



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES

*Liberté
Égalité
Fraternité*

NOTE
MÉTHODOLOGIQUE

Analyses des données de concentrations en ozone dans l'air extérieur : méthodologie et résultats détaillés

Juillet 2022

Résumé

Cette note méthodologique accompagne la publication du service des données et études statistiques (SDES) intitulée « Pollution à l’ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès ». Elle détaille les données mobilisées et les méthodologies mises en œuvre pour élaborer les divers indicateurs de concentration en ozone présentés dans la publication ainsi que d’autres indicateurs complémentaires. Les tests statistiques appliqués pour l’analyse des tendances sont également présentés ainsi que les résultats associés.

Auteur

Aurélie LE MOULLEC (SDES)

Sommaire

1. Données	4
I. Origine des données.....	4
II. Types de stations de mesure	4
III. Types de surveillance	5
2. Méthodologie	6
I. Indicateurs étudiés.....	6
II. Sélection des données.....	9
III. Tests statistiques	13
3. Résultats	14
I. Moyenne annuelle	14
II. Quatrième valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h.....	19
III. Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m ³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans	24
IV. Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m ³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h par année.....	30
V. SOMO35.....	36
VI. AOT40 végétation	41

1. Données

I. Origine des données

Les données sur les concentrations en ozone mobilisées dans le cadre de la publication « Pollution à l’ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès » sont issues du [dispositif national de surveillance de la qualité de l’air](#) mis en œuvre au niveau régional par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l’air (Aasqa). Ces données sont centralisées dans la base nationale [Geod’air](#), gérée par le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l’air (LCSQA).

Les concentrations en ozone sont mesurées en continu de manière automatique par des stations de mesure implantées en différents points du territoire français, majoritairement dans les villes. Des données sur un pas de temps horaire sont ainsi disponibles ainsi que des statistiques agrégées fournies par le LCSQA. Au moment de la réalisation de cette publication, ces données couvrent la période 2000-2020.

II. Types de stations de mesure

Les stations de mesure sont caractérisées en fonction de leur implantation et des sources d’émissions auxquelles elles sont exposées. Il existe plusieurs types d’implantations (rurale, urbaine et périurbaine) et d’influences (industrielle, fond et trafic).

Seules les stations avec une influence de type « fond » ont été retenues pour la publication. Les situations de fond correspondent à des zones où l’exposition de la population ou de l’environnement (végétation, écosystèmes naturels) à la pollution de l’air est moyenne et éloignée de toutes sources directes d’émissions.

III. Types de surveillance

Le suivi des concentrations dans l'air de polluants peut être réalisé selon quatre méthodes : des mesures fixes, des mesures indicatives, de l'estimation objective et de la modélisation¹. Pour la publication « Pollution à l'ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès », seules des mesures fixes, indicatives et par estimation objective ont été utilisées :

- Les mesures fixes sont des mesures réalisées dans des lieux fixes (même localisation pendant au moins une année) selon les méthodes spécifiées par les directives européennes en vigueur et respectant les objectifs de qualité applicables. Selon la couverture temporelle requise, les mesures peuvent être réalisées de manière continue ou discontinue. Les mesures fixes sont prises en compte pour vérifier le respect des seuils réglementaires.
- Les mesures indicatives sont des mesures, dont l'exigence de qualité est moins stricte que pour les mesures fixes, tout en étant prises en compte pour vérifier le respect des seuils réglementaires. À titre d'exemple, la moyenne annuelle en ozone est considérée comme valide pour des mesures indicatives si le pourcentage de données valides sur l'année est supérieur ou égal à 13 % et si les données sont régulièrement réparties sur l'année. Pour des mesures fixes, le pourcentage de données valides doit être supérieur ou égal à 85 % d'avril à septembre et supérieur ou égal à 70 % durant le reste de l'année (janvier à mars et octobre à décembre).
- L'estimation objective correspond à toute méthode formalisée permettant d'estimer l'ordre de grandeur des niveaux de concentrations en polluants en un point donné ou sur une aire géographique et répondant aux objectifs de qualité fixés par les directives européennes en vigueur, ces derniers étant moins stricts que pour les mesures indicatives. Les mesures par estimation objective ne sont pas prises en compte pour les comparaisons aux seuils réglementaires. À titre d'exemple, la moyenne annuelle en ozone est considérée comme valide pour des mesures par estimation objective si le pourcentage de données valides sur l'année est supérieur ou égal à 13 % sans critère de répartition sur l'année.

¹ [Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air, LCSQA, février 2017](#)

2. Méthodologie

I. Indicateurs étudiés

Divers indicateurs, réglementaires ou non, existent pour caractériser les concentrations en ozone dans l'air extérieur. Le *tableau 1* présente les indicateurs étudiés dans le cadre de la publication « Pollution à l'ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès ». Trois d'entre eux figurent dans la publication (moyenne annuelle, pics estivaux, SOMO35). Les autres sont détaillés dans la dernière partie de ce document.

Tableau 1 : liste des indicateurs étudiés

Intitulé de l'indicateur	Statut	Objectif	Commentaire
Moyenne annuelle	Non réglementaire		Cet indicateur permet de suivre l'évolution des niveaux moyens d'ozone
4 ^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h	Non réglementaire	Protection de la santé à court terme	Cet indicateur est recommandé par le centre thématique européen sur la qualité de l'air de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) pour suivre les pics estivaux d'ozone. Il a par ailleurs été utilisé par le LCSQA dans une analyse de tendances publiée en 2017.
Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m ³ en maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h en moyenne sur 3 ans	Réglementaire	Protection de la santé à court terme	Cet indicateur est basé sur un seuil réglementaire : 120 µg/m ³ en maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne sur trois ans. Ce seuil, qui doit être respecté depuis 2010, correspond à une valeur cible : un niveau fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.
Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m ³ en maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h par année	Réglementaire	Protection de la santé à court terme	Cet indicateur est basé sur un seuil réglementaire : 120 µg/m ³ en maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h par année. Ce seuil est un objectif à long terme : un niveau à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine.
SOMO35	Non réglementaire	Protection de la santé à long terme	Cet indicateur est recommandé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) Europe pour l'exposition chronique à l'ozone.
AOT40 végétation	Réglementaire	Protection végétation	Cet indicateur vise à estimer l'impact de la pollution à l'ozone sur la végétation.

Les deux seuils réglementaires fixés pour la protection de la santé humaine à court terme (valeur cible et objectif à long terme) sont basés sur la même statistique, le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h. Pour une journée donnée, cette statistique se calcule de la manière suivante :

$$C_j = \text{Max}_{i=1}^{i=24}(C_i) \text{ où } C_i = \frac{\sum_{i-7}^i H_i}{n_{H \text{ valides}}}$$

où C_j représente le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h du jour j , i l'heure du jour j , C_i la moyenne glissante sur 8 h de l'heure i , H_i la concentration horaire de l'heure i (la somme est calculée sur l'ensemble des données horaires valides parmi l'heure i et les sept heures précédentes), et $n_{H \text{ valides}}$ le nombre de ces concentrations horaires valides.

Le nombre de jours où les seuils réglementaires sont dépassés pour une année donnée est obtenu

$$\text{ainsi : } N_{dep} = \sum_{j=1}^{j=365} X_j \text{ avec } \begin{cases} X_j = 1 \text{ si } C_j > S \\ X_j = 0 \text{ si } C_j \leq S \end{cases}$$

où N_{dep} représente le nombre de jours de dépassement sur l'année, j le jour de l'année, C_j le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h arrondi à l'entier et S le seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour la valeur cible (pas plus de 25 jours annuels de dépassement en moyenne sur trois ans du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h), le nombre moyen de jours de dépassement est calculé de la manière suivante :

$$N_{dep \text{ moy}} = \frac{\sum_{a=1}^{a=3} N_{dep}}{n_{valides}}$$

où $N_{dep \text{ moy}}$ correspond au nombre moyen de jours de dépassement, a l'année (compris entre 1 et 3), N_{dep} le nombre de jours de dépassement valides de l'année a et $n_{valides}$ le nombre d'années pour lesquelles N_{dep} est valide ($n_{valides}$ peut être compris entre un et trois).

Le SOMO35 correspond au cumul des différences de concentrations entre le maxima journalier des moyennes glissantes sur 8 heures et $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 35 ppb). La valeur de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été retenue compte tenu des incertitudes sur la forme de la fonction concentration-effet à de très faibles concentrations. Cet indicateur n'est accompagné d'aucun seuil.

$$SOMO35 = \sum_{j=1}^{j=365} \max \{0, C_j - 70 \mu\text{g}/\text{m}^3\}$$

où j représente le jour de l'année et C_j le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h.

Dans la publication « Pollution à l'ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès », il a été décidé de présenter les résultats du SOMO35 car il s'agit d'un indicateur européen très utilisé, notamment dans le cadre des travaux de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, par l'Agence européenne pour l'environnement et son centre thématique. Cet indicateur est recommandé pour l'exposition chronique à l'ozone généralement plus importante que l'exposition aiguë.

L'OMS préconise par ailleurs dans ses guidelines publiées en septembre 2021, deux autres seuils :

- 100 µg/m³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour l'exposition aiguë ;
- 60 µg/m³ en pic saisonnier, moyenne des maxima journaliers des moyennes glissantes sur 8 h sur les six mois consécutifs où la concentration en ozone a été la plus élevée, pour l'exposition chronique.

Les tests statistiques présentés dans la partie VI ont été réalisés pour ces deux seuils. Pour le seuil défini pour l'exposition aiguë, les résultats sont identiques à ceux obtenus pour le seuil réglementaire de 120 µg/m³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h (objectif à long terme). De même, les résultats pour le pic saisonnier sont similaires à ceux du SOMO35. Compte tenu de ces éléments, il a été décidé de ne pas présenter les résultats des tests pour les deux seuils préconisés par l'OMS dans les guidelines publiées en 2021.

L'indicateur AOT40 signifie Accumulated Exposure Over Threshold 40 où 40 représente 40 ppb, soit 80 µg/m³. L'AOT40 végétation est calculé sur la période de trois mois de mai à juillet en regardant la période de photosynthèse (entre 8 h et 20 h) :

$$AOT40_{\text{végétation}} = \sum_{\substack{j=01/05 \\ i=8 \\ j=31/07}}^{i=20} (H_{i,j} - 80)$$

où « $H_{i,j}$ » est la mesure horaire valide² d'ozone supérieure à 80 µg/m³, de l'heure i et du jour j .

²Une mesure horaire est considérée comme valide si au moins 75 % des données quart-horaire sont valides.

II. Sélection des données

A. Filtres par année

Pour chaque indicateur listé dans le tableau 1, une sélection des données considérées comme valides est réalisée selon des règles propres à chaque indicateur. Les paragraphes ci-dessous détaillent ces règles.

Moyenne annuelle

Les statistiques sont fournies par le LCSQA par station de mesure et par année et respectent les règles de calculs du [Guide méthodologique pour le calcul des statistiques relatives à la qualité de l'air](#) publié par le LCSQA. Les mesures retenues sont celles de type fixe, indicative et estimation objective étant donné que la moyenne annuelle en ozone n'est pas associée à un seuil réglementaire et a vocation à estimer les niveaux moyens d'ozone et leurs évolutions. Conformément au guide méthodologique cité précédemment, seules les moyennes annuelles suivantes sont retenues :

- Pour les mesures fixes, une moyenne annuelle est considérée comme valide si le pourcentage de données valides est supérieur ou égal à 85 % d'avril à septembre et supérieur ou égal à 70 % durant le reste de l'année (janvier à mars et octobre à décembre).
- Pour les mesures indicatives, une moyenne annuelle est considérée comme valide si le pourcentage de données valides sur l'année est supérieur ou égal à 13 % et si les données sont régulièrement réparties sur l'année.
- Pour les mesures par estimation objective, une moyenne annuelle est considérée comme valide si le pourcentage de données valides sur l'année est supérieur ou égal à 13 % sans critère de répartition sur l'année.

Quatrième valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h

Il ne s'agit pas d'une statistique réglementaire. N'étant par ailleurs pas fournie par le LCSQA, elle a été calculée par le SDES à partir des données horaires par station de mesure et année en appliquant les règles du guide méthodologique pour le calcul des statistiques relatives à la qualité de l'air. L'exactitude des résultats obtenus a été vérifiée en comparant la valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h calculée à partir des données horaires à celle fournie par le LCSQA. Les mêmes règles que pour les moyennes annuelles sont ensuite appliquées selon le type de mesure et les pourcentages de données valides sur l'année.

Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m³ en moyenne glissante sur 8h par année et en moyenne sur trois ans

Ces deux indicateurs sont des statistiques réglementaires calculées par le LCSQA selon le guide méthodologique cité précédemment.

SOMO35

Il ne s'agit pas d'une statistique réglementaire. N'étant par ailleurs pas fournie par le LCSQA, elle a été calculée par le SDES à partir des maxima journaliers des moyennes glissantes sur 8 h calculées précédemment. L'OMS précise que cet indicateur est sensible aux valeurs manquantes et qu'une correction est nécessaire en appliquant la formule suivante :

$$SOMO35 \text{ corrigé} = SOMO35 * \frac{365}{N_{valide}}$$

où N_{valide} correspond au nombre de jours où le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h est valide.

Conformément aux recommandations de l'OMS ([Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution](#), WHO Europe, 2008), seules les stations avec un nombre de jours valides supérieur ou égal à 273 (soit 75 % de l'année) sont retenues. L'OMS précise également que les jours sans données ne doivent pas être répartis sur une seule saison. Afin de respecter ce critère, seules les stations avec un nombre de jours valides supérieur ou égal à 156 d'avril à septembre sont retenues (soit 85 %) et un nombre de jours valides supérieur ou égal à 127 durant le reste de l'année (janvier à mars et octobre à décembre) sont retenues.

AOT40 végétation

Cette statistique réglementaire est fournie par le LCSQA et calculée par le LCSQA selon le guide méthodologique cité précédemment. Cet indicateur vise à estimer l'impact de la pollution à l'ozone sur la végétation et n'est généralement étudié qu'en milieu rural.

B. Filtre sur la période

Afin de ne retenir que les stations suffisamment représentatives de la période étudiée, seules celles avec des données valides pour au minimum 75 % des années de la période 2000-2020, soit 16 ans, sont retenues. Ce critère de 75 % a été démontré comme étant le plus robuste dans le cadre du projet européen CityZen (Colette et al., 2011). Il a également été utilisé par le LCSQA en 2017 ([Analyse de tendances nationales en matière de qualité de l'air](#), LCSQA, septembre 2017, 111 p.).

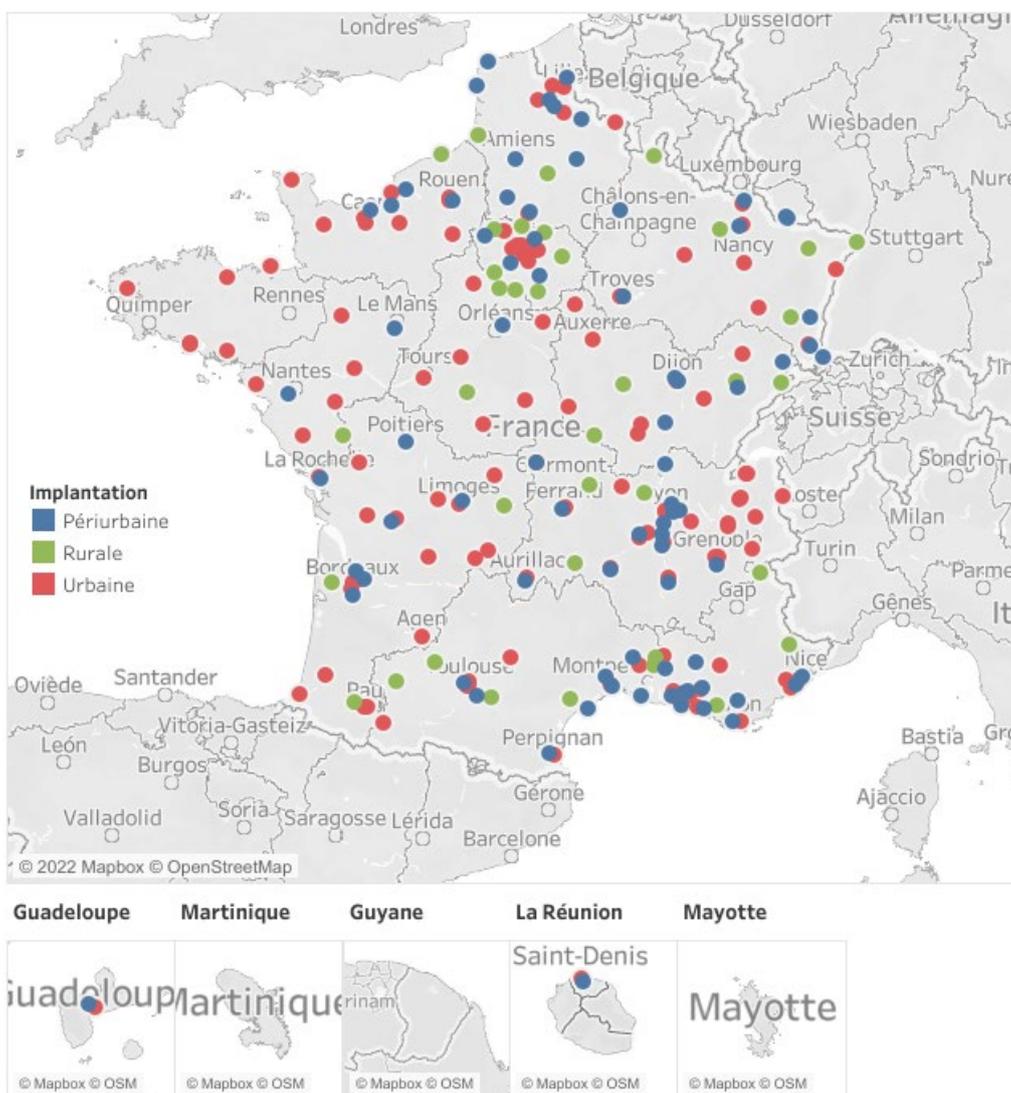
C. Nombre de stations retenues

Le nombre de stations retenues après application des filtres présentés dans les parties A. Filtres par année et B. Filtre sur la période est détaillé dans le *tableau 2* et sur la *carte 1*.

Tableau 2 : nombre de stations retenues sur la période 2000-2020 par type de stations de mesure

Intitulé de l'indicateur	Stations urbaines de fond	Stations périurbaines de fond	Stations rurales de fond
Moyenne annuelle	106	62	35
4 ^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h	106	61	35
Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m ³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur 3 ans	120	72	37
Nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m ³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h par année	124	78	37
SOMO35	104	60	35
AOT40 végétation	-	-	31

Carte 1 : exemple d'implantation des stations de mesures retenues, pour le nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h par année



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022

D. Agrégation au niveau national

À partir des statistiques aux stations de mesure, des moyennes par type de station (urbaines de fond, périurbaines de fond, rurales de fond, toutes stations de fond confondues) ont été calculées par le SDES pour les différents indicateurs étudiés.

III. Tests statistiques

Les tests statistiques suivants sont appliqués aux différents indicateurs étudiés pour chaque station et par type de station (urbaines de fond, périurbaines de fond, rurales de fond, toutes stations de fond confondues) :

- Test d'hypothèse de Shapiro-Wilk : il permet de vérifier si les données étudiées suivent ou non une loi normale. Deux hypothèses sont considérées : H_0 l'échantillon suit une loi normale et H_1 l'échantillon ne suit pas une loi normale. Le test produit un nombre appelé p-value qui correspond à la probabilité d'obtenir les données sous l'hypothèse H_0 . Si la p-value est inférieure ou égale à 5 %, l'hypothèse H_0 est rejetée et l'hypothèse H_1 est acceptée.
- Test non paramétrique de Mann-Kendall : il recherche la présence d'une tendance. L'hypothèse H_0 testée est l'absence de tendance. Si la p-value est inférieure ou égale à 5 %, l'hypothèse H_0 est rejetée. Ce test est associé à la méthode de Sen-Theil qui permet de déterminer la pente de la droite de régression.
- Test non paramétrique de Pettitt : il vise à détecter des changements de moyenne dans la série de données. L'hypothèse H_0 est l'absence de rupture dans la chronique. Si la p-value est inférieure ou égale à 5 %, l'hypothèse H_0 est rejetée. Pour des données normalement distribuées le test paramétrique de Buishand est appliqué à la place du test de Pettitt.
- Méthode de Darken : elle permet d'identifier une inversion de tendance.

Il existe également le test de Mann-Kendall modifié qui permet de prendre en compte l'autocorrélation des données mais il ne peut être appliqué que sur des séries avec minimum 40 données. Dans notre cas, avec 21 données annuelles (2000 à 2020), celui-ci n'a pas été réalisé.

3. Résultats

Les tests statistiques sont présentés dans la partie VI. Ces tests ont été mis en œuvre avec le logiciel libre R à partir de l'outil HYPE (outil d'analyse statistique des séries temporelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines) développé par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema). Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

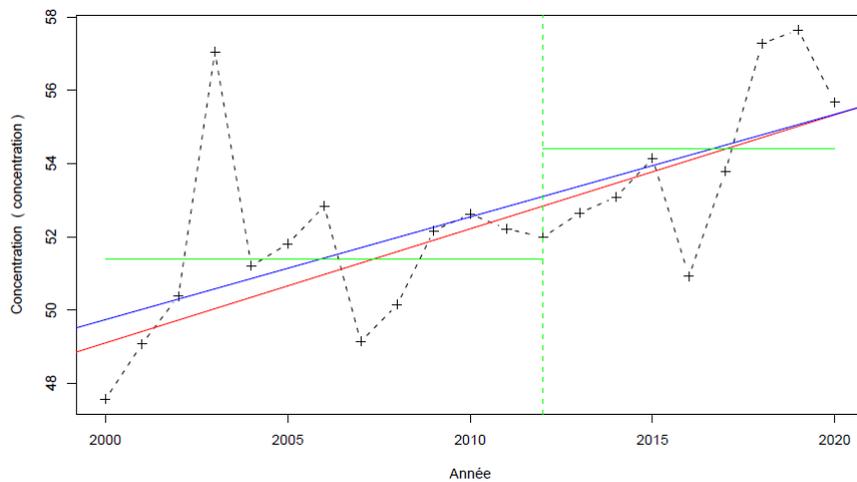
I. Moyenne annuelle

A. Toutes stations de fond confondues

Les concentrations moyennes annuelles toutes stations de fond confondues suivent une loi normale et une tendance significative à la hausse (Figure 1). Un changement de moyenne significatif à la hausse est identifié en 2012 et aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 1: résultats des analyses de tendances pour la concentration moyenne annuelle en ozone toutes stations de fond confondues

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendances (Mann-Kendall)
- Tendances (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval=Shapiro=5e-01)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	3.12e-01 concentration /an	1.6e-04
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	2.8e-01 concentration /an	1.8e-03

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	01/01/2012	<0.05
Inversion de tendance		Pas d'inversion significative détectée

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	51.4 concentration
Après rupture	54.4 concentration

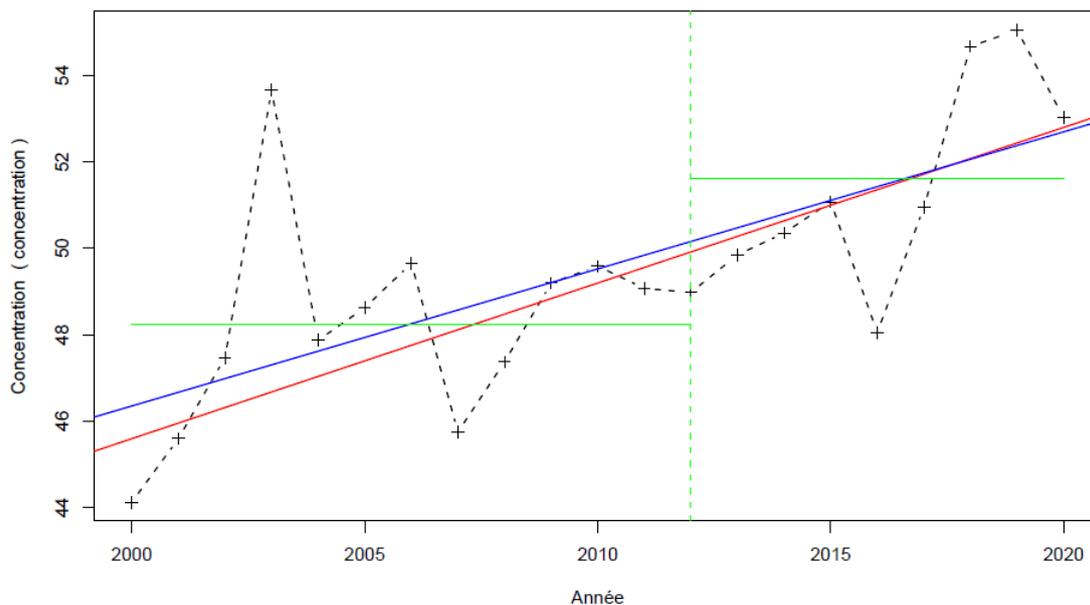
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

B. Stations urbaines de fond

Les concentrations moyennes annuelles des stations urbaines de fond suivent une loi normale et une tendance significative à la hausse (Figure 2). Un changement de moyenne significatif à la hausse est identifié en 2012 et aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 2 : résultats des analyses de tendances pour la concentration moyenne annuelle en ozone pour les stations urbaines de fond

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendance (Mann-Kendall)
- Tendance (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 6.6e-01)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	3.6e-01 concentration /an	1.2e-04
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	3.17e-01 concentration /an	6.3e-04

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	01/01/2012	<0.05
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	48.23 concentration
Après rupture	51.63 concentration

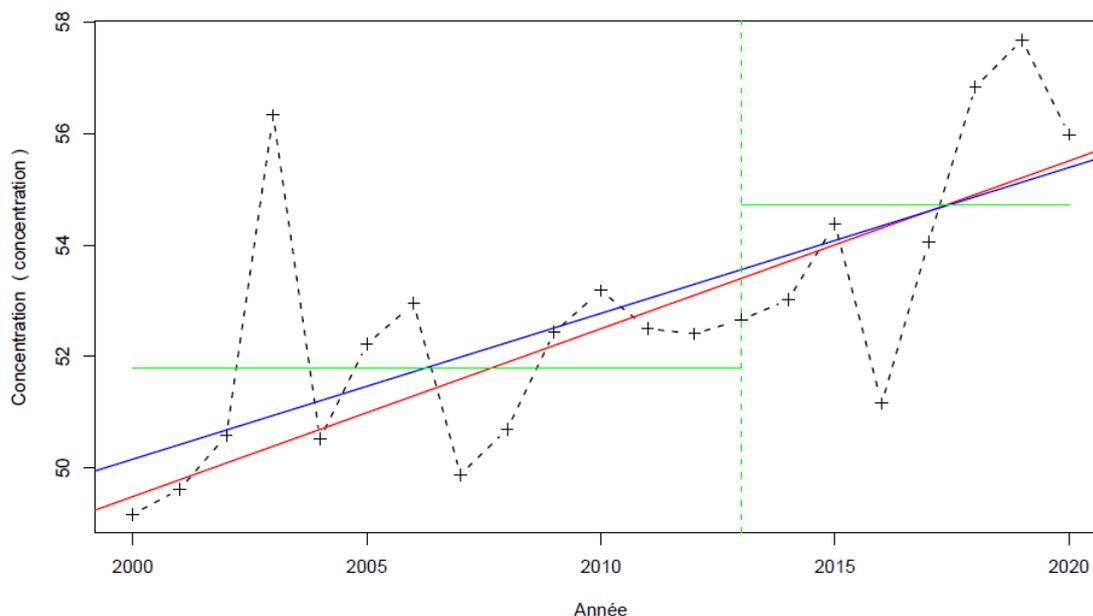
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

C. Stations périurbaines de fond

Les concentrations moyennes annuelles des stations périurbaines de fond suivent une loi normale et une tendance significative à la hausse (Figure 3). Un changement de moyenne significatif à la hausse est identifié en 2013 et aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 3 : résultats des analyses de tendances pour la concentration moyenne annuelle en ozone pour les stations périurbaines de fond

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendance (Mann-Kendall)
- Tendance (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 2.9e-01)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	3.01e-01 concentration /an	1.2e-04
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	2.61e-01 concentration /an	8.5e-04

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	01/01/2013	<0.05
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	51.8 concentration
Après rupture	54.73 concentration

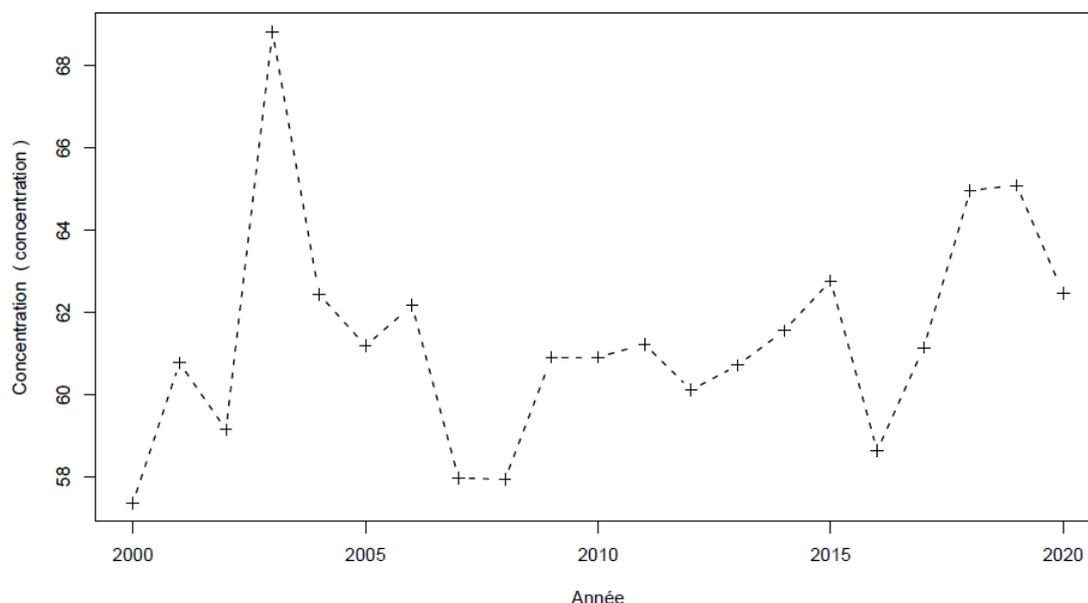
Source : Geod'air, juillet 2021. **Traitements :** SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

D. Stations rurales de fond

Les concentrations moyennes annuelles des stations rurales de fond suivent une loi normale et aucune tendance significative n'est détectée (*Figure 4*). Aucun changement de moyenne significatif et d'inversion de tendance significative ne sont identifiés.

Figure 4 : résultats des analyses de tendances pour la concentration moyenne annuelle en ozone pour les stations rurales de fond

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	8.5e-02
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	3e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 8.7e-02)

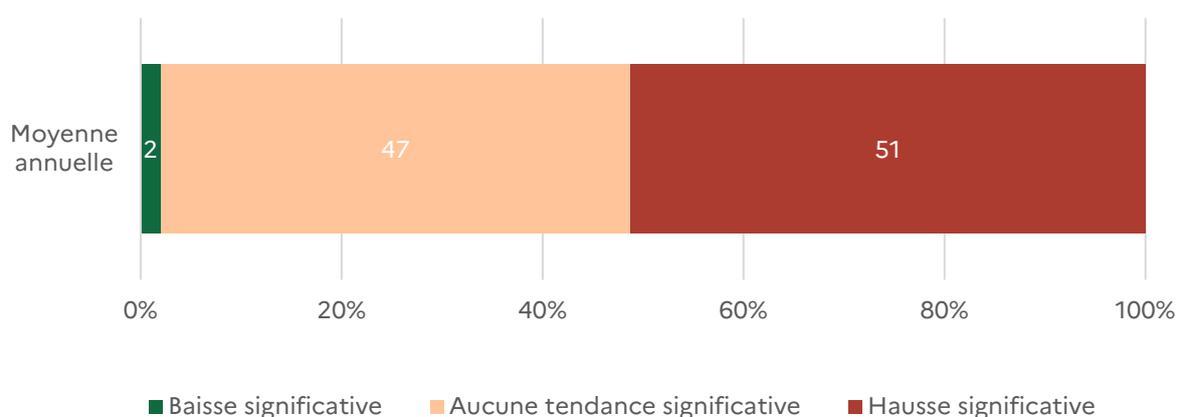
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

E. Tendances aux stations de mesure

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall et la méthode de Sen-Theil ont également été appliqués directement sur les moyennes annuelles mesurées aux stations de mesure qui remplissaient les critères de sélection précisés dans la partie V. Les résultats obtenus indiquent que la concentration annuelle croît significativement sur la période 2000-2020 pour 51 % des stations de mesure alors que seules 2 % des stations de mesure enregistrent une baisse significative. Pour les autres stations (47 %), les mesures ne permettent pas de détecter de tendance statistiquement significative (*graphique 1*).

Graphique 1 : résultats des analyses de tendances pour la moyenne annuelle en ozone aux stations de mesure

En % de stations de mesure



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022

II. Quatrième valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h

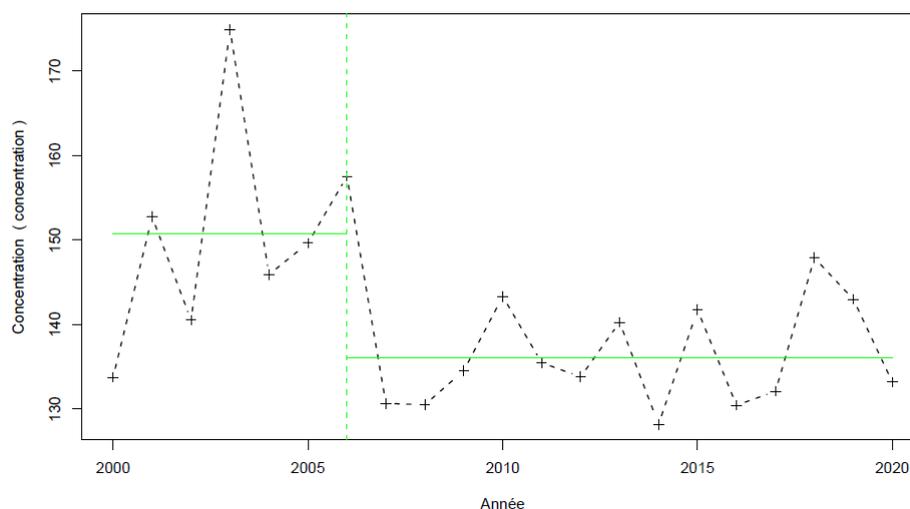
Cet indicateur est celui utilisé dans la publication pour mesurer l'intensité des pics d'ozone.

A. Toutes stations de fond confondues

La 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h toutes stations de fond confondues ne suit pas une loi normale (*Figure 5*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006 et aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 5 : résultats des analyses de tendances pour la 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en ozone toutes stations de fond confondues

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 9.8e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.6e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	7.8e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	4.1e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	150.72 concentration
Après rupture	136.08 concentration

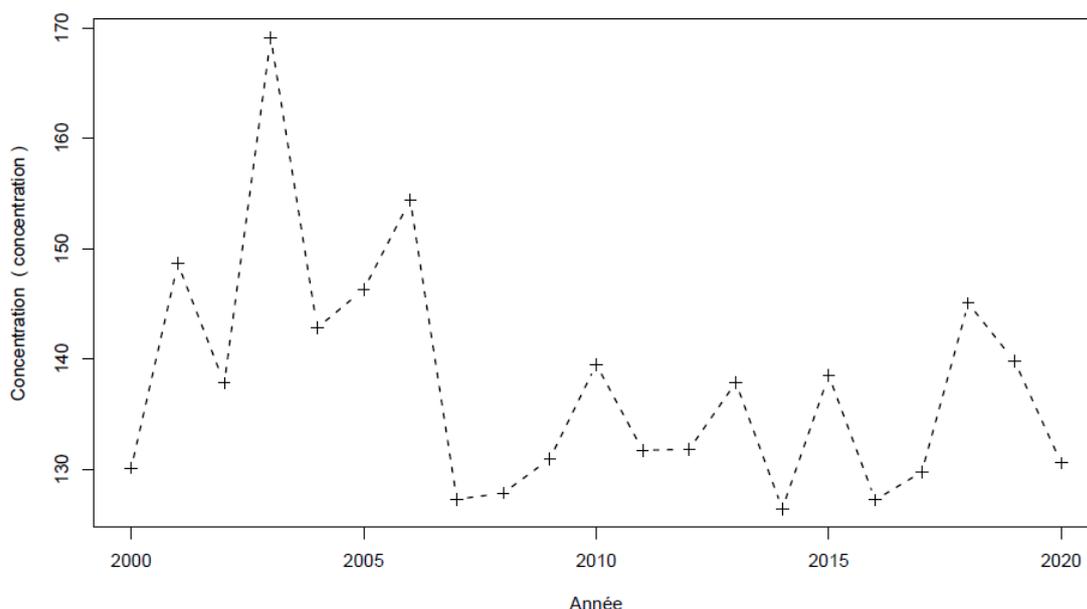
Source : Geod'air, juillet 2021. **Traitements :** SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

B. Stations urbaines de fond

La 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations urbaines de fond ne suit pas une loi normale (*Figure 6*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni de changement de moyenne significatif, ni d'inversion de tendance significative.

Figure 6 : résultats des analyses de tendances pour la 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en ozone pour les stations urbaines de fond

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	2,9e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	9,4e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Petitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 1e-02)

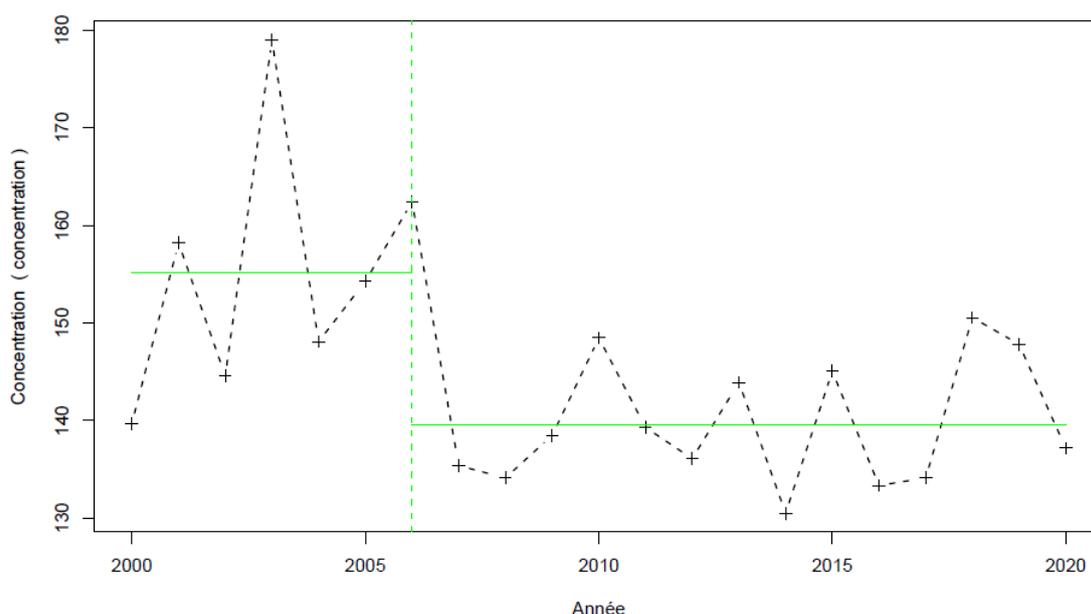
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

C. Stations périurbaines de fond

La 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations périurbaines de fond ne suit pas une loi normale (*Figure 7*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006.

Figure 7 : résultats des analyses de tendances pour la 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en ozone pour les stations périurbaines de fond

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 2.2e-02)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.2e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	5.3e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	2.8e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	155.17 concentration
Après rupture	139.56 concentration

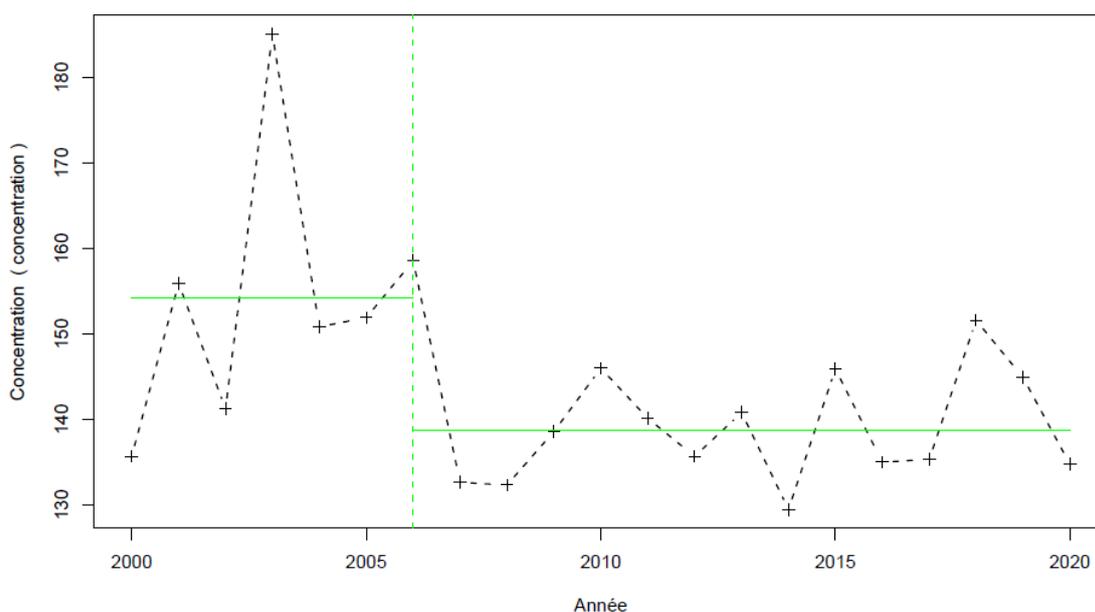
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

D. Stations rurales de fond

La 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations rurales de fond ne suit pas une loi normale (*Figure 8*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006.

Figure 8 : résultats des analyses de tendances pour la 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en ozone pour les stations rurales de fond

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 2.4e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.2e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	9.4e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	3.4e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	154.18 concentration
Après rupture	138.79 concentration

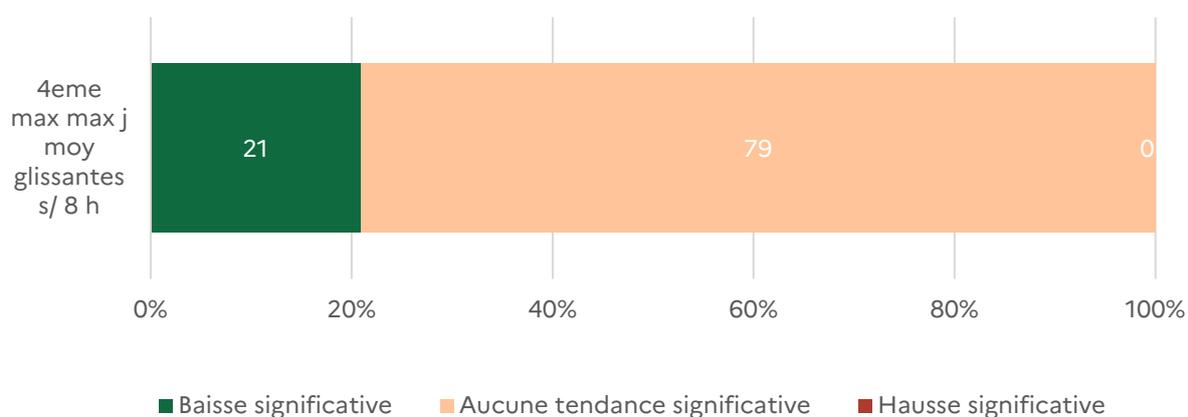
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

E. Tendances aux stations de mesure

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall et la méthode de Sen-Theil ont également été appliqués directement sur 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h aux stations de mesure qui remplissaient les critères de sélection précisés dans la partie V. Les résultats obtenus indiquent que l'indicateur a baissé de manière significative pour 21 % des stations de mesure. Pour les autres stations (79 %), les mesures ne permettent pas de détecter de tendance statistiquement significative (*graphique 2*).

Graphique 2 : résultats des analyses de tendances pour la 4^e valeur la plus élevée de l'année du maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en ozone aux stations de mesure

En % de stations de mesure



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022

III. Nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans

Cet indicateur est basé sur un seuil réglementaire fixé pour la protection de la santé à court terme : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne sur trois ans. Cette valeur cible doit être respectée depuis 2010.

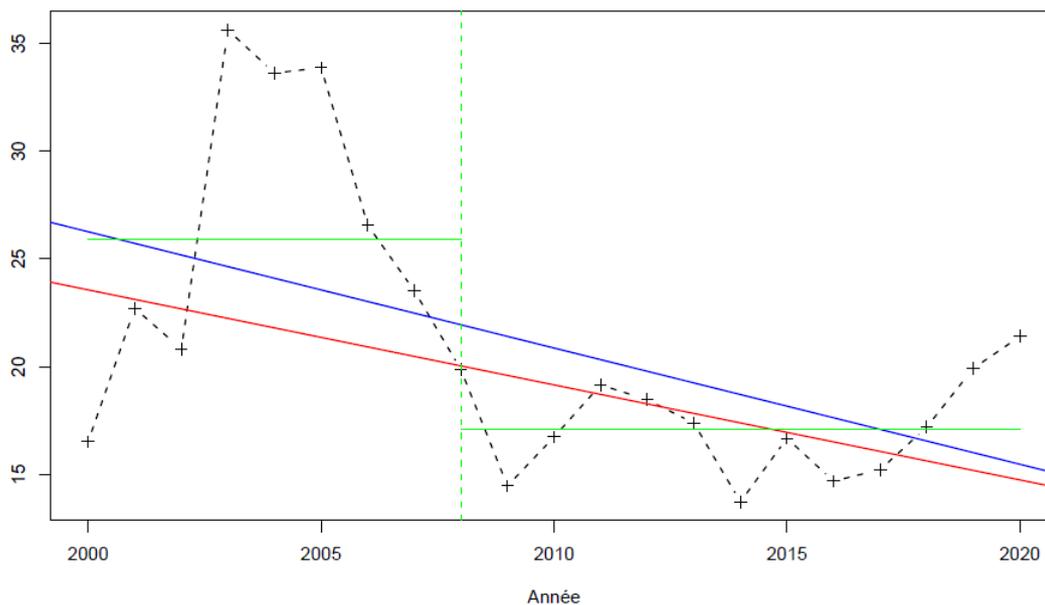
Cet indicateur n'est pas détaillé dans la publication « Pollution à l'ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès » mais des informations sur le pourcentage de stations de mesure pour lesquelles le seuil réglementaire est dépassé en fond urbain figurent dans les données détaillées du bilan annuel de la qualité de l'air extérieur en France (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-pollution-de-lair-par-lozone-o3>).

A. Toutes stations de fond confondues

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour toutes les stations de fond confondues ne suit pas une loi normale (*Figure 9*). L'indicateur a une tendance significative à la baisse avec un changement de moyenne significatif à la baisse identifié en 2008. Aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 9 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans toutes stations de fond confondues

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendance (Mann-Kendall)
- Tendance (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 3e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-4.4e-01 concentration /an	4.2e-02
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	-5.39e-01 concentration /an	1.7e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2008	1e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	25.91 concentration
Après rupture	17.1 concentration

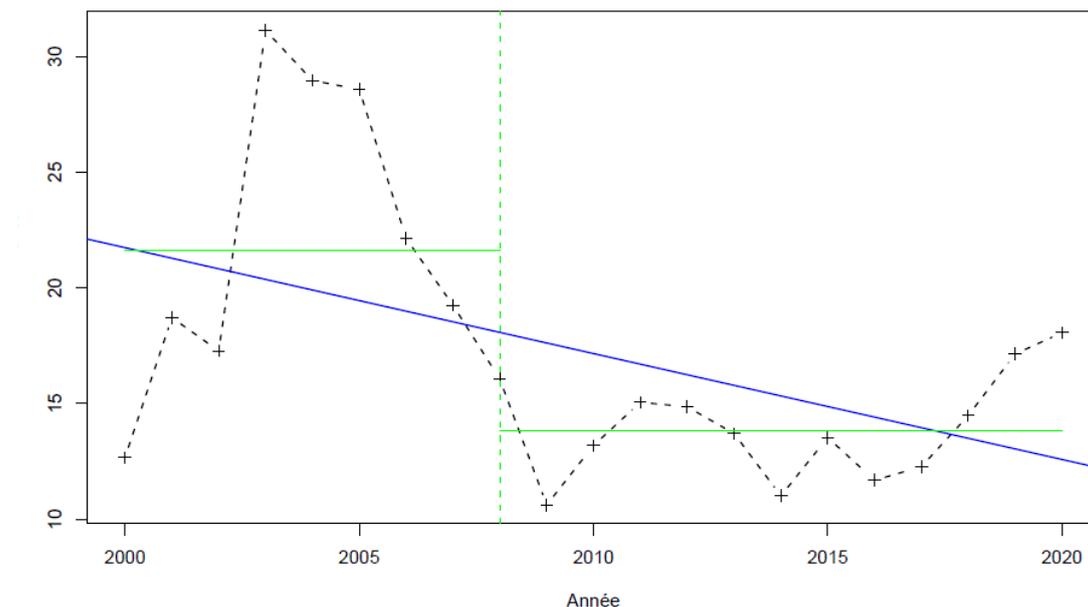
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

B. Stations urbaines de fond

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour les stations urbaines de fond ne suit pas une loi normale (Figure 10). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2008.

Figure 10 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour les stations urbaines de fond

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendance (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 3.9e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	5.6e-02
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	-4.58e-01 concentration /an	2.9e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2008	1e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	21.64 concentration
Après rupture	13.8 concentration

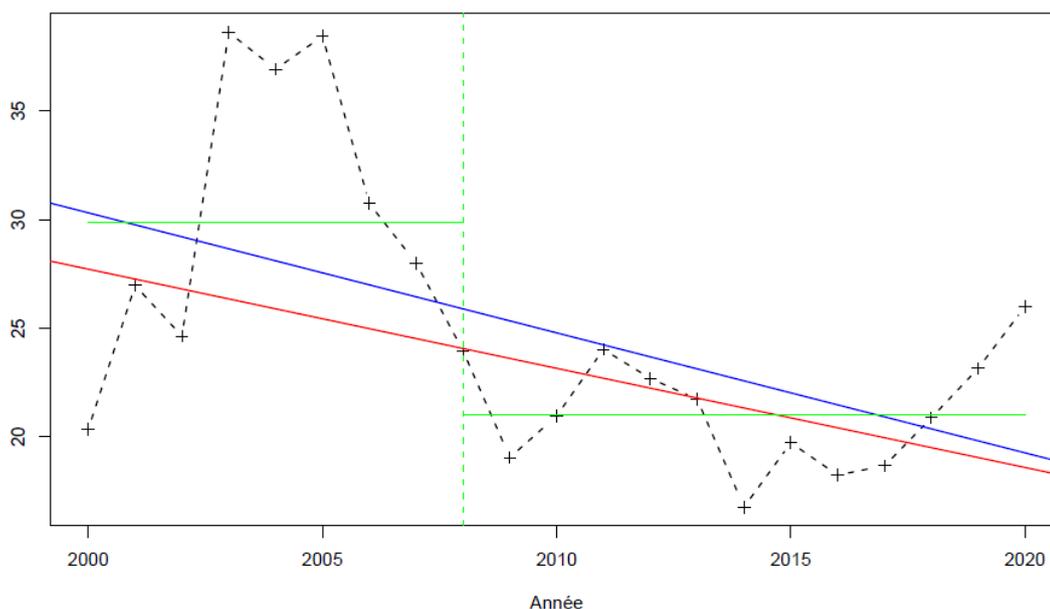
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

C. Stations périurbaines de fond

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour les stations périurbaines de fond ne suit pas une loi normale (Figure 11). Cet indicateur a une tendance significative à la baisse avec un changement de moyenne significatif à la baisse identifié en 2008. Aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 11 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour les stations périurbaines de fond

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendance (Mann-Kendall)
- Tendance (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 8.9e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-4.56e-01 concentration /an	1.9e-02
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	-5.52e-01 concentration /an	1.4e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2008	8.3e-03
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	29.85 concentration
Après rupture	21 concentration

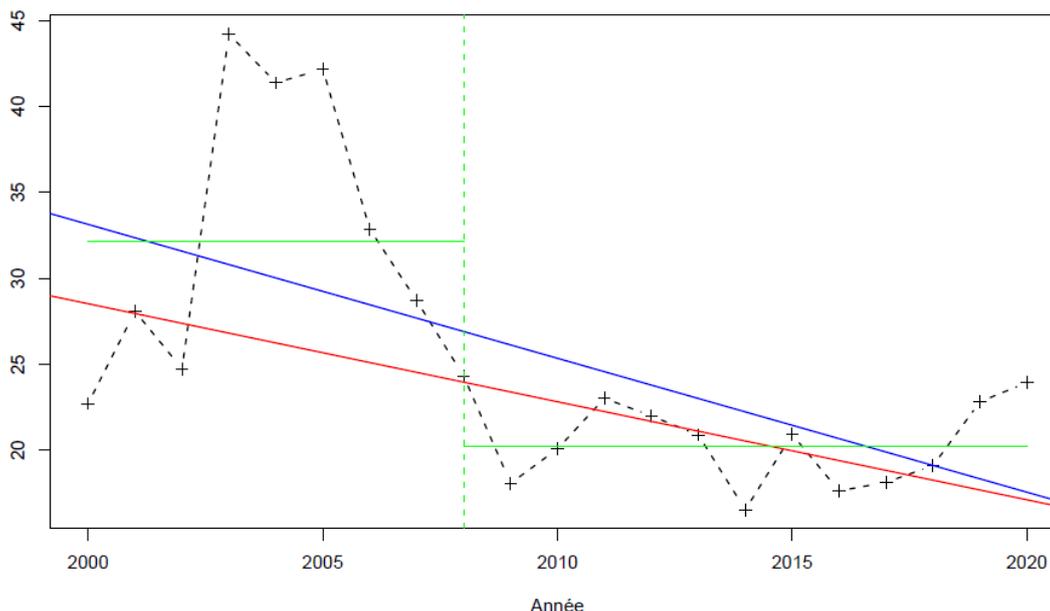
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

D. Stations rurales de fond

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour les stations rurales de fond ne suit pas une loi normale (Figure 12). Cet indicateur a une tendance significative à la baisse avec un changement de moyenne significatif à la baisse identifié en 2008. Aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 12 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans pour les stations rurales de fond

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données autocorrélées
($p\text{-val} < 0.05$)
Données non normalement distribuées
($p\text{-val-Shapiro} = 1.5\text{e-}03$)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	$-5.7\text{e-}01$ concentration /an	$7.4\text{e-}03$
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	$-7.78\text{e-}01$ concentration /an	$5.1\text{e-}03$

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2008	$1.6\text{e-}03$
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	32.13 concentration
Après rupture	20.27 concentration

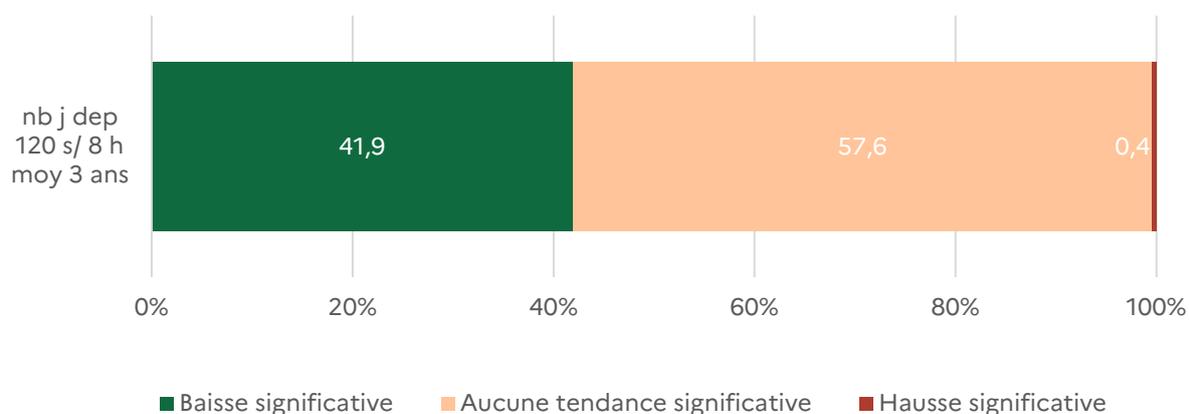
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

E. Tendances aux stations de mesure

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall et la méthode de Sen-Theil ont également été appliqués directement sur le nombre de jours de dépassements du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans aux stations de mesure qui remplissaient les critères de sélection précisés dans la partie V. Les résultats obtenus indiquent que l'indicateur a baissé de manière significative pour 41,9 % des stations de mesure tandis qu'il a augmenté de manière significative pour 0,4 % d'entre elles. Pour les autres stations (57,6 %), les mesures ne permettent pas de détecter de tendance statistiquement significative (*graphique 3*).

Graphique 3 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassements du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h en moyenne sur trois ans aux stations de mesure

En % de stations de mesure



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022

IV. Nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h par année

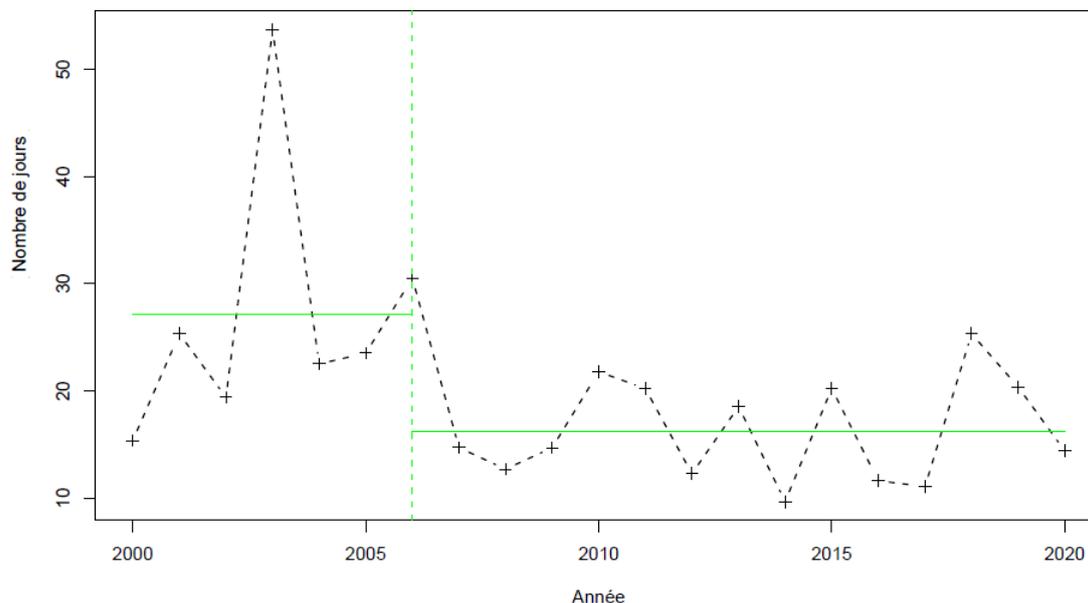
Cet indicateur est basé sur un seuil réglementaire fixé pour la protection de la santé à court terme : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h. Ce seuil à atteindre dans la mesure du possible correspond à un objectif à long terme. Il est moins contraignant que le précédent en terme de délai d'application (le précédent s'applique depuis 2010) mais il est plus strict sur les niveaux de concentrations à atteindre. Cet indicateur n'est pas détaillé dans la publication « Pollution à l'ozone : une situation encore préoccupante ».

A. Toutes stations de fond confondues

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour toutes les stations de fond confondues ne suit pas une loi normale (*Figure 13*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006.

Figure 13 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de 120 µg/m³ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h toutes stations de fond confondues

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 3.2e-04)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	7.5e-02
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	8.5e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	4.8e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	27.2 Nombre de jours
Après rupture	16.27 Nombre de jours

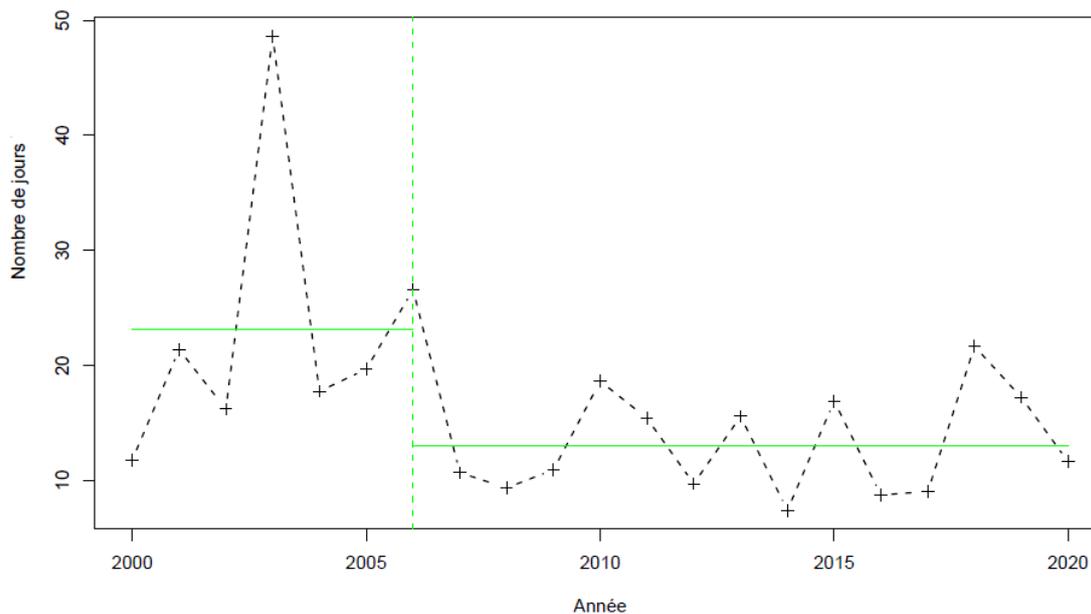
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

B. Stations urbaines de fond

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations urbaines de fond ne suit pas une loi normale (Figure 14). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006.

Figure 14 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations urbaines de fond

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 1.7e-04)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.6e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	1.1e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	4.8e-02
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	23.15 Nombre de jours
Après rupture	13.07 Nombre de jours

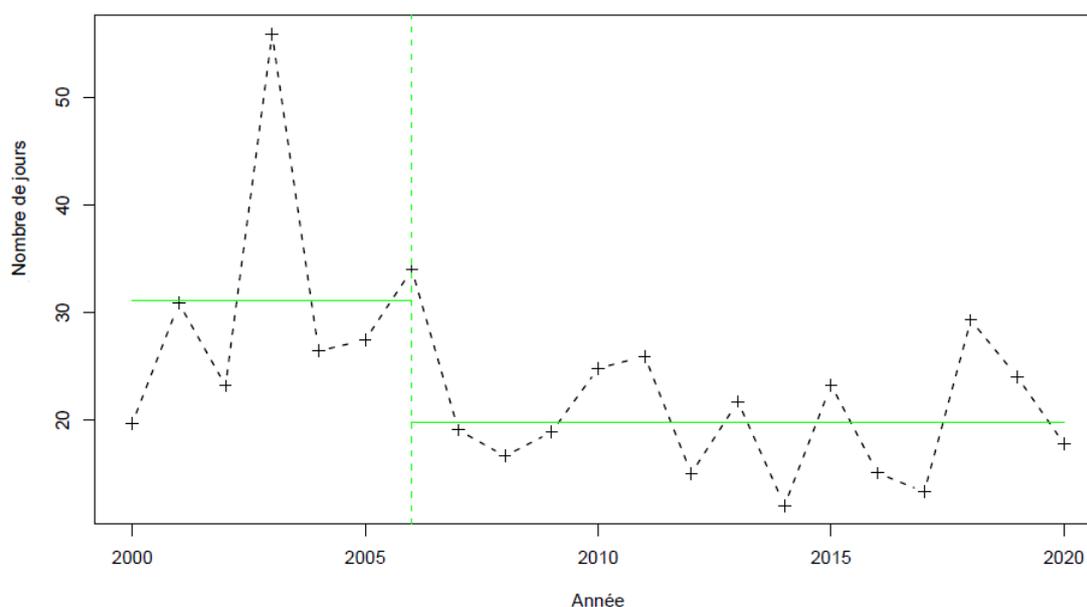
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

C. Stations périurbaines de fond

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations périurbaines de fond ne suit pas une loi normale (Figure 15). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006.

Figure 15 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations périurbaines de fond

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= $2.1\text{e}-03$)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	$6.5\text{e}-02$
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	$5.7\text{e}-02$

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	$4.1\text{e}-02$
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	31.07 Nombre de jours
Après rupture	19.77 Nombre de jours

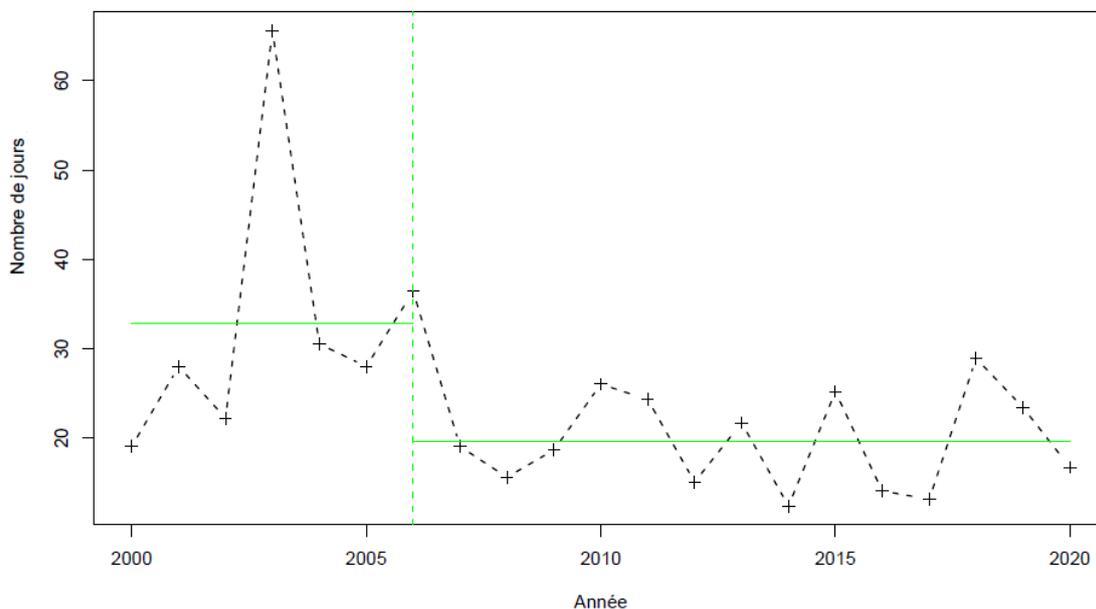
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

D. Stations rurales de fond

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations rurales de fond ne suit pas une loi normale (Figure 16). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni d'inversion de tendance significative. Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2006.

Figure 16 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h pour les stations rurales de fond

En nombre de jours



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= $1.7e-04$)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	$5.6e-02$
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	$7e-02$

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2006	$4.8e-02$
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	32.85 Nombre de jours
Après rupture	19.63 Nombre de jours

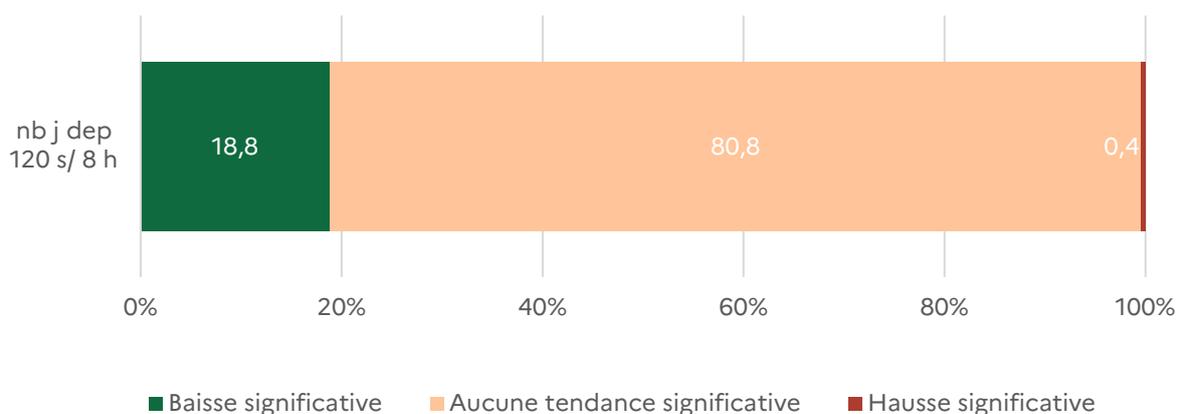
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

E. Tendance aux stations de mesure

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall et la méthode de Sen-Theil ont également été appliqués directement sur le nombre de jours de dépassements du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h aux stations de mesure qui remplissaient les critères de sélection précisés dans la partie V. Les résultats obtenus indiquent que l'indicateur a baissé de manière significative pour 18,8 % des stations de mesure tandis qu'il a augmenté de manière significative pour 0,4 % d'entre elles. Pour les autres stations (80,8 %), les mesures ne permettent pas de détecter de tendance statistiquement significative (*graphique 4*).

Graphique 4 : résultats des analyses de tendances pour le nombre de jours de dépassements du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 h aux stations de mesure

En %



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022

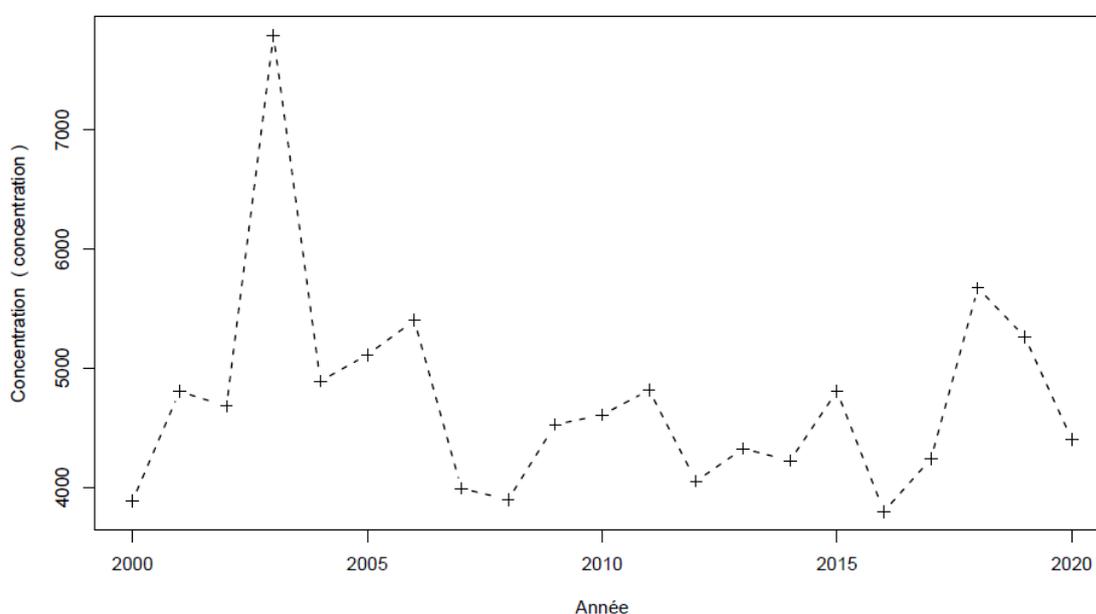
V. SOMO35

A. Toutes stations de fond confondues

Le SOMO35 pour toutes les stations de fond confondues ne suit pas une loi normale (Figure 17). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni de changement de moyenne significatif, ni d'inversion de tendance significative.

Figure 17 : résultats des analyses de tendances pour le SOMO35 toutes stations de fond confondues

En $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{j}$



Légende

- Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	8.3e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	4.5e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 5.6e-04)

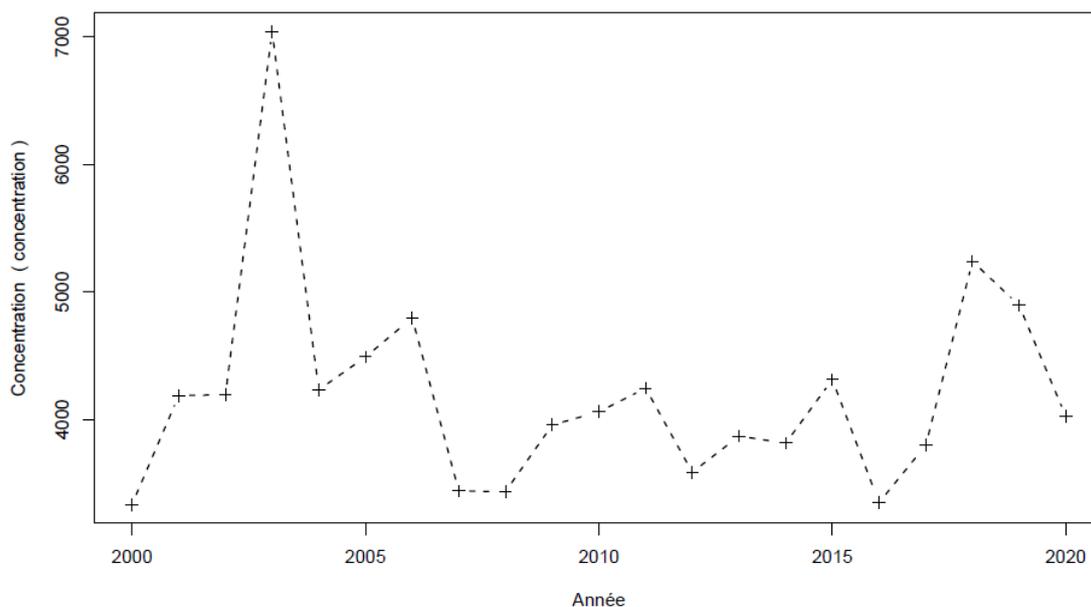
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

B. Stations urbaines de fond

Le SOMO35 pour les stations urbaines de fond ne suit pas une loi normale (*Figure 18*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni de changement de moyenne significatif, ni d'inversion de tendance significative.

Figure 18 : résultats des analyses de tendances pour le SOMO35 pour les stations urbaines de fond

En $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{j}$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	9.3e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	7e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 7.8e-04)

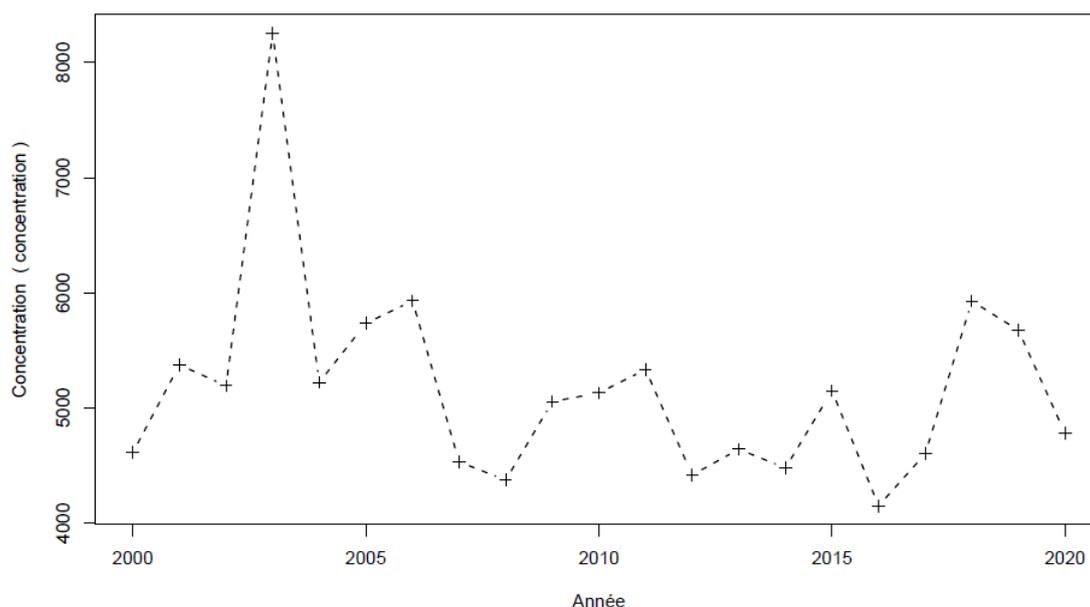
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

C. Stations périurbaines de fond

Le SOMO35 pour les stations périurbaines de fond ne suit pas une loi normale (*Figure 19*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni de changement de moyenne significatif, ni d'inversion de tendance significative.

Figure 19 : résultats des analyses de tendances pour le SOMO35 pour les stations périurbaines de fond

En $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{j}$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	3.5e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	2.3e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 5.8e-04)

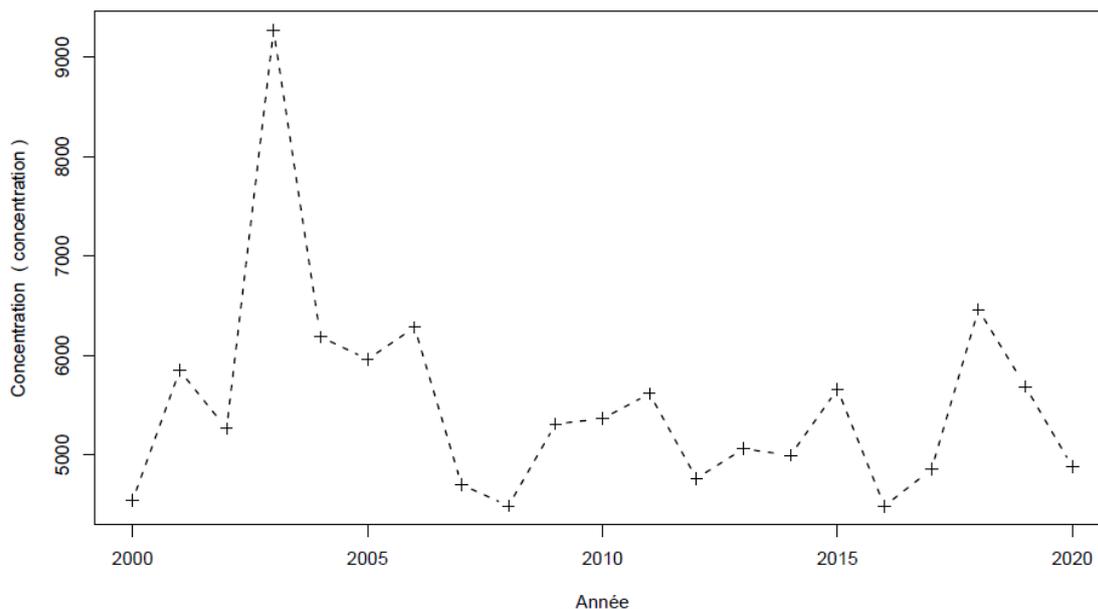
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

D. Stations rurales de fond

Le SOMO35 pour les stations rurales de fond ne suit pas une loi normale (*Figure 20*). Aucune tendance significative n'est détectée pour cet indicateur, ni de changement de moyenne significatif, ni d'inversion de tendance significative.

Figure 20 : résultats des analyses de tendances pour le SOMO35 pour les stations rurales de fond

En $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{j}$



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	5.3e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	2.5e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Petitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 21
Longueur de la chronique : 7305 jours (20 années)

Test non effectué
Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 2.6e-04)

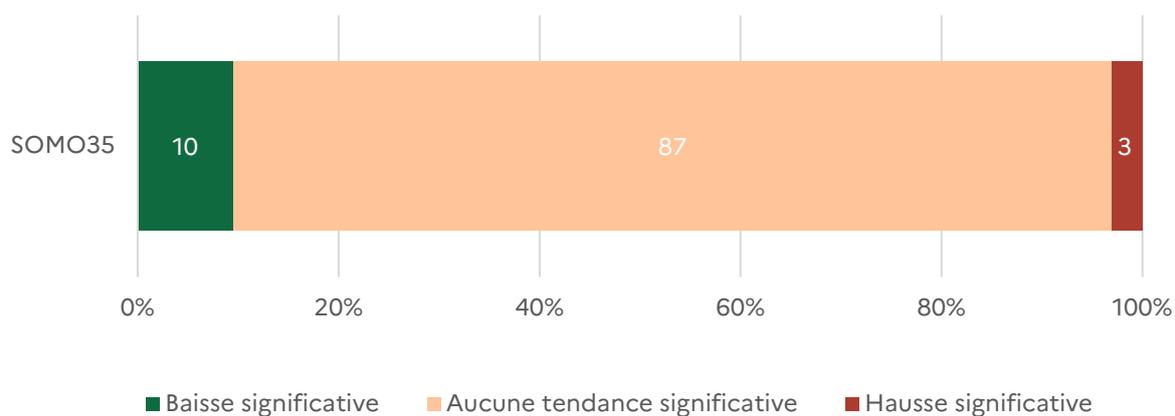
Source : *Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema*

E. Tendances aux stations de mesure

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall et la méthode de Sen-Theil ont également été appliqués directement sur le SOMO35 aux stations de mesure qui remplissaient les critères de sélection précisés dans la partie V. Les résultats obtenus indiquent que l'indicateur a baissé de manière significative pour 10 % des stations de mesure tandis qu'il a augmenté de manière significative pour 3 % d'entre elles. Pour les autres stations (87 %), les mesures ne permettent pas de détecter de tendance statistiquement significative (*graphique 5*).

Graphique 5 : résultats des analyses de tendances pour le SOMO35 aux stations de mesure

En % de stations de mesures



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022

VI. AOT40 végétation

Cet indicateur n'est pas détaillé dans la publication « Pollution à l'ozone : une situation encore préoccupante malgré des progrès » mais des informations sur le pourcentage de stations de mesure pour lesquelles le seuil réglementaire est dépassé en fond rural figurent dans les données détaillées du bilan annuel de la qualité de l'air extérieur en France (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-pollution-de-lair-par-lozone-o3>).

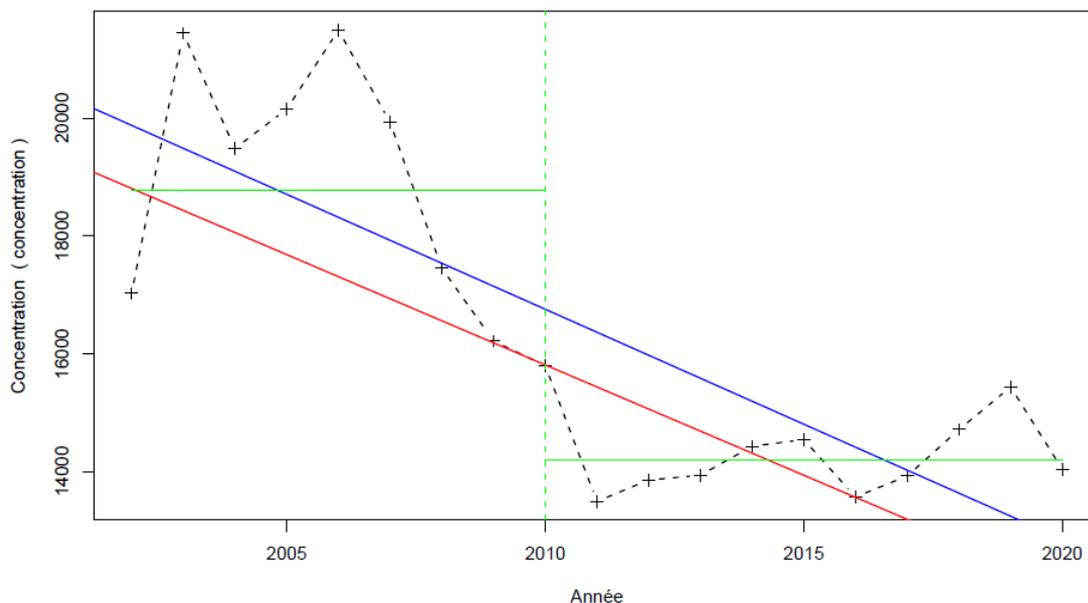
A. Stations rurales de fond

L'AOT40 végétation pour les stations rurales de fond ne suit pas une loi normale avec une tendance significative à la baisse (*Figure 21*).

Un changement de moyenne significatif à la baisse est identifié en 2010 et aucune inversion de tendance significative n'est détectée.

Figure 21 : résultats des analyses de tendances pour l'AOT40 végétation pour les stations rurales de fond

En ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-3.74e+02 concentration /an	4.1e-03
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	-3.9e+02 concentration /an	7e-05

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	01/01/2010	1.2e-03
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	18775.56 concentration
Après rupture	14190.91 concentration

Nombre de données : 19
Longueur de la chronique : 6574 jours (18 années)

Test non effectué
Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 7.1e-03)

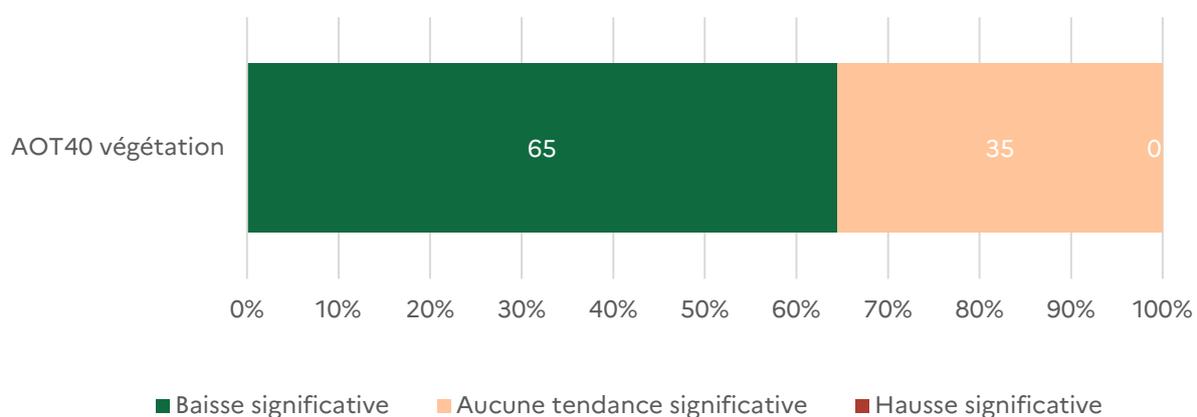
Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022 à partir de l'outil HYPE, BRGM, Onema

B. Tendances aux stations de mesure

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall et la méthode de Sen-Theil ont également été appliqués directement sur l'AOT40 aux stations rurales de fond qui remplissaient les critères de sélection précisés dans la partie V. Les résultats obtenus indiquent que l'indicateur a baissé de manière significative pour 65 % des stations de mesure. Pour les autres stations (35 %), les mesures ne permettent pas de détecter de tendance statistiquement significative (graphique 6).

Graphique 6 : résultats des analyses de tendances pour l'AOT40 végétation aux stations rurales de fond

En % de stations de mesure



Source : Geod'air, juillet 2021. Traitements : SDES, 2022



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Commissariat général
au développement durable**

Service des données et études statistiques

Sous-direction de l'information environnementale

Tour Séquoia – 92055 La Défense cedex

Courriel : diffusion.sdes.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

