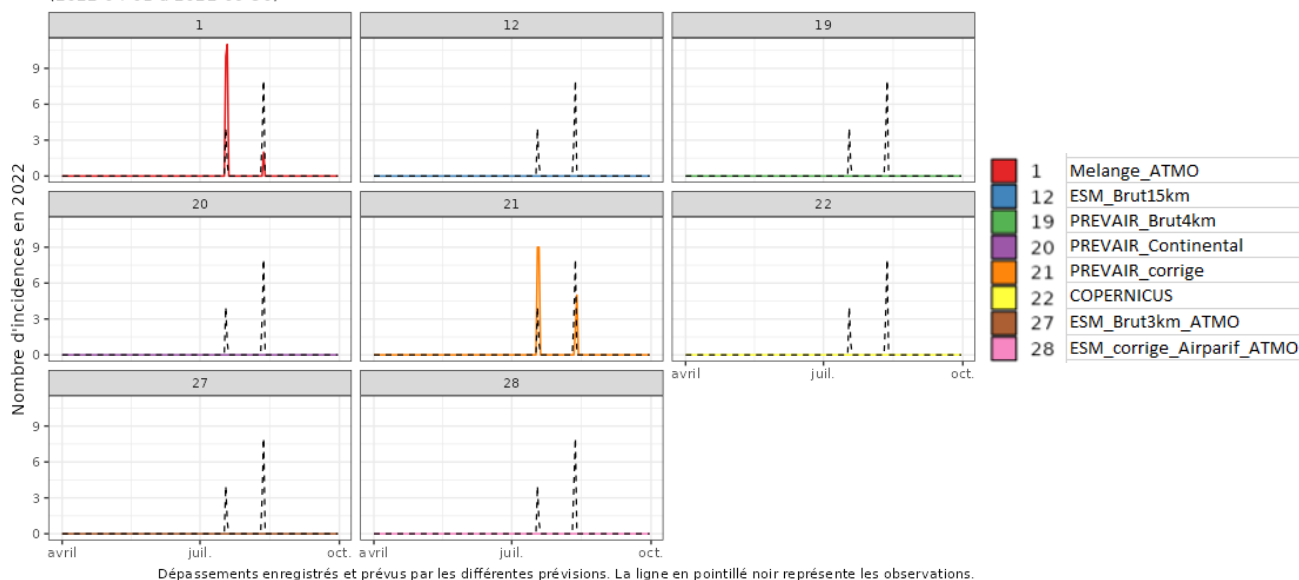
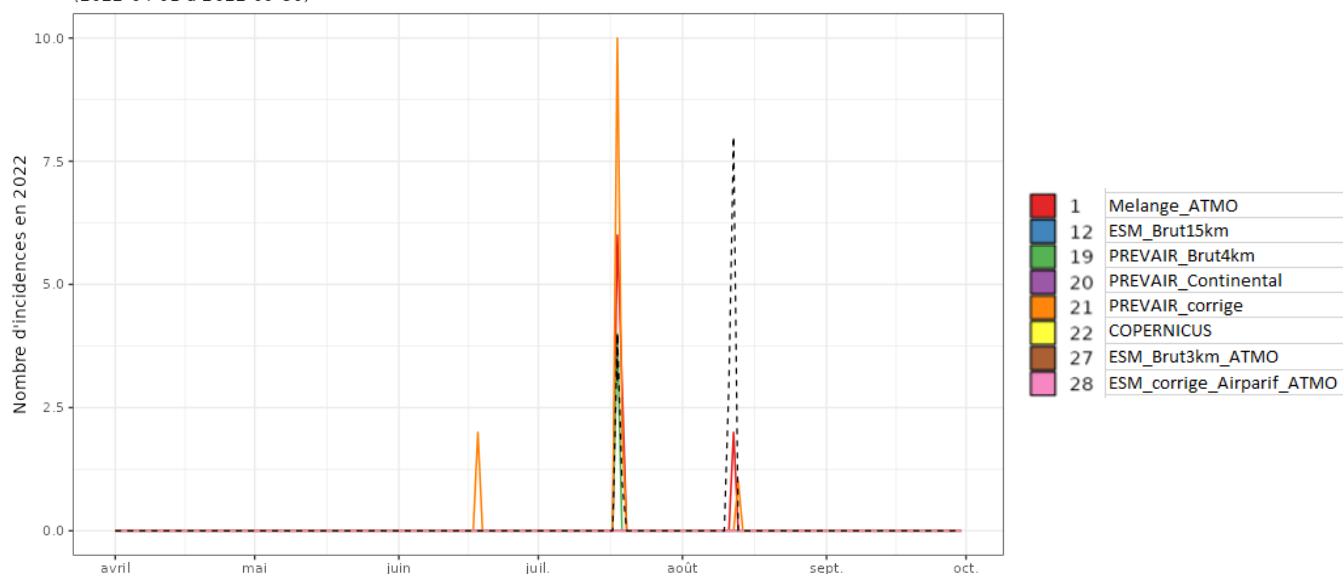


Figure 11 : Superposition des dépassements enregistrés et prévus aux stations à J0 par les différentes prévisions.

Ces figures représentent le nombre de dépassements observés (en pointillés) et prévus (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond pour chaque journée de la période considérée.

O3 maximum horaire journalier - Nombre de dépassement des 180 µg/m3 (J1) - ANNEE

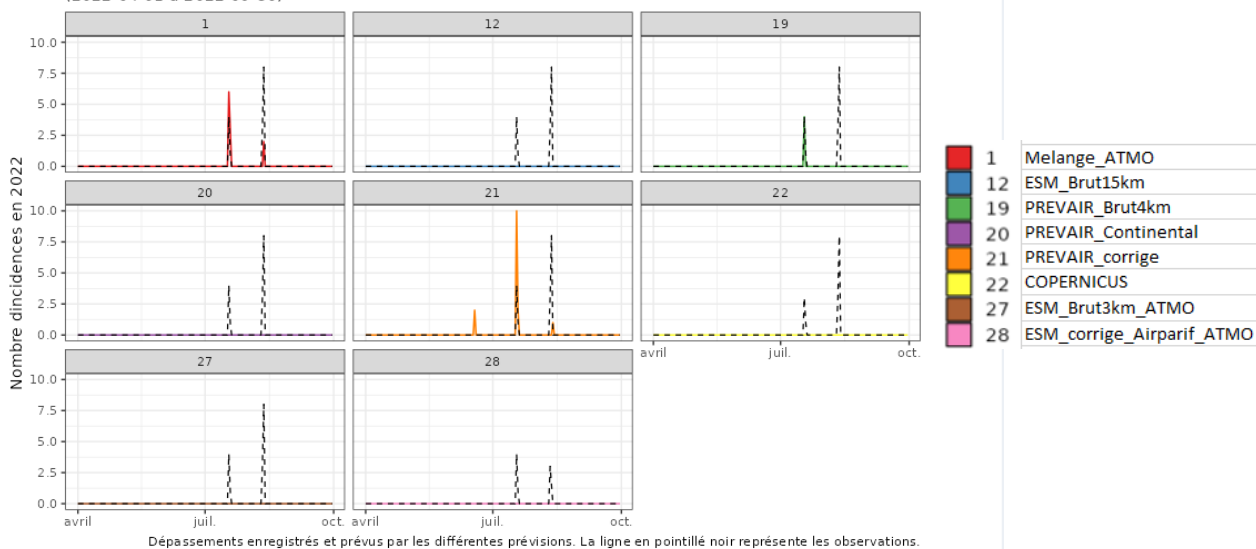
(2022-04-01 à 2022-09-30)



Superposition des dépassements enregistrés et prévus par les différentes prévisions. La ligne en pointillé noir représente les observations.

O3 maximum horaire journalier - Nombre de dépassement des 180 µg/m3 (J1) - ANNEE

(2022-04-01 à 2022-09-30)



Dépassements enregistrés et prévus par les différentes prévisions. La ligne en pointillé noir représente les observations.

Figure 12 : Superposition des dépassements enregistrés et prévus aux stations à J1 par les différentes prévisions.

L'année 2022 comporte **4 journées de dépassements** du 180 µg/m³ en ozone (18/7, 19/7, 11/8, 12/8) représentant **16 dépassements aux stations de fond** :

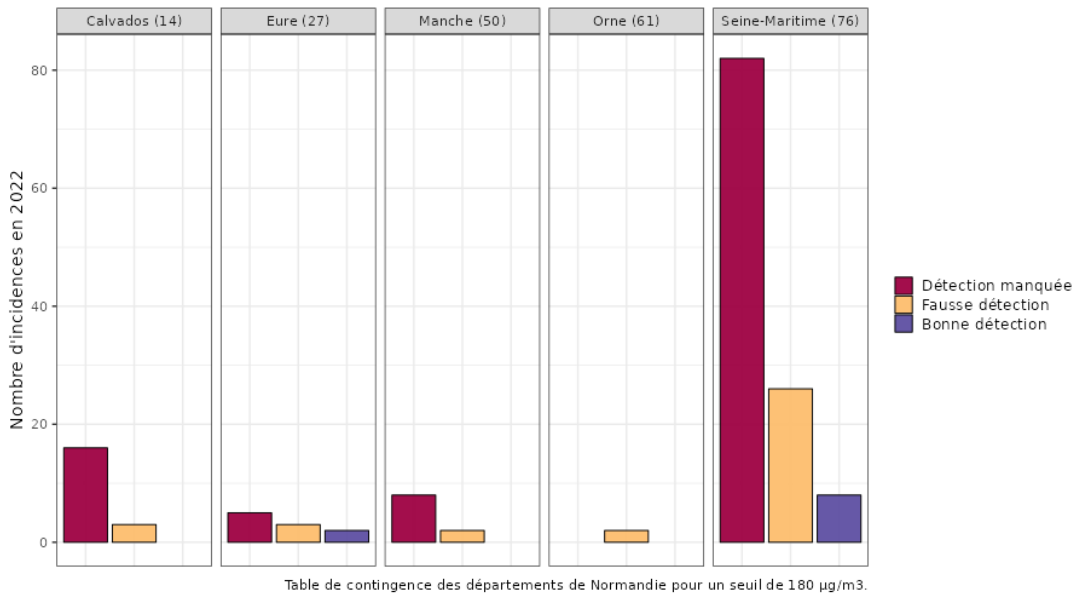
- 4 dépassements le 18/7 : seuls Mélange_ATMO et Prevaire_corrige les avaient prévus en J0 et Mélange_ATMO, Prevaire_corrige et Prevaire_Brut4km les avaient prévus en J+1
- 1 dépassement le 19/7 : seuls Mélange_ATMO et Prevaire_corrige les avaient prévus en J0 et J+1
- 3 dépassements le 11/8 : aucun des modèles ne les avaient prévus en J0 ou J+1
- 8 dépassements le 12/8 : aucun des modèles ne les avaient prévus en J0 ou J+1

3.1.2.1.2. Eléments de la table de contingence

Les éléments pris en compte pour produire les figures de cette partie sont définis en Annexe 3 – Eléments de table de contingence.

Les figures ci-dessous représentent les valeurs des tables de contingence (Bonne détection, Détection manquée, Fausse détection) cumulées sur les stations de fond pour la région à gauche et déclinées par département.

O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour un seuil de 180 µg/m3 (J0) -
(2022-04-01 à 2022-09-30)



O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour un seuil de 180 µg/m3 (J0) -
(2022-04-01 à 2022-09-30)

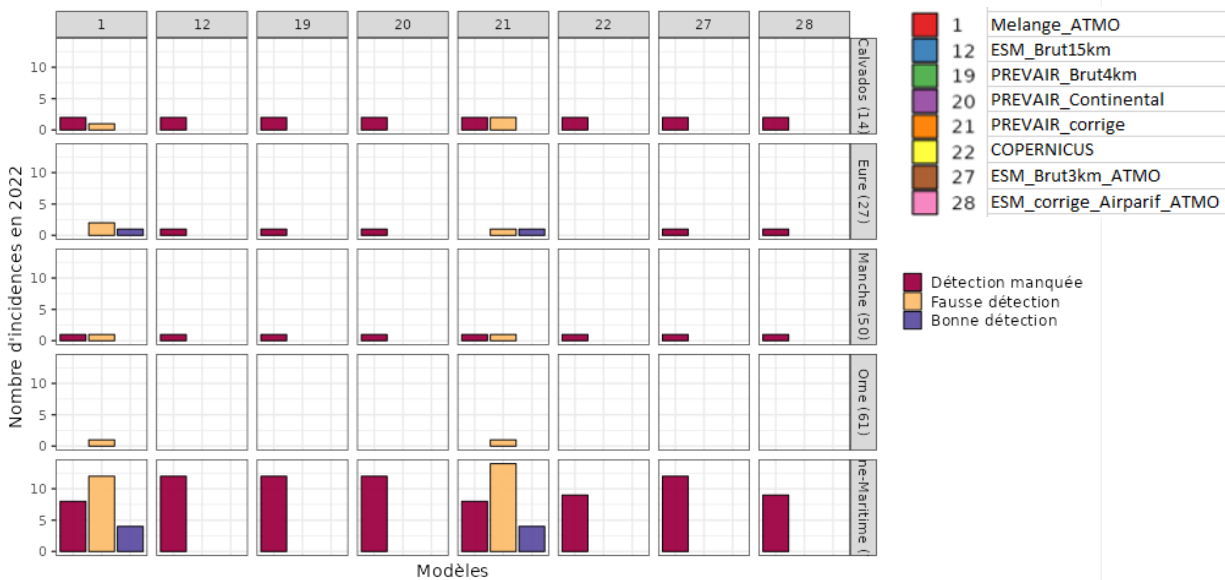


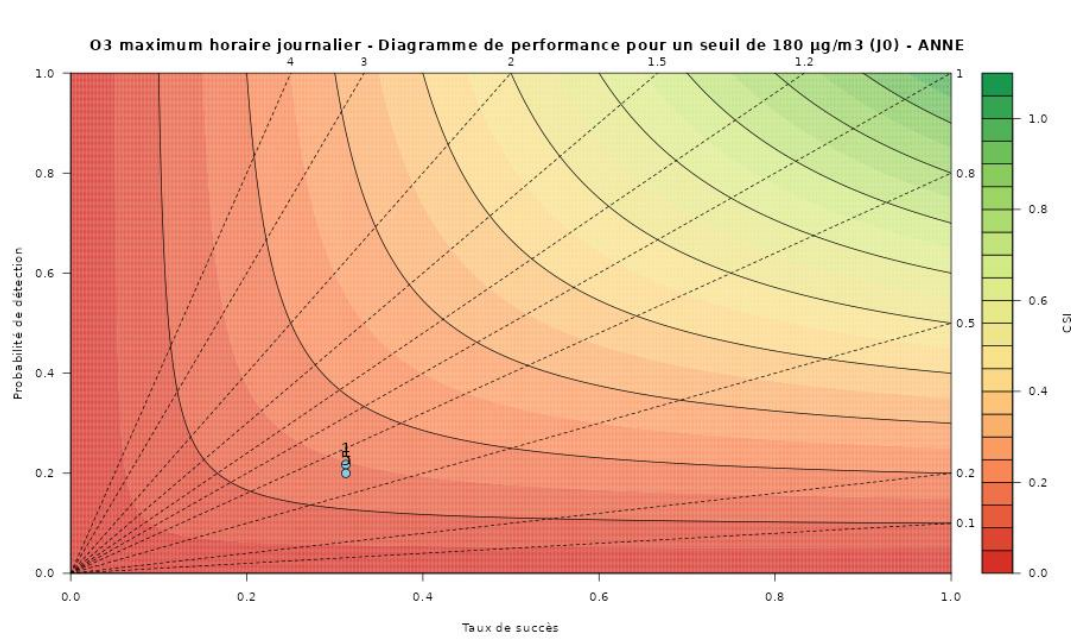
Figure 13 : Ozone - Tables de contingence sur la période d'avril à septembre 2022 à l'échéance J0 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en violet.

Au total, concernant la prévision à **J0** du dépassement du 180µg/m³ aux stations de fond par les 8 modèles utilisés par AtmoNormandie, cela représente :

- 10 bonnes détections, soit 0.03% des cas
- 30551 bonnes non-détections, soit 99.48% des cas
- 115 détections manquées, soit 0.37% des cas
- 36 fausses détections, soit 0.12% des cas

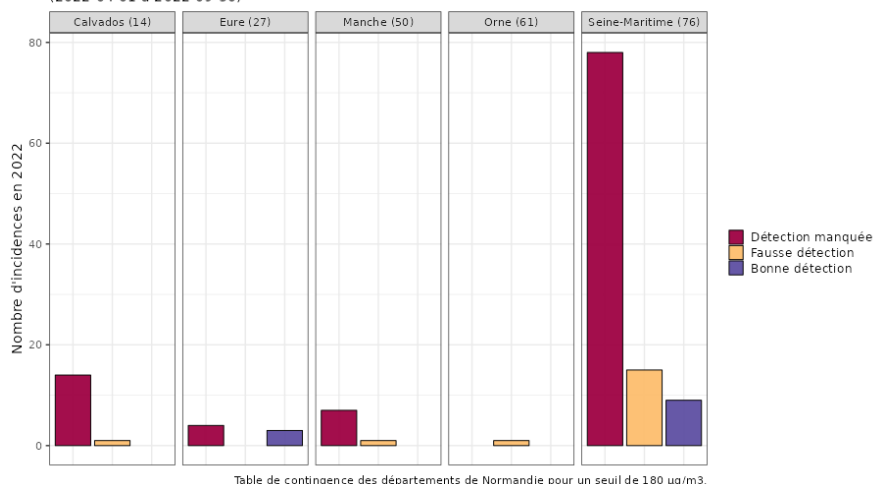
Quel que soit le modèle, la Seine-Maritime est très fortement concernée par ces détections manquées ou fausses détections.

Les modèles qui ont le plus de « bonnes détections », en même nombre, sont les modèles Prevoir_corrige et Melange_ATMO.



Le diagramme de performance montre bien que le modèle Melange_ATMO (point 1) est celui qui a le meilleur taux de succès suivi de Prevoir_corrige (point 5) pour les prévisions en J0.

O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour un seuil de 180 µg/m3 (J1)
(2022-04-01 à 2022-09-30)



O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour un seuil de 180 µg/m3 (J1)
(2022-04-01 à 2022-09-30)

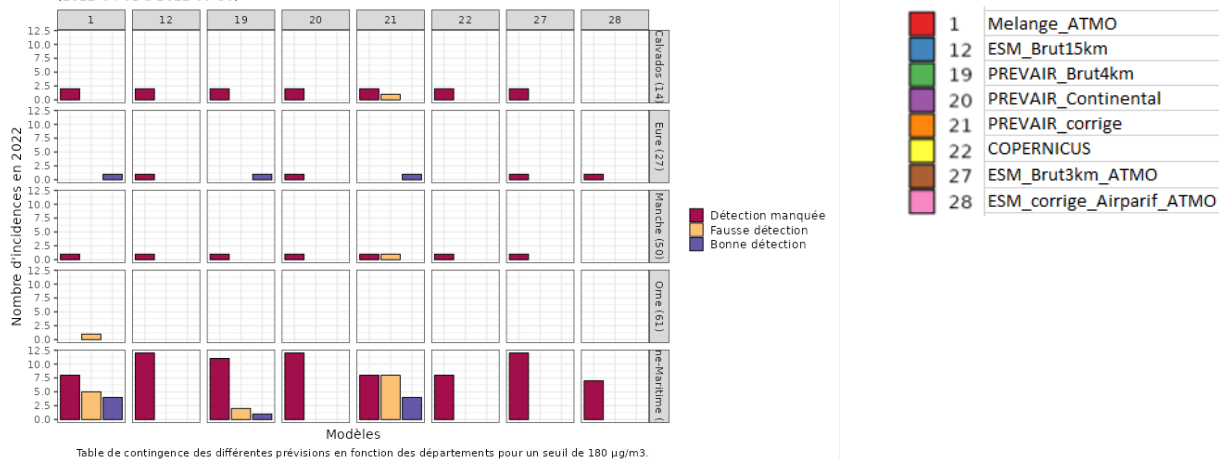


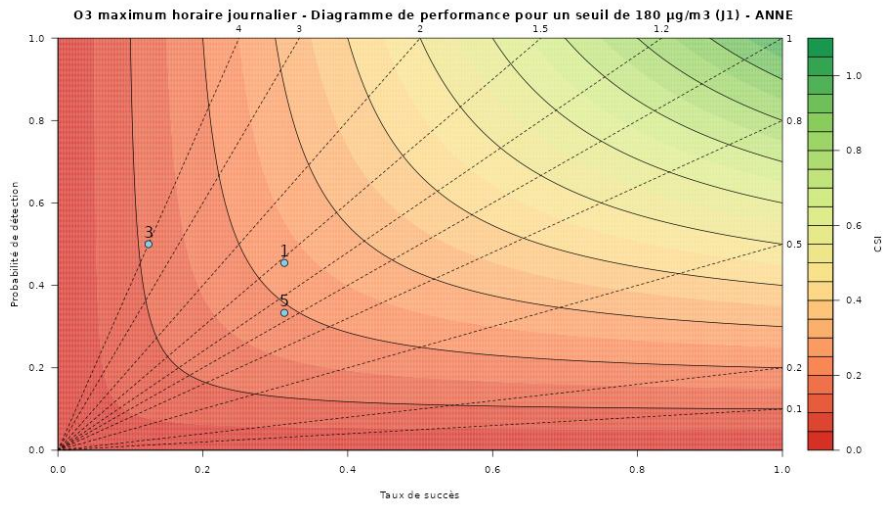
Figure 14 : Ozone - Tables de contingence sur la période d’avril à septembre 2022 à l’échéance J1 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en violet.

Au total, concernant la prévision à **J1** du dépassement du 180µg/m³ aux stations de fond par les 8 modèles utilisés par AtmoNormandie, cela représente :

- 12 bonnes détections, soit 0.04% des cas
- 30500 bonnes non-détections, soit 99.55% des cas
- 107 détections manquées, soit 0.35% des cas
- 19 fausses détections, soit 0.06% des cas

Quel que soit le modèle, la Seine-Maritime est très fortement concernée par ces détections manquées ou fausses détections.

Les modèles qui ont le plus de « bonnes détections » sont les modèles Prevoir_corrige et Melange_ATMO.



Le diagramme de performance montre bien que le modèle Melange_ATMO (point 1) est celui qui a le meilleur taux de succès suivi de Prevair_corrige (point5) pour les prévisions en J1.

3.1.2.2. Scores en lien avec les critères de l'Arrêté Mesure d'Urgence

Aucun dépassement du seuil d'alerte enregistré en 2022

2.3.1. Valeurs des tables de contingence des critères AMU à J0

O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour le seuil d'alerte AMU de 240
(2022-04-01 à 2022-09-30) - Aucun dépassements du seuil enregistrés

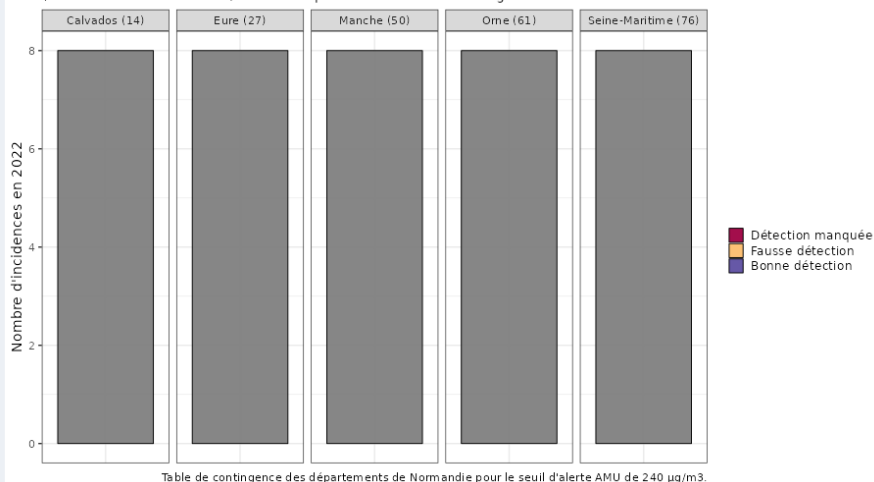


Table de contingence des départements de Normandie pour le seuil d'alerte AMU de 240 µg/m3.

O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour le seuil d'alerte AMU de 240
(2022-04-01 à 2022-09-30) - Aucun dépassements du seuil enregistrés

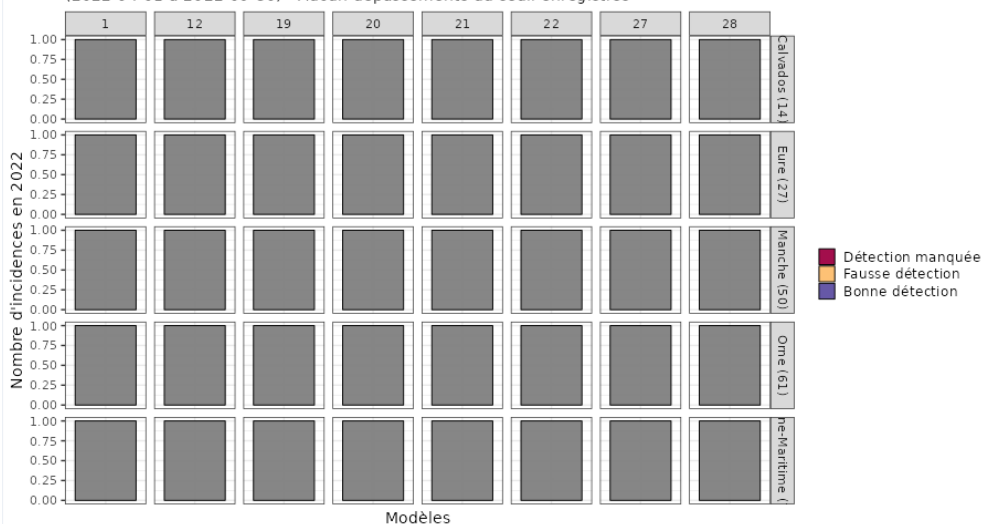
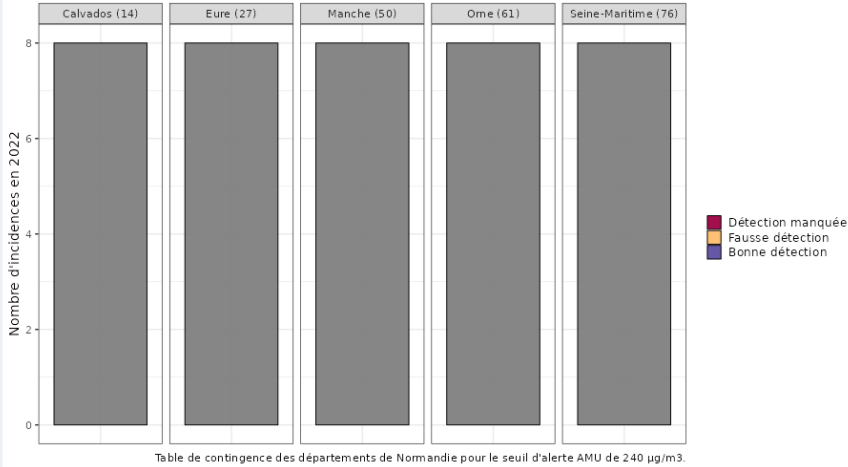


Table de contingence des différentes prévisions en fonction des départements pour le seuil d'alerte AMU de 240 µg/m3.

Figure 15 : Ozone - Tables de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de populations confondus) sur la période d'avril à septembre 2022 à l'échéance J0. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses alertes en orange et les alertes manquées en violet.

2.3.2. Valeurs des tables de contingence des critères AMU à J1

O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour un seuil d'alerte AMU de 240
(2022-04-01 à 2022-09-30) - Aucun dépassements du seuil enregistrés



O3 maximum horaire journalier - Table de contingence pour un seuil d'alerte AMU de 2
(2022-04-01 à 2022-09-30) - Aucun dépassements du seuil enregistrés

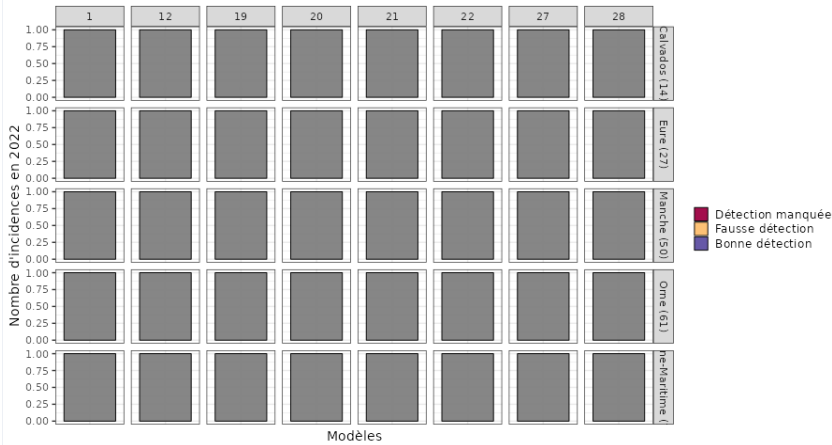


Figure 16 : Ozone - Tables de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de populations confondus) sur la période d’avril à septembre 2022 à l’échéance J1. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses alertes en orange et les alertes manquées en violet.

3.2. PREVISIONS PM₁₀

Les scores en PM₁₀ sont établis (en moyenne journalière) à partir des données de l'ensemble de l'année.

3.2.1. Scores classiques (Biais, RMSE, corrélation)

3.2.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité

Polluant	Bias (µg/m ³)	RMSE (µg/m ³)	Corrélation
O3	-10/+10	25	0,7
PM10	-7,5/+7,5	15	0,6

Figure 17 : Objectifs de qualité définis pour O3 et PM₁₀ pour le biais, la RMSE et la corrélation qui s'appliquent aux performances des prévisions en région et sur les zones disposant d'un arrêté mesure d'urgence et aux échéances J0 et J1.

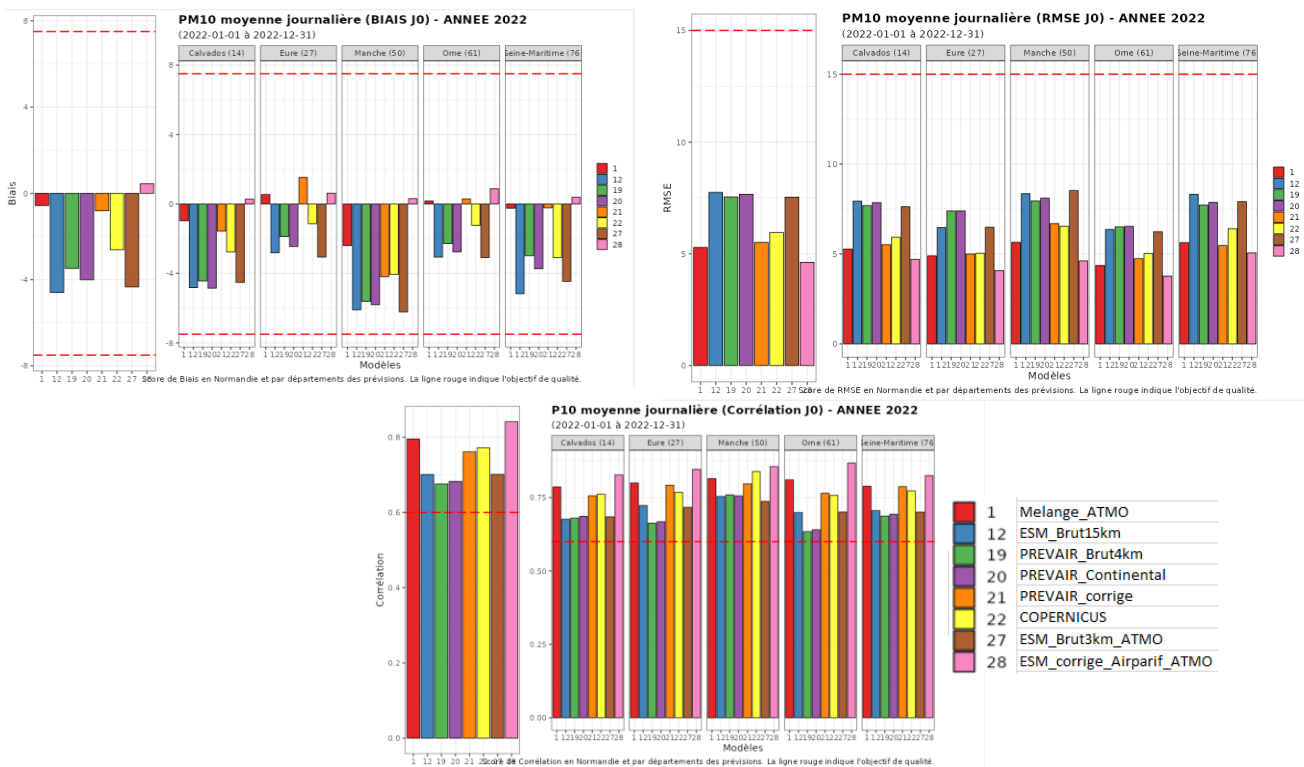


Figure 18 : PM₁₀ - Scores de biais (gauche), RMSE (droite) et corrélation (bas) en Normandie et par département des prévisions brutes et des modèles corrigés en 2022 sur l'échéance J0. La ligne rouge indique l'objectif de qualité.

Les objectifs qualité sont respectés par tous les modèles pour les prévisions en PM10 à J+0.

Au niveau régional, seul Esmeralda_corrige en moyenne surestime les concentrations (le biais restant très faible) ; tous les autres modèles sous estiment les observations. A noter que sur l’Orne et l’Eure, les concentrations sont surestimées par les 3 modèles corrigés. Les prévisions issues des modèles corrigés améliorent nettement les prévisions brutes. Le modèle Esmeralda_corrige est le plus performant.

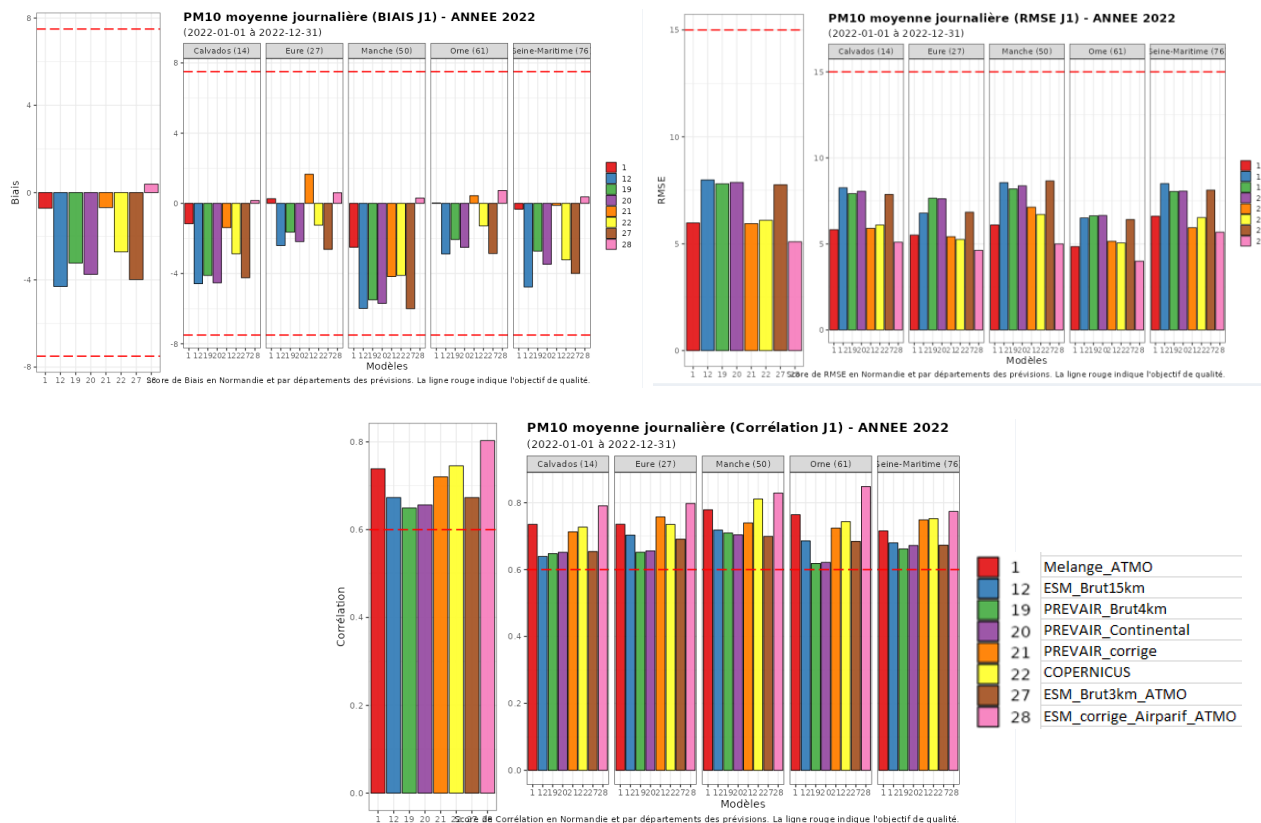


Figure 19 : PM₁₀ - Scores de biais (gauche), RMSE (droite) et corrélation (bas) en Normandie et par département des prévisions brutes et des modèles corrigés en 2022 sur l’échéance J1. La ligne rouge indique l’objectif de qualité.

Ces scores sont une moyenne des scores temporels de chaque station de fond. Les scores par département sont obtenus avec un filtre spatial au moment de calculer la moyenne.

Les objectifs qualité sont respectés par tous les modèles pour les prévisions en PM10 à J+ 1.

Les mêmes tendances qu’en J+0 sont constatées. Le modèle Esmeralda_corrige est le plus performant.

Tous les modèles respectent tous les objectifs de qualité en J+0 et J+1. Au regard de ces 3 critères statistiques, Esmeralda_corrige est le modèle le plus performant.

3.2.1.2. Par typologie

PM10 moyenne journalière (J0) - ANNEE 2022

(2022-01-01 à 2022-12-31)

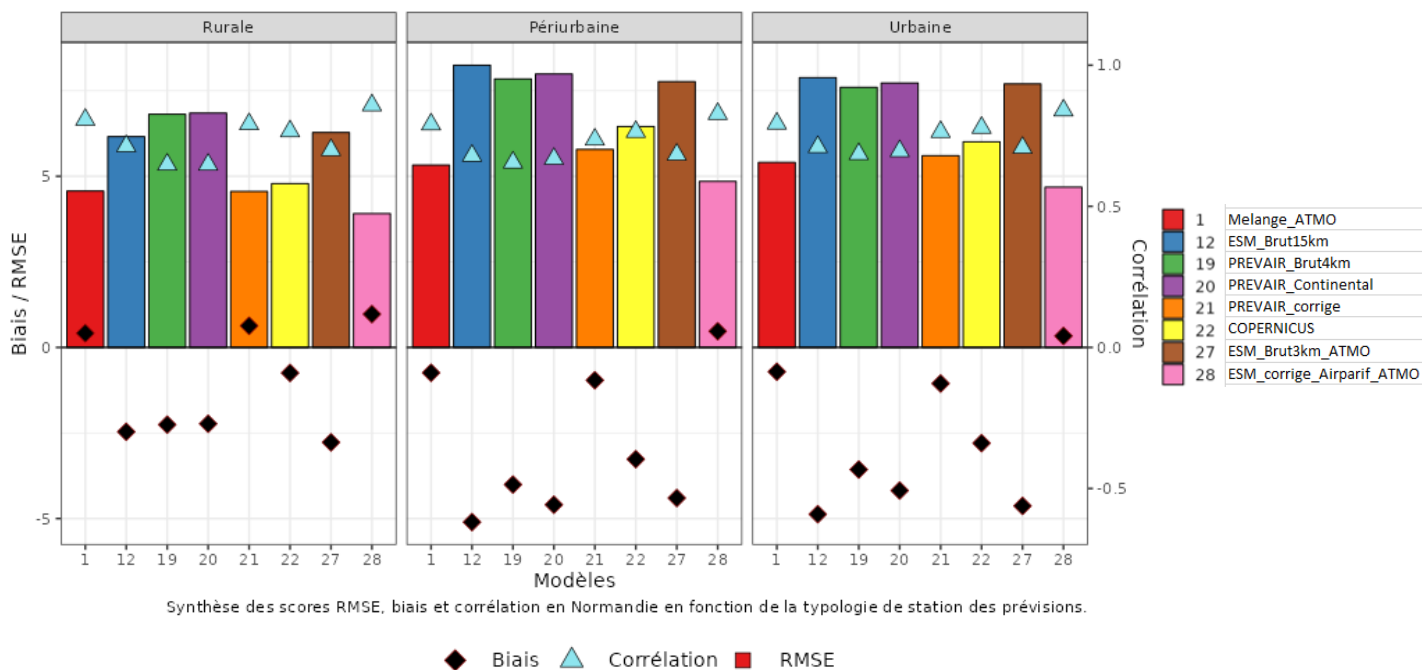


Figure 20 : PM10 – Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en Normandie en fonction de la typologie de station (urbaine, périurbaine, rurale) des prévisions brutes et des modèles corrigés en 2022 sur l'échéance J0.

Ces éléments sont obtenus à partir du calcul des scores par station, moyennés avec un filtre sur les typologies de stations de fond (urbaines, périurbaines et rurales).

Les résultats obtenus en fonction de la typologie sont sensiblement identiques en terme de corrélation. Quel que soit le modèle, et contrairement à l'ozone, ce sont sur les stations rurales que les scores sont les meilleurs (RMSE et biais). Dans l'ensemble, Esmeralda_corrige semble encore le plus performant quelle que soit la typologie.

À noter que pour les modèles Esmeralda_corrige, PREVAIR_corrige et Melange_ATMO, les valeurs des biais moyens restent très faibles.

3.2.1.3. Par échéance de prévision

PM10 moyenne journalière - ANNEE 2022

(2022-01-01 à 2022-12-31)

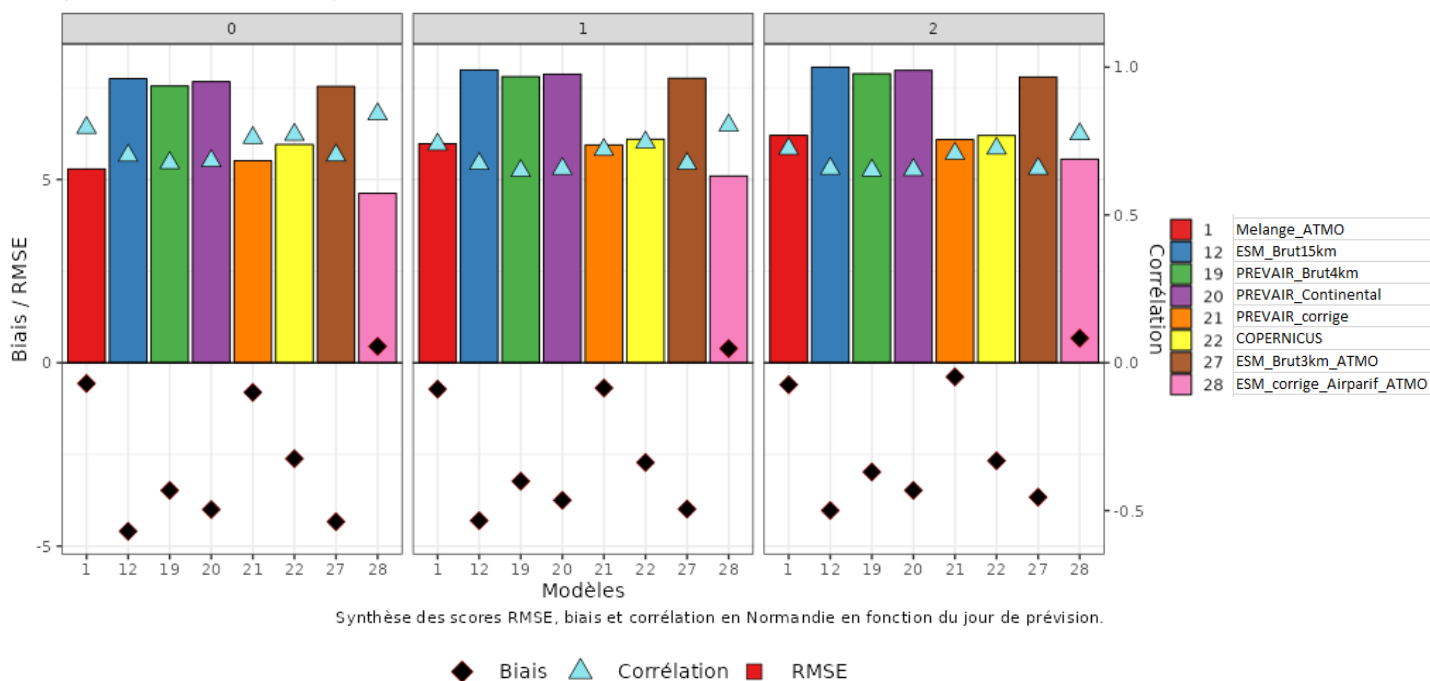


Figure 21 : PM10 – Synthèse des scores de RMSE (barres), biais (losanges) et corrélation (triangle) en fonction de l'échéance de la prévision.

Ces éléments sont obtenus à partir du calcul des scores par station, moyennés sur les différents horizons de prévisions (J0 à J2). Pour chaque modèle corrigé, les scores de RMSE se dégradent avec les échéances de prévisions à plus long terme; cela semble moins sensible sur le biais moyen et la corrélation. Là encore, les modèles corrigés améliorent nettement les modèles bruts. Globalement, Esmeralda_corrige apparaît être le plus performant, quelle que soit l'échéance.

3.2.1.4. Par gamme de concentration

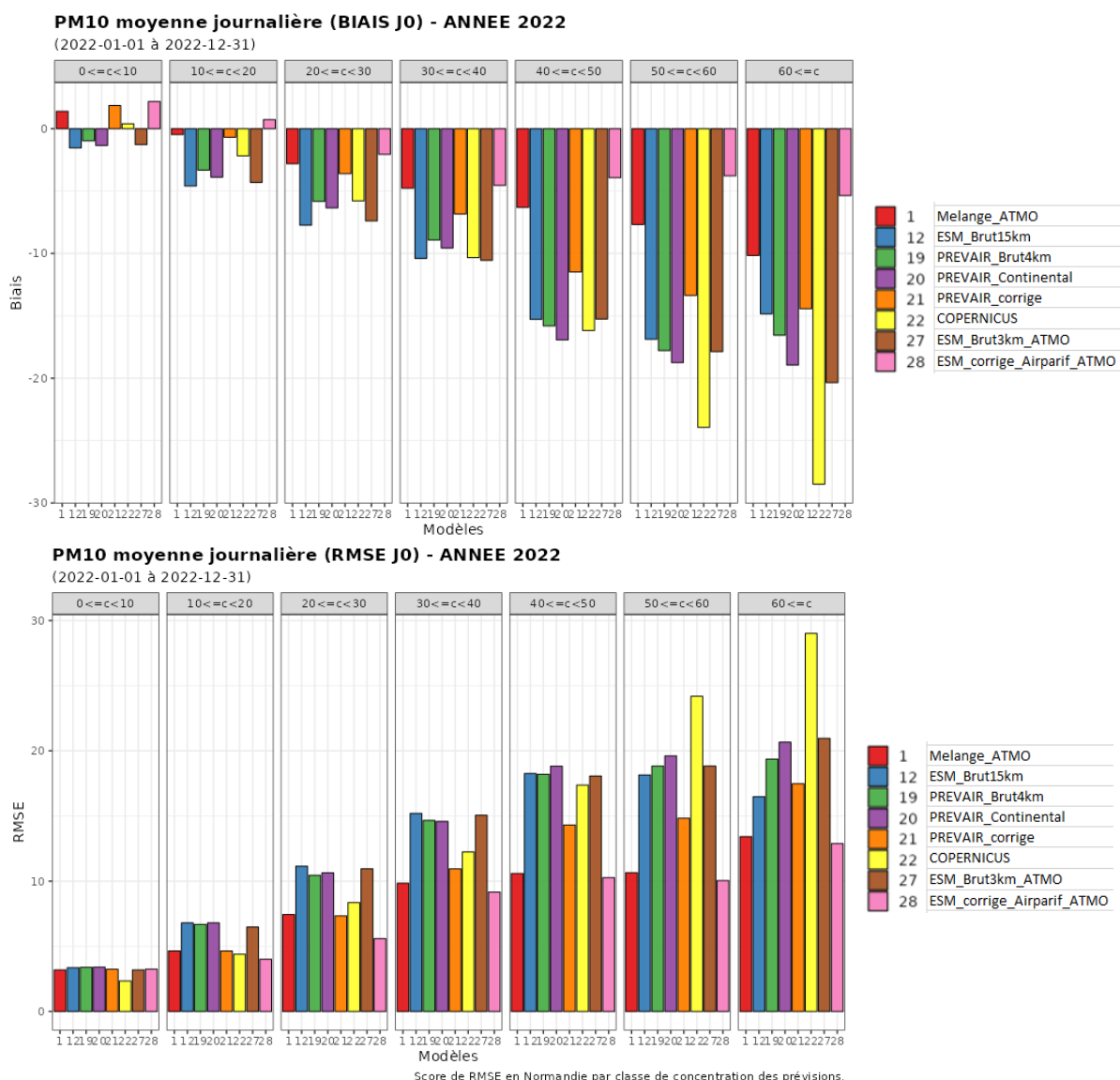


Figure 22 : PM10 – Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions brutes et des adaptations statistiques en 2022 sur l'échéance J0.

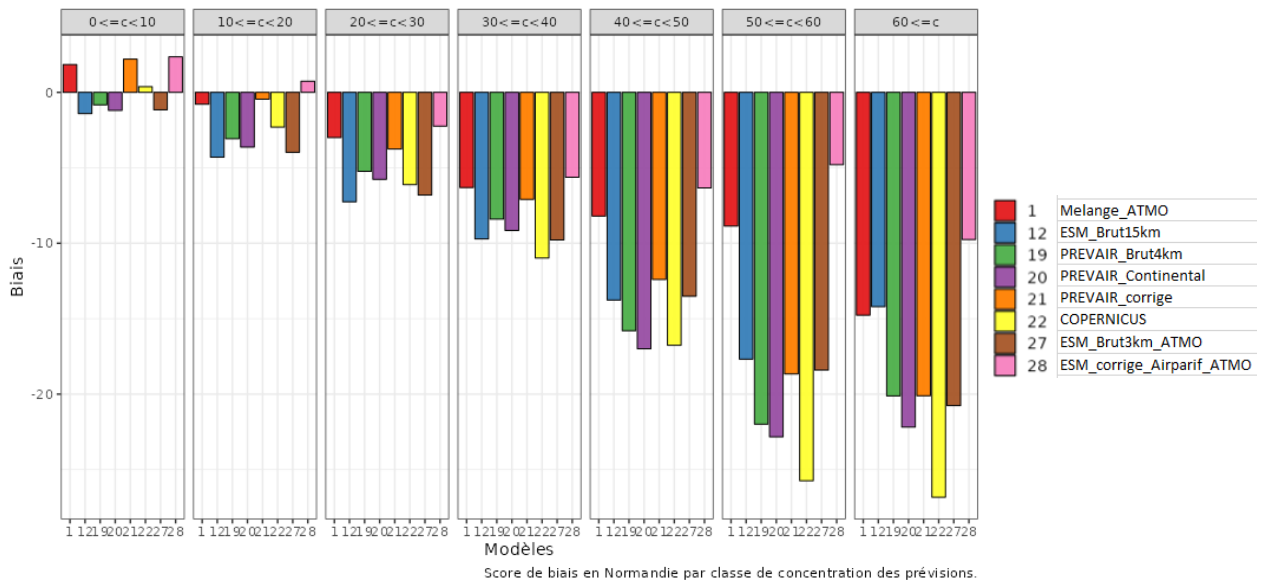
Les données journalières sont groupées selon leur « classe de concentration » (par rapport aux observations). Pour chaque groupe, les scores sont ensuite calculés sur chaque station de fond puis moyennés.

On constate que pour les fortes valeurs, tous les modèles sous estiment les concentrations observées avec des biais moyens parfois très forts; Esmeralda_corrige est le seul à avoir un biais assez faible (<- 5µg/m³), constant dans les fortes concentrations et qui respecte l'objectif qualité de +/- 7.5µg/m³. La RMSE se dégradent pour tous les modèles en montant dans les gammes de concentration.

Sur les fortes concentrations, Esmeralda_corrige (qui améliore nettement les prévisions de ses bruts) est le modèle ayant les meilleures performances statistiques.

PM10 moyenne journalière (BIAIS J1) - ANNEE 2022

(2022-01-01 à 2022-12-31)



PM10 moyenne journalière (RMSE J1) - ANNEE 2022

(2022-01-01 à 2022-12-31)

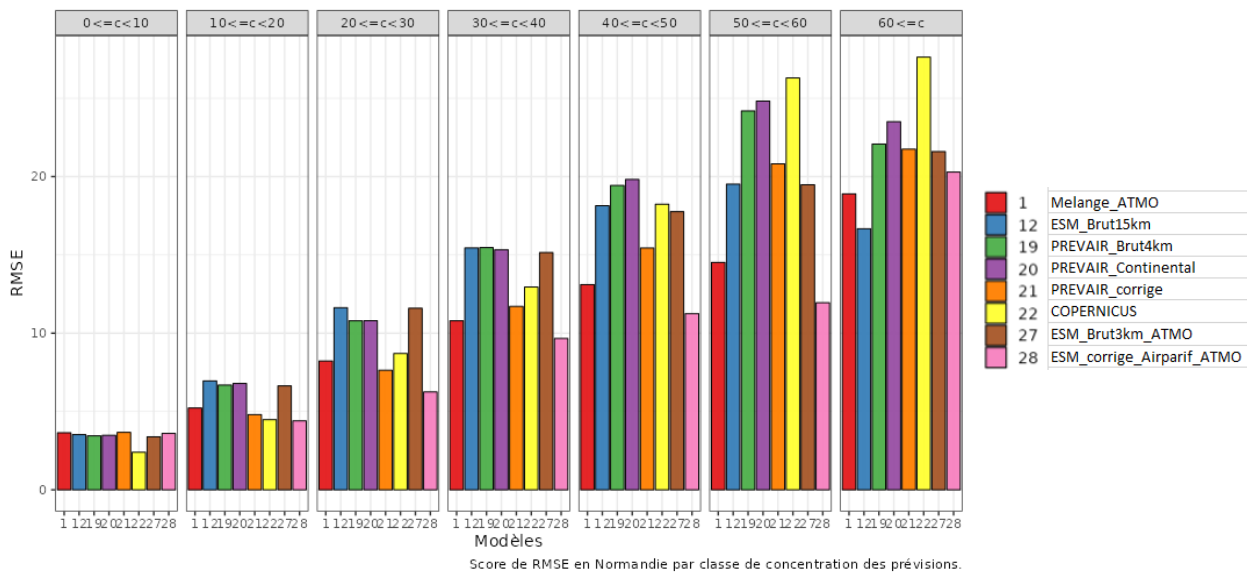


Figure 23 : PM10 – Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions brutes et des adaptations statistiques en 2022 sur l'échéance J1.

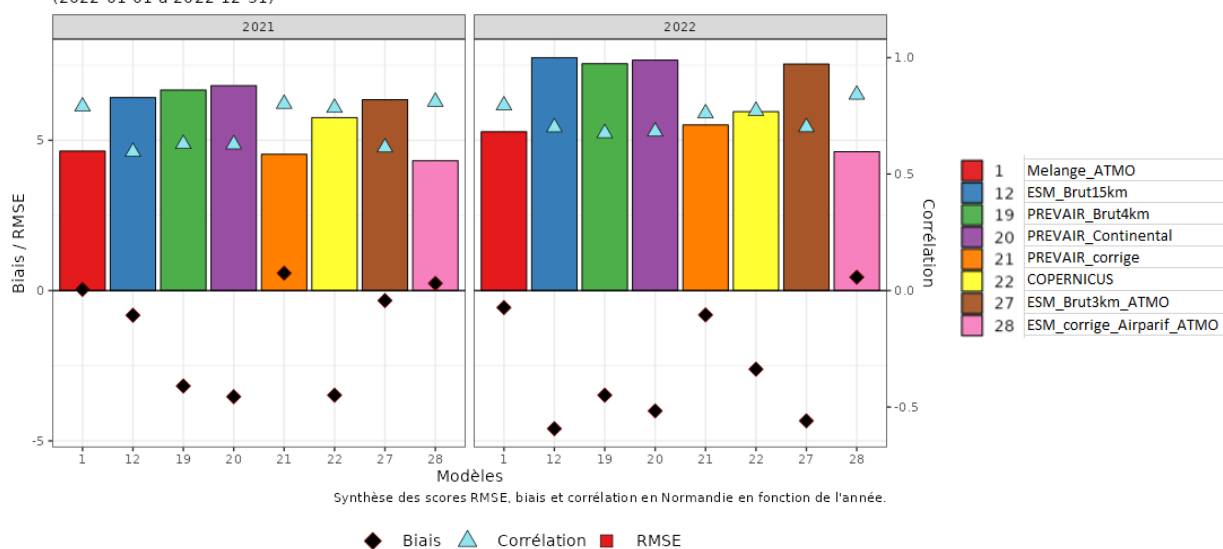
À l'échéance J+1, on constate les mêmes tendances statistiques qu'à J+0.

Sur les fortes concentrations, Esmeralda_corrige est le modèle ayant les meilleures performances statistiques en J+1.

3.2.1.5. Sur plusieurs années

PM10 moyenne journalière (J0) - ANNEE 2022

(2022-01-01 à 2022-12-31)



PM10 moyenne journalière (J1) - ANNEE 2022

(2022-01-01 à 2022-12-31)

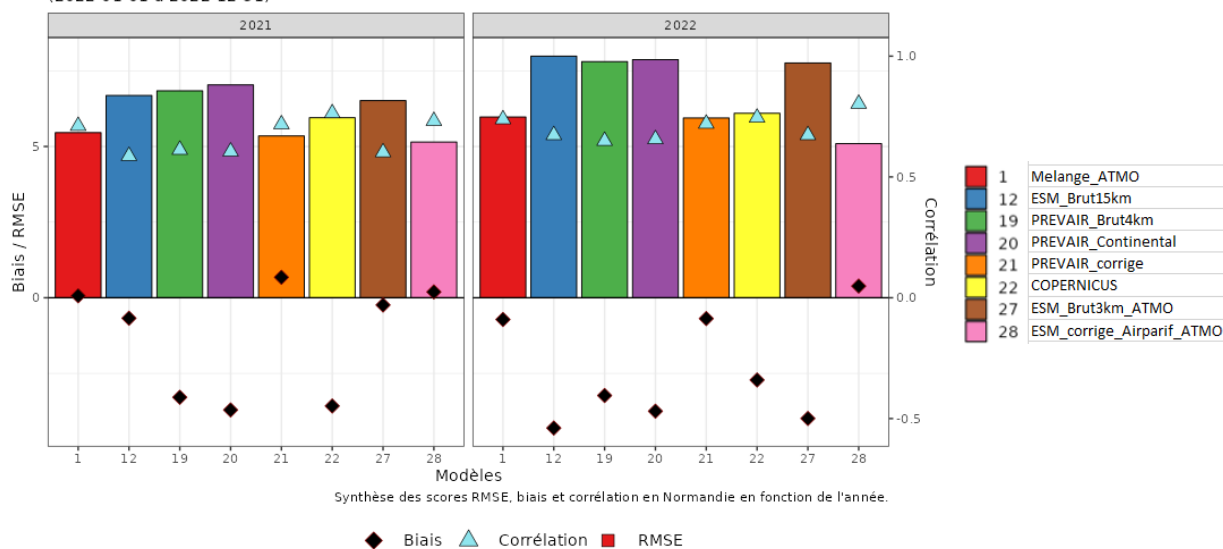


Figure 24 : PM10 – Synthèse des scores de RMSE (barres), biais moyen (losanges) et corrélation (triangles) pour 2021 et 2022

Que cela soit en J0 ou J+1, tous les modèles ont été moins performants en 2022 par rapport à 2021. Esmeralda_corrige est celui qui a été le moins dégradé sur ses performances statistiques entre les 2 années.

3.2.2. Performances sur les seuils réglementaires

3.2.2.1. Scores aux stations

3.2.2.1.1. Séries temporelles

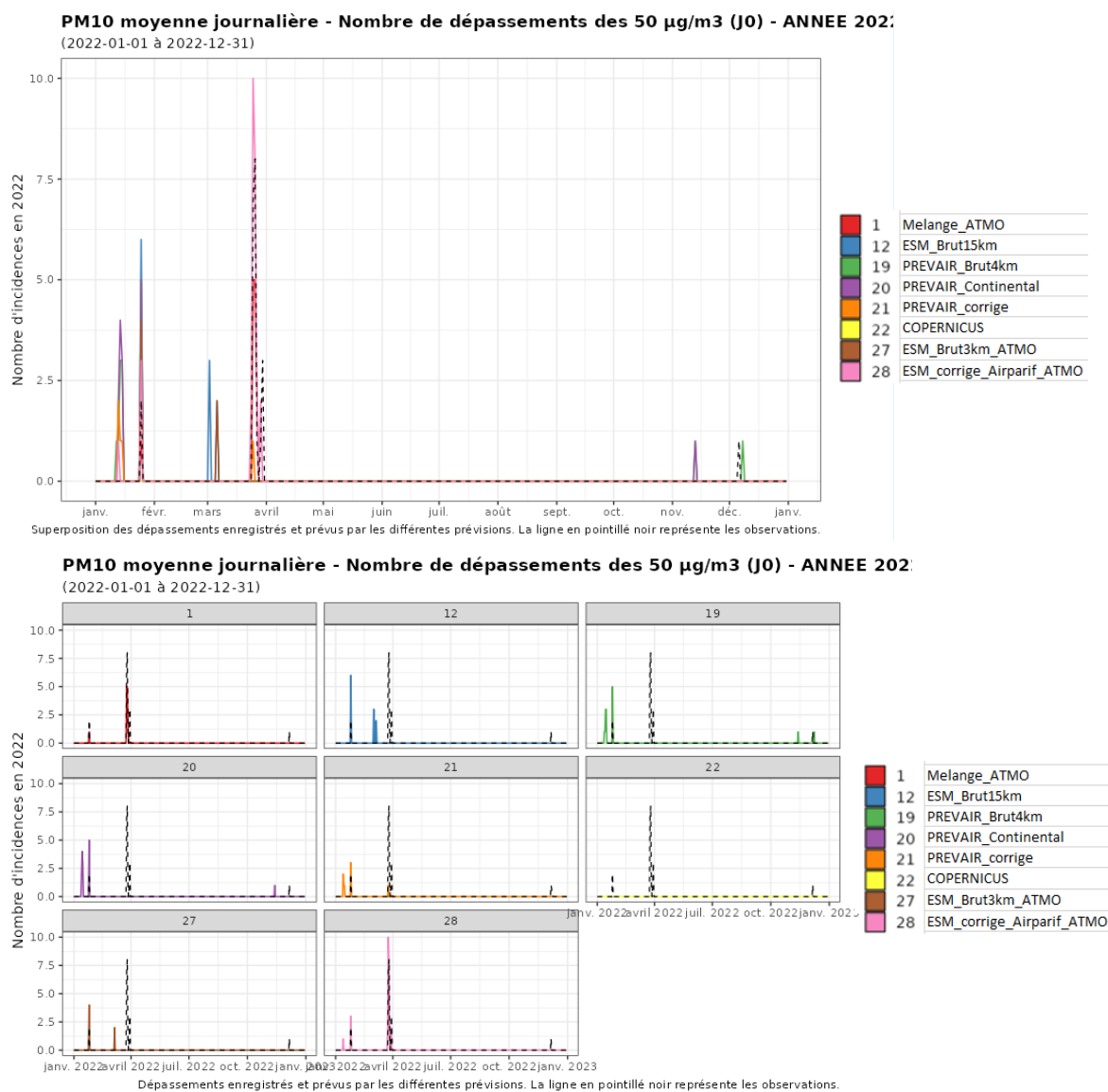
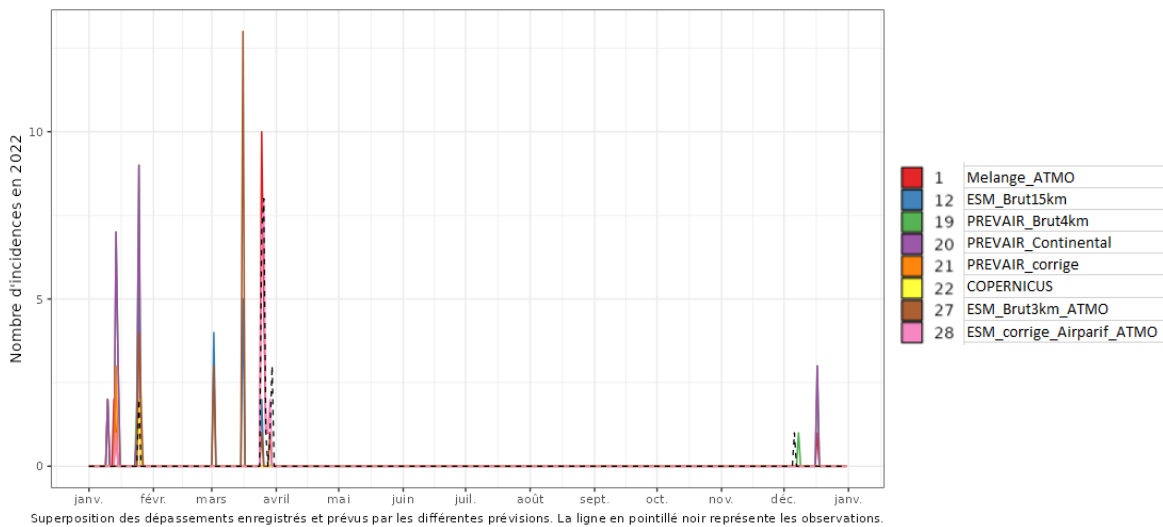


Figure 25 : Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J0 par les différentes prévisions.

Cette figure représente le nombre de dépassements observés (en pointillés) et prévus (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond pour chaque journée de la période considérée.

PM10 moyenne journalière - Nombre de dépassements des 50 µg/m3 (J1) - ANNEE 2022
(2022-01-01 à 2022-12-31)



PM10 moyenne journalière - Nombre de dépassements des 50 µg/m3 (J1) - ANNEE 2022
(2022-01-01 à 2022-12-31)

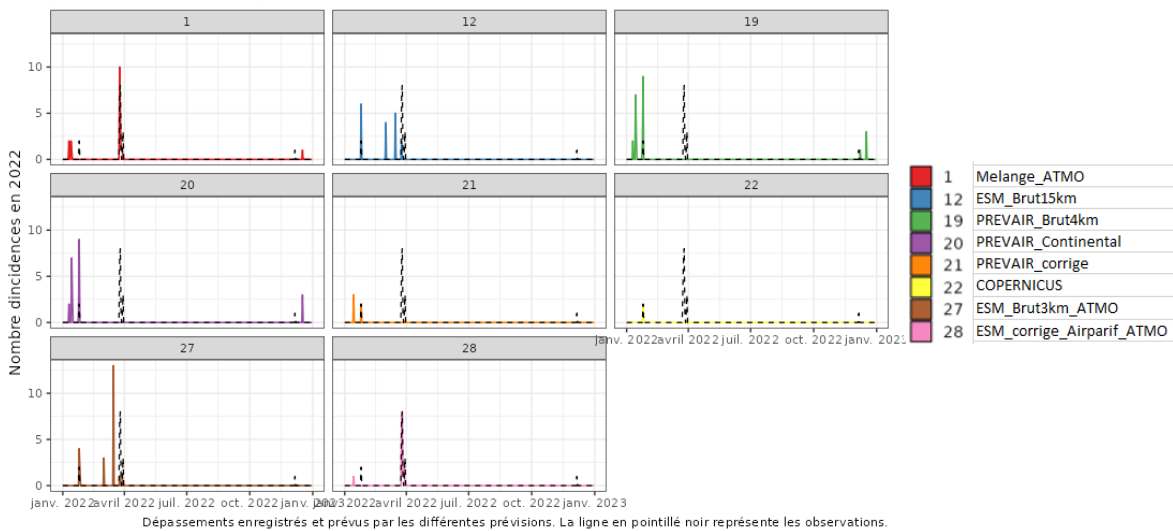


Figure 26 : Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J1 par les différentes prévisions.

L'année 2022 comporte **7 journées de dépassements** du 50 µg/m³ en PM10 (25/01, 25-26-27/03, 29-30/03, 6/12) représentant **23 dépassements aux stations de fond** :

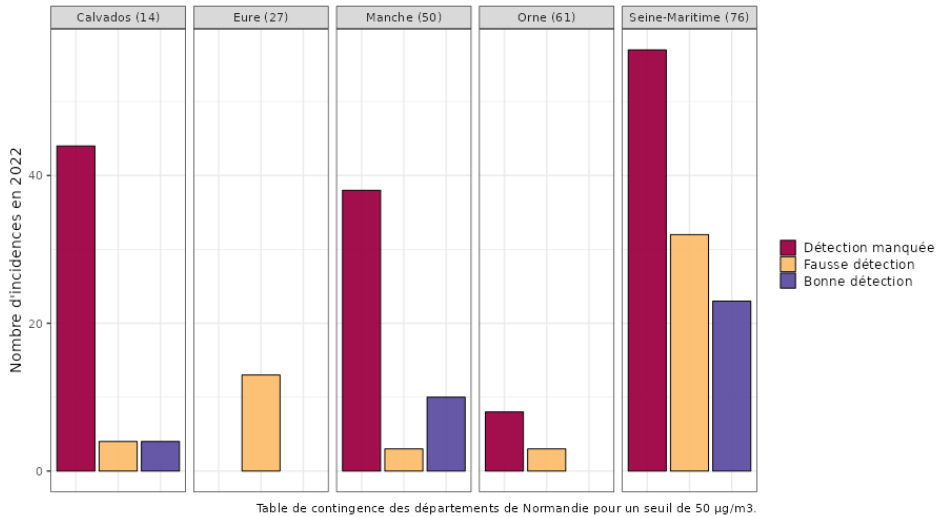
- 2 dépassements le 25/01 : seul COPERNICUS ne les avaient pas prévus en J0 et seuls les modèles Prevoir + Esm_Brut15km les avaient prévus en J+1
- 7 dépassements le 25/3 : seuls Mélange_ATMO et Esmeralda_corrige les avaient prévus en J0 et seuls Mélange_ATMO+tous les modèles Esmeralda en J+1
- 8 dépassements le 26/3 : seuls Mélange_ATMO et Esmeralda_corrige les avaient prévus en J0 et J+1
- 1 dépassements le 27/3 : seuls Mélange_ATMO et Esmeralda_corrige l'avaient prévu en J0 et J+1
- 1 dépassements le 29/3 : aucun modèle ne l'avait prévu en J0 ou J+1
- 3 dépassements le 30/3 : aucun modèle ne l'avait prévu en J0 ou J+1
- 1 dépassements le 6/12 : aucun modèle ne l'avait prévu en J0 ou J+1

2.2.1.2. Eléments de la table de contingence

Les éléments pris en compte pour produire les figures de cette partie sont définis en Annexe 2 – Eléments de table de contingence.

Les figures ci-dessous représentent les valeurs des tables de contingence (Bonne détection, Détection manquée, Fausse détection) cumulées sur les stations de fond pour la région à gauche et déclinées par département.

PM10 moyenne journalière - Table de contingence pour un seuil de 50 µg/m3 (J0) - ANNI
(2022-01-01 à 2022-12-31)



PM10 moyenne journalière - Table de contingence pour un seuil de 50 µg/m3 (J0) - ANNI
(2022-01-01 à 2022-12-31)

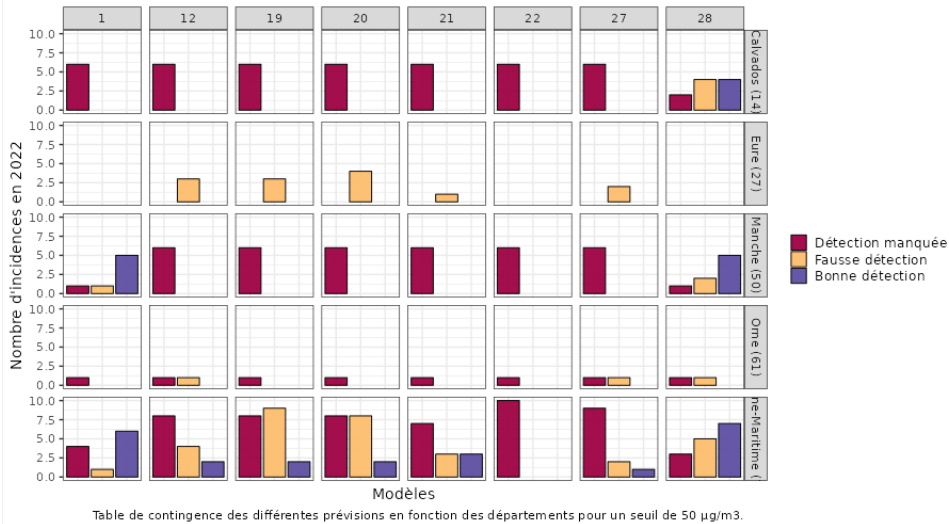


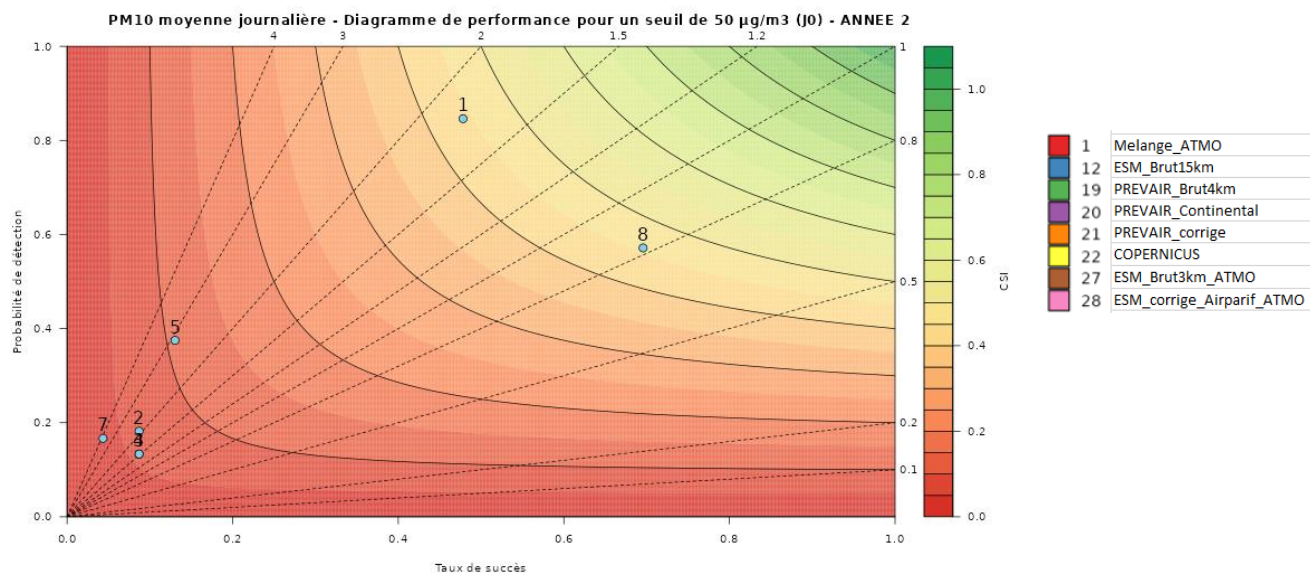
Figure 27 : PM10 - Tables de contingence sur 2022 à l'échéance J0 pour le seuil de 50 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en violet.

Au total, concernant la prévision à **J0** du dépassement du 50µg/m³ aux stations de fond par les 8 modèles utilisés par AtmoNormandie, cela représente :

- 37 bonnes détections, soit 0.09% des cas
- 41710 bonnes non-détections, soit 99.43% des cas
- 147 détections manquées, soit 0.35% des cas
- 55 fausses détections, soit 0.13% des cas

La Seine-Maritime, la Manche et le Calvados sont fortement concernés par ces détections manquées ; l'Eure et la Seine Maritime par les fausses détections.

Le modèle qui a le plus de « bonnes détections » est le modèle Esmeralda_corrige



Le diagramme de performance montre bien que le modèle Esmeralda_corrige (point 8) est celui qui a le meilleur taux de succès suivi de Melange_ATMO (point1) pour les prévisions en J0.

PM10 moyenne journalière - Table de contingence pour un seuil de 50 µg/m3 (J1) - ANNI
(2022-01-01 à 2022-12-31)

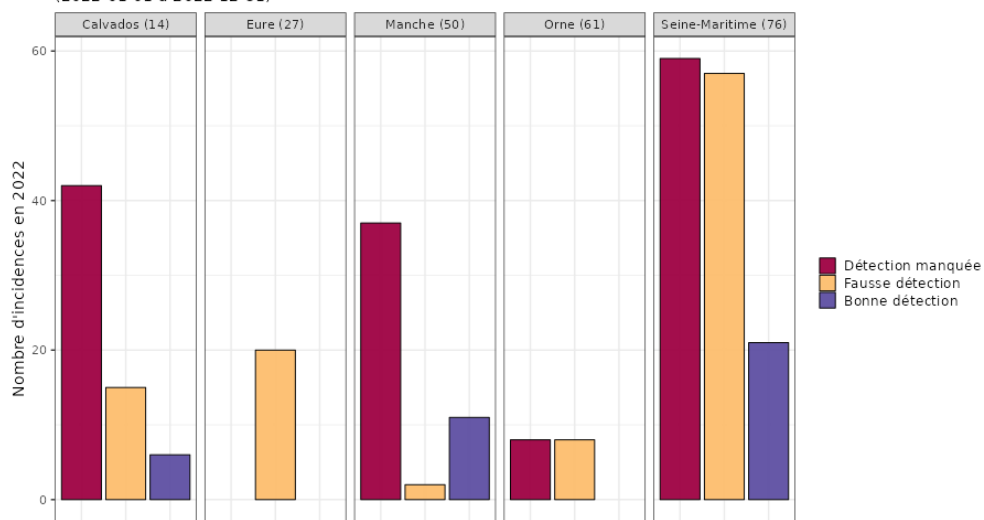


Table de contingence des départements de Normandie pour un seuil de 50 µg/m3.

PM10 moyenne journalière - Table de contingence pour un seuil de 50 µg/m3 (J1) - ANNI
(2022-01-01 à 2022-12-31)

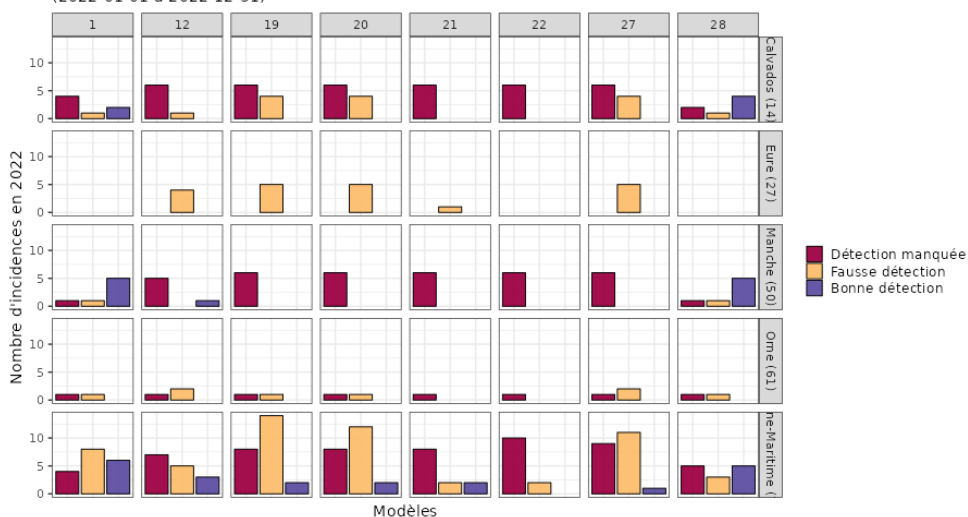


Table de contingence des différentes prévisions en fonction des départements pour un seuil de 50 µg/m3.

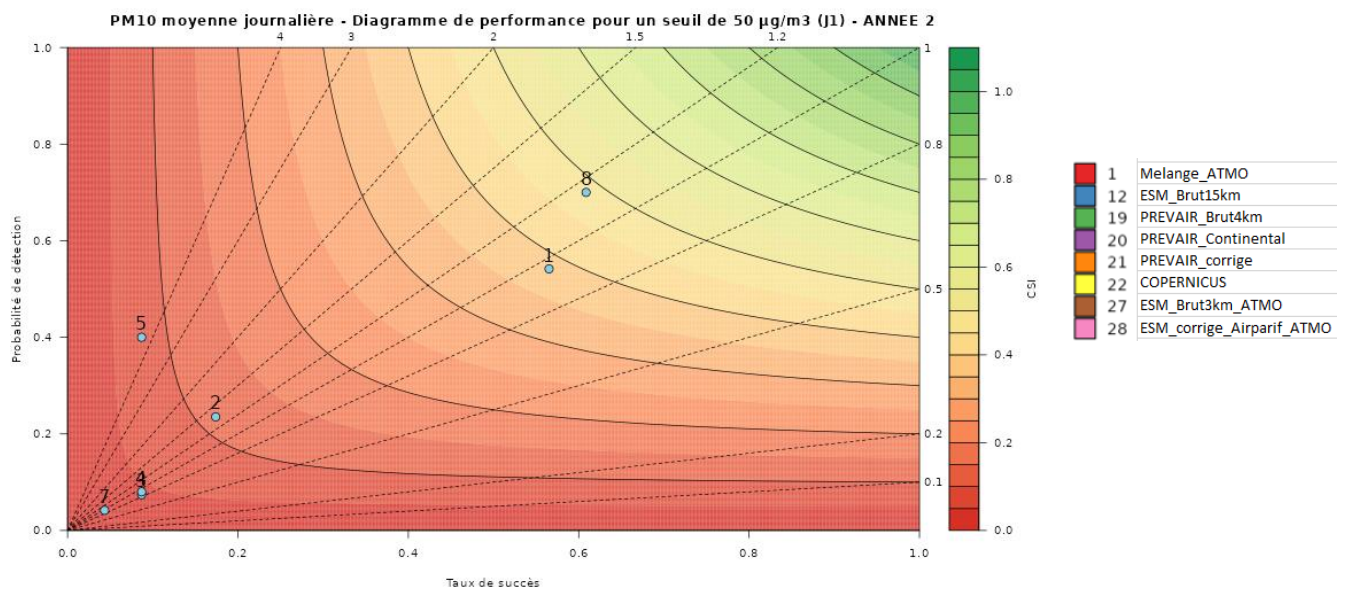
Figure 28 : PM10 - Tables de contingence sur 2022 à l'échéance J1 pour le seuil de 50 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en violet.

Au total, concernant la prévision à **J1** du dépassement du 50µg/m3 aux stations de fond par les 8 modèles utilisés par AtmoNormandie, cela représente :

- 38 bonnes détections, soit 0.09% des cas
- 41583 bonnes non-détections, soit 99.32% des cas
- 146 détections manquées, soit 0.35% des cas
- 102 fausses détections, soit 0.24% des cas

La Seine-Maritime est très fortement concernée par ces détections manquées ou fausses détections.

Le modèle qui a le plus de « bonnes détections » est le modèle Esmeralda_corrige.



Là encore, le diagramme de performance montre bien que le modèle Esmeralda_corrige (point 8) est celui qui a le meilleur taux de succès suivi de Melange_ATMO (point1) pour les prévisions en J+1.

3.2.2.2. Scores en lien avec les critères de l'Arrêté Mesure d'Urgence

Aucun dépassement du seuil d'alerte enregistré en 2022.

4. Annexes

4.1. Description du modèle de prévision Mélange_ATMO

Le modèle de mélange rassemble toutes les prévisions en une seule pour les 4 jours modélisés quotidiennement (de j-1 à j+2). À partir des modèles PREVAIR (3 modèles), ESERALDA (3 modèles) et COPERNICUS (1 modèle), il fournit une carte par jour et par polluant :

- Le maximum horaire de la journée pour le SO₂, le NO₂ et l'O₃
- La moyenne journalière pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}

Une régression Ridge est utilisée pour comparer les mesures de la veille aux modèles disponibles. Des coefficients sont estimés, un par modèle, pour constituer les cartes sur les 4 jours (les mêmes coefficients sont utilisés pour chacun des 4 jours) :

$$\text{Mélange} = \beta_0 + \beta_1\text{Prevair1} + \beta_2\text{Prevair2} + \beta_3\text{Prevair3} + \beta_4\text{ESM1} + \beta_5\text{ESM2} + \beta_6\text{ESM3} + \beta_7\text{Copernicus}$$

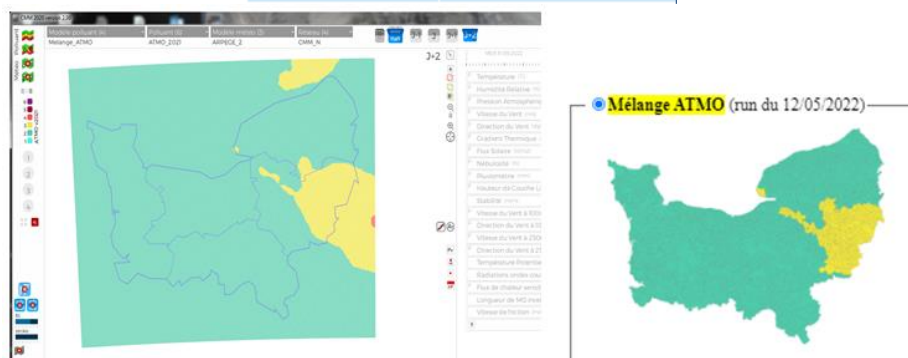
Note 1 : Pour effectuer cette opération, les cartes de base sont interpolées sur une grille kilométrique.

Note 2 : Pour les PM_{2.5} on utilise le rapport PM₁₀/PM_{2.5} à la place des concentrations de PM_{2.5}. Ceci permet de mieux respecter la condition PM_{2.5} < PM₁₀.

La carte calculée pour j-1 est ensuite assimilée avec les mesures aux stations. Pour cela, on utilise un krigeage des erreurs. Note : les mesures des AASQA voisines sont introduites dans ce calcul.

Pour finir, l'indice ATMO est calculé pour chaque maille sur la base de ces résultats.

	Mélange ATMO
Type de modèle	Mélange (7 modèles)
Météo	
Condition limite	
Inventaire des émissions	
Assimilation J-1	oui
Echéance	J-1 à J+2
Pas de temps	max h et moy j
Résolution de sortie	1km * 1km
Polluant	O3, NO2, PM10, PM2.5, SO2
Composition chimique des particules	non
Modèle déterministe	



4.2. Méthode de calcul des scores

Annexe 1 - méthode de calcul des scores

Taux de disponibilité des données fixé à 75%. Cela signifie qu'il faut que sur la période d'évaluation, 75% des couples journaliers (ou horaires) mesures-concentrations prévues soient disponibles pour qu'une station soit prise en compte dans le calcul des scores.

L'ensemble des scores est calculé aux stations puis fait l'objet d'une moyenne selon les critères de la représentation (par zones géographiques, par typologies, par année, ...)

- **Biais** : Estimateur des écarts entre prévisions et observations :

$$\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)$$

N est le nombre de stations de mesure, P_i la valeur de prévision à la station i et O_i la valeur observée à la station.

Si le biais est établi pour le maximum journalier, alors le maximum journalier des 2 valeurs doit être pris, s'il s'agit d'un biais pour la moyenne journalière, alors la moyenne journalière des 2 valeurs doit être prise. Valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- **RMSE** : Root Mean Square Error (RMSE) donne une information sur la qualité du modèle à reproduire les niveaux de concentrations observées. Elle doit être la plus faible possible.

$$\sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

N est le nombre de stations, P_i correspond à la prévision à la station i et O_i l'observation à la station i . Valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Corrélation : Corrélation r informe sur la cohérence des variabilités temporelle ou spatiale des concentrations observées et prévues. Plus celle-ci est proche de 1 plus la prévision est en mesure de reproduire les bonnes variations des concentrations observées.

$$r = \frac{\text{cov}(P, O)}{\sqrt{\text{var}(P)} \cdot \sqrt{\text{var}(O)}} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

N est le nombre de stations, P_i correspond à la prévision à la station i et O_i l'observation à la station i . Valeurs sans dimension. (cov correspond à la covariance et var à la variance).

4.3. Eléments de table de contingence

Annexe 2 - Eléments de table de contingence

En préambule, un dépassement est comptabilisé lorsqu'une valeur observée ou prévue excède strictement le seuil de concentration considéré.

La table de contingence des prévisions d'un modèle se présente comme suit :

	<i>Obs > seuil</i>	<i>Obs < seuil</i>	<i>Total</i>
<i>Prévi > seuil</i>	Bonne détection (a)	Fausse détection (b)	a+b
<i>Prévi < seuil</i>	Détection manquée (c)	Bonne non-détection (d)	c+d
<i>Total</i>	a+c	b+d	a+b+c+d

Bonne détection (a) : bonne prévision de dépassement du seuil

Bonne non-détection (d): bonne prévision de non-dépassement du seuil

Détection manquée (c) : dépassement de seuil observé en station mais non prévu par le modèle

Fausse détection (b) : dépassement de seuil prévu par le modèle mais non observé en station

A partir de ces paramètres, il est possible de calculer plusieurs indicateurs permettant de mieux formaliser les performances d'un modèle vis-à-vis de la détection des dépassements.

POD = « Probability of Detection », ou probabilité de détection

C'est le taux de bonnes prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total de dépassements observés.

$$POD = \frac{a}{a + c}$$

FAR = « False Alarm Ratio », ou taux de détection manquée

C'est le taux de mauvaises prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total de dépassements prévus par le modèle.

$$FAR = \frac{b}{a + b}$$

SR = « Success Ratio », ou taux de succès

C'est le taux de bonnes prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total de dépassements prévus par le modèle.

$$SR = \frac{a}{a + b} = 1 - FAR$$

FB = « Frequency Bias », ou biais de prévision

C'est le biais de prévision des dépassements de seuils. S'il est inférieur à 1, la prévision a tendance à faire plus d'alertes manquées que de détections manquées.

Référentiel technique national / Evaluation des performances des prévisions de la qualité de l'air

Date mise en application : 01/01/2022

12

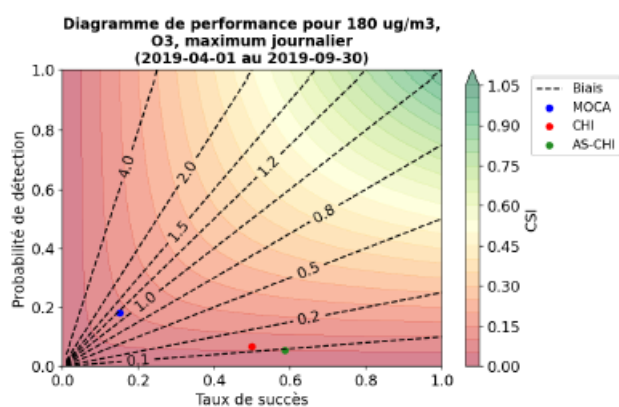
$$FB = \frac{a + b}{a + c}$$

CSI = « Critical Success Index » ou « Threat Score »

C'est le taux de bonnes prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total d'évènements prédits et manqués.

$$CSI = \frac{a}{a + b + c}$$

Cette figure représente les valeurs des tables de contingence (Bonne détection, Détection manquée, Fausse détection) cumulées sur les stations de fond pour la région à gauche et décliné par zone disposant d'un arrêté mesure d'urgence. A afficher pour la prévision de référence.



Cette figure représente une vue complète des performances des prévisions par rapport à la détection des seuils réglementaires (l'objectif est de se situer au plus proche du coin supérieur droit) :

- Axe horizontal : capacité du modèle à faire de bonnes prévisions parmi les détections
- Axe vertical : capacité du modèle à prévoir des dépassements
- Axe transverse : proportion de fausses alertes par rapport aux alertes manquées
- Axe couleur : capacité du modèle à faire de bonnes prévisions sans évènements parasites (fausses alertes, alertes manquées)

Elle s'appuie sur la table de contingence (les données sont considérées d'un bloc – pas de moyenne aux stations) pour obtenir le POD en fonction du TS.



RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmonormandie.fr

Atmo Normandie

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

contact@atmonormandie.fr

