



LSO QUALIT'AIR

Évaluation de la qualité de l'air aux Sables d'Olonne

Rapport final



Sommaire

Synthèse	3
Introduction	5
Méthodologie	6
Instrumentation	6
Indice ATMO	7
Indicateur LSO QUALIT'AIR.....	8
Indicateur stations permanentes	8
Modélisation annuelle des PM2.5 et PM10	9
Résultats.....	11
Bilan du 1 ^{er} trimestre 2022 (janvier – mars)	11
Bilan du 2 ^e trimestre 2022 (avril – juin)	12
Bilan du 3 ^e trimestre 2022 (juillet – septembre)	18
Bilan du 4 ^e trimestre 2022 (octobre – décembre)	21
Comparaison de l'indicateur issu des stations permanentes avec l'indice ATMO : pertinence de la modélisation.....	25
Comparaison de l'indicateur issu des stations permanentes avec l'indice ATMO : impact du mode de calcul	31
Évolutions des concentrations en particules au sein de la journée.....	33
Résultats de la modélisation et des mesures des microcapteurs.....	36
Comparaison entre les microcapteurs et la modélisation pour PM10 et PM2.5	38
Expérimentation sur la fusion des données microcapteurs et modèle.....	40
Conclusions et perspectives.....	42
Annexes	44

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Guillaume Sérafin, Eneour Le Guiban et Corentin Berger, Mise en page : Bérangère Poussin, Modélisation : Corentin Berger et Frédéric Penven, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Validation : Lucie Vidal, Frédéric Penven, François Ducroz et David Bréhon.

Conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 2 août 2022 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

Synthèse

Contexte

La pollution de l'air est un enjeu sanitaire avéré et pour lequel les collectivités territoriales de plus de 20 000 habitants ont obligation de mettre en œuvre un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) intégrant un diagnostic et un plan d'action en faveur d'une amélioration de la qualité de l'air sur leur territoire. Cela nécessite de pouvoir disposer d'informations détaillées et locales sur l'état de la qualité de l'air.

C'est dans ce contexte qu'un consortium d'acteurs (42 Factory, GEOPTIS filiale du groupe La Poste, Air Pays de la Loire et Les Sables d'Olonne Agglomération comme territoire d'expérimentation) se sont réunis afin de proposer une solution innovante d'évaluation de la qualité de l'air au moyen de l'utilisation des microcapteurs aux petits et moyens EPCI (Etablissements Publics de Coopération Intercommunale) qui ne bénéficient pas de moyens techniques disponibles dans les grandes agglomérations (stations de mesures fixes, modélisation fine échelle...).

Objectifs

L'objectif de cette expérimentation est d'exploiter des microcapteurs fixes et en mobilité, installés sur les voitures de La Poste afin d'apporter une information locale sur l'état de la qualité de l'air sur le territoire des Sables d'Olonne Agglomération. Cette expérimentation a également pour but de mieux faire connaître les enjeux de santé et de préservation de la qualité de l'air à la population, et d'apporter une information complète et accessible sur l'état de la qualité de l'air en temps réel, au moyen d'un indicateur basé sur l'indice ATMO. Cet indicateur pourrait à terme être mis à disposition des EPCI via un outil numérique de type widget. L'autre objectif de ce projet était de réaliser une preuve de concept de l'intégration des mesures des microcapteurs mobiles dans les résultats de la modélisation annuelle d'Air Pays de la Loire.

Il est cependant à noter que ce rapport ne présente pas l'état de la qualité de l'air aux Sables d'Olonne. Il s'agit d'un rapport décrivant la comparaison d'une méthode expérimentale d'évaluation de la qualité de l'air basée sur l'exploitation des microcapteurs avec une autre méthode reposant uniquement sur de la modélisation régionale.

Dispositifs

Le dispositif mis en œuvre repose sur deux microcapteurs fixes pour la mesure des particules PM10 et PM2.5, placés au centre-ville des Sables d'Olonne et au Château d'Olonne. Quatre autres microcapteurs ont par ailleurs été installés sur des véhicules du groupe La Poste ; leurs mesures seront mises en perspectives à la modélisation annuelle d'Air Pays de la Loire.

Résultats

La comparaison durant les trimestres 2 à 4 de l'indicateur LSO QUALIT'AIR (construits à partir des mesures des microcapteurs couplés à la modélisation) avec l'indice ATMO basé sur la modélisation a montré :

- au deuxième trimestre : un indicateur plus pénalisant que l'indice ATMO, avec une proportion de qualificatifs « dégradé » ou « mauvais » plus élevée (environ 14 % de plus),
- au troisième trimestre : l'indicateur est similaire à l'indice ATMO, du fait que le polluant déterminant en période estivale est l'ozone,
- au quatrième trimestre : un indicateur plus pénalisant par comparaison à l'indice ATMO, du fait de l'influence des particules PM10 et PM2.5 mesurées (entre 15 % et 24 % de qualificatifs « dégradé » ou « mauvais » de plus selon le site).

Des profils journaliers ont été tracés à partir des mesures de PM10 et PM2.5 des microcapteurs fixes. Les évolutions des concentrations dans les profils journaliers semblent être cohérentes avec celles établies à partir des mesures issues des mesures de référence d'Air Pays de la Loire.

En revanche, les comparaisons menées entre l'indicateur LSO Qualit'Air et l'indice ATMO montrent que ces deux derniers sont différents en moyenne entre 78 % et 88 % du temps aux Sables d'Olonne.

Une série de comparaisons supplémentaire a été menée à partir d'un nouvel indicateur basé sur la mesure de référence des stations permanentes d'Air Pays de la Loire à La Roche-sur-Yon, Nantes Métropole et au Pays de la Châtaigneraie (Vendée) en reprenant la méthodologie de l'indicateur LSO Qualit'Air. Les résultats montrent des différences moyennes comprises entre 9 % et 27 % du temps entre ces indicateurs issus des stations permanentes et l'indice ATMO.

La méthodologie mise en place dans le cadre de ce projet a permis d'estimer des moyennes annuelles à partir de mesure des microcapteurs mobiles pour les particules PM2.5 et PM10. La comparaison avec les résultats du modèle fine échelle¹ dans le cadre des Sables d'Olonne montre une différence de -7 µg/m³ pour les PM10 et de -1 µg/m³ pour les PM2.5. Les microcapteurs fixes et mobiles sous-estiment les résultats du modèle et sont aussi inférieurs aux moyennes annuelles des stations Delacroix (station urbaine) de La Roche-sur-Yon et La Tardière (station rurale). La précision des microcapteurs ne permet pas de les utiliser de manière suffisamment fiable, mais elles donnent des indications sur la variabilité spatiale des concentrations de PM2.5 et PM10 dans l'hypothèse où la sous-estimation constatée est constante dans le temps.

Des cartes des moyennes annuelles combinant modélisation et mesures des microcapteurs ont été obtenues, mais ces résultats restent expérimentaux en l'absence d'outil de comparaison (instruments de mesure de référence).

Conclusion

Les écarts constatés entre l'indicateur LSO Qualit'Air et l'indice ATMO aux Sables d'Olonne sont insatisfaisants et ne permettent à priori pas de rendre compte d'un indicateur suffisamment fiable de la qualité de l'air au regard du besoin exprimé par la collectivité. Ces écarts seraient essentiellement dus à la métrologie des microcapteurs.

Les résultats de la comparaison entre les mesures des microcapteurs fixes et en mobilité, et la modélisation montrent une sous-estimation importante des concentrations de PM10, et une faible sous-estimation pour les PM2.5 par les microcapteurs. Cependant, l'approche méthodologique développée dans le cadre de ce projet permet de fusionner les données des microcapteurs et du modèle, mais cette approche devra faire encore l'objet d'une étape d'intercomparaison des mesures de référence pour pouvoir être validée.

Perspectives

Au vu des résultats issus des microcapteurs fixes, une alternative serait de réaliser un indicateur dynamique basé uniquement sur la modélisation des concentrations en particules, en y intégrant l'ozone. Cela permettrait d'obtenir des résultats plus cohérents, notamment lorsque l'ozone est le polluant déterminant. Une prévision de l'indicateur à J+1 serait par ailleurs possible. La mise à disposition d'un indicateur via un outil numérique de type widget permettrait de profiter de la dimension "temps réel" des concentrations en polluants atmosphériques.

Les microcapteurs peuvent être une source d'information et la méthodologie de fusion des données microcapteurs et modèle développée dans le cadre de ce projet devrait faire l'objet d'intercomparaisons avec des stations de mesure de référence pour pouvoir être exploitée.

¹ La modélisation fine échelle, réalisée annuellement par Air Pays de la Loire est à différencier avec la modélisation régionale sur laquelle est basé l'indice ATMO. En effet, le résultat de la modélisation fine échelle est une moyenne annuelle des concentrations en différents polluants réglementés, avec une résolution spatiale élevée. La modélisation régionale quant à elle, est basée sur des modèles nationaux validés par le LCSQA (Prev'Air notamment) et permet une prévision journalière, à J, J+1 et J+2 des 5 polluants que forment l'indice ATMO, à l'échelle de l'EPCI. Elle permet la prévision des épisodes de pollution et la diffusion de l'indice ATMO destiné à informer les citoyens de la qualité de l'air respiré.

Introduction

La pollution de l'air est un enjeu sanitaire avec des impacts avérés. Néanmoins, le sujet est aujourd'hui encore assez mal appréhendé par les collectivités alors même que la société civile y accorde un intérêt croissant. L'objet du projet LSO Qualit'Air est d'apporter une solution opérationnelle et accessible aux collectivités pour disposer de données de mesures locales sur la qualité de l'air.

En Pays de la Loire, l'évolution des émissions de polluants atmosphériques ainsi que des concentrations en polluants sont à la baisse depuis quelques années, principalement en lien avec l'amélioration des technologies. Des efforts doivent malgré tout encore être menés sur différents secteurs notamment l'agriculture, l'industrie et l'énergie biomasse, pour accentuer davantage l'amélioration et protéger les citoyens des conséquences d'une qualité de l'air dégradée. Ainsi la pollution aux particules fines PM2.5 serait responsable en Région Pays de la Loire de 2 530 décès prématurés par an², générant de fait un coût sanitaire et socio-économique conséquent. Il est de la responsabilité des collectivités territoriales de s'assurer de la préservation de la qualité de l'air et de la protection de la santé de ses habitants.

C'est dans ce contexte que l'agglomération des Sables d'Olonne s'est portée volontaire pour participer au projet d'innovation porté par Geoptis (filiale du Groupe La Poste), Atmotrack et Air Pays de la Loire. Il vise à tester un dispositif d'évaluation locale de la qualité de l'air qui permettrait aux villes et EPCI de taille moyenne qui ne bénéficient pas des moyens techniques disponibles dans les grandes agglomérations (station de mesures 24/24, prévisions urbaines, ...), de pouvoir pleinement s'emparer du sujet et ainsi engager une approche adaptée aux enjeux et spécificités de leur territoire.

L'objectif est également de mieux faire connaître et de transmettre à la population qui porte un intérêt croissant aux enjeux de santé et de préservation de la qualité de l'air de leur environnement, une information complète et neutre sur la réalité de leur territoire par une approche fiabilisée et aider ainsi à faire évoluer chacun dans l'appropriation de ce sujet.

De plus, cette solution robuste apporte au niveau régional une information homogène sans multiplier la superposition de différents dispositifs de mesure, dans un objectif de simplification et de lisibilité d'un sujet considéré comme complexe. La résultante est d'apporter une cohérence dans la production d'indicateurs de suivi de la qualité de l'air sur la région et de se donner ainsi la possibilité d'apporter une vision globale sur la mesure et le suivi de la qualité de l'air partout sur le territoire.

La solution proposait la conjugaison des microcapteurs et de modélisations officielles produites par Air Pays de la Loire, afin d'évaluer de manière robuste, sur un territoire défini, les concentrations de 2 polluants d'intérêt, les particules fines PM10 et PM2.5 par la mesure, ainsi que 3 autres polluants, l'ozone, le NO₂ et le SO₂ par modélisation. Dans le cadre de ce projet, une solution a été également développée pour pouvoir utiliser directement les mesures des microcapteurs en mobilité et fixes aux résultats de la modélisation annuelle de la qualité de l'air par Air Pays de la Loire dans le cadre de l'EPCI des Sables d'Olonne.

Le bilan des quatre trimestres de l'année 2022 et de l'intégration des données en mobilité dans la modélisation annuelle d'Air Pays de la Loire est présenté dans le présent document.

²Selon rapport publié par Santé Publique France en juin 2016

Méthodologie

Instrumentation

Après une analyse des lieux mis à disposition par l'agglomération des Sables d'Olonne et le groupe La Poste, Air Pays de la Loire a identifié 2 emplacements fixes pertinents pour la mesure de particules et représentatifs de l'exposition des habitants. Le premier site se situe au centre-ville et est influencé par le trafic routier tandis que le deuxième site se trouve au Château d'Olonne et est dit de fond urbain, c'est à dire hors influence directe d'un émetteur particulier et représentatif de la pollution ambiante.

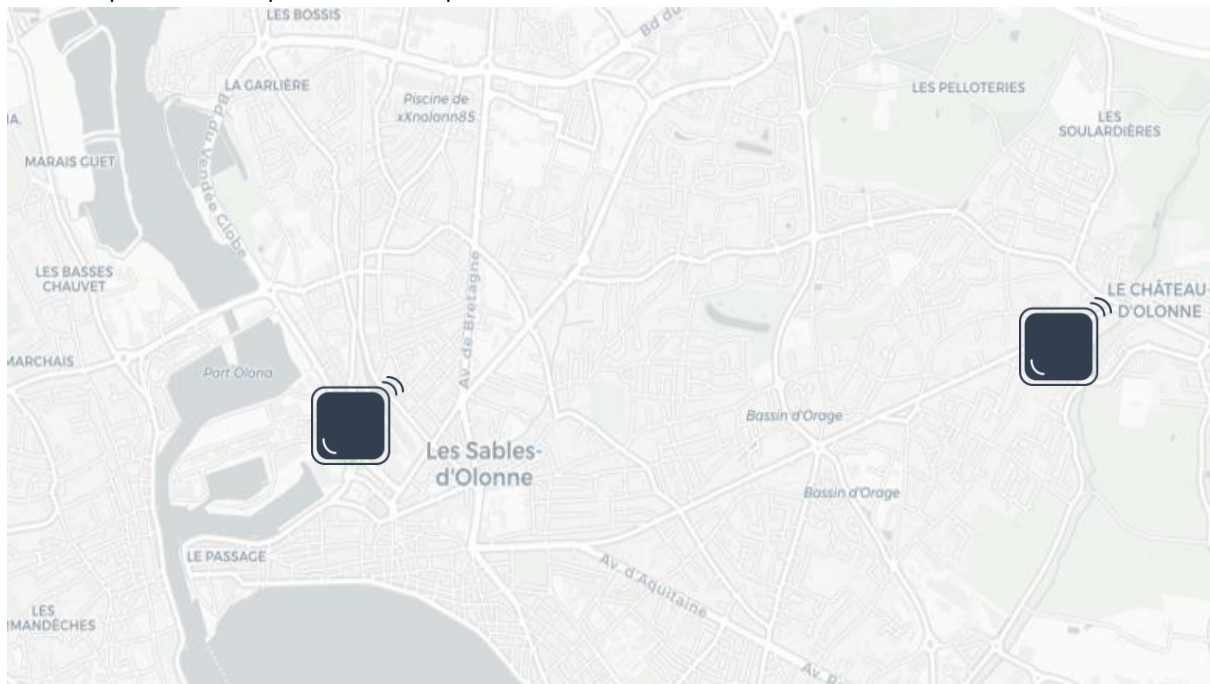


Figure 1 : carte d'implantation des sites de mesure fixes

Air Pays de la Loire a choisi de prendre en compte ces mesures fixes dans la construction de l'indicateur défini dans le cadre du projet (détaillé plus bas). 4 autres microcapteurs ont été installés sur des véhicules du Groupe La Poste et leurs mesures en mobilité seront analysées et intégrées à la modélisation annuelle (réalisée en fin de projet).

Les microcapteurs



Figure 2 : le microcapteur d'Atmotrack

Les microcapteurs constituent, depuis quelques années, une solution de mesure de certains polluants à moindre coût, complémentaire aux outils de référence d'Air Pays de la Loire. De par leur faible coût et leur simplicité de mise en œuvre, ils s'adaptent facilement à leur environnement.

Il existe un grand nombre de microcapteurs ; leurs coût, fiabilité et maturité sont variables (cf. challengeAirLab : <https://airparif.shinyapps.io/ChallengeResultsFR/>). Le choix du microcapteur Atmotrack Atmo01 s'appuie sur une expérimentation réalisée en 2020 avec Air Pays de la Loire sur l'île de Nantes, qui a permis d'évaluer le fonctionnement de cet appareil fixe, pour les particules fines, en zone urbaine dense (<https://www.airpl.org/rapport/note-methodologique-au-projet-de-qualite-de-l-air-sur-l-ile-de-nantes>). Afin de confirmer in situ le fonctionnement de ces appareils, fixes ou en mobilité sur le territoire des Sables d'Olonne, en zone littorale, une phase de tests a été réalisée par les ingénieurs d'Air Pays de la Loire entre le 03/02/2022 et le 25/02/2022 en proximité trafic. Des graphiques issus de ces tests sont disponibles en annexe 3.

Les microcapteurs mesurent les concentrations en particules fines (PM1, PM2.5 et PM10) dans l'air en temps réel grâce à un compteur optique. Ces capteurs peuvent être installés sur des véhicules ou sur des bâtiments.

Quatre microcapteurs mobiles ont réalisé des mesures embarquées sur des véhicules de La Poste. Les mesures en mobilité ont été effectuées 6j/7 toutes les 10 secondes du 09/03/2022 au 19/01/2023. Les microcapteurs mesurent les concentrations en particules fines (PM2.5 et PM10) dans l'air en temps réel grâce à un compteur optique.

Indice ATMO

L'indice ATMO est un indicateur journalier de prévision de la qualité de l'air. Il est calculé à partir des concentrations de plusieurs polluants réglementés et permet d'informer les citoyens sur la qualité de l'air au quotidien. Cet indice propose une qualification de la qualité de l'air en lien avec les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé et l'obligation de plans d'actions dans les zones en dépassement (plus d'explications : <http://www.airpl.org/Publications/actualites/11-12-2020-un-nouvel-indice-de-qualite-de-l-air-en-janvier-2021-quelles-nouveautes>).

Polluants concernés

Les polluants pris en compte dans l'indice ATMO (et dans l'indicateur horaire du projet, que l'on détaille plus bas) sont les suivants :

- / Les particules (PM10 et PM2.5),
- / Le dioxyde d'azote (NO₂),
- / L'ozone (O₃),
- / Le dioxyde de soufre (SO₂).

Il s'agit des principaux polluants atmosphériques réglementés. L'annexe 1 donne plus d'informations sur ces polluants et leurs effets sur la santé.

Dans la région des Pays de la Loire, la problématique de la qualité de l'air se focalise sur :

- / Les particules fines (PM10, PM2.5) qui peuvent dépasser les valeurs réglementaires notamment lors d'épisodes de pollution à plus grande échelle,
- / L'ozone lors d'épisodes de canicule en période estivale,
- / Le dioxyde d'azote en proximité de voies à fort trafic automobile.

Définition de l'indice

L'indice ATMO est décrit selon 6 qualificatifs. Chaque qualificatif renvoie à un code couleur spécifique en cohérence avec les couleurs de l'indice européen de qualité de l'air et est calculé selon les niveaux de pollution des différents polluants.

Valeur	Qualificatif associé	Couleurs associées
1	Bon	
2	Moyen	
3	Dégradé	
4	Mauvais	
5	Très Mauvais	
6	Extrêmement Mauvais	

Figure 3 : qualificatifs et codes couleurs des classes de l'indice ATMO

Un qualificatif est attribué à chaque polluant suivant sa concentration et appelé sous-indice. L'échelle de concentrations suivante a été retenue :

		Indice arrêté du 10 juillet 2020					
		Bon	Moyen	Dégradé	Mauvais	Très mauvais	Extrêmement mauvais
Moyenne journalière	PM2.5	0-10	11-20	21-25	26-50	51-75	>75
Moyenne journalière	PM10	0-20	21-40	41-50	51-100	101-150	>150
Max horaire journalier	NO ₂	0-40	41-90	91-120	121-230	231-340	>340
Max horaire journalier	O ₃	0-50	51-100	101-130	131-240	241-380	>380
Max horaire journalier	SO ₂	0-100	101-200	201-350	351-500	501-750	>750

Figure 4 : échelle de l'indice ATMO

L'indice ATMO de la zone considérée, correspond au qualificatif le plus dégradé. Par exemple, si tous les polluants ont comme sous-indice « Moyen » sauf l'ozone dont le sous-indice est « Dégradé », alors l'indice ATMO sera « Dégradé ».

Agrégation spatiale de l'indice ATMO

Pour chaque polluant, un sous-indice est calculé chaque jour à partir d'une agrégation des niveaux du polluant considérés sur l'ensemble du territoire concerné (commune ou EPCI). La méthode d'agrégation de l'indice ATMO sur un territoire donné (commune ou EPCI) est le maximum des maxima horaires journaliers (NO₂, O₃, SO₂) ou le maximum des moyennes journalières (PM10 et PM2.5).

Le calcul d'agrégation s'applique au niveau de fond de pollution uniquement, les concentrations en proximité de trafic ou d'un émetteur particulier ne sont donc pas prises en compte.

Indicateur LSO QUALIT'AIR

Les données brutes de qualité de l'air sont souvent difficiles à appréhender d'où la nécessité de définir un indicateur accessible et compréhensible qui assure un reporting simple des niveaux de pollution afin que la collectivité des Sables d'Olonne Agglomération puisse s'approprier la problématique et de suivre de façon précise et régulière l'impact de ses actions (sensibilisation, mobilités...etc.) sur l'évolution de la qualité de l'air.

L'indicateur défini dans le cadre du projet LSO QUALIT'AIR a été inspiré de l'indice ATMO. Il reprend l'échelle en 6 classes des principaux polluants. Il a été adapté pour permettre de donner une information locale en intégrant les données produites par les capteurs de particules PM10 et PM2.5 en « temps réel » permettant à la collectivité de mieux appréhender ces données mesurées et aux citoyen.ne.s de s'en emparer. Il intègre également les concentrations modélisées de NO₂, O₃ et SO₂.

Indicateur local

Air Pays de la Loire prévoit quotidiennement l'indice ATMO pour toute la région, et notamment les Sables d'Olonne. Cet indicateur résulte de l'application de l'échelle de l'indice ATMO à des données de prévision issues de plateformes de modélisation à grande échelle (ESMERALDA, PREVAIR).

Afin de fournir une information plus locale, l'indice ATMO prévu est corrigé par les mesures des capteurs fixes disponibles sur le territoire des Sables d'Olonne.

Les sous-indicateurs de particules (PM10 et PM2.5) sont ainsi calculés pour chaque site fixe d'implantation des capteurs à partir des données produites par ceux-ci selon l'échelle définie pour l'indice ATMO. Ils remplacent alors les valeurs des sous-indices prévus par la modélisation pour ces polluants.

L'indicateur global des Sables d'Olonne est le plus dégradé des sous-indicateurs.

Indicateur « temps réel »

Afin de fournir une information plus réactive au citoyen lui permettant d'adapter ses usages au quotidien, une adaptation de la définition de l'indice ATMO a été réalisée pour les particules PM10 et PM2.5.

Elle consiste à utiliser la même échelle en 6 classes mais appliquée à une moyenne sur 24 heures glissante au lieu d'une moyenne journalière. Par exemple, le sous-indice à 10h un jour J est évalué à partir de la moyenne des mesures entre 11h la veille (J-1) et 10h le jour même (J). Cela permet de fournir un qualificatif réactualisé toutes les heures au lieu d'un par jour.

Pour les autres polluants, il n'y a pas de données locales disponibles aussi les sous-indices restent ceux de l'indice ATMO journalier.

L'indicateur global est donc la combinaison d'une donnée locale pour les particules PM10 et PM2.5 et de données de prévision pour l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre.

Il est à noter que cette agrégation des mesures particulières en moyennes 24h glissantes peut engendrer des différences dans les résultats de comparaisons avec l'indice ATMO qui est basé sur des moyennes journalières civiles. Cette différence de calcul sera évaluée dans la suite du rapport.

Indicateur stations permanentes

Un indicateur supplémentaire est établi en intégrant des mesures particulières issues des stations d'Air Pays de la Loire en station urbaine de Nantes et de la Roche-sur-Yon ainsi qu'en station rurale de La Tardière en Vendée (EPCI Pays de la Châtaigneraie) afin de déterminer si l'on constate des différences de même grandeur entre l'indicateur issu des microcapteurs et l'indice ATMO aux Sables d'Olonne qu'entre l'indicateur issu des stations permanentes et l'indice ATMO à Nantes, La Roche-sur-Yon et à La Tardière.

La démarche est la même que pour l'indicateur LSO QUALIT'AIR : remplacer les concentrations moyennes journalières des PM10 et PM2.5 dans l'indice ATMO par des concentrations mesurées par les stations permanentes d'Air Pays de la Loire qui font l'objet d'étalonnages réguliers et dont la fiabilité est garantie.

Cet indicateur a été calculé à partir des concentrations particulières en moyennes journalières civiles dans un premier temps puis en moyennes 24h glissantes dans un second temps afin d'évaluer l'impact de cette différence de méthode de calculs.

Modélisation annuelle des PM2.5 et PM10

Air Pays de la Loire produit des cartes des moyennes annuelles et des niveaux de pointe (percentile 90,4 et 99 pour les particules PM10 et percentile 99 pour les particules PM2.5) à l'échelle de la région par modélisation déterministe à échelle fine (<https://data.airpl.org/dataset/modelisations/2022/PM10/MoyAn>). Le modèle utilisé, ADMS, couplé aux données météorologiques et territoriales (parc automobile, sources de pollution, pollution de fond...etc.) permettent de déterminer les niveaux de pollution, sur l'ensemble du territoire régional.

Les microcapteurs sont une source d'information sur la pollution spécifique d'un point géographique et permettent une meilleure couverture spatiale par rapports aux réseaux de mesure d'Air Pays de la Loire. L'objectif était de pouvoir conjuguer les mesures microcapteurs et la modélisation afin d'obtenir des cartes de concentrations de PM2.5 et PM10 modélisées et corrigées à partir de données de mesures locales. Le territoire de l'EPCI étant dépourvu de station de mesure, les microcapteurs mobiles et fixes ont été exploités dans ce travail sans validations statistiques. Ces travaux sont donc une étude exploratoire sur la faisabilité de combiner les résultats de modélisation avec ceux issus des microcapteurs. Les mesures des microcapteurs ne permettent pas de statuer sur la qualité de l'air sur l'année 2022 aux Sables d'Olonne.

Pré-traitements des mesures des microcapteurs

Pour pouvoir comparer et fusionner les données mesurées avec les résultats de modélisation pour l'année 2022, des moyennes annuelles pour les PM10 et PM2.5 doivent être calculées. Les deux microcapteurs fixes ont effectués une mesure du 25/03/2022 au 08/09/2023 et une moyenne annuelle a été calculée pour chacun des deux microcapteurs. Les microcapteurs mobiles ont effectués une mesure du 09/03/2022 au 19/01/2023. Les mesures des microcapteurs mobiles sont effectuées en différents points de coordonnées géographiques au cours du temps selon les déplacements des quatre véhicules de La Poste. Un premier traitement a été effectué en conservant les points de mesure dans l'EPCI et en filtrant suivant les horaires d'ouverture de La Poste de 8h30 à 18h. L'objectif de ce filtrage est d'éviter la surreprésentation des zones de stationnement dans les points de mesure pendant les périodes d'inactivité des voitures de La Poste.

Pour effectuer une moyenne annuelle des concentrations mesurées de PM2.5 et PM10 par les microcapteurs mobiles (2 millions de points géographiques), les différents points de mesures mobiles doivent être regroupés en partition. Un partitionnement intelligent réalisé sur les données des microcapteurs mobiles a permis de regrouper l'ensemble des données en 500 partitions. Le partitionnement est réalisé par l'algorithme de K-Means (ou K-moyennes) qui consiste à regrouper des points en partition en minimisant la distance entre chaque point et le centre de la partition.

Les partitions ayant une couverture de plus de 50 % des jours de l'année sont conservés pour avoir une représentativité annuelle convenable. Une moyenne annuelle est ensuite calculée pour chacune des partitions. Cette méthodologie de calcul de moyennes annuelles implique la non-considération des polluants pendant la nuit et le dimanche (étant donné l'absence de mesure pendant cette journée).

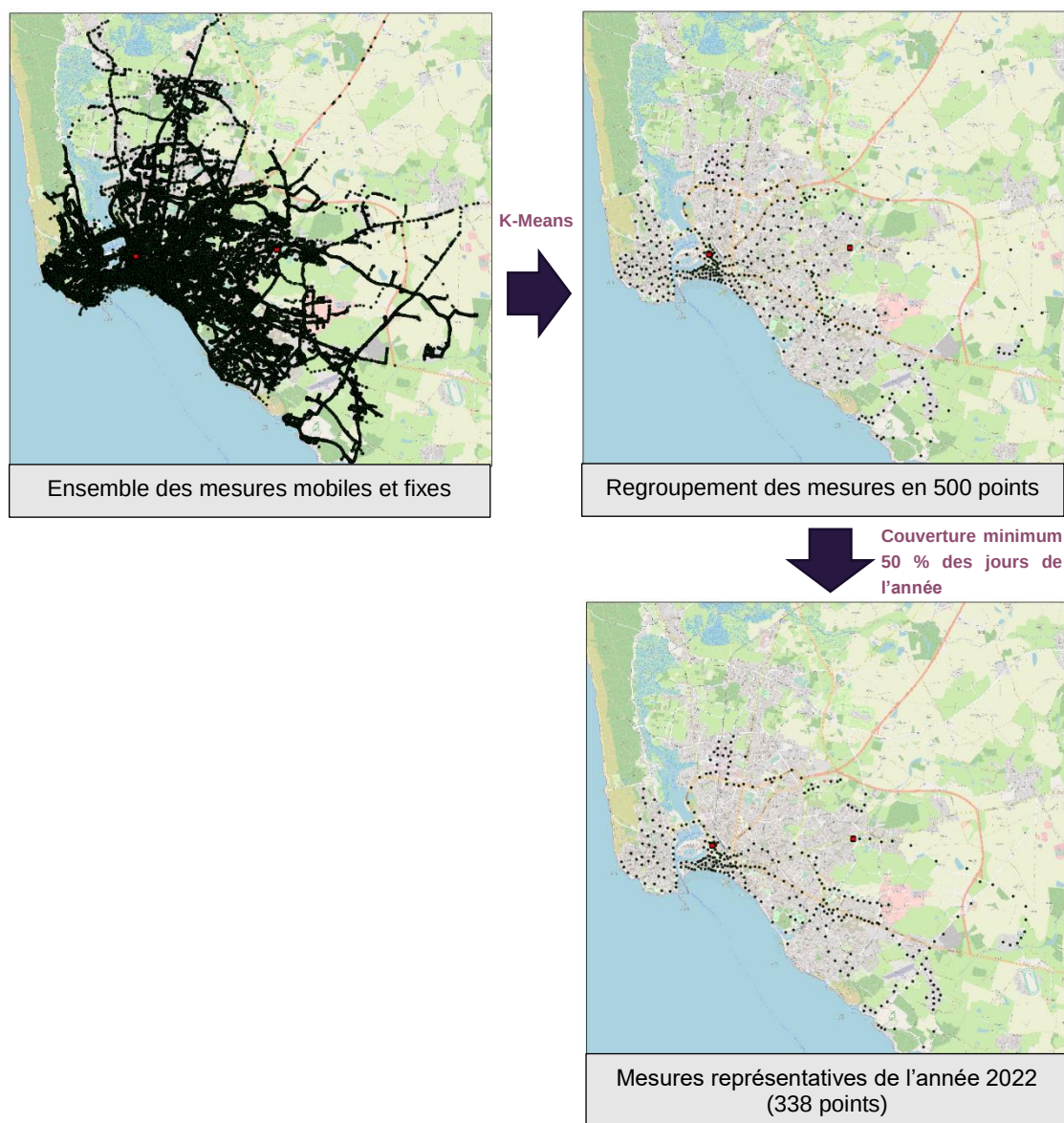


Figure 5 : représentation de la méthodologie pour partitionner les mesures mobiles et filtrer suivant la représentativité de 50 % sur l'année avec les points de mesure des microcapteurs mobiles (en noir) et des deux microcapteurs fixes (en rouge).

Les moyennes annuelles modélisées en 2022 pour l'EPCI des Sables d'Olonne ont été comparées aux mesures des deux microcapteurs fixes et des microcapteurs mobiles. Les différences entre les microcapteurs et le modèle permettent de déterminer une surestimation ou une sous-estimation des microcapteurs par rapport au modèle.

Fusion des données microcapteurs et modèle

Les mesures des microcapteurs ne sont pas agrégées directement aux moyennes annuelles issues de la modélisation. Ces mesures ont tendance à sous-estimer les concentrations de PM2.5 et PM10 (voir *Résultats*). Pour pouvoir utiliser l'information mesurée, un traitement des données est effectué en prenant en compte les résultats du modèle et le rapport de concentrations de la partition sur la concentration moyenne de l'ensemble des partitions. Un algorithme de fusion des données permet ensuite d'obtenir une correction des cartes des moyennes annuelles de PM2.5 et PM10 modélisées à l'échelle des Sables d'Olonne. L'approche expérimentale menée dans ce cas d'étude reprend une partie de la méthodologie de l'outil [SESAM \(data fusion with SEnSors for Air quality Mapping\)](#) développé par l'Ineris pour le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), pour cartographier des concentrations de polluants à l'échelle urbaine en fusionnant les données microcapteurs à un modèle de qualité de l'air.

Les cartes de fusion des données microcapteurs et modèle permettent de développer une méthodologie pour combiner ces deux modes opérateurs (microcapteurs et modèle). Cependant, l'ANSES indique que les microcapteurs ne sont pas adaptés pour communiquer sur un risque potentiel sur la santé de la pollution de l'air, mais ils permettent de sensibiliser les individus à la qualité de l'air en enrichissant les cartographies sur la pollution de l'air³.

³ Avis de l'ANSES : utilisation des micro-capteurs pour le suivi de la qualité de l'air intérieur et extérieur, Rapports d'expertise collective, Mai 2022.

Résultats

L'indicateur LSO QUALIT'AIR intégrant les mesures des deux microcapteurs fixes est présenté pour chaque trimestre et est comparé à l'indice ATMO issu de la modélisation.

Bilan du 1^{er} trimestre 2022 (janvier – mars)

Lors de ce premier trimestre, les microcapteurs n'étaient pas encore présents sur le territoire des Sables d'Olonne.

Indice ATMO et polluants déterminants

La première figure correspond à la proportion des différents qualificatifs durant le premier trimestre tandis que la seconde figure donne la répartition des polluants responsables de chaque qualificatif.

Au premier trimestre quand l'indice ATMO est « moyen » (74 jours sur 90, c'est-à-dire 82 % du temps) le polluant déterminant est le plus souvent l'ozone (41 jours sur 74). Lors des épisodes de pollution les plus sévères (indice « mauvais »), ce sont les particules fines PM2.5 qui en sont responsables.

Les Sables d'Olonne - indice ATMO

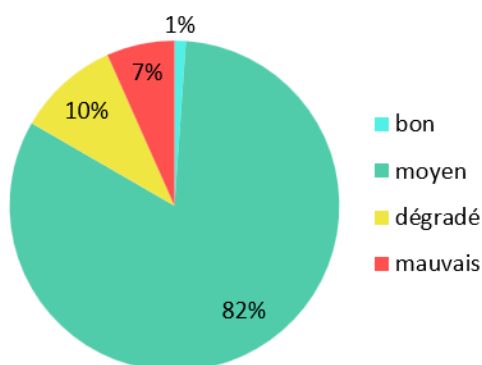


Figure 6 : répartition des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération au 1^{er} trimestre 2022

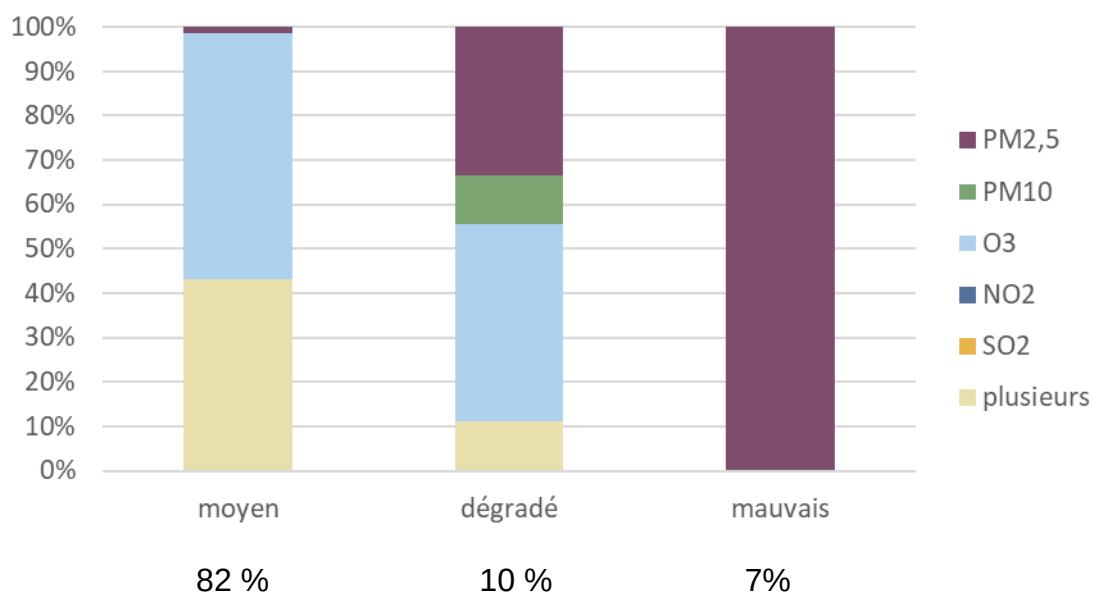


Figure 7 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération

Bilan du 2^e trimestre 2022 (avril – juin)

Indice ATMO et polluants déterminants

On observe globalement que l'indice ATMO est plus souvent « dégradé » qu'au 1^{er} trimestre bien que l'on compte moins de jours où l'indice est « mauvais ». Cela s'explique par de plus faibles émissions de particules, notamment liées au chauffage, au second trimestre. En revanche, l'augmentation des températures entraîne une augmentation des niveaux d'ozone, et donc à plus de qualificatifs « dégradé » qu'au premier trimestre.

Les Sables d'Olonne - indice ATMO

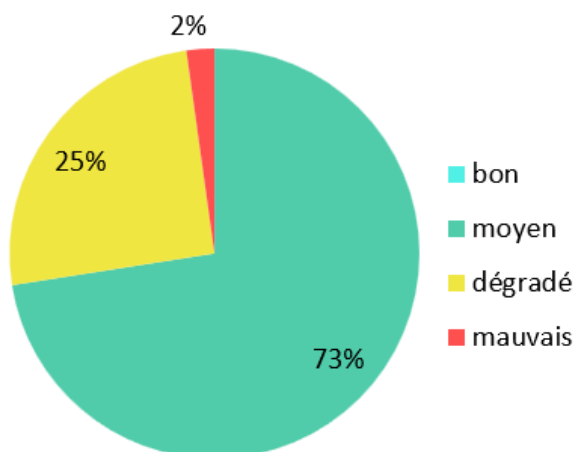


Figure 8 : répartition des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération au 2^e trimestre 2022

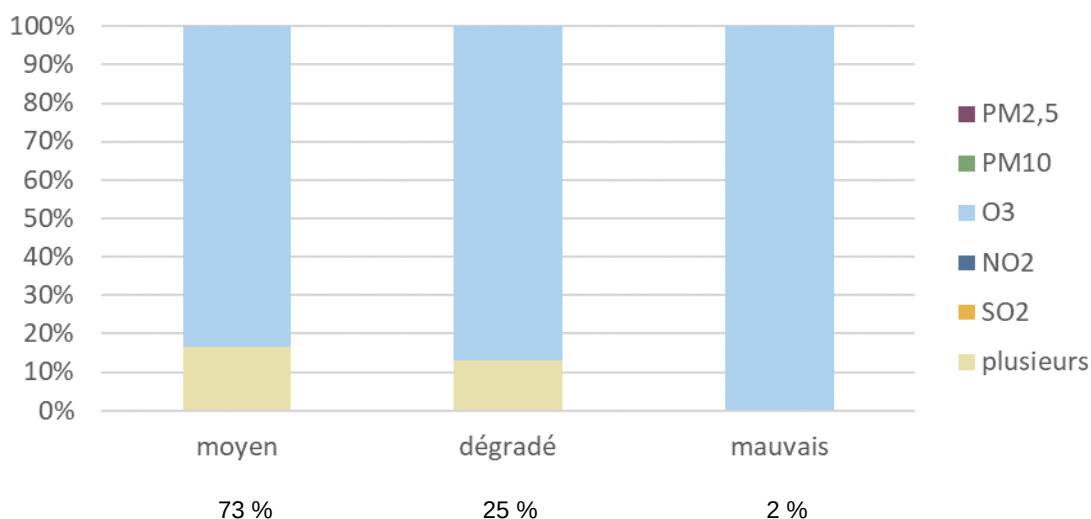


Figure 9 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération

Indice ATMO et indicateurs LSO QUALIT'AIR

On observe que l'indicateur, alimenté en partie par les données des capteurs situés aux Sables d'Olonne, fait état d'une qualité de l'air plus souvent dégradée ou mauvaise que l'indice ATMO (63 % de « moyen » contre 73 % pour l'indice ATMO).

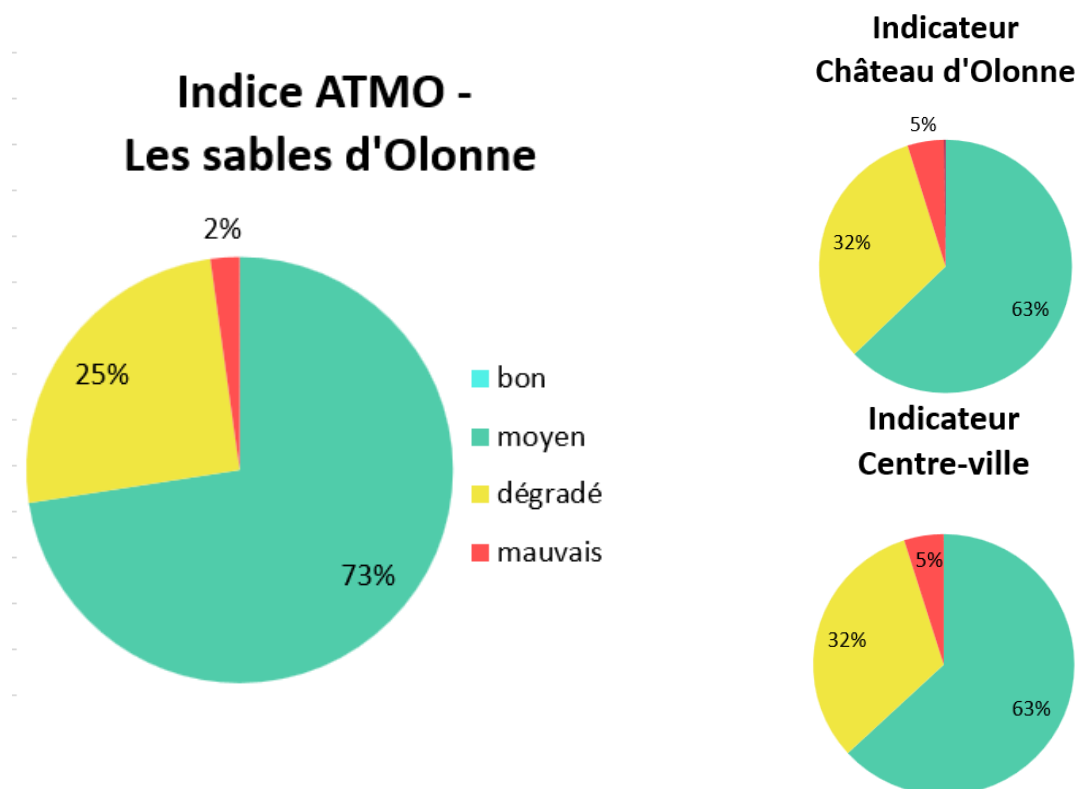


Figure 10 : comparaison de l'indice ATMO pour les Sables d'Olonne Agglomération avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par microcapteurs

En outre, bien que les sous-indices PM10 et PM2.5 issus de l'indice ATMO soient souvent différents des sous-indicateurs PM10 et PM2.5 issus des microcapteurs quel que soit le site considéré (entre 83 et 89 % du temps), l'indice ATMO global n'est différent de l'indicateur global que 13 % du temps au Château d'Olonne et 14 % du temps au centre-ville.

Lorsque l'indicateur est différent de l'indice ATMO, l'indicateur est toujours plus pénalisant que ce dernier, comme cela est illustré sur la figure ci-dessous représentant l'évolution temporelle des indicateurs des deux sites des Sables d'Olonne (carrés bleus pour le site du Château d'Olonne et points orange pour le site du centre-ville) et l'indice ATMO (trait gris) pour la semaine du 18 au 24 avril. Les figures suivantes illustrent de la même manière la comparaison entre les sous-indices et sous-indicateurs pour les particules.

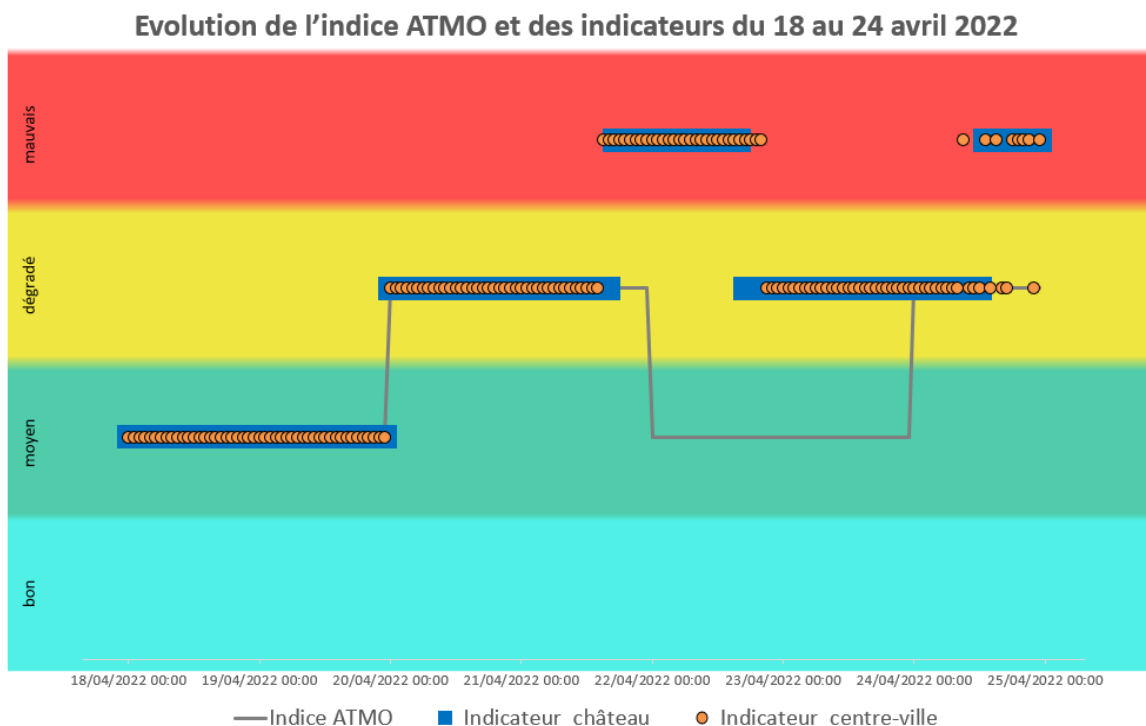


Figure 11 : comparaison de l'indice ATMO (trait gris) avec l'indicateur pour les sites du Château d'Olonne (carrés bleus) et du centre-ville (points orange) pour la semaine du 18 au 24 avril 2022

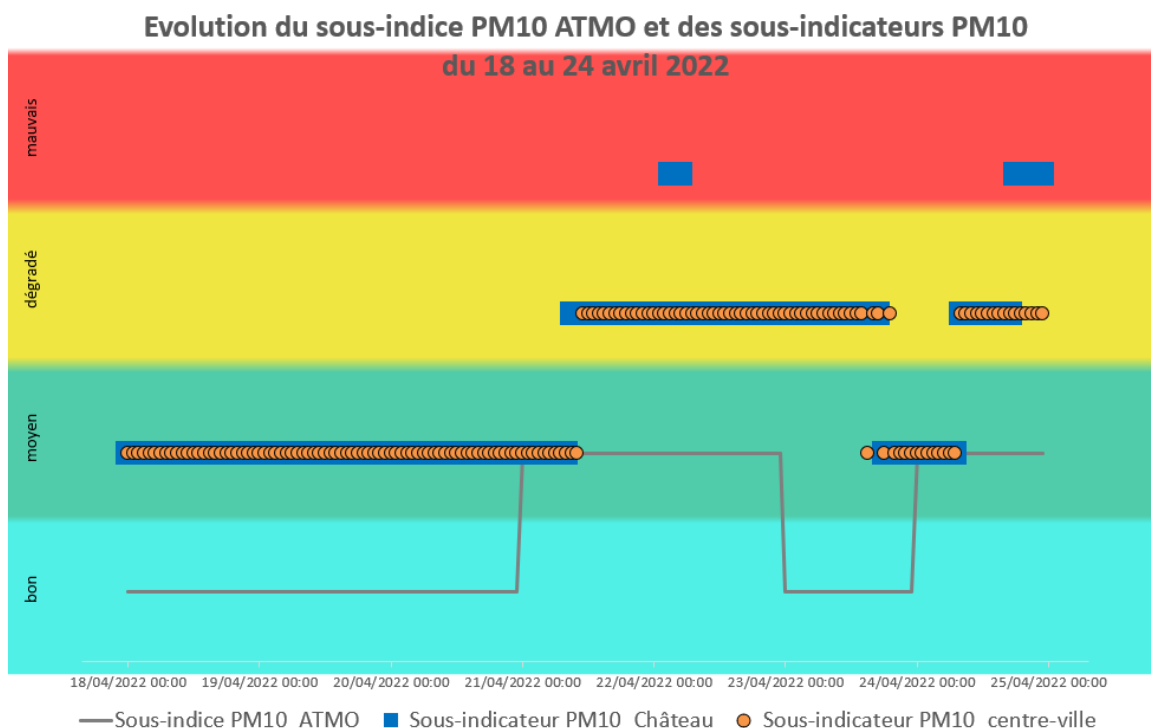


Figure 12 : comparaison du sous-indice PM10 (trait gris) avec le sous-indicateur PM10 pour les sites du Château d'Olonne (carrés bleus) et du centre-ville (points orange) pour la semaine du 18 au 24 avril 2022

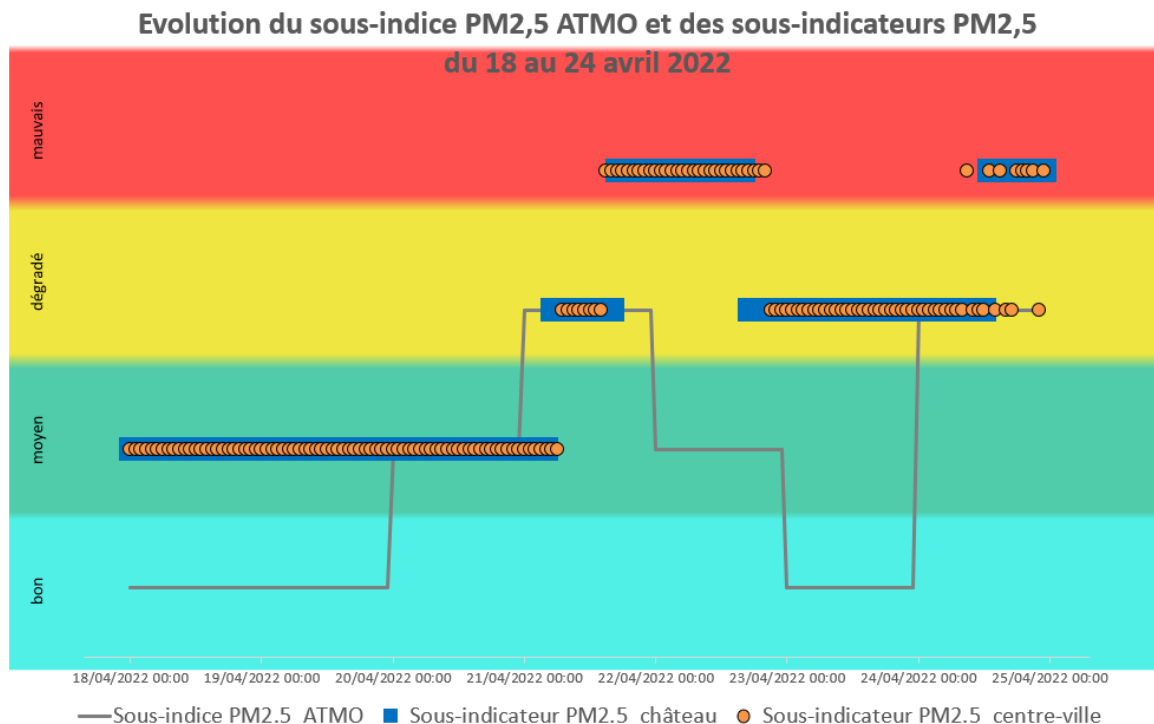


Figure 13 : comparaison du sous-indice PM2.5 (trait gris) avec le sous-indicateur PM2.5 pour les sites du Château d'Olonne (carrés bleus) et du centre-ville (points orange) pour la semaine du 18 au 24 avril 2022

La journée du 24 avril 2022 permet d'illustrer les différences observées entre les indicateurs calculés sur les 2 sites de mesure et l'indice ATMO des Sables d'Olonne.

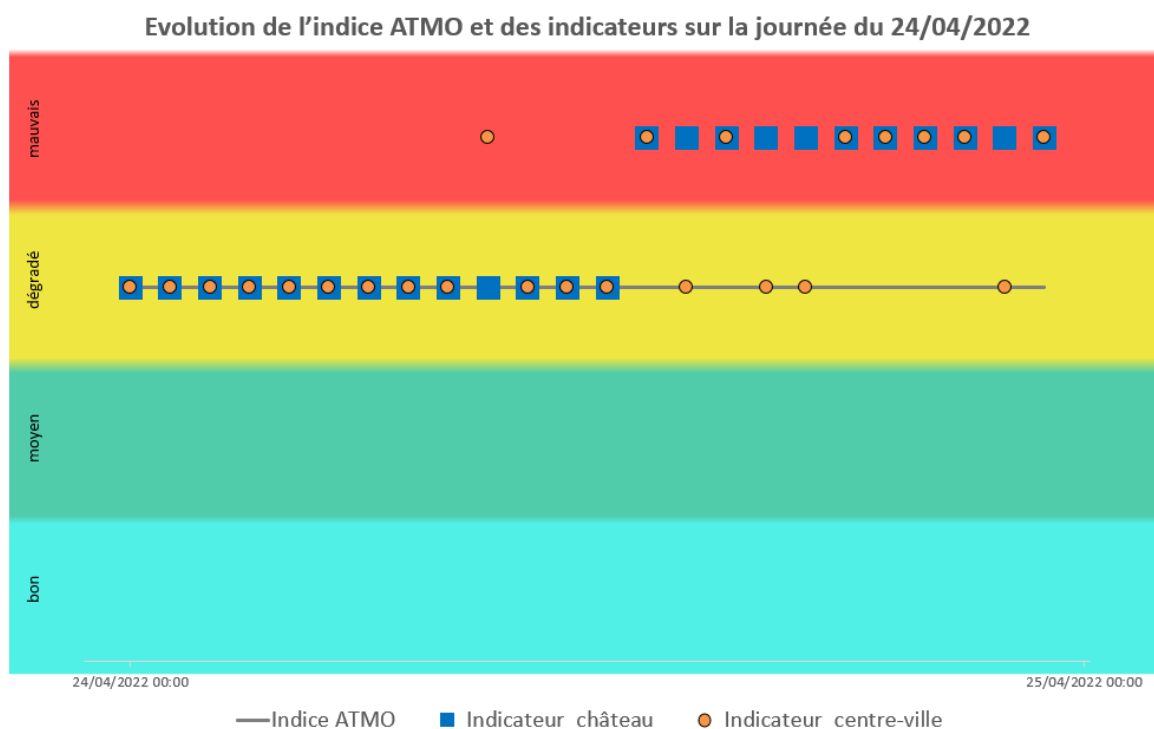


Figure 14 : comparaison de l'indice ATMO (trait gris) avec l'indicateur pour les sites du Château d'Olonne (carrés bleus) et du centre-ville (points orange) pour la journée du 24 avril 2022

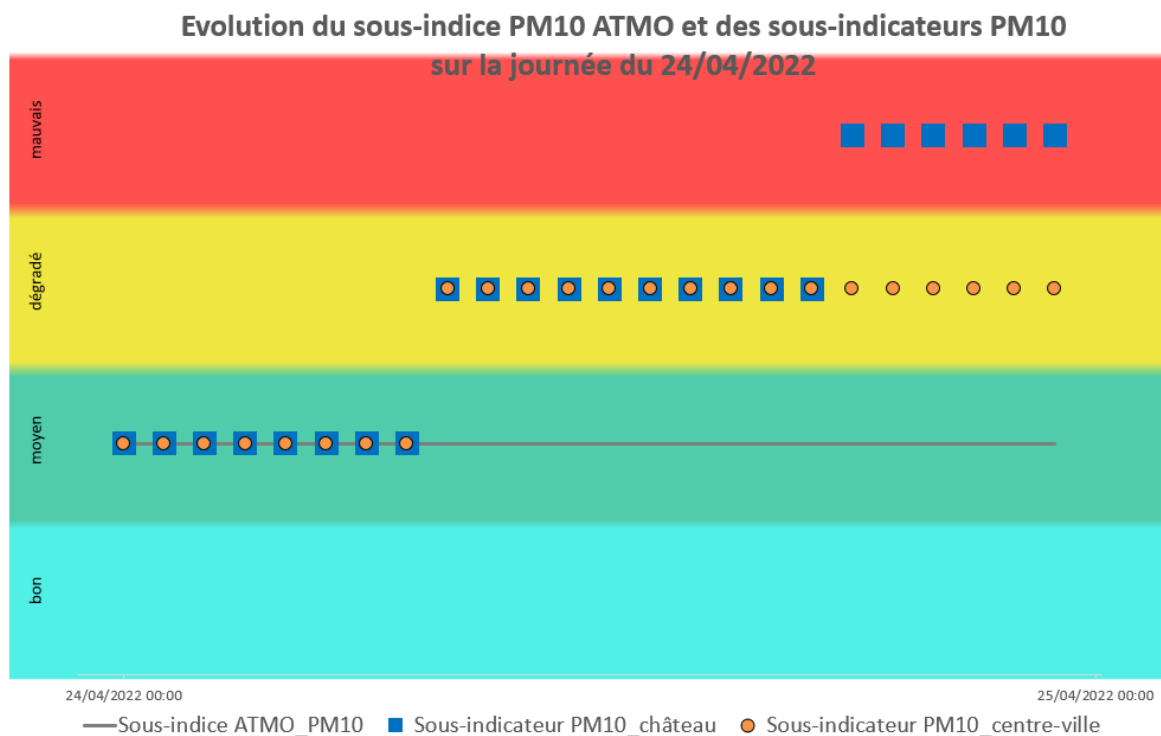


Figure 15 : comparaison du sous-indice PM10 (trait gris) avec le sous-indicateur PM10 pour les sites du Château d'Olonne (carrés bleus) et du centre-ville (points orange) pour la journée du 24 avril 2022

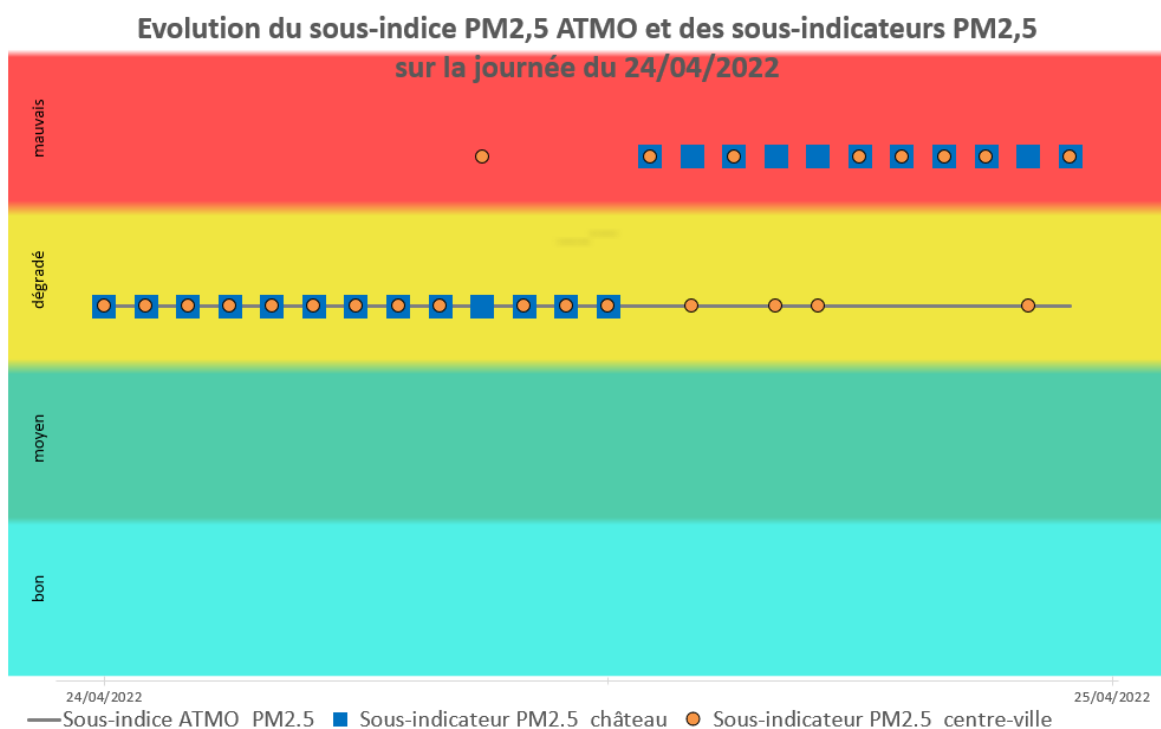


Figure 16 : comparaison du sous-indice PM2.5 (trait gris) avec le sous-indicateur PM2.5 pour les sites du Château d'Olonne (carrés bleus) et du centre-ville (points orange) pour la journée du 24 avril 2022

Une différence en termes de polluant déterminant est également observée : au 2^e trimestre, alors que l'indice ATMO est quasiment toujours déterminé par l'ozone (85 % du temps), les particules fines prennent une place plus importante dans la détermination de l'indicateur basé sur les mesures in situ.

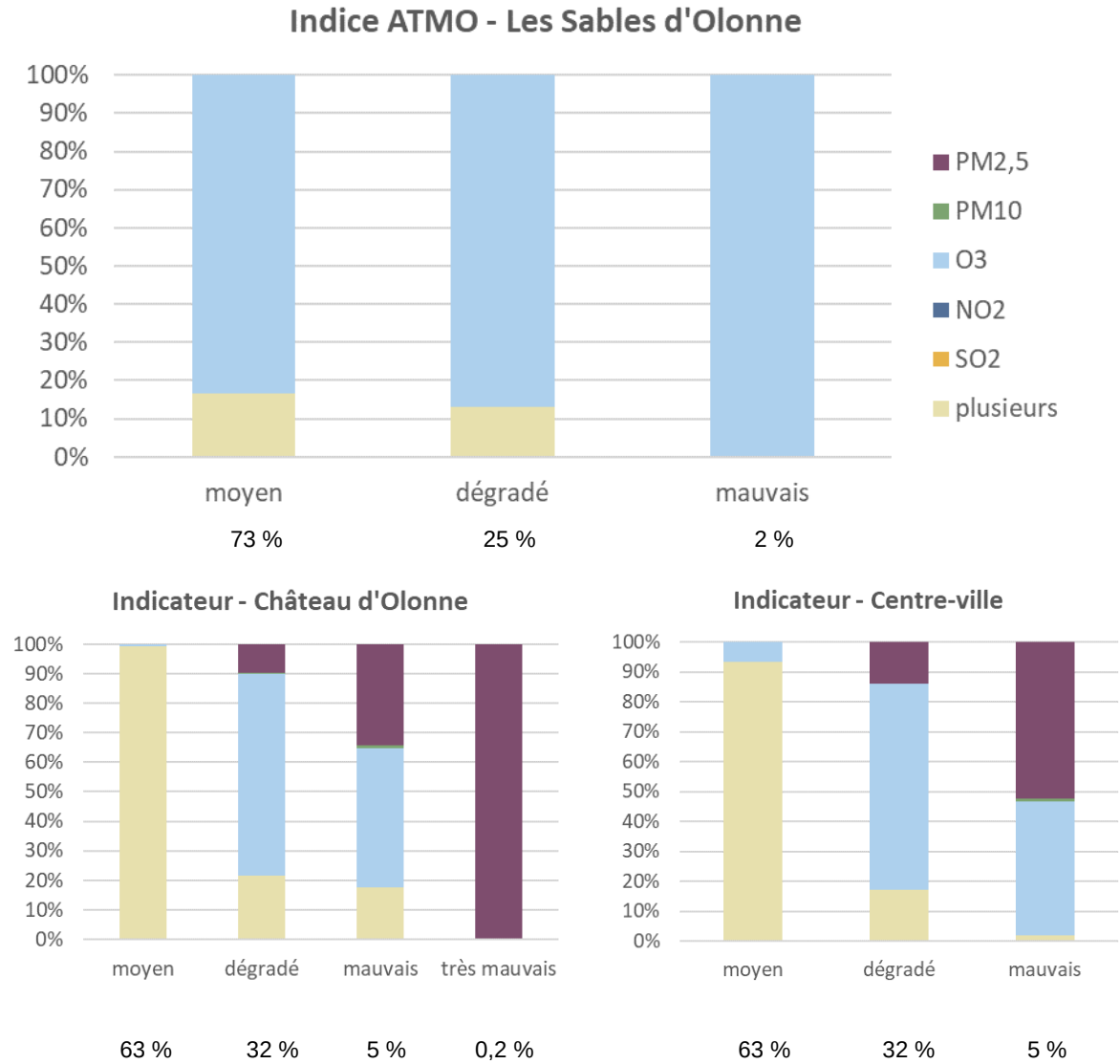


Figure 17 : comparaison de la répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par microcapteurs

Bilan du 3^e trimestre 2022 (juillet – septembre)

Indice ATMO et polluants déterminants

On observe globalement qu'au 3^e trimestre l'indice ATMO est aussi souvent « moyen » qu'au trimestre précédent. On observe cependant une proportion un peu plus importante de journées où l'indice est « mauvais » (6 % du temps contre 2 % au 2^e trimestre).

Ce trimestre regroupant les trois mois les plus chauds de l'année (juillet, août et septembre), l'influence du niveau d'ozone sur l'indice ATMO est encore plus marquée qu'au 2^e trimestre : c'est quasiment toujours (> 98 %) ce polluant qui détermine l'indice, quelle que soit sa valeur (moyen, dégradé ou mauvais).

Indice ATMO Les Sables d'Olonne

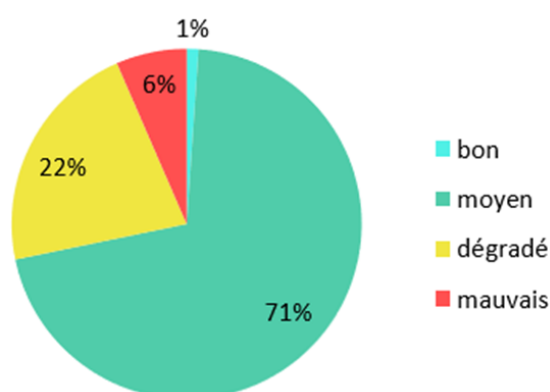


Figure 18 : répartition des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération au 3^e trimestre 2022

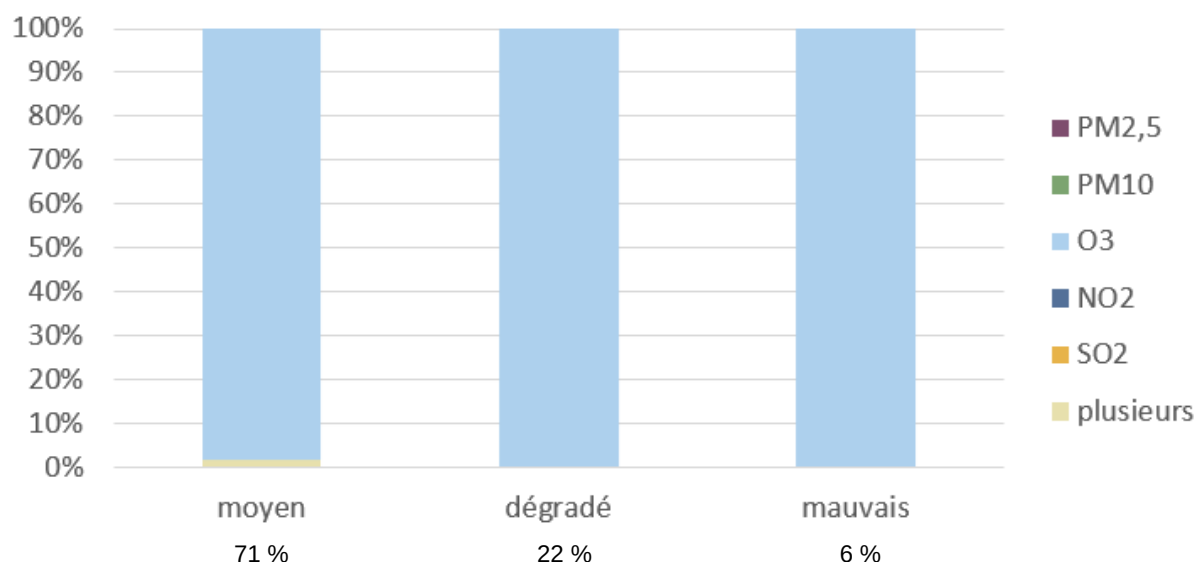


Figure 19 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération

Indice ATMO et indicateurs LSO QUALIT'AIR

On observe que l'indicateur alimenté en partie par les données des capteurs situés aux Sables d'Olonne donne exactement les mêmes résultats que l'indice ATMO. Cela s'explique par des niveaux d'ozone assez élevés, typiques de la saison estivale, qui déterminent quasi-systématiquement à la fois la valeur de l'indice ATMO et de l'indicateur car il n'y a pas de différence pour ce polluant qui est issu dans les deux cas (ATMO et projet) de la modélisation. De ce fait, bien que les sous-indices ATMO PM10 et PM2.5 soient souvent différents des sous-indicateurs PM10 et PM2.5 quel que soit le site considéré (entre 69 et 93 % du temps), l'indice ATMO global n'est différent que 1 % du temps de l'indicateur global.

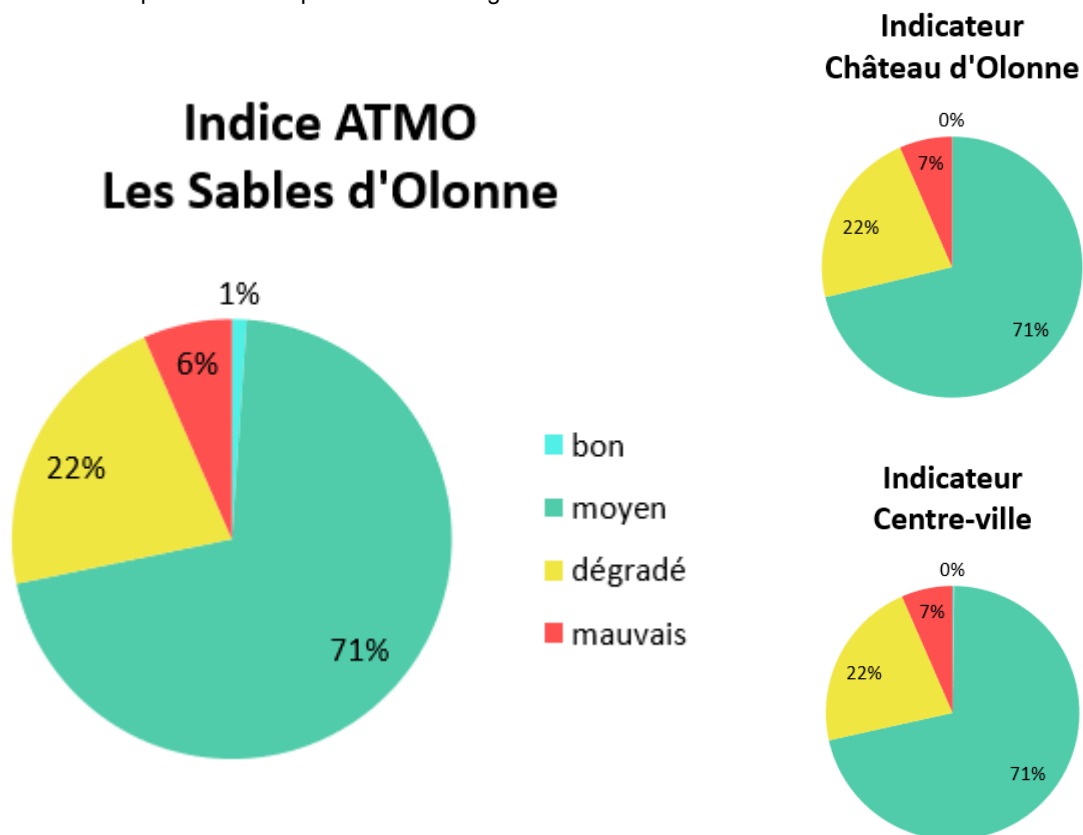


Figure 20 : comparaison de l'indice ATMO pour les Sables d'Olonne Agglomération avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par microcapteurs

On observe au troisième trimestre que les polluants déterminants sont à peu de choses près similaires entre indicateur et indice ATMO pour les qualificatifs « dégradé » et « mauvais ». En revanche, le qualificatif « moyen » est attribué à plusieurs polluants (ozone et particules) du fait de concentrations en particules PM10 et PM2.5 mesurées plus élevées que modélisées.

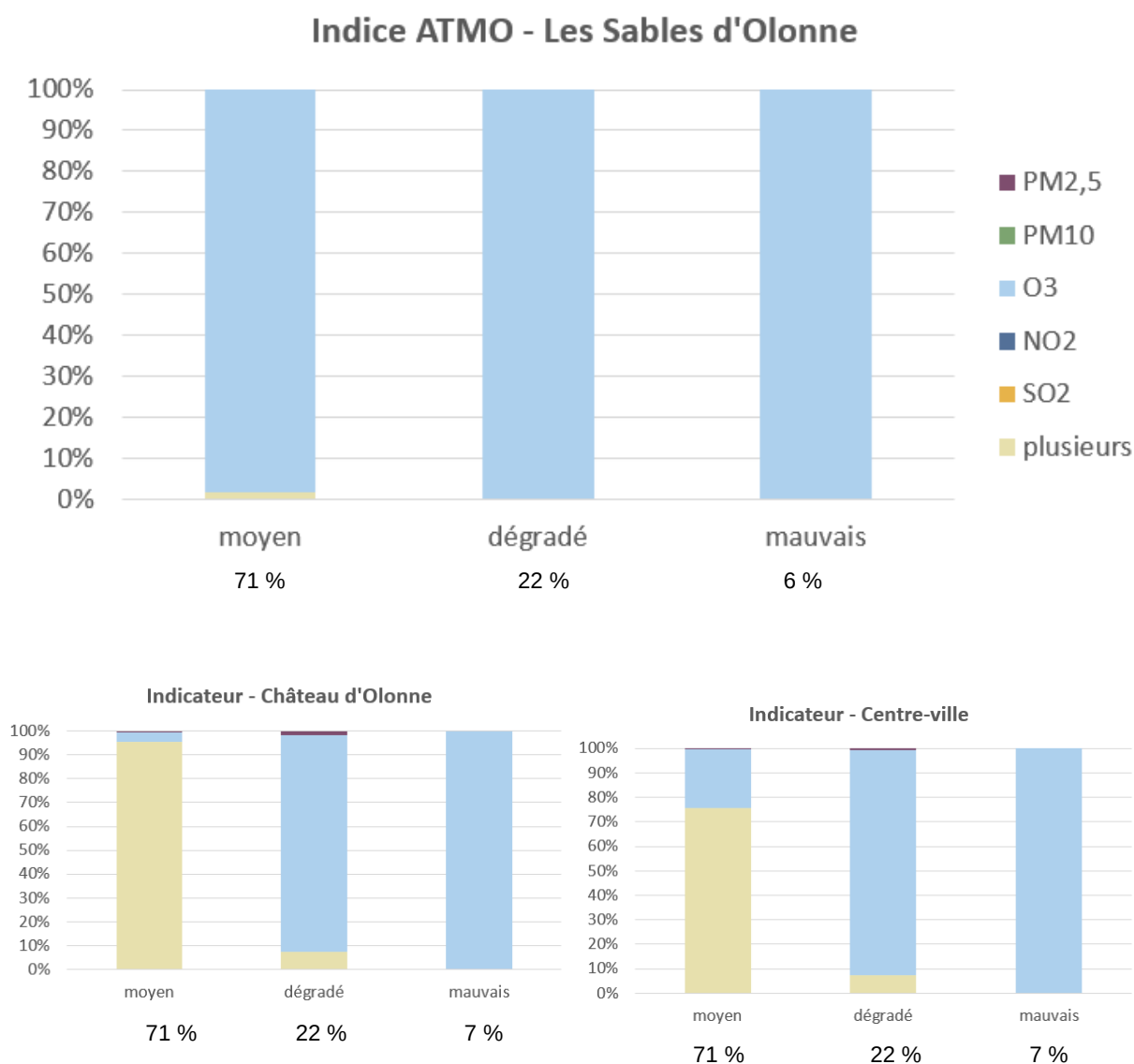


Figure 21 : comparaison de la répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par microcapteurs

Bilan du 4^e trimestre 2022 (octobre – décembre)

Indice ATMO et polluants déterminants

On observe qu'au 4^e trimestre, l'indice ATMO est presque systématiquement « moyen ». En effet, il n'y a que deux jours durant lesquels l'indice était « dégradé ». Ainsi, par comparaison aux trimestres précédents, la qualité de l'air a été meilleure au quatrième trimestre.

L'ozone a également été déterminant durant ce trimestre puisque ce polluant a été responsable d'une majorité des indices « moyens ». En effet, 64 % des indices « moyens » ont été attribués à l'ozone, tandis que 29 % de ces indices ont été attribués à la contribution simultanée des concentrations en ozone et en particules. Cela s'explique par des niveaux d'ozone de fond en période hivernale, donc sans photochimie⁴, correspondant à l'indice moyen. Par ailleurs, le 4^e trimestre a, dans l'ensemble, été caractérisé par des températures très douces pour cette période ainsi que par des masses d'air océaniques expliquant la faible influence des particules durant cette période hivernale.

Indice ATMO Les Sables d'Olonne

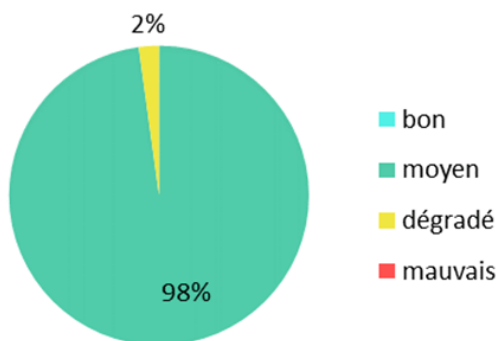


Figure 22 : répartition des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération au 4^e trimestre de 2022

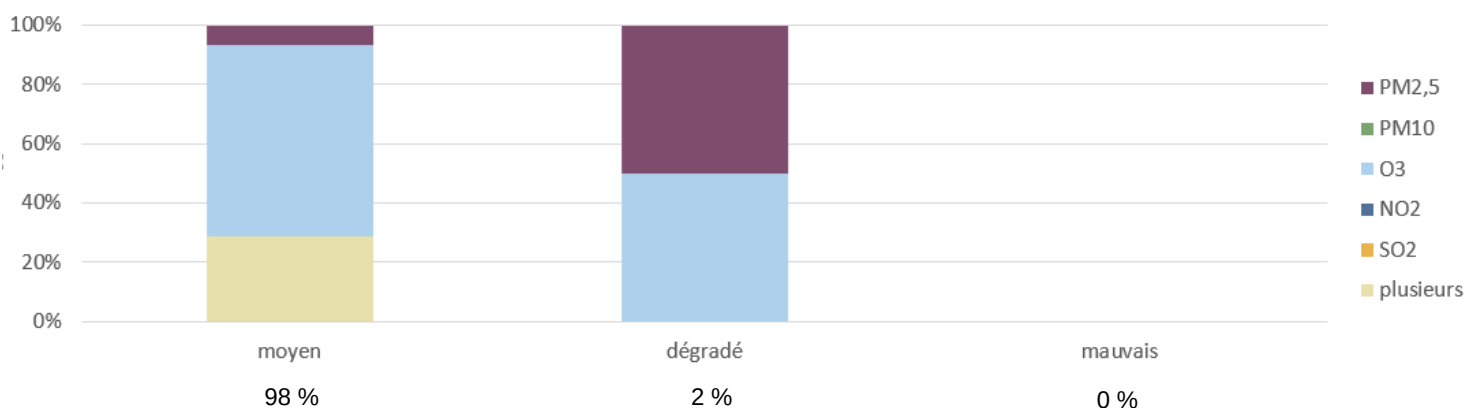


Figure 23 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération au 4^e trimestre de 2022

⁴ Réactions chimiques initiées par le rayonnement solaire et responsables de la formation de l'ozone.

Indice ATMO et indicateurs LSO QUALIT'AIR

On observe que l'indicateur alimenté en partie par les données des capteurs situés aux Sables d'Olonne donne des résultats différents de l'indice ATMO. En effet, alors que l'indice ATMO indique que la qualité de l'air est dégradée 2 % du temps, l'indicateur au château donne 17 % du temps tandis que celui du centre-ville donne 24 % du temps. Cela est dû à l'influence des particules, seule différence entre l'indicateur et l'indice ATMO, et dont les sous-indices issus de l'indicateur sont surestimés par rapport au sous-indice ATMO issu de la modélisation régionale.

Les sous-indices PM10 et PM2.5 issus de l'indice ATMO sont, également au quatrième trimestre, souvent différents des sous-indicateurs PM10 et PM2.5 issus de l'indicateur quel que soit le site considéré (entre 78 et 94 % du temps), l'indice ATMO global n'est différent de l'indicateur global que 15 % du temps au Château d'Olonne et 24 % du temps au centre-ville.

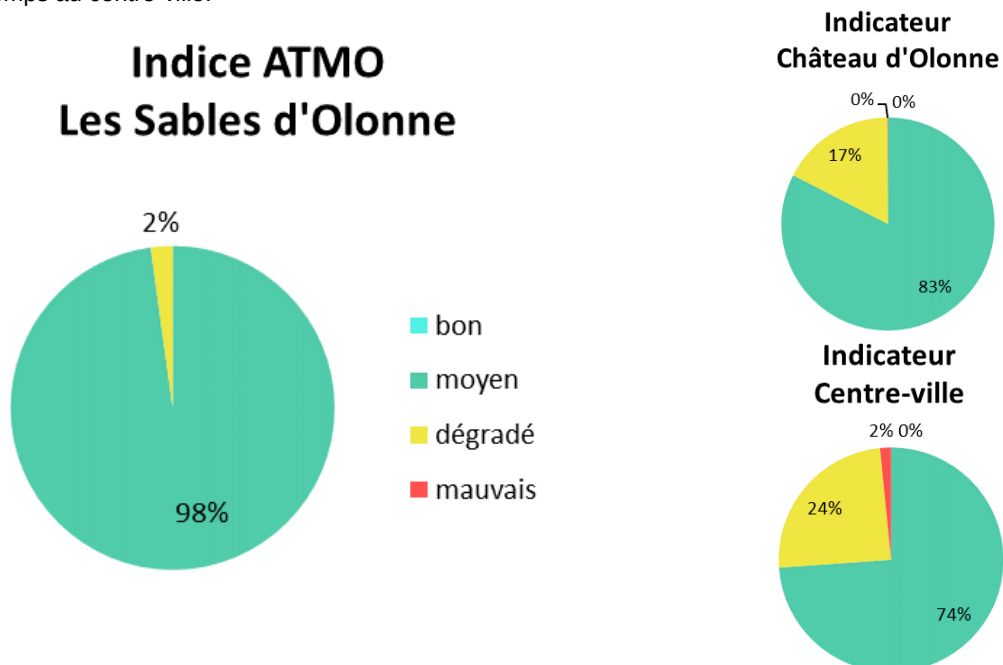


Figure 24 : comparaison de l'indice ATMO pour les Sables d'Olonne Agglomération avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par microcapteurs

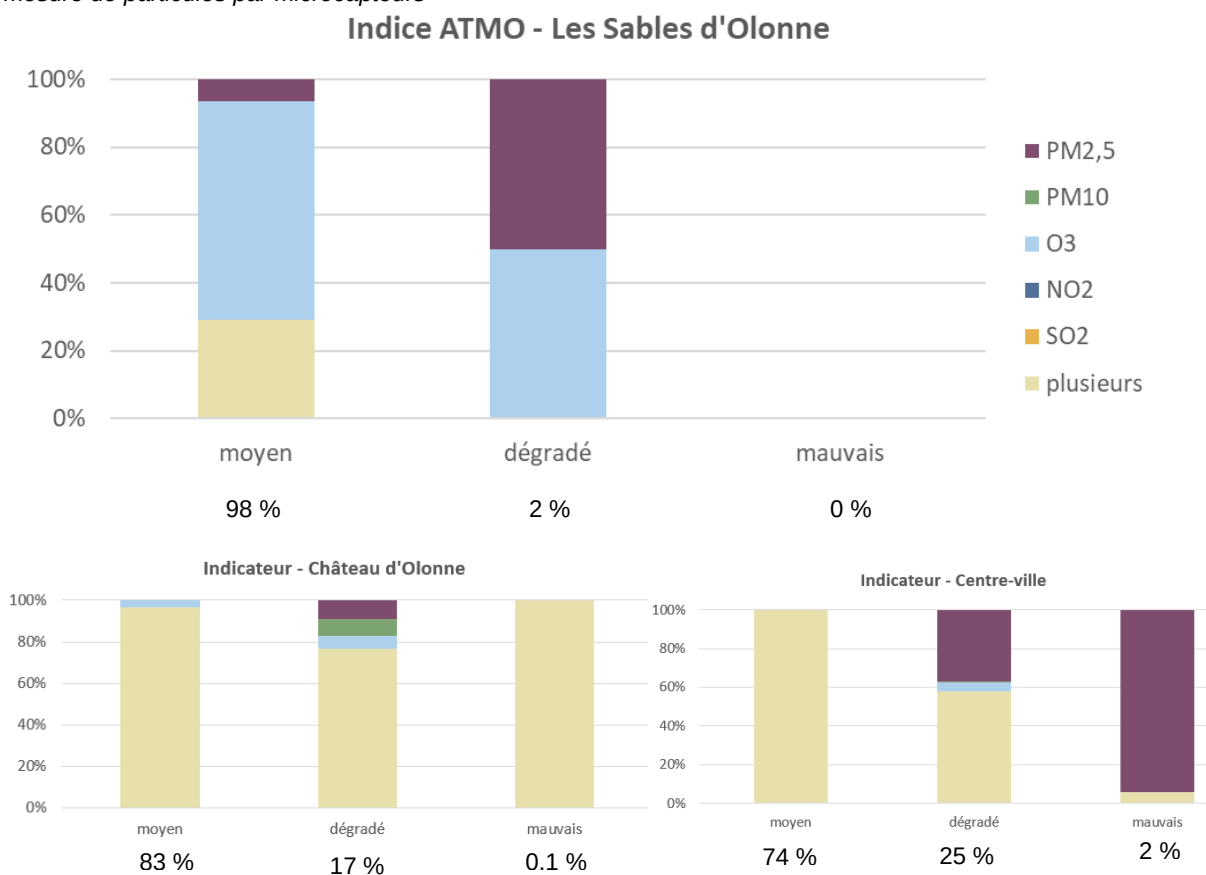


Figure 25 : comparaison de la répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par microcapteurs

Bilan des comparaisons indicateurs / indices

Le tableau suivant résume les proportions du temps où les indicateurs diffèrent des indices ATMO sur les différentes stations et pour chaque trimestre :

Indicateurs	Nantes Métropole	Pays de la Châtaigneraie	La Roche-sur-Yon	Château d'Olonne	Centre-ville
Trimestre 1	5,56 %	5,33 %	-	-	-
Trimestre 2	0 %	0 %	-	13,42 %	13,63 %
Trimestre 3	0 %	0 %	0 %	1,45 %	1,00 %
Trimestre 4	5,62 %	2,70 %	9,78 %	15,26 %	24,35 %
Moyenne (hors trimestre 3)	3,72 %	2,68 %	9,78 %	14,34 %	18,99 %

Tableau 1 : comparaison des pourcentages du temps où les indicateurs diffèrent de l'indice ATMO pour chaque trimestre et sur chaque site

La proportion du temps où l'indicateur issu des stations permanentes d'Air Pays de la Loire ne correspond pas à l'indice ATMO varie entre 0 % et près de 10 % tandis que la proportion du temps où l'indicateur issu des microcapteurs diffère de l'indice ATMO varie entre 1 % et 24 %. Il est à noter qu'au troisième trimestre, l'ozone étant déterminant et commun aux indicateurs et à l'indice ATMO, les mesures de PM10 et PM2.5 n'impactent que très peu les résultats. Le troisième trimestre a de ce fait été retiré des moyennes.

On remarque des différences plus élevées aux Sables d'Olonne par l'intégration des microcapteurs que sur les autres stations par l'intégration des analyseurs réglementaires issus des stations permanentes. Au second et quatrième trimestre, on retrouve en moyenne 3,62 % du temps où l'intégration des mesures issues des stations permanentes mènent à une contradiction avec l'indice ATMO alors que l'intégration des mesures par microcapteur mène en moyenne à 16,67 % de différence avec l'indice ATMO.

Les indicateurs étant construits à partir des sous-indicateurs, il paraît intéressant de mener cette même comparaison à partir des sous-indicateurs PM10 et PM2.5. Il est à noter que les sous-indicateurs sont directement issus des mesures de concentrations et sont donc plus représentatifs de la pertinence de l'intégration des microcapteurs que l'indicateur en lui-même qui dépend également d'autres polluants.

Sous-indicateurs PM10	Nantes Métropole	Pays de la Châtaigneraie	La Roche-sur-Yon	Château d'Olonne	Centre-ville
Trimestre 1	18,89 %	14,67 %	-	-	-
Trimestre 2	8,79 %	2,86 %	-	88,73 %	83,20 %
Trimestre 3	5,43 %	4,76 %	2,17 %	83,74 %	68,53 %
Trimestre 4	10,11 %	8,11 %	5,43 %	78,59 %	80,90 %
Moyenne	10,81 %	7,60 %	3,80 %	83,69 %	77,54 %

Tableau 2 : comparaison des pourcentages du temps où les sous-indicateurs PM10 diffèrent des sous-indices ATMO PM10 pour chaque trimestre et sur chaque site

En moyenne sur les quatre trimestres, l'intégration des mesures PM10 issues des stations permanentes mène à 8,12 % du temps où le sous-indicateur n'est pas en accord avec le sous-indice PM10 correspondant. Cela diminue à 5,96 % du temps si l'on ne considère pas le premier trimestre.

L'intégration des mesures PM10 des microcapteurs mène à des contradictions avec le sous-indice ATMO 80,62 % du temps en moyenne sur les trimestres 2 à 4. Les différences entre sous-indicateur PM10 et sous-indice PM10 sont donc très significativement plus élevées par l'intégration des mesures des microcapteurs que par l'intégration des mesures des analyseurs réglementaires.

Sous-indicateurs PM2.5	Nantes Métropole	Pays de la Châtaigneraie	La Roche-sur-Yon	Château d'Olonne	Centre-ville
Trimestre 1	14,44 %	26,67 %	-	-	-
Trimestre 2	9,89 %	7,14 %	-	84,05 %	84,10 %
Trimestre 3	5,43 %	0,00 %	4,35 %	92,69 %	78,79 %
Trimestre 4	13,48 %	9,46 %	26,09 %	87,05 %	94,07 %
Moyenne	10,81 %	10,82 %	15,22 %	87,93 %	85,65 %

Tableau 3 : comparaison des pourcentages du temps où les sous-indicateurs PM2.5 diffèrent des sous-indices ATMO PM2.5 pour chaque trimestre et sur chaque site

Concernant l'intégration des mesures PM2.5, les microcapteurs mènent à des contradictions avec le sous-indice ATMO en moyenne 87 % du temps sur les trimestres 2 à 4 tandis que l'intégration des mesures issues des stations permanentes mènent à des contradictions 12 % du temps en moyenne sur les quatre trimestres et 9,5 % du temps sur les trimestres 2 à 4. Les différences entre sous-indicateur PM2.5 et sous-indice PM2.5 sont donc également très significativement plus élevées par l'intégration des mesures des microcapteurs que par l'intégration des mesures des analyseurs réglementaires.

Finalement, la comparaison des indicateurs issus des mesures des stations permanentes avec les indices ATMO ont montré qu'il n'y a pas de tendance globale à une surestimation ou sous-estimation de l'indice par l'intégration des mesures issues des analyseurs réglementaires.

En revanche, l'intégration des données des microcapteurs a conduit à une surestimation systématique de l'indice (hors troisième trimestre), et de manière plus importante que par l'intégration des mesures des analyseurs de référence des stations permanentes.

Par ailleurs, l'indicateur issu des mesures des stations permanentes diffère de l'indice ATMO environ 4 % du temps en moyenne (hors trimestre 3) sur l'ensemble des stations tandis que l'indicateur issu des microcapteurs diffère de l'indice ATMO près de 17 % du temps.

Enfin, concernant les sous-indicateurs, on retrouve respectivement pour les PM10 et PM2.5, à partir des mesures des stations permanentes, environ 8 % et 12 % des sous-indicateurs qui sont différents des sous-indices ATMO en moyenne sur les quatre trimestres et sur les trois sites. En revanche, concernant les sous-indicateurs issus des microcapteurs, on passe respectivement pour les PM10 et PM2.5 à 81 % et 87 % du temps où les sous-indicateurs sont différents des sous-indices ATMO.

Les comparaisons effectuées dans ce chapitre entre l'indicateur LSO QUALIT'AIR issu des microcapteurs et l'indice ATMO ont montré des différences significatives entre sous-indices et sous-indicateurs. Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ces différences. Il peut s'agir :

- d'une sous-estimation des concentrations modélisées dans l'indice ATMO,
- du mode de calcul pour l'agrégation des concentrations (moyennes 24h glissantes utilisées dans l'indicateur issu des microcapteurs tandis que ce sont des moyennes journalières qui sont considérées dans l'indice ATMO),
- de la métrologie des microcapteurs.

Afin d'écarter ces différents points, nous nous attacherons, dans un premier temps, à comparer l'indicateur issu des mesures des stations permanentes avec l'indice ATMO en suivant la même méthodologie (moyennes journalières des concentrations mesurées par les stations permanentes). Cela permettra de confirmer ou non la pertinence de la modélisation vis-à-vis des mesures de référence.

Une autre comparaison sera menée par la suite entre l'indicateur issu des mesures des stations permanentes avec l'indice ATMO, cette fois en considérant des moyennes 24h glissantes pour l'indicateur afin d'évaluer l'impact de la différence de mode de calcul.

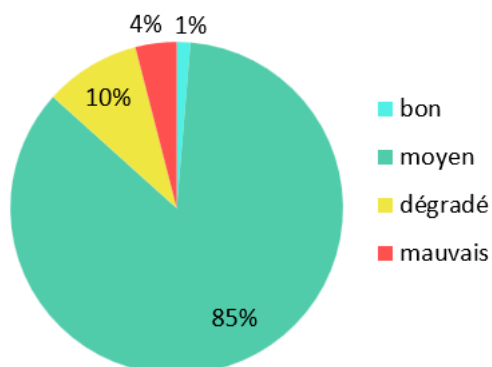
Comparaison de l'indicateur issu des stations permanentes avec l'indice ATMO : pertinence de la modélisation

L'indicateur étant dans cette partie calculé à partir des moyennes journalières des concentrations mesurées par les stations permanentes, cela pourra donner une indication de la pertinence de la modélisation étant donné que l'agrégation des concentrations particulières est la même (moyennes journalières civiles).

Les figures suivantes représentent la proportion du temps où surviennent les différents qualificatifs durant le trimestre. Nous tâcherons de comparer ce type de figures calculées à partir des indices ATMO avec ceux issus des indicateurs. La proportion du temps où les sous-indices ne correspondent pas avec les sous-indicateurs ainsi que la proportion du temps où l'indicateur ne correspond pas à l'indice seront calculées. Ce travail sera effectué à partir des indicateurs issus des stations permanentes mais également, dans les parties dédiées du rapport, à partir des indicateurs issus des microcapteurs. Un bilan sera présenté en conclusion afin de comparer les écarts constatés entre indicateurs issus des stations permanentes et indice ATMO et indicateurs issus des microcapteurs et indice ATMO.

Premier trimestre (janvier - mars)

Pays de la Châtaigneraie - indice ATMO



Pays de la Châtaigneraie - indicateur station permanente

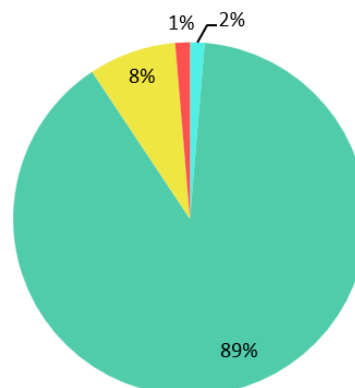


Figure 26 : comparaison de l'indice ATMO pour le Pays de la Châtaigneraie avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente de la Tardière au premier trimestre

Au global, sur le premier trimestre, l'intégration des mesures a pour conséquence une amélioration de l'indice, avec une légère réduction du qualificatif « dégradé » qui passe de 10 % du temps à 8 % du temps et du qualificatif « mauvais » qui passe de 4 % du temps à 1 % du temps ainsi que l'indice « bon » qui passe de 1 % du temps à 2 % du temps. Un qualificatif plus favorable est donc observé durant 6 % du temps du premier trimestre au Pays de la Châtaigneraie en intégrant les mesures particulières de la station rurale de la Tardière. Cette réduction est essentiellement due à des concentrations mesurées de PM2.5 plus faibles que modélisées.

Les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices respectivement 15 % et 27 % du temps tandis que l'indicateur diffère de l'indice 5 % du temps.

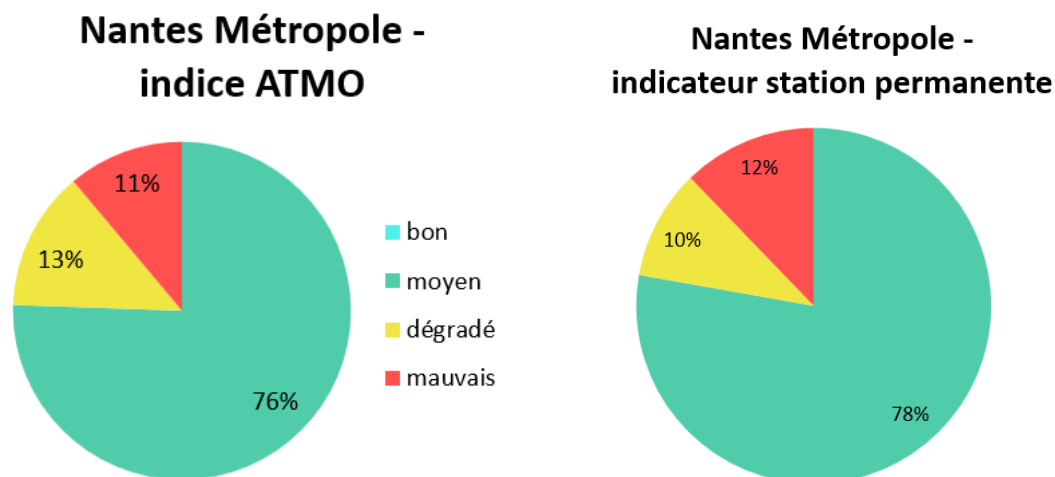


Figure 27 : comparaison de l'indice ATMO pour Nantes Métropole avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente du cimetière de la Bouteillerie de Nantes au premier trimestre

À Nantes Métropole, le qualificatif « dégradé » est réduit de 13 % du temps à 10 % du temps tandis que le qualificatif « mauvais » passe de 11 % du temps à 12 % du temps. Un qualificatif plus favorable est donc observé 2 % du temps de plus par l'intégration des mesures particulières de Nantes.

Les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices respectivement 19 % et 14 % du temps tandis que l'indicateur diffère de l'indice 6 % du temps.

Finalement, les indicateurs issus des stations permanentes restent proches de l'indice ATMO au premier trimestre au Pays de la Châtaigneraie et à Nantes Métropole.

Second trimestre (avril - juin)

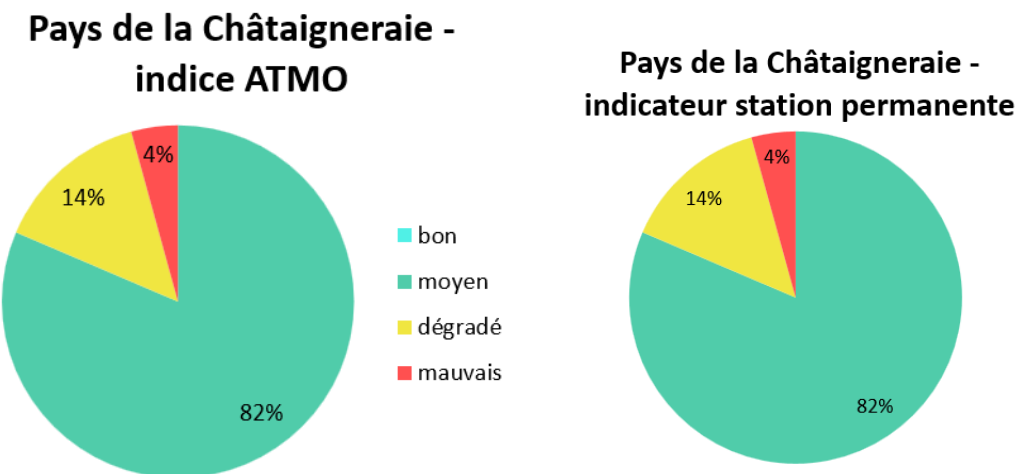
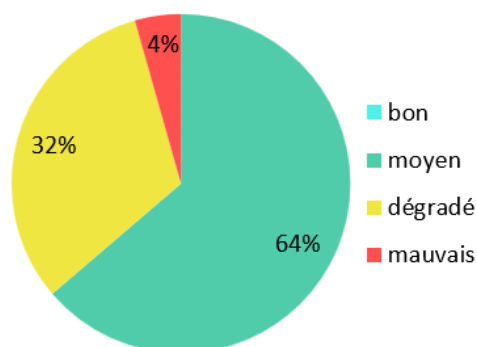


Figure 28 : comparaison de l'indice ATMO pour le Pays de la Châtaigneraie avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente de la Tardière au second trimestre

Pour le second trimestre, l'intégration des mesures particulières n'a pas de conséquence sur la répartition globale des qualificatifs pour le Pays de la Châtaigneraie.

Les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices respectivement 2 % et 7 % du temps. Pour autant, l'indicateur ne diffère jamais de l'indice au second trimestre, les sous-indices différents n'étant pas déterminants.

Nantes Métropole - indice ATMO



Nantes Métropole - indicateur station permanente

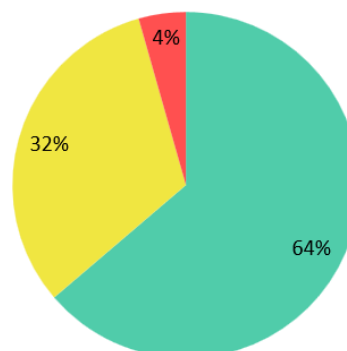


Figure 29 : comparaison de l'indice ATMO pour Nantes Métropole avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente du cimetière de la Bouteillerie de Nantes au second trimestre

De même pour Nantes Métropole, il n'y a pas de différence concernant la répartition des qualificatifs pour le second trimestre entre l'indice ATMO et l'indicateur issu des mesures particulières de la station urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes.

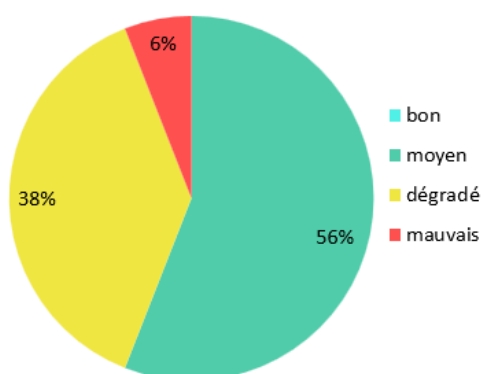
Les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices respectivement 9 % et 10 % du temps tandis que l'indicateur ne diffère jamais au second trimestre.

Finalement, les indicateurs au second trimestre sont également très proches de l'indice ATMO issus des stations permanentes au Pays de la Châtaigneraie et à Nantes Métropole.

Troisième trimestre (juillet - septembre)

Au troisième trimestre, les répartitions globales des qualificatifs sont identiques entre indicateurs et indice ATMO sur chacune des zones étudiées. Cela s'explique par le fait que l'ozone est toujours déterminant et qu'il est commun entre indicateur et indice ATMO. On peut par ailleurs remarquer que les répartitions sont très proches entre Nantes Métropole, La Roche-sur-Yon et le Pays de la Châtaigneraie, ce polluant étant régional, les concentrations sont très homogènes dans la région.

Pays de la Châtaigneraie - indice ATMO



Pays de la Châtaigneraie - indicateur station permanente

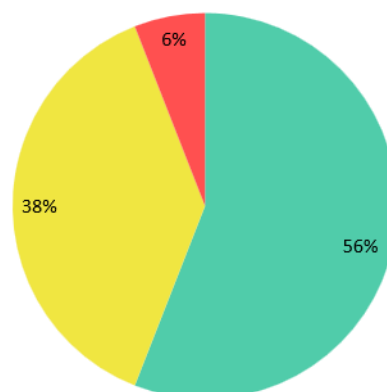


Figure 30 : comparaison de l'indice ATMO pour le Pays de la Châtaigneraie avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente de la Tardière au troisième trimestre

Le sous-indicateur PM10 est différent du sous-indice PM10 durant 5 % du temps au Pays de la Châtaigneraie. Concernant les PM2.5, il n'y a pas de différence entre sous-indicateur et sous-indice. L'indicateur quant à lui ne diffère jamais de l'indice ATMO.

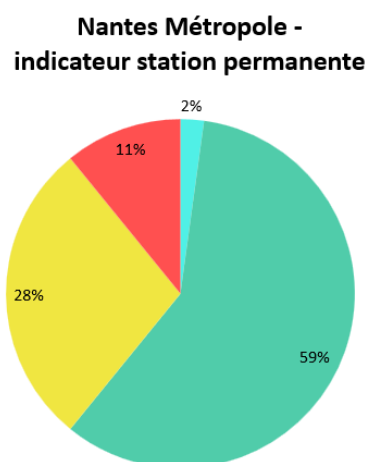
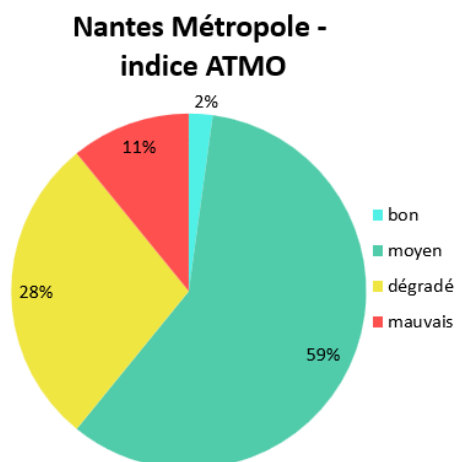


Figure 31 : comparaison de l'indice ATMO pour Nantes Métropole avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente du cimetière de la Bouteillerie de Nantes au troisième trimestre

Pour Nantes Métropole, les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices ATMO 5 % du temps. De la même manière qu'au Pays de la Châtaigneraie, l'indicateur ne diffère jamais de l'indice ATMO au troisième trimestre.

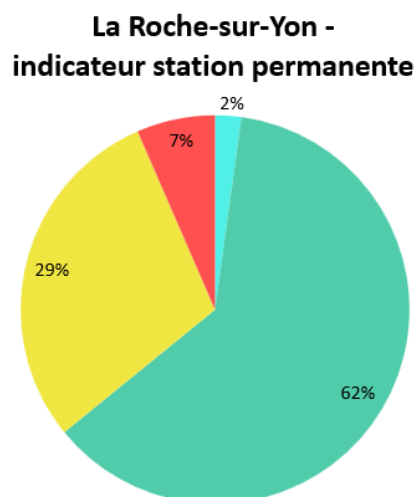
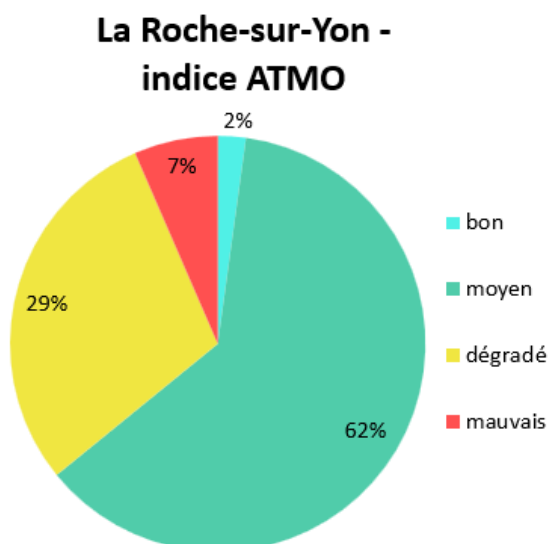
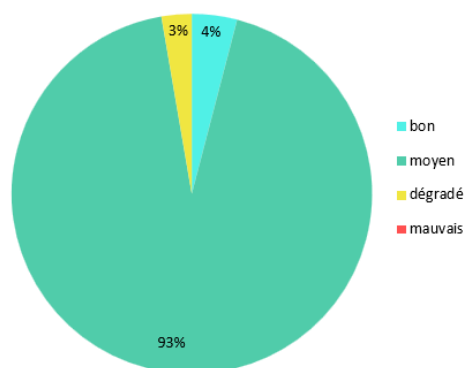


Figure 32 : comparaison de l'indice ATMO pour La Roche-sur-Yon avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente de La Roche-sur-Yon au troisième trimestre

À La Roche-sur-Yon, les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices ATMO respectivement 2 % et 4 % du temps. De la même manière qu'au Pays de la Châtaigneraie, l'indicateur ne diffère jamais de l'indice ATMO au troisième trimestre.

Quatrième trimestre (octobre - décembre)

**Pays de la Châtaigneraie -
indice ATMO**



**Pays de la Châtaigneraie -
indicateur station permanente**

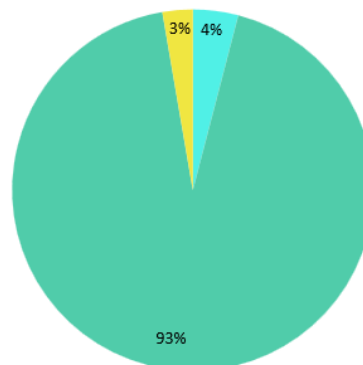
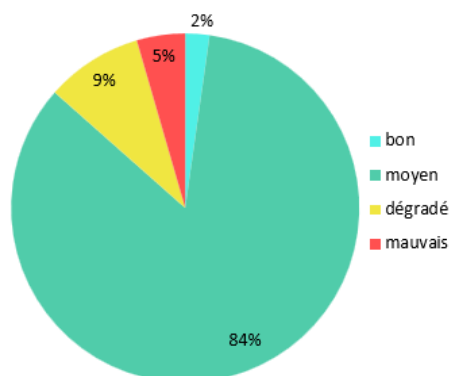


Figure 33 : comparaison de l'indice ATMO pour le Pays de la Châtaigneraie avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente de la Tardière au quatrième trimestre

Aucune différence de répartition globale des qualificatifs n'est observée au quatrième trimestre de 2022 au Pays de la Châtaigneraie entre indice ATMO et indicateur.

Le sous-indicateur PM10 et PM2.5 diffèrent des sous-indices PM10 et PM2.5 durant respectivement 8 % et 9 % du temps. Les indicateurs diffèrent quant à eux de l'indice ATMO uniquement 3 % du temps.

**Nantes Métropole -
indice ATMO**



**Nantes Métropole -
indicateur station permanente**

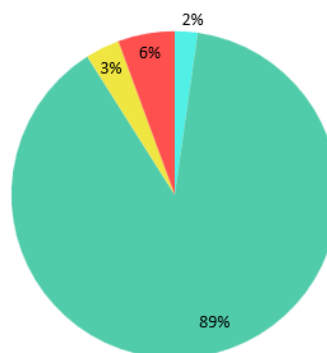


Figure 34 : comparaison de l'indice ATMO pour Nantes Métropole avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente du cimetière de la Bouteillerie de Nantes au quatrième trimestre

Pour Nantes Métropole, on observe une légère amélioration des qualificatifs par l'intégration des mesures particulières issues de la station du cimetière de la Bouteillerie à Nantes. En effet, le qualificatif « dégradé » passe de 9 % à 3 % mais le qualificatif « mauvais » passe de 5 % à 6 %.

Les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices ATMO respectivement 10 % et 13 % du temps. Les indicateurs diffèrent des indices ATMO environ 6 % du temps.

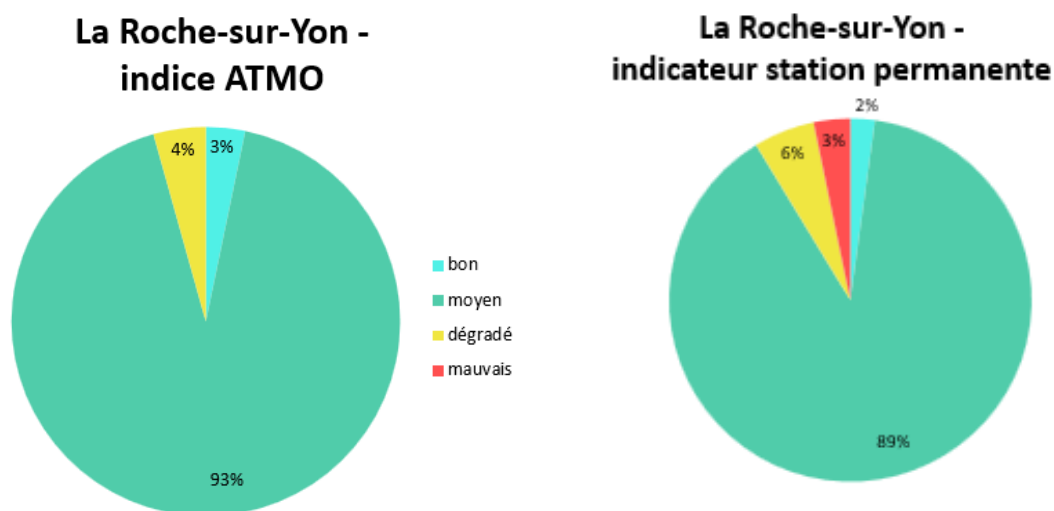


Figure 35 : comparaison de l'indice ATMO pour La Roche-sur-Yon avec l'indicateur basé sur la mesure de particules par la station permanente de La Roche-sur-Yon au quatrième trimestre

À La Roche-sur-Yon, le qualificatif « moyen » passe de 4 % à 6 % alors que le qualificatif « mauvais » qui n'était pas présent avec l'indice ATMO passe à 3 % tandis que le qualificatif « bon » passe de 3 % à 2 %. L'indice a donc été dégradé par l'intégration des mesures pour le quatrième trimestre à La Roche-sur-Yon.

Les sous-indicateurs PM10 et PM2.5 sont différents des sous-indices ATMO PM10 et PM2.5 respectivement 5 % et 26 % du temps. L'indicateur diffère de l'indice ATMO durant 10 % du temps.

Finalement, la comparaison de l'indicateur issu des mesures de concentrations en moyennes journalières des stations permanentes avec l'indice ATMO sur les quatre trimestres de 2022 fait ressortir des différences entre sous-indices et sous-indicateurs de l'ordre de 10 % du temps, indiquant que la modélisation est pertinente du fait des faibles différences entre la mesure et la modélisation. Il est ainsi peu probable que les différences constatées entre sous-indicateurs issus des microcapteurs et sous-indices ATMO aux Sables d'Olonne soient dues à une sous-estimation des concentrations par la modélisation spécifiquement aux Sables d'Olonne. En effet, l'inventaire régional des émissions de polluants BASEMIS réalisé par Air Pays de la Loire ne montre pas d'émetteurs particuliers sur ce territoire par comparaison aux autres territoires considérés dans cette étude.

Comparaison de l'indicateur issu des stations permanentes avec l'indice ATMO : impact du mode de calcul

Afin d'évaluer l'impact de l'utilisation des moyennes 24h glissantes dans l'indicateur issu des microcapteurs (pour rappel, c'est un choix qui a été fait afin d'avoir une donnée temps réel), les mêmes comparaisons que dans le chapitre précédent ont été effectuées entre indicateurs issus des stations permanentes avec l'indice ATMO mais cette fois en considérant des moyennes 24h glissantes pour l'indicateur issu des stations permanentes.

Les tableaux suivants résument ces comparaisons pour chaque site de mesure, en présentant les pourcentages du temps où les indicateurs et sous-indicateurs ne correspondent pas aux indices et sous-indices ATMO.

Indicateurs	Nantes Métropole	Pays de la Châtaigneraie	La Roche-sur-Yon
Trimestre 1	14,54 %	8,57 %	-
Trimestre 2	2,20 %	0,00 %	-
Trimestre 3	0,27 %	0,00 %	0,18 %
Trimestre 4	9,03 %	19,01 %	9,33 %
Moyenne (hors trimestre 3)	8,59 %	9,19 %	9,33 %

Tableau 4 : comparaison des pourcentages du temps où les indicateurs diffèrent des indices ATMO pour chaque trimestre et sur chaque site

Sous-indicateurs PM10	Nantes Métropole	Pays de la Châtaigneraie	La Roche-sur-Yon
Trimestre 1	34,07 %	23,68 %	-
Trimestre 2	9,02 %	18,60 %	-
Trimestre 3	7,70 %	16,42 %	4,48 %
Trimestre 4	23,15 %	35,30 %	13,13 %
Moyenne	18,49 %	23,50 %	8,81 %

Tableau 5 : comparaison des pourcentages du temps où les sous-indicateurs PM10 diffèrent des sous-indices ATMO PM10 pour chaque trimestre et sur chaque site

Sous-indicateurs PM2.5	Nantes Métropole	Pays de la Châtaigneraie	La Roche-sur-Yon
Trimestre 1	31,90 %	23,02 %	-
Trimestre 2	12,87 %	21,34 %	-
Trimestre 3	6,97 %	19,97 %	6,52 %
Trimestre 4	23,70 %	45,06 %	27,04 %
Moyenne	18,86 %	27,35 %	16,78 %

Tableau 6 : comparaison des pourcentages du temps où les sous-indicateurs PM2.5 diffèrent des sous-indices ATMO PM2.5 pour chaque trimestre et sur chaque site

Les comparaisons des indicateurs calculés à partir des moyennes 24h glissantes des concentrations mesurées par les stations permanentes avec les indices ATMO ont montré, en moyenne sur l'année (hors 3^e trimestre), des différences de l'ordre de 9 % du temps sur les trois sites tandis que la comparaison précédente réalisée à partir des moyennes journalières a montré des différences respectivement de 3 %, 4 % et 10 % du temps au Pays de la Châtaigneraie, Nantes et La Roche-sur-Yon. L'utilisation des moyennes 24h glissantes a donc engendré légèrement plus de différences entre indicateurs et indices ATMO que l'utilisation des moyennes journalières.

Concernant les sous-indicateurs PM10, on retrouve des différences moyennes sur l'année respectivement de 18,5 %, 23,5 % et 9 % du temps à Nantes Métropole, Pays de la Châtaigneraie et La Roche-sur-Yon contre environ 11 %, 8 % et 4 % du temps sur les mêmes sites lors de la comparaison précédente basée sur les moyennes journalières civiles. Ainsi, de plus grandes différences ont également été constatées entre sous-indicateurs PM10 et sous-indices PM10 ATMO par l'intégration des moyennes 24h glissantes par rapport à l'intégration des moyennes journalières.

Enfin, concernant les sous-indicateurs PM2.5, on retrouve, à partir des concentrations 24h glissantes, des différences moyennes comprises entre 17 % et 27 % du temps selon les sites. Rappelons ici que la différence entre modélisation et mesures avec le même mode de calcul est comprise entre 11 % et 15 % du temps sur ces mêmes sites par l'utilisation des moyennes journalières.

Finalement les influences conjuguées du mode de calcul et de la prise en compte de la modélisation ne permettent pas d'expliquer entièrement les 80 % du temps de différence entre sous-indicateurs issus des microcapteurs et les sous-indices ATMO constatée aux Sables d'Olonne. Une influence de la métrologie des microcapteurs est donc à prendre en compte.

Évolutions des concentrations en particules au sein de la journée

Ce chapitre est consacré à l'étude des concentrations mesurées par les deux microcapteurs fixes. À des fins de comparaisons, les profils journaliers en fond urbain (sites représentatifs de la pollution ambiante, à distance des sources de pollution spécifiques) à Nantes, à La Roche-sur-Yon et à la station rurale de la Tardière sont présentés en annexe 4.

Trimestre 2 (avril – juin)

Les graphiques ci-dessous représentent les profils journaliers (courbe des moyennes de concentrations par heure avec un intervalle de confiance de 95 % représenté par la surface) des mesures de particules PM₁₀ et PM_{2.5} issues des microcapteurs durant le trimestre 2.

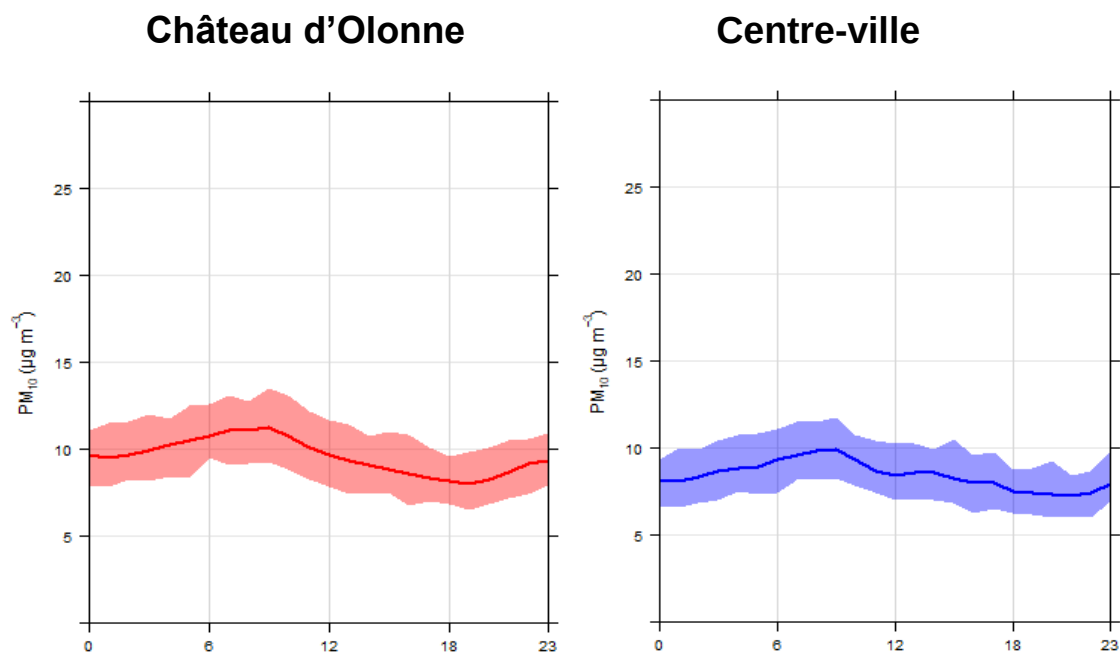


Figure 36 : profils journaliers des concentrations en PM₁₀ mesurées par les microcapteurs situés au Château d'Olonne et dans le centre-ville des Sables d'Olonne

L'étude des profils journaliers de concentrations en particules fines mesurées par les microcapteurs sur les deux sites de mesure permet de constater une légère élévation des concentrations au cours de la matinée avec un maximum atteint vers 9h puis une diminution pour atteindre un minimum vers 19h.

Ces variations sont similaires entre les 2 sites de mesure et pour les deux fractions granulométriques (PM₁₀ et PM_{2.5}).

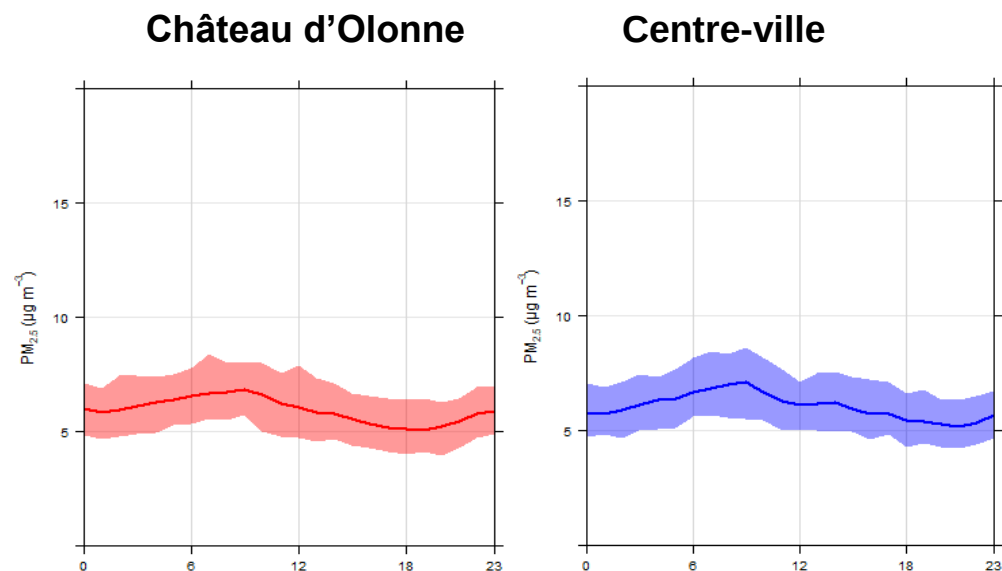


Figure 37 : profils journaliers des concentrations en PM_{2.5} mesurées par les microcapteurs situés au Château d'Olonne et dans le centre-ville des Sables d'Olonne

Trimestre 3 (juillet – septembre)

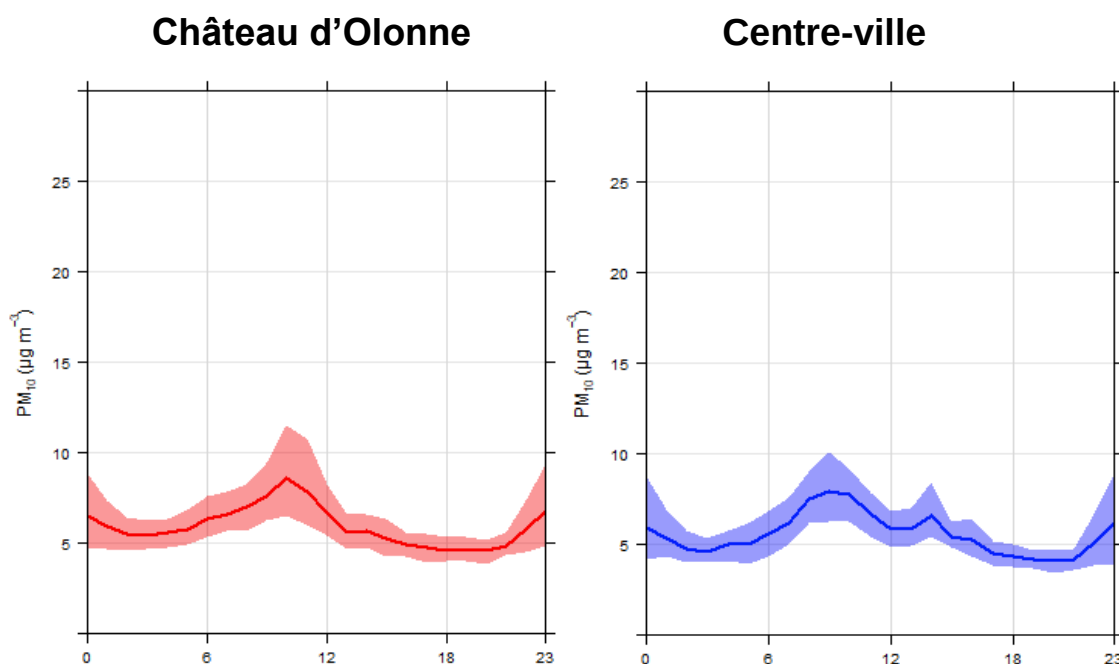


Figure 38 : profils journaliers des concentrations en PM₁₀ mesurées par les microcapteurs situés au Château d'Olonne et dans le centre-ville des Sables d'Olonne

On remarque que durant le troisième trimestre, les concentrations moyennes en PM₁₀ étaient globalement plus faibles que celles du deuxième trimestre pour les deux sites. Cela peut s'expliquer par des émissions de particules plus faibles durant cette période, notamment du fait de l'absence de chauffage ainsi que par des conditions météorologiques plus propices à la dispersion des polluants en été. On peut également noter que le pic de concentrations aux alentours de 10h est plus marqué durant le troisième trimestre, malgré des concentrations plus faibles, possiblement en lien avec le pic d'activité lié à la venue des vacanciers durant la saison estivale.

Les variations de concentrations durant le troisième trimestre sont également très similaires entre les deux sites de mesure, que ce soit en PM₁₀ ou en PM_{2.5}.

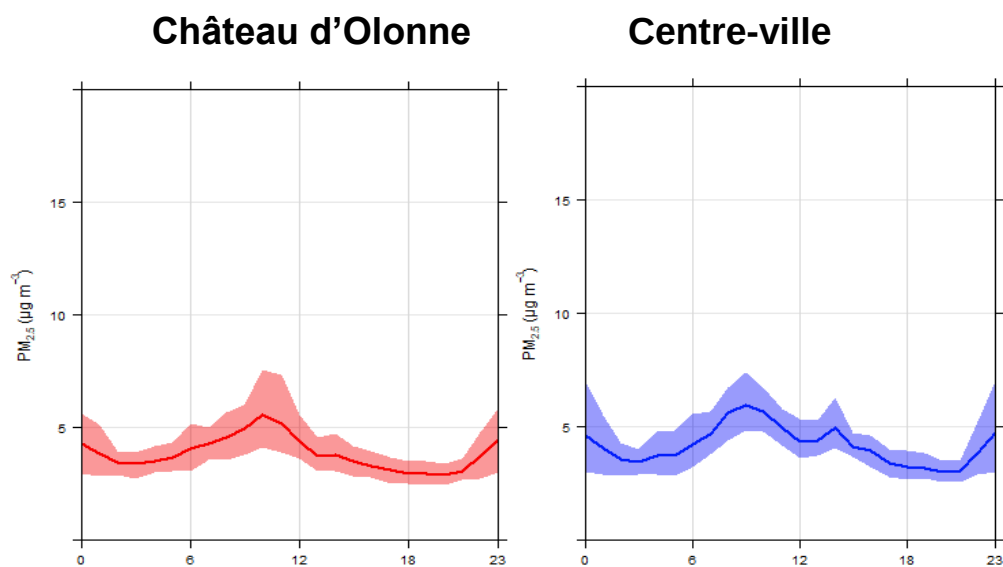


Figure 39 : profils journaliers des concentrations en PM_{2.5} mesurées par les microcapteurs situés au Château d'Olonne et dans le centre-ville des Sables d'Olonne

Trimestre 4 (octobre – décembre)

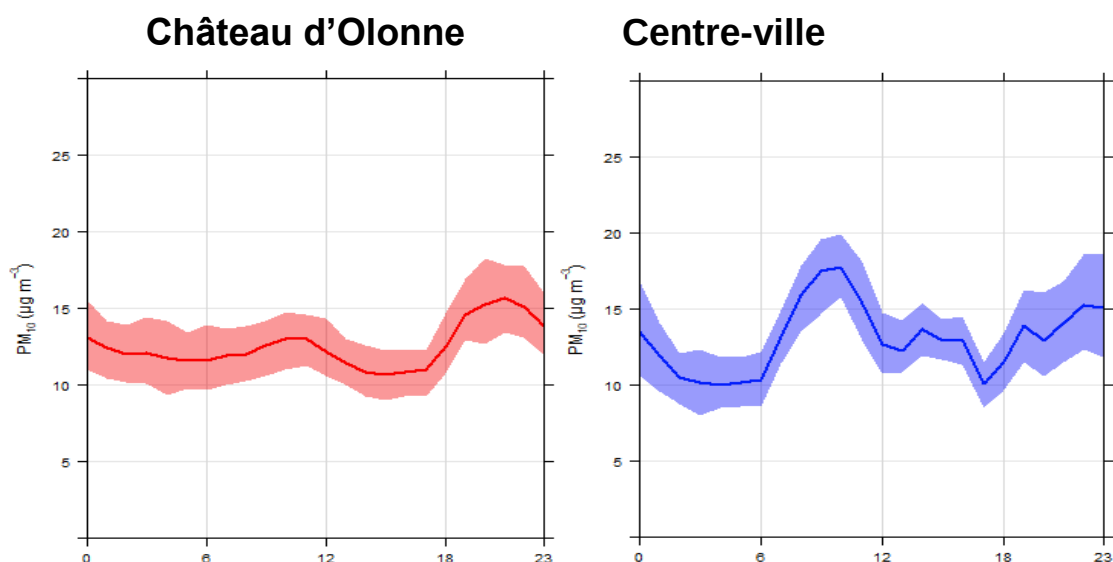


Figure 40 : profils journaliers des concentrations en PM10 mesurées par les microcapteurs situés au Château d'Olonne et dans le centre-ville des Sables d'Olonne

Le quatrième trimestre de 2022 est caractérisé par des concentrations moyennes plus élevées que durant les deux trimestres précédents sur les deux sites instrumentés, variant entre 10 et 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le site du Château d'Olonne et entre 10 et 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au centre-ville. Cela s'explique par le fait que le quatrième trimestre est la période la plus froide, donc avec le plus d'émissions issues du chauffage domestique. Par ailleurs, du fait des températures plus froides, la hauteur de couche limite est également plus faible, réduisant le volume dans lequel les polluants se trouvent, favorisant ainsi la stagnation des polluants et induisant donc des concentrations plus élevées.

Le profil journalier au Château d'Olonne montre des concentrations relativement stables la nuit et jusqu'en fin de matinée, de l'ordre de 12 à 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avant de légèrement diminuer en journée, atteignant un minimum aux alentours de 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles réaugmentent en fin de journée pour atteindre un maximum de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en milieu de soirée, vers 21h. Les variations de concentrations en soirée s'expliquent essentiellement par l'impact du chauffage.

Le profil du centre-ville montre un pic de concentrations en matinée atteignant les 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en lien avec le trafic routier. Ce pic n'est cependant pas visible sur le site du Château d'Olonne, du fait de l'emplacement du site probablement moins exposé au trafic automobile. On remarque un second pic en milieu d'après-midi, puis des concentrations atteignant un minimum vers 17h avant de réaugmenter progressivement en soirée, en lien avec les émissions de trafic automobile et de chauffage.

Finalement, contrairement aux deux précédents trimestres, les profils journaliers des concentrations des deux sites sont différents, que ce soit en PM10 ou en PM2.5. L'essentiel des différences réside dans l'absence de pic de concentrations en lien avec le trafic routier sur le site du Château d'Olonne le matin et en milieu d'après-midi.

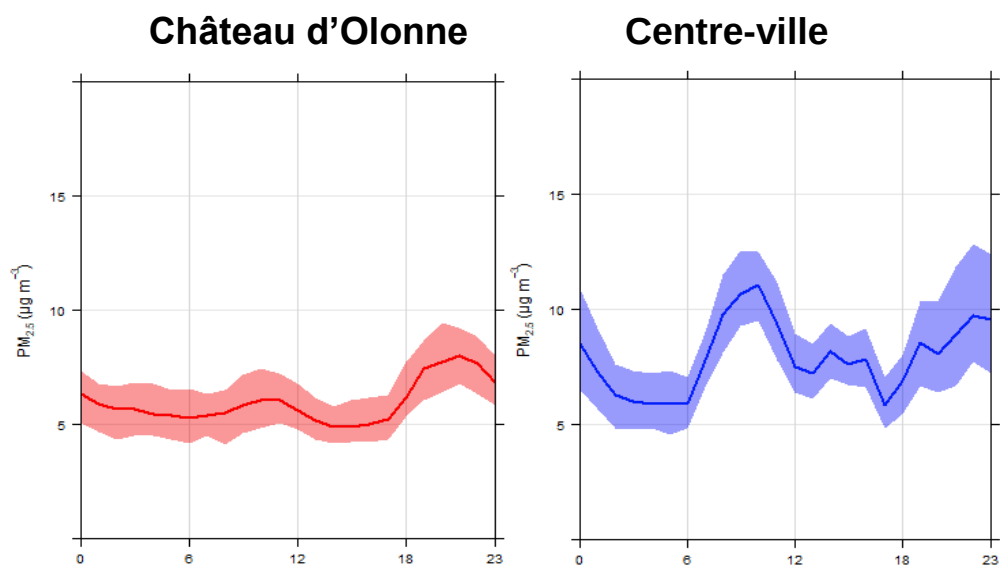


Figure 41 : profils journaliers des concentrations en PM2.5 mesurées par les microcapteurs situés au Château d'Olonne et dans le centre-ville des Sables d'Olonne

Finalement, les évolutions des concentrations dans les profils journaliers semblent être cohérentes avec celles établies à partir des mesures issues des stations permanentes d'Air Pays de la Loire (cf. annexe 4), où l'on retrouve également des élévations le matin ainsi qu'en soirée.

Résultats de la modélisation et des mesures des microcapteurs

Les deux millions de concentrations PM10 et PM2.5 mesurées par les microcapteurs mobiles du 09/03/2022 au 19/01/2023 sont représentés sous forme cartographique dans la figure 42 et la figure 43 par rapport aux concentrations modélisées à fine échelle dans le cadre de la modélisation régionale pour l'année 2022. Pour une majorité de points, les concentrations de PM10 et PM2.5 sont inférieures aux moyennes annuelles modélisées. Les concentrations maximales ont été mesurées par les microcapteurs mobiles au niveau de la zone industrielle du *Petit Plessis*, au nord-ouest du quartier de *La Chaume* et aux niveaux du boulevard du Vendée Globe et de l'avenue Charles de Gaulle.

La moyenne annuelle estimée par la modélisation régionale pour l'année 2022 sur le territoire des Sables d'Olonne est en-dessous de l'objectif de qualité et de la valeur limite réglementaire pour les PM10 et pour les PM2.5. À titre d'information, la valeur guide OMS est cependant dépassée en moyenne sur le territoire (la moyenne annuelle de 2022 sur l'ensemble du territoire pour les PM10 et pour les PM2.5 était respectivement de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentration maximale en particules PM10 des moyennes annuelles simulées sur le territoire de l'EPCI des Sables d'Olonne se situe sur l'Avenue de Talmon à proximité de la carrière avec une concentration de 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentration maximale simulée pour les particules PM2.5 se trouve à la jonction des routes départementales D160, D949 et D32 avec une concentration de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

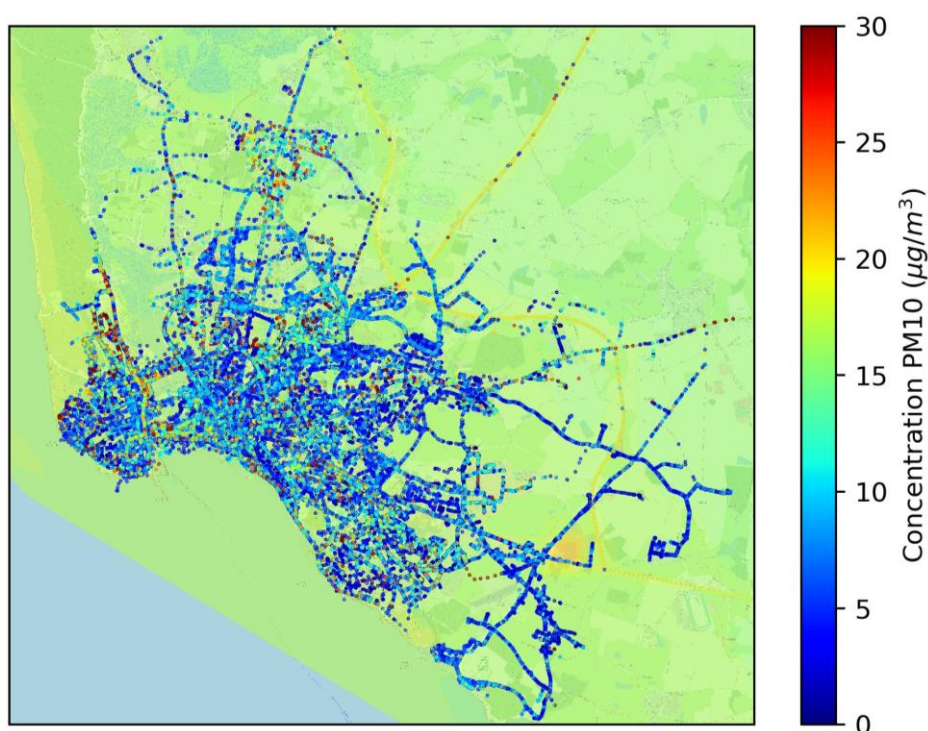


Figure 42 : concentration de PM10 mesurée par les microcapteurs mobiles (points) avec représentation des moyennes annuelles du modèle pour l'année 2022 (fond).

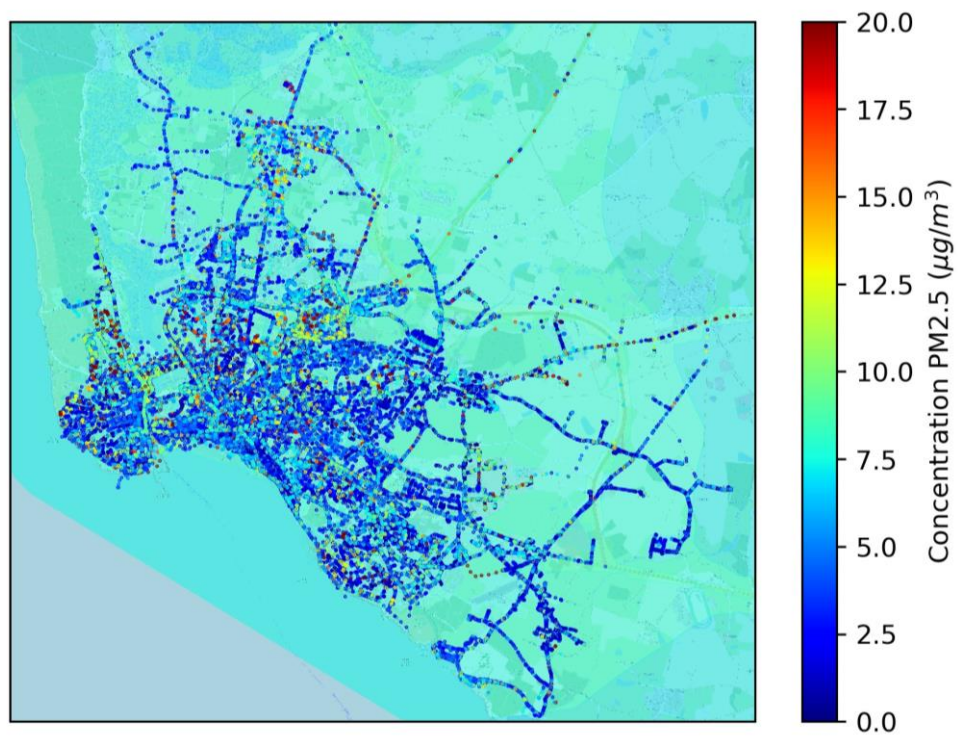


Figure 43 : concentration de PM2.5 mesurée par les microcapteurs mobiles (points) avec représentation des moyennes annuelles du modèle pour l'année 2022 (fond).

Comparaison entre les microcapteurs et la modélisation pour PM10 et PM2.5

Les mesures des microcapteurs fixes et mobiles ne peuvent pas être comparées directement aux résultats du modèle sur l'année 2022. Elles doivent pouvoir être représentatives de l'année (voir *Méthodologie*). La comparaison des moyennes annuelles pour les PM10 montrent que les concentrations mesurées par les microcapteurs fixes et mobiles sont inférieures aux valeurs du modèle. Des résidus sont calculés en chaque point (c'est-à-dire une différence entre les valeurs des microcapteurs et les valeurs du modèle). La carte des résidus pour les particules PM10 montre que les concentrations mesurées par les microcapteurs ont tendance à sous-estimer les moyennes annuelles estimées par le modèle. Cette sous-estimation par les microcapteurs est de 41 % ($-7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les microcapteurs mobiles et de 29 % ($-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les microcapteurs fixes. Les différences de moyennes annuelles entre les microcapteurs et le modèle varient de 6 à 59 % (de -10 à $+1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

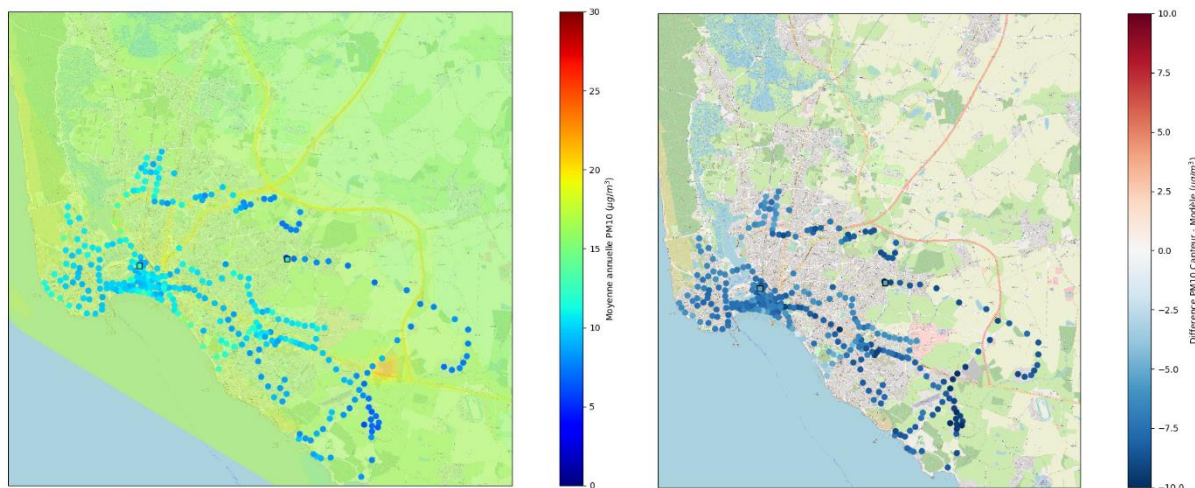


Figure 44 : concentration des PM10 en moyenne annuelle à l'échelle des Sables d'Olonne modélisée et mesurée (points représentés) (à gauche). Différences des moyennes annuelles PM10 entre les mesures microcapteurs et la modélisation (à droite).

Les moyennes annuelles de PM2.5 des microcapteurs fixes et mobiles (respectivement $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne) sont inférieures aux moyennes annuelles calculées par le modèle ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne). La carte des résidus⁵ pour les particules PM2.5 montre en effet que les concentrations mesurées par les microcapteurs ont tendance à sous-estimer légèrement de 12,5 % les moyennes annuelles du modèle (en moyenne de $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les microcapteurs mobiles et les microcapteurs fixes). Les différences de moyennes annuelles entre les microcapteurs et le modèle varient de -3 à $+2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mais les écarts sont moindres par rapport aux moyennes annuelles PM10.

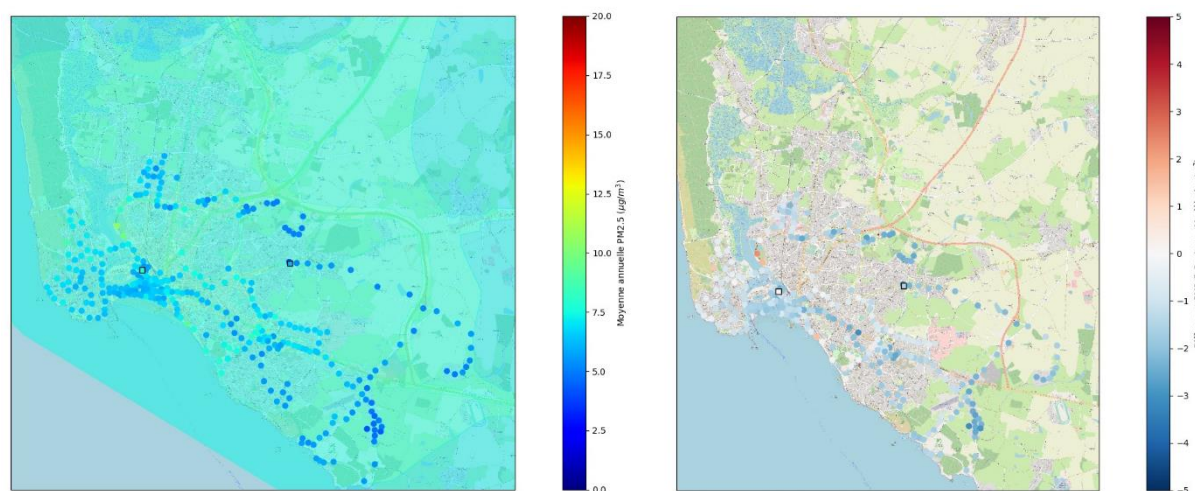


Figure 45 : concentration des PM2.5 en moyenne annuelle à l'échelle des Sables d'Olonne modélisée et mesurée (points représentés) (à gauche). Résidus des moyennes annuelles PM2.5 entre les mesures microcapteurs et la modélisation (à droite).

⁵ Différence entre les valeurs des microcapteurs et les valeurs du modèle

Les mesures mobiles étaient majoritairement dans des zones urbaines et périurbaines, et les deux microcapteurs fixes étaient installés en zone urbaine. Or, les moyennes annuelles pour PM10 et PM2.5 mesurées par les microcapteurs mobiles et fixes en 2022 sont inférieures à la station rurale de la Tardière et à la station urbaine Delacroix à La Roche-sur-Yon qui sont les 2 stations permanentes les plus proches. À l'inverse, les moyennes annuelles modélisées sont plus proches de celles des stations Delacroix à La Roche-sur-Yon. Les comparaisons pour les PM2.5 et PM10 montrent parfois des écarts trop importants entre les mesures des microcapteurs et le modèle sur l'année 2022 ou les stations de la région. Il en résulte qu'en l'absence d'intercomparaison avec une station de mesure de référence, les données microcapteurs ne peuvent être considérées comme une source fiable de mesure.

	Station Delacroix (station urbaine)	Site de La Tardière (station rurale)	Microcapteurs mobiles des Sables d'Olonne	Microcapteurs fixes des Sables d'Olonne	Moyenne sur l'EPCI des Sables d'Olonne de la modélisation régionale 2022
PM10	17 µg/m³	13 µg/m³	10 µg/m³	12 µg/m³	17 µg/m³
PM2.5	8,2 µg/m³	6,4 µg/m³	6 µg/m³	7 µg/m³	8 µg/m³

Tableau 7 : moyennes annuelles de 2022 de deux stations du réseau de mesure d'Air Pays de la Loire (<https://www.airpl.org/air-exterieur/carte-stations>), des microcapteurs mobiles et fixes installés et des résultats du modèle 2022 au sein de l'EPCI des Sables d'Olonne.

Expérimentation sur la fusion des données microcapteurs et modèle

Les mesures microcapteurs ont tendance à sous-estimer la moyenne annuelle pour les particules PM10 et PM2.5. Les microcapteurs peuvent cependant donner des informations sur les variations de concentrations entre les différentes zones géographiques dans l'hypothèse où cette différence est constante au cours du temps. Air Pays de la Loire a développé une méthodologie pour intégrer les informations fournies par les microcapteurs aux cartes du modèle. Les cartes obtenues sont des preuves de concept⁶ mais en l'absence d'outil de comparaison, leurs fiabilités ne peuvent pas être évaluées. Ainsi, les cartographies des moyennes annuelles pour les PM2.5 et PM10 ont été calculées pour l'année 2022 en combinant les mesures microcapteurs fixes et mobiles, et les résultats du modèle régional.

La figure 46 représente la moyenne annuelle modélisée de PM10 sans et avec l'intégration des données microcapteurs. Les moyennes annuelles de PM10 en intégrant les microcapteurs sont plus importantes au centre-ville et à l'ouest de la commune des Sables d'Olonne, du fait des mesures de concentrations des microcapteurs mobiles plus importantes sur ces secteurs. La pollution de PM10 liée aux routes principales et à la carrière calculée par le modèle reste visible. Des zones résidentielles tendent vers des concentrations plus faibles (zones bleues dans la figure) sur plusieurs secteurs de l'ancienne commune du Château d'Olonne et correspondent à des mesures de concentrations des microcapteurs mobiles plus faibles.

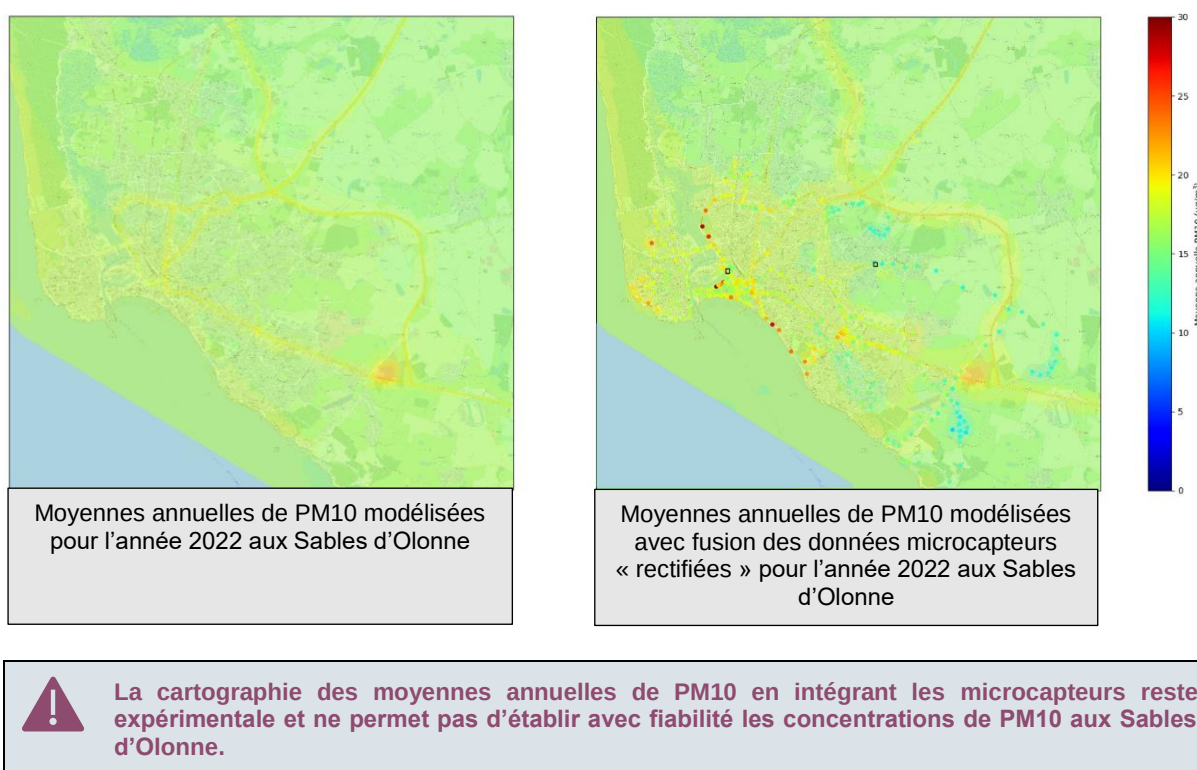


Figure 46 : moyennes annuelles de PM10 modélisées pour l'année 2022 aux Sables d'Olonne sans (à gauche) et avec (à droite) fusion des moyennes annuelles de PM10 mesurées par les microcapteurs. Les points représentent les moyennes annuelles du modèle rectifiées par les mesures des microcapteurs (à droite).

⁶Une preuve de concept est une démonstration de faisabilité, c'est à dire une réalisation expérimentale concrète et préliminaire, courte ou incomplète, illustrant une certaine méthode ou idée afin d'en démontrer ou pas la faisabilité (Ministère de l'économie).

La figure 47 représente la moyenne annuelle modélisée de PM2.5 sans et avec l'intégration des données microcapteurs. En intégrant les microcapteurs, les moyennes annuelles de PM2.5 ont des concentrations plus importantes également à l'ouest et au centre-ville de la commune des Sables d'Olonne, du fait des mesures plus importantes sur ces secteurs. Des zones résidentielles tendent comme pour les concentrations de PM10 vers des concentrations plus basses (zones bleues dans la figure 48) sur plusieurs secteurs de l'ancienne commune du Château d'Olonne.

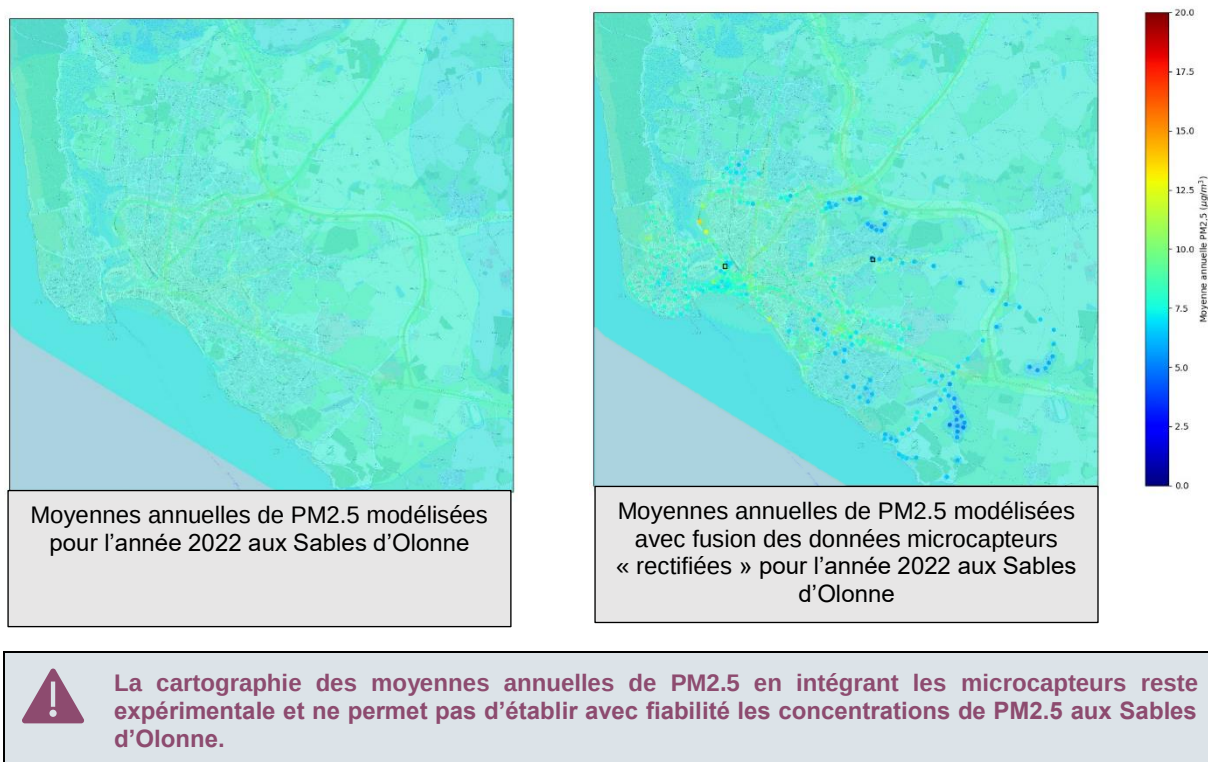


Figure 47 : moyennes annuelles de PM2.5 modélisées pour l'année 2022 aux Sables d'Olonne sans (à gauche) et avec (à droite) fusion des moyennes annuelles de PM2.5 mesurées par les microcapteurs. Les points représentent les moyennes annuelles du modèle rectifiées par les mesures des microcapteurs (à droite).

Conclusions et perspectives

L'indice ATMO aux Sables d'Olonne est le plus souvent « moyen » (entre 71 et 98 % du temps selon le trimestre considéré). On observe que la proportion d'indices « mauvais » est la plus forte à la fois en hiver (1^{er} trimestre) du fait de concentrations en particules fines plus élevées en cette saison, et en été (3^e trimestre) du fait de concentrations fortes en ozone dont la formation est favorisée par un ensoleillement plus important.

L'indicateur LSO QUALIT'AIR indique quant à lui systématiquement une proportion de qualificatifs « dégradé » et « mauvais » plus élevée que l'indice ATMO.

Les évolutions des concentrations dans les profils journaliers semblent être cohérentes avec celles établies à partir des mesures issues des stations permanentes d'Air Pays de la Loire. De faibles variations sont retrouvées dans ces profils durant le trimestre deux. Le troisième trimestre est caractérisé par des concentrations plus faibles qu'au second trimestre du fait de conditions météorologiques plus dispersives en période estivale. Une élévation plus marquée qu'au second trimestre est cependant remarquée le matin, possiblement en lien le pic d'activité lié à la venue des vacanciers durant la saison. Enfin, le quatrième trimestre est marqué par deux élévations dans la journée, une première élévation le matin, vers 9h-10h, et une seconde le soir, à partir de 18h. Ces élévations sont attribuées à la conjugaison d'émissions plus intenses que durant les deux trimestres précédents (liées au trafic routier et au chauffage notamment), ainsi qu'à des conditions météorologiques plus favorables à la stagnation des polluants au quatrième trimestre. Il est à noter qu'une élévation des concentrations est également enregistré en milieu d'après-midi sur le site du centre-ville.

En revanche, la comparaison aux Sables d'Olonne de l'indicateur LSO QUALIT'AIR avec l'indice ATMO indique des non-correspondances en moyenne 17 % du temps (hors troisième trimestre). Les écarts constatés entre l'indicateur LSO QUALIT'AIR et l'indice ATMO se creusent et sont très significativement plus élevés lorsque l'on considère les sous-indicateurs. En effet, la proportion de non-correspondance des sous-indicateurs issus des microcapteurs avec les sous-indices ATMO est de près de 81 % en moyenne pour les PM10 et d'environ 87 % en moyenne pour les PM2.5.

Afin d'évaluer la pertinence de l'indicateur LSO QUALIT'AIR aux Sables d'Olonne, des comparaisons supplémentaires ont été menées sur la base d'indicateurs construits à partir de mesures de particules issus de trois stations permanentes d'Air Pays de la Loire (une station rurale en Vendée et deux stations de fond urbain à Nantes et La Roche-sur-Yon). Ces indicateurs ont été comparés à l'indice ATMO, dans un premier temps à partir des moyennes journalières (même agrégation des concentrations que l'indice ATMO) afin d'évaluer la pertinence de l'indice ATMO, et dans un second temps à partir des moyennes 24h glissantes (même agrégation que l'indicateur issu des microcapteurs) afin d'évaluer l'impact de ce mode de calcul des moyennes.

La comparaison des sous-indices ATMO avec les sous-indicateurs (en moyennes journalières civiles) issus des mesures par stations permanentes montre des différences comprises entre 4 % et 15 % du temps selon les sites. Cela montre la bonne pertinence de l'indice ATMO issu de la modélisation à Nantes, La Roche-sur-Yon et La Tardière.

Concernant l'influence du type de calcul (moyennes 24h glissantes considérées versus moyennes journalières civiles pour l'indice ATMO), la comparaison des sous-indicateurs PM10 et PM2.5 montre des différences moyennes comprises entre 9 % et 27 % du temps selon les sites, où les sous-indicateurs et sous-indices ne correspondent pas. Cette comparaison entre sous-indicateurs et sous-indices ATMO indique que l'intégration des moyennes 24h glissantes engendre des différences par rapport à l'utilisation des moyennes journalières, de l'ordre de 10 %. Cela ne peut donc pas expliquer les différences constatées entre sous-indicateurs LSO QUALIT'AIR et sous-indices ATMO aux Sables d'Olonne (entre 78 % et 88 % en moyenne).

Ces écarts sont insatisfaisants et seraient a priori pour partie dus à la métrologie des microcapteurs (bien que l'on ne puisse pas écarter l'hypothèse de la sous-estimation des concentrations en particules modélisées, spécifiquement aux Sables d'Olonne). Une seconde phase d'intercomparaison permettrait d'évaluer la potentielle dérive des microcapteurs dans le temps, et d'identifier si des améliorations peuvent être apportées au dispositif et à l'information qui en est issue.

Au vu des résultats issus des microcapteurs fixes, une alternative serait de réaliser un indicateur dynamique basé uniquement sur la modélisation des concentrations en particules, en y intégrant l'ozone. Cela permettrait d'obtenir des résultats plus cohérents, notamment lorsque l'ozone est le polluant déterminant. Une prévision de l'indicateur à J+1 serait par ailleurs possible. Ce reporting fait état des mesures sur le territoire pendant 1 an. La mise à disposition d'un indicateur via un outil numérique de type widget permettrait de profiter de la dimension "temps réel" des concentrations en polluants atmosphériques.

L'exploitation des mesures en mobilité aux Sables d'Olonne et leur intégration dans la modélisation fine échelle a permis de mettre en évidence des zones où les concentrations mesurées en mobilité étaient plus élevées qu'ailleurs dans l'agglomération. Ces zones ont été identifiées à l'ouest des Sables d'Olonne et au centre-ville des Sables d'Olonne. Cependant, les résultats de la comparaison entre les mesures des microcapteurs en mobilité, et la modélisation à fine échelle montrent une sous-estimation importante des concentrations des particules PM10 de -7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et plus faible des particules PM2.5 de -1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour l'année 2022. Les niveaux de concentrations mesurés sont inférieurs aux mesures de la station Delacroix en site urbain à La Roche-sur-Yon et de la station de La Tardière en site rural. Ces comparaisons questionnent sur la fiabilité des mesures des microcapteurs fixes et mobiles dans le cadre de cette expérimentation. Cette campagne de mesure par microcapteurs montre l'importance d'avoir une station de mesure de référence à proximité pour évaluer la précision des mesures microcapteurs ou d'effectuer des étapes d'intercomparaison avant et après la campagne de mesure. Les sous-estimations des moyennes annuelles sont plus importantes pour la mesure des PM10 que pour la mesure des PM2.5.

L'approche méthodologique développée dans le cadre de ce projet permet de fusionner les données microcapteurs et modèle de manière intelligente, mais une étape d'intercomparaison avec des mesures de référence aux Sables d'Olonne aurait été nécessaire pour valider la méthodologie et les cartographies qui en résultent. Suite à l'étape d'intercomparaison avec des mesures de référence, un redressement des mesures pourrait être envisagé, afin de corriger les données des microcapteurs.

Annexes

- annexe 1 : les polluants
- annexe 2 : comparaison des indices entre Les Sables d'Olonne Agglomération et les EPCI voisins
- annexe 3 : résultats de la phase de tests des microcapteurs
- annexe 4 : comparaison des profils journaliers en PM10 et PM2.5 à Nantes, à La Roche-sur-Yon et à la Tardière en Vendée
- annexe 5 : bilan de la qualité de l'air aux Sables d'Olonne

Annexe 1 : les polluants

L'ozone (O₃)

C'est le polluant secondaire majeur qui se forme par l'action des ultraviolets du soleil sur les polluants primaires, directement émis par les sources, que sont les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone. C'est un polluant chimique présent au niveau du sol : on parle d'ozone troposphérique que l'on distingue de l'ozone stratosphérique, observé à une vingtaine de kilomètres d'altitude et qui forme la couche d'ozone.

Capable de pénétrer profondément dans les poumons, l'ozone provoque à forte concentration une inflammation et une hyperréactivité des bronches. Des irritations du nez et de la gorge surviennent généralement, accompagnées d'une gêne respiratoire. Des irritations oculaires sont aussi observées.

Les enfants dont l'appareil respiratoire est en plein développement, les asthmatiques, les insuffisants respiratoires chroniques et les personnes âgées sont souvent plus sensibles à la pollution par l'ozone.

Les effets de l'ozone se trouvent accentués par les efforts physiques intenses, lesquels en augmentant le volume d'air inspiré, accroissent celui d'ozone inhalé.

Les oxydes d'azote (NO_x)

Les NO_x comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (53 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes. Il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations rencontrées habituellement, le dioxyde d'azote provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

Les particules

Les particules constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverse et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM10), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. Les particules fines, appelées PM2.5 (diamètre inférieur à 2.5 µm) pénètrent plus profondément dans les poumons. Celles-ci peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines et parcourir de longues distances.

La profondeur de pénétration des particules dans l'arbre pulmonaire est directement liée à leurs dimensions, les plus grosses étant arrêtées puis éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. Le rôle des particules en suspension a été montré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (enfants, bronchitiques chroniques, asthmatiques...).

Le dioxyde de soufre (SO₂)

C'est le principal composant de la pollution « acide ». Malgré une diminution de 60 % en France entre 1980 et 1990, du essentiellement à la réduction de la production électrique par les centrales thermiques, le SO₂ provient à plus de 80 % de l'utilisation des combustibles contenant du soufre (fuel et charbon).

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles (asthmatiques, jeunes enfants...). Les efforts physiques intenses accroissent les effets du dioxyde de soufre. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une très grande proportion du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures. Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond, passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des taux de dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire.

Annexe 2 : comparaison des indices ATMO entre Les Sables d'Olonne Agglomération et les EPCI voisins

Premier trimestre 2022

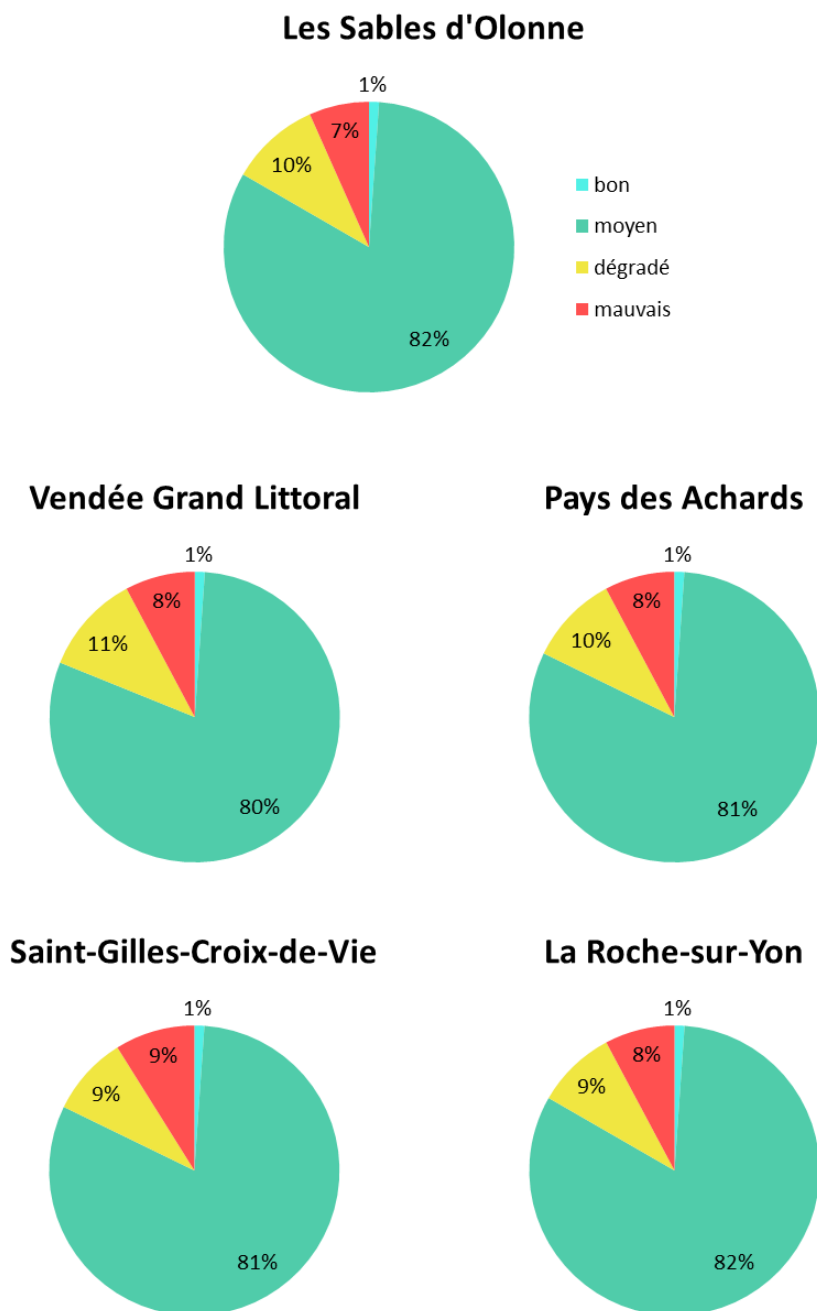
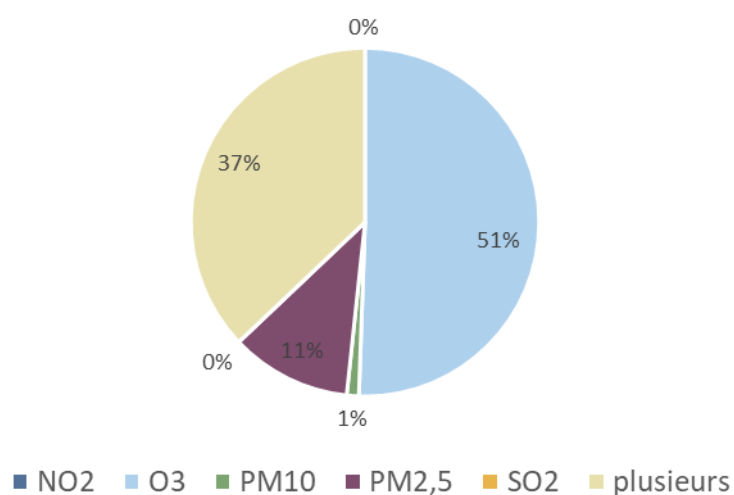
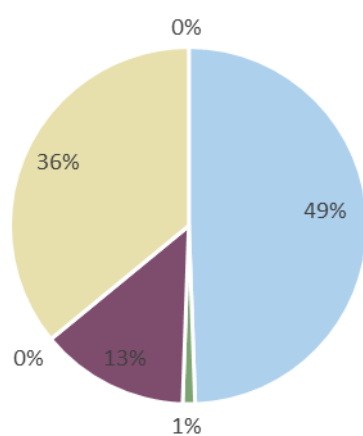


Figure 48 : comparaison des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec les EPCI voisins

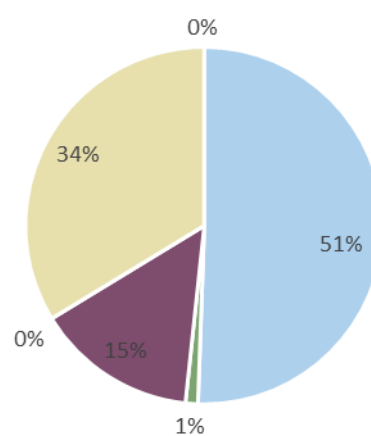
Les Sables d'Olonne



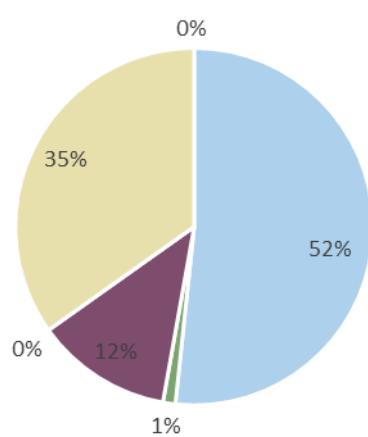
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

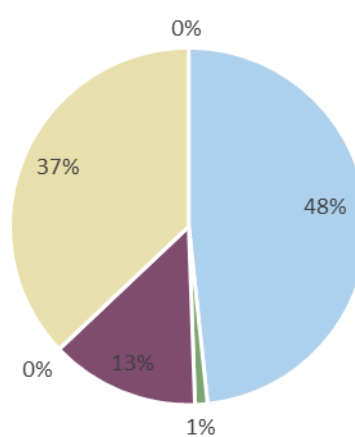
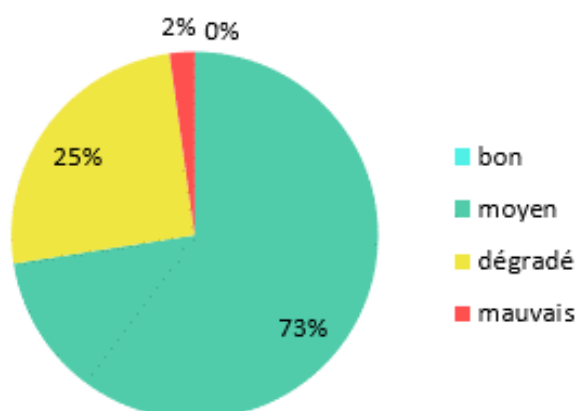
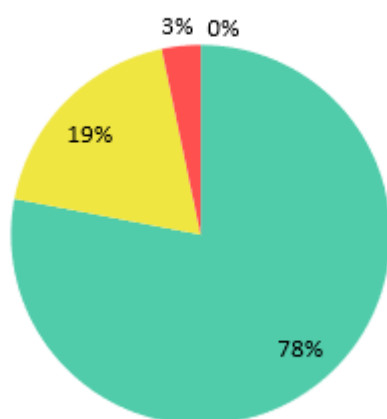


Figure 49 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération et les EPCI voisins

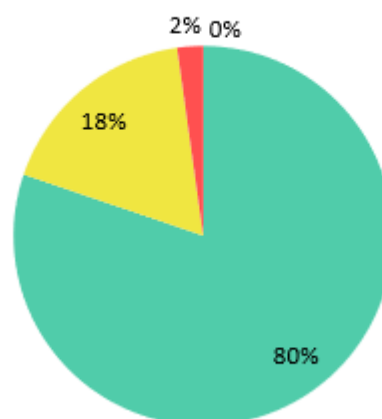
Les Sables d'Olonne



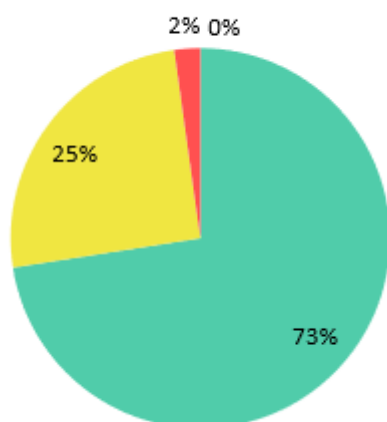
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

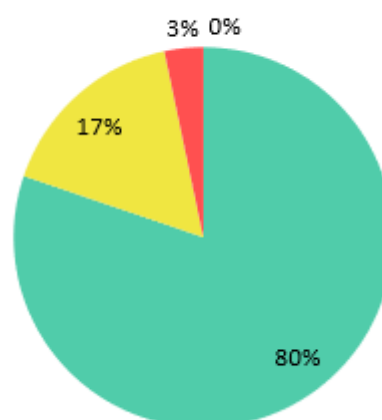
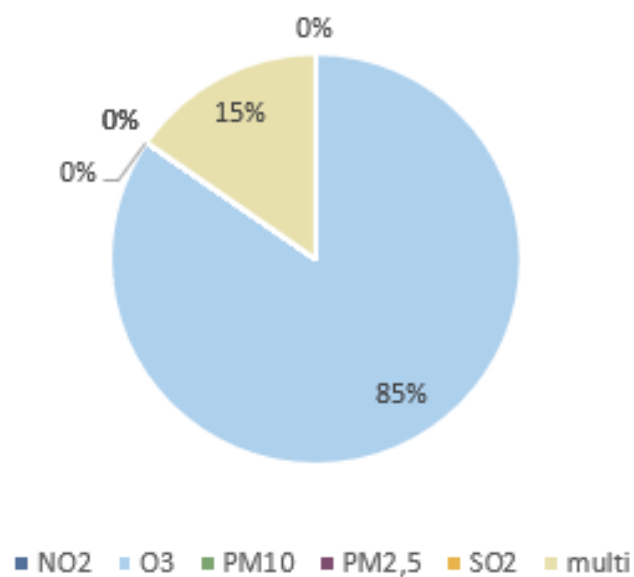
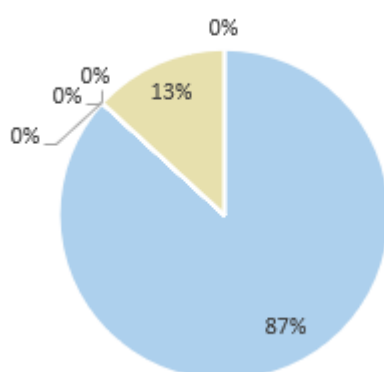


Figure 50 : comparaison des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec les EPCI voisins

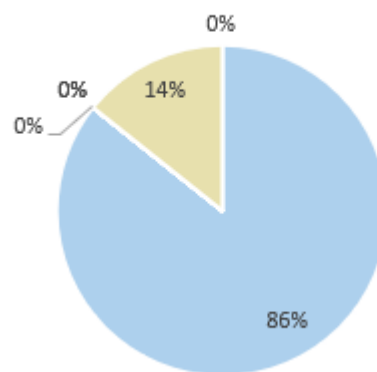
Les Sables d'Olonne



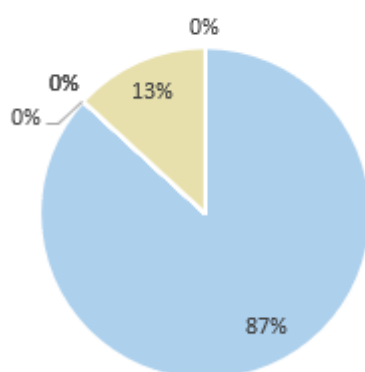
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

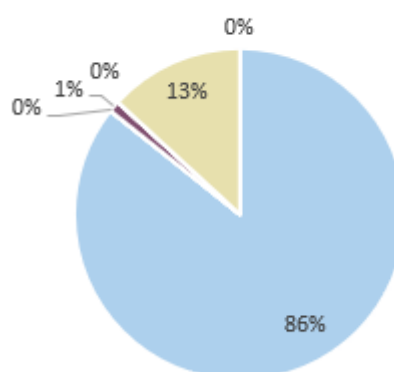
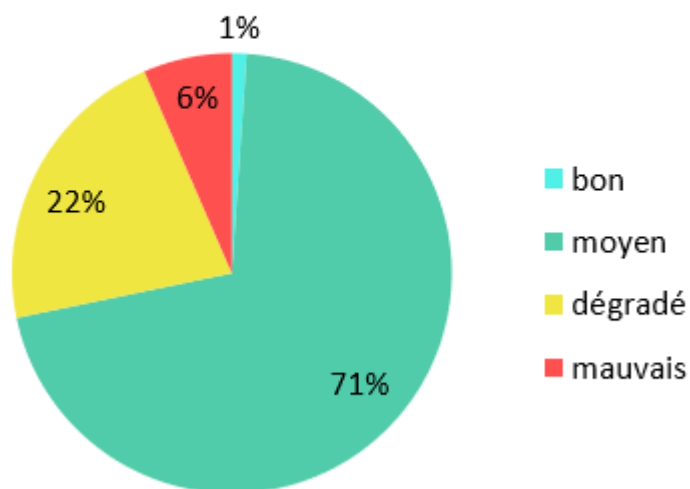
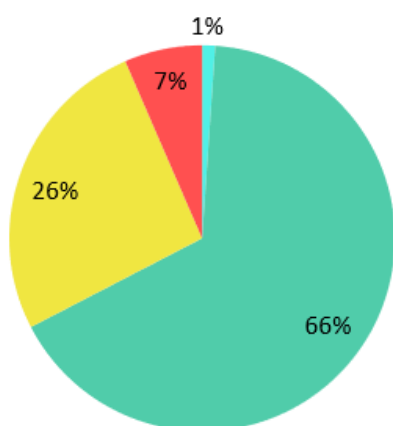


Figure 51 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération et les EPCI voisins

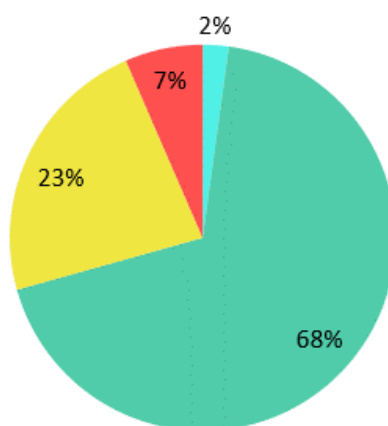
Les Sables d'Olonne



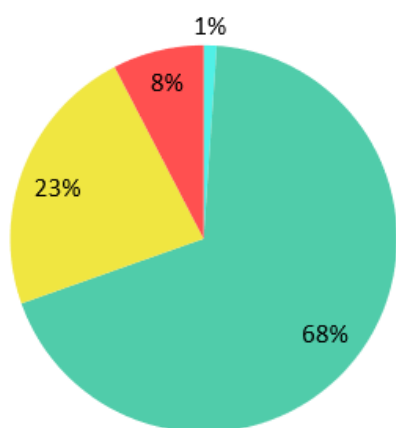
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

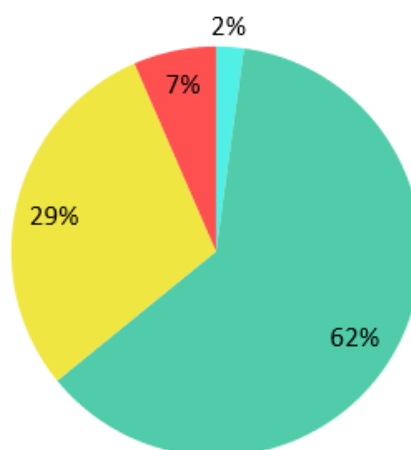
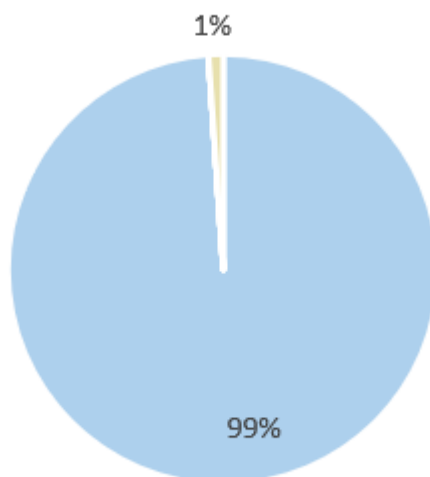


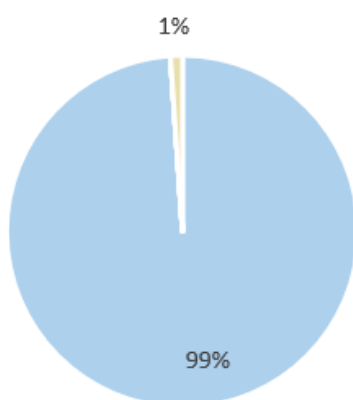
Figure 52 : comparaison des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec les EPCI voisins

Les Sables d'Olonne

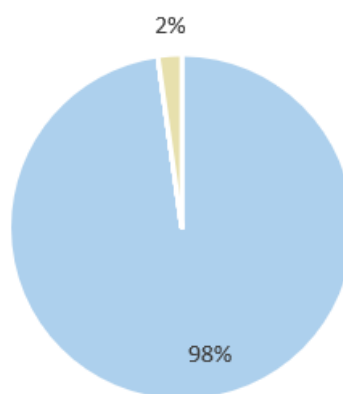


■ NO2 ■ O3 ■ PM10 ■ PM2,5 ■ SO2 ■ multi

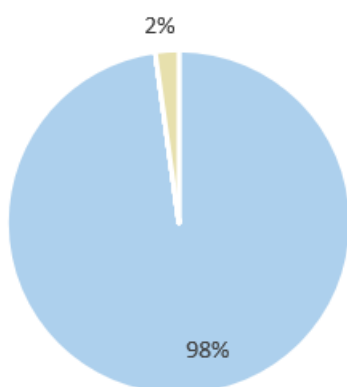
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

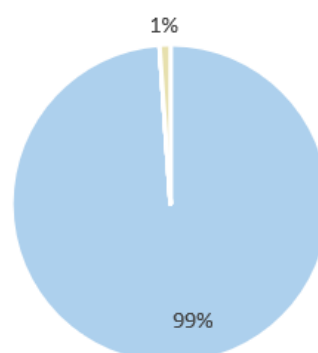
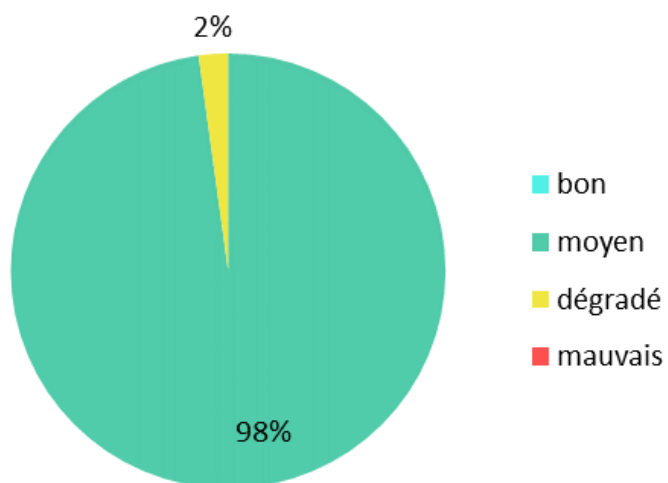
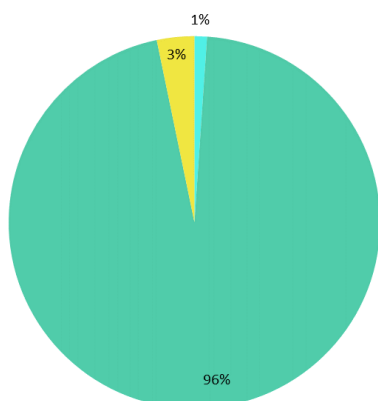


Figure 53 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération et les EPCI voisins

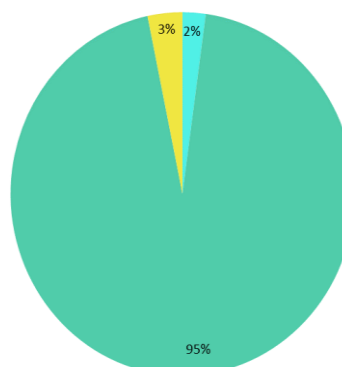
Les Sables d'Olonne



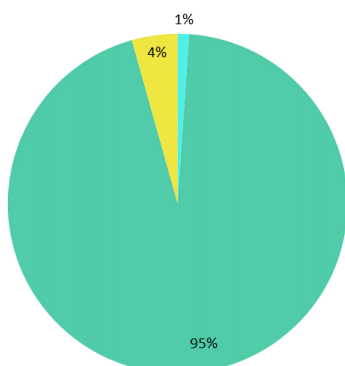
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

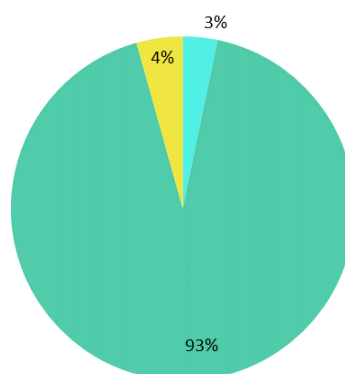
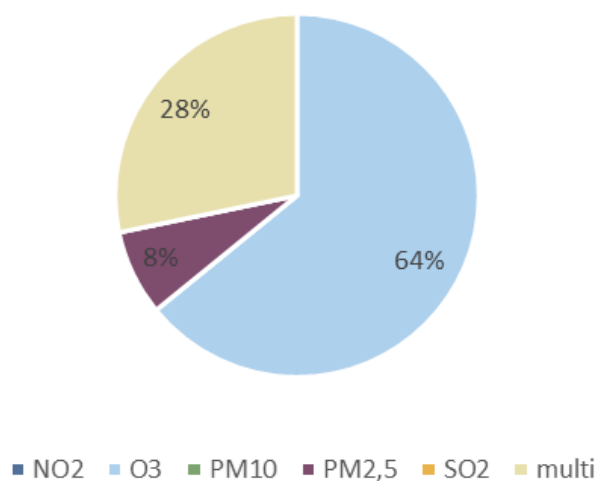
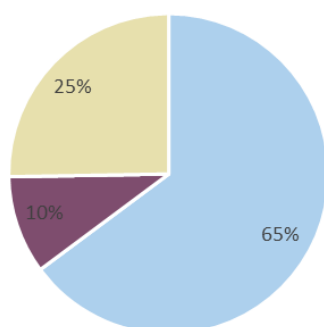


Figure 54 : comparaison des indices ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération avec les EPCI voisins

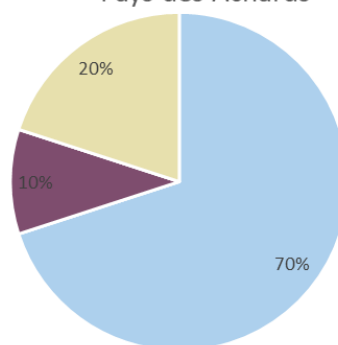
Les Sables d'Olonne



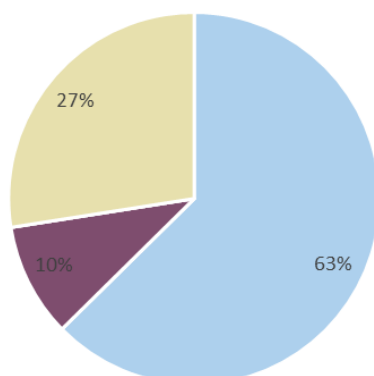
Vendée Grand Littoral



Pays des Achards



Saint-Gilles-Croix-de-Vie



La Roche-sur-Yon

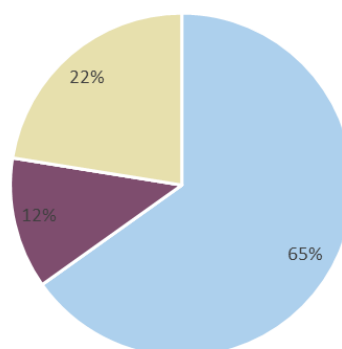


Figure 55 : répartition des polluants déterminants de l'indice ATMO pour Les Sables d'Olonne Agglomération et les EPCI voisins

Annexe 3 : résultats de la phase de tests des microcapteurs

Cette phase de test s'est déroulée du 03/02/2022 au 25/02/2022 sur un site de mesure permanente de la qualité de l'air à Nantes. Les résultats présentés ci-dessous correspondent aux comparaisons des 6 microcapteurs du projet à un appareil de référence d'une station de type trafic à Nantes.

Comparaison à la référence, PM10

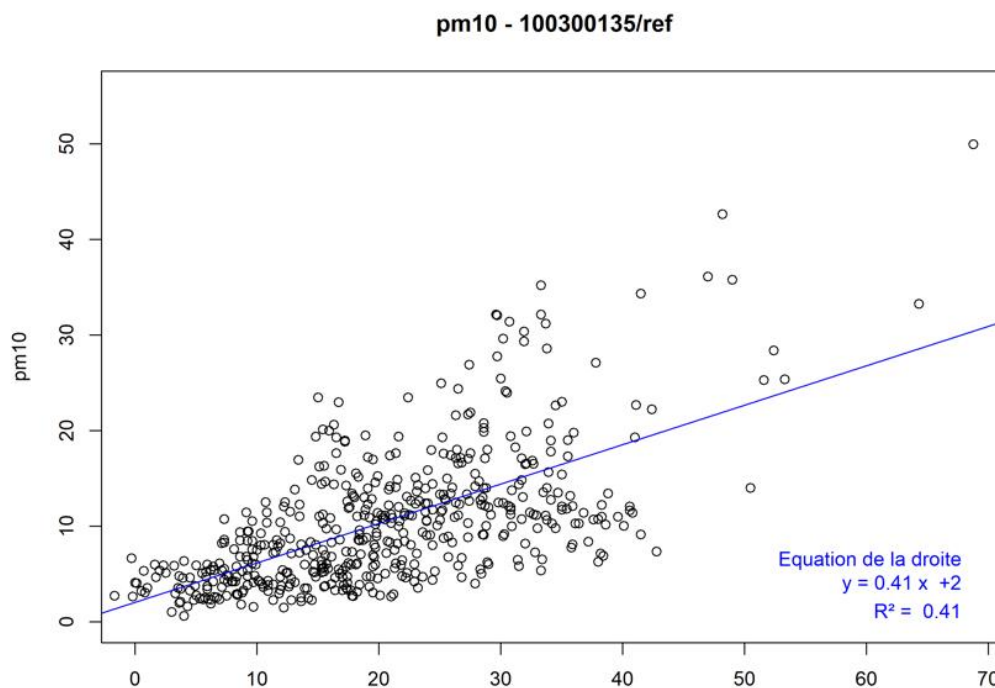


Figure 56 : concentrations en PM10 mesurées par l'un des microcapteurs en fonction des concentrations en PM10 mesurées par un analyseur de référence ainsi que la droite de régression linéaire associée au nuage de points

Comparaison à la référence, PM2.5

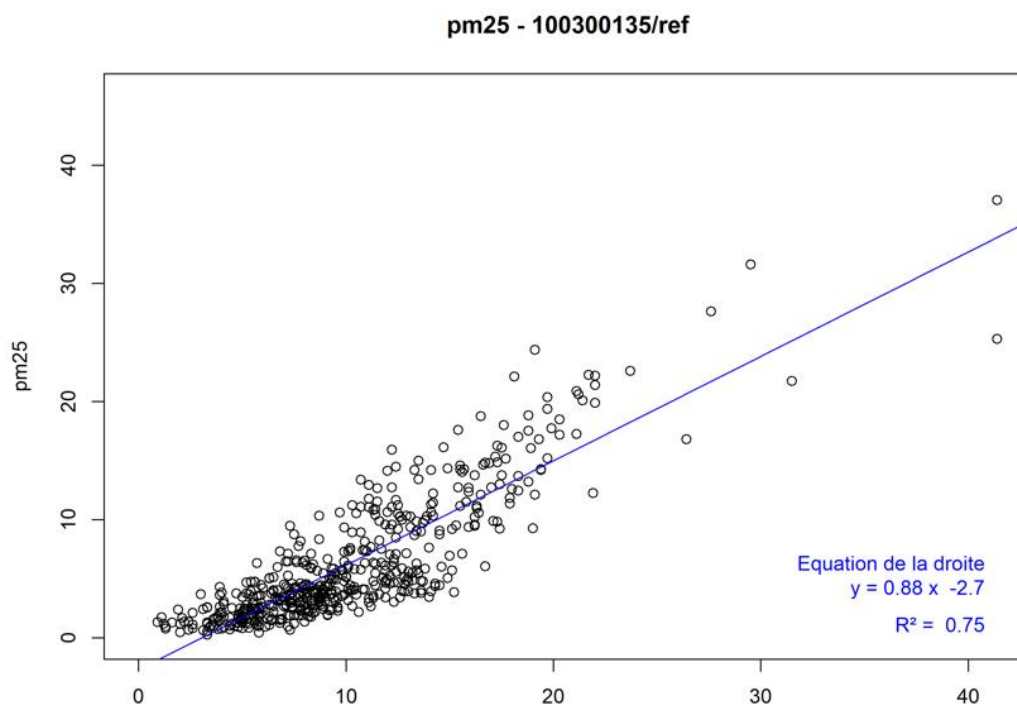
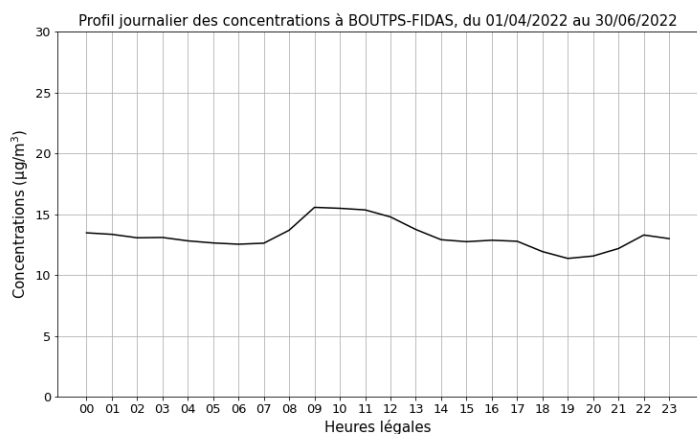


Figure 57 : concentrations en PM2.5 mesurées par l'un des microcapteurs en fonction des concentrations en PM2.5 mesurées par un analyseur de référence ainsi que la droite de régression linéaire associée au nuage de points

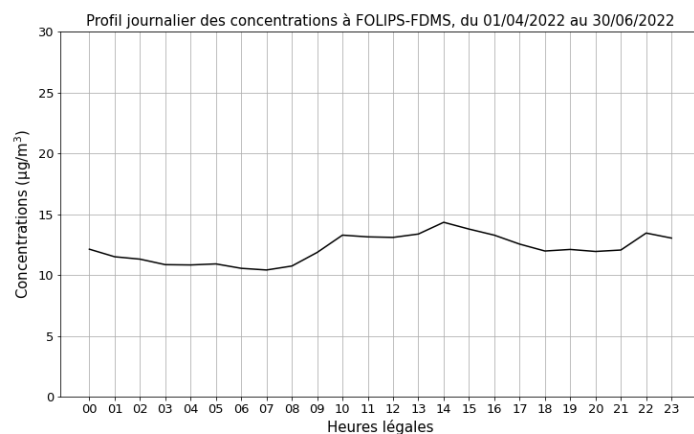
Annexe 4 : comparaison des profils journaliers en PM10 et PM2.5 à Nantes, à La Roche-sur-Yon et à la Tardière en Vendée

Deuxième trimestre

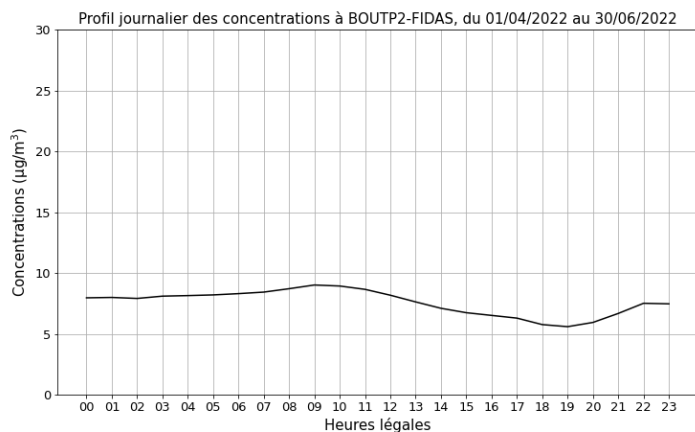
Nantes PM10 (urbain)



La Tardière PM10 (rural)



Nantes PM2,5 (urbain)



La Tardière PM2,5 (rural)

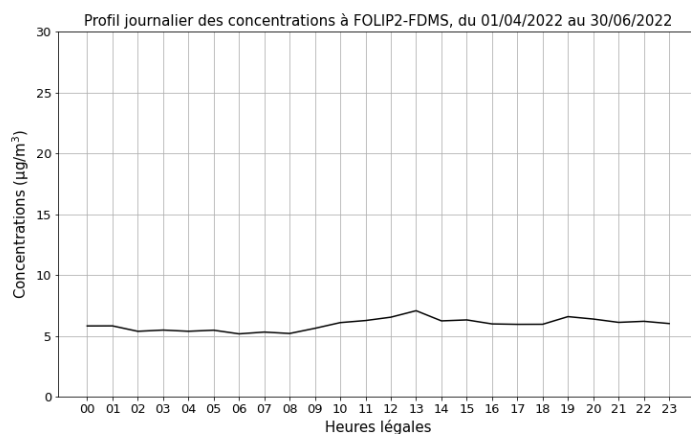
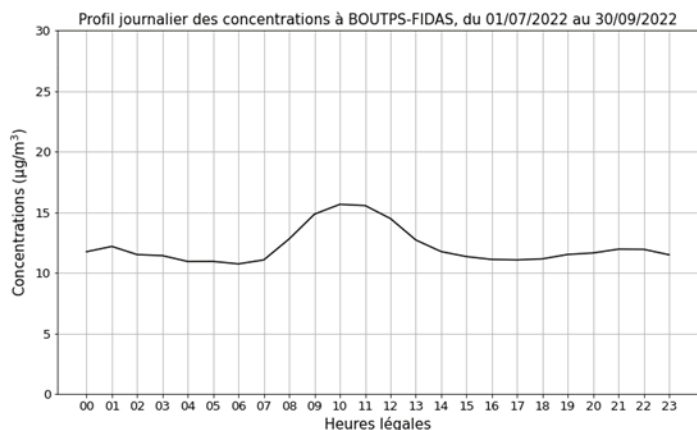


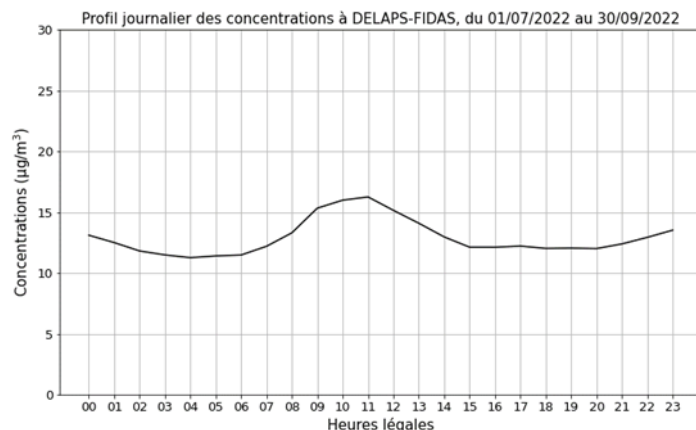
Figure 58 : comparaison des profils journaliers des concentrations en particules à Nantes et à la Tardière au deuxième trimestre

Troisième trimestre

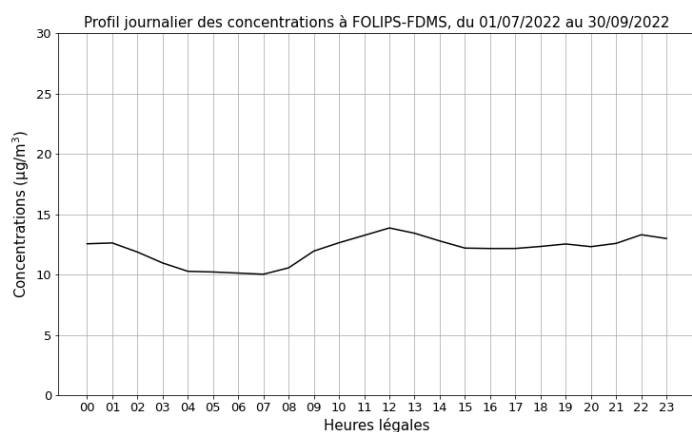
Nantes PM10 (urbain)



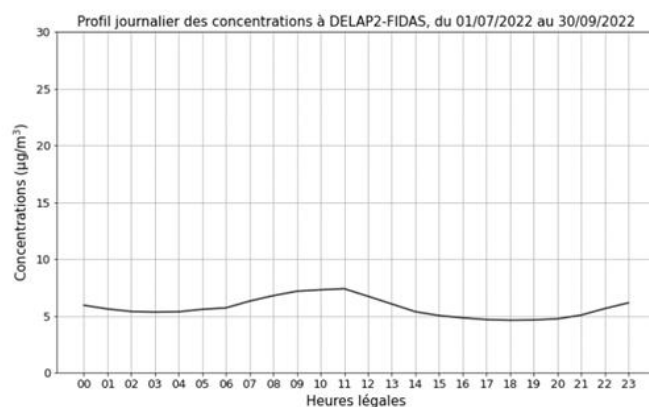
La Roche-sur-Yon PM10 (urbain)



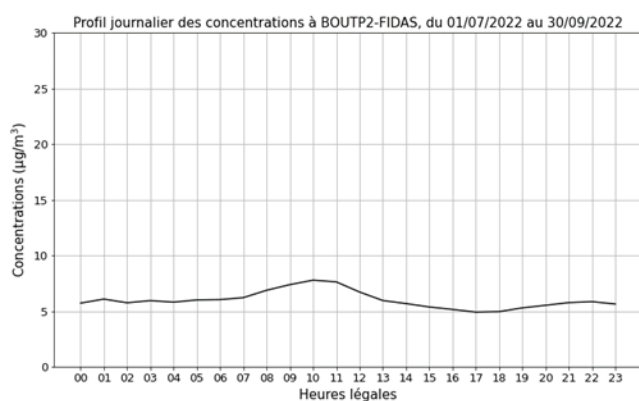
La Tardière PM10 (rural)



La Roche-sur-Yon PM2,5 (urbain)



Nantes PM2,5 (urbain)



La Tardière PM2,5 (rural)

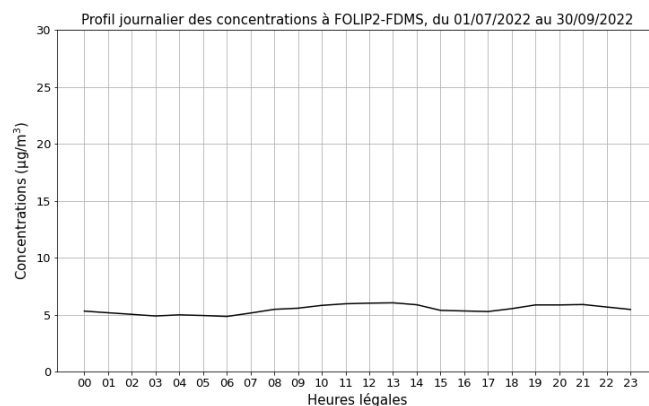
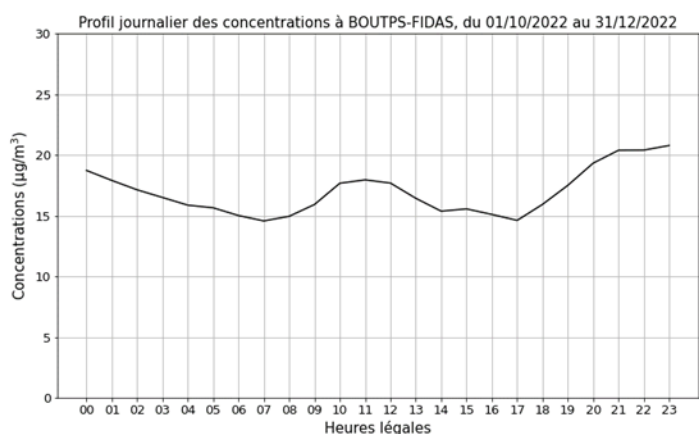


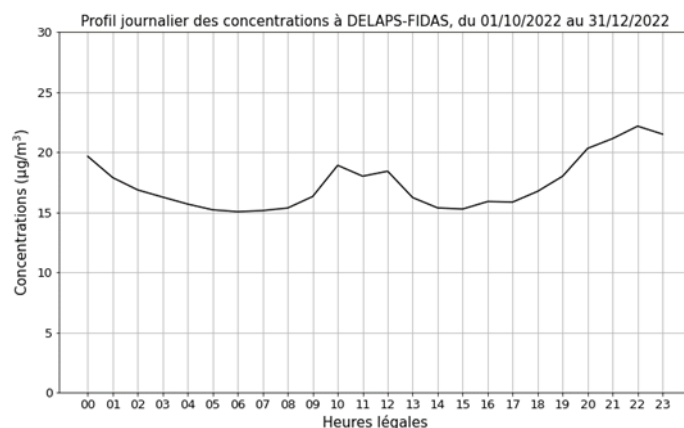
Figure 59 : comparaison des profils journaliers des concentrations en particules à Nantes, à la Tardière et à La Roche-sur-Yon au troisième trimestre

Quatrième trimestre

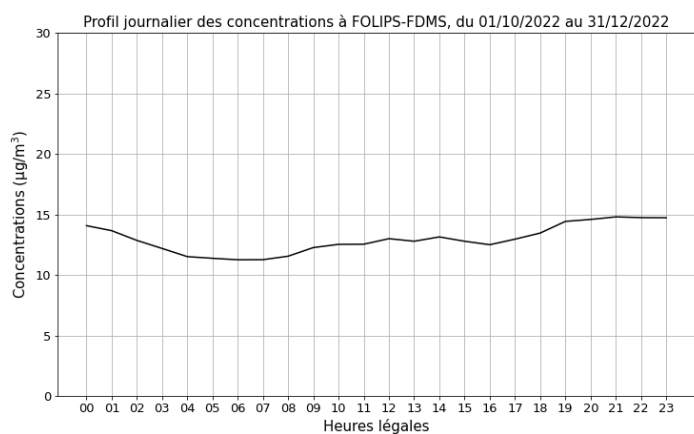
Nantes PM10 (urbain)



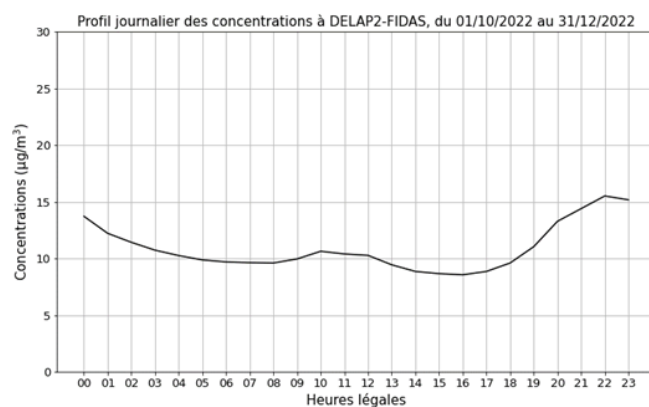
La Roche-sur-Yon PM10 (urbain)



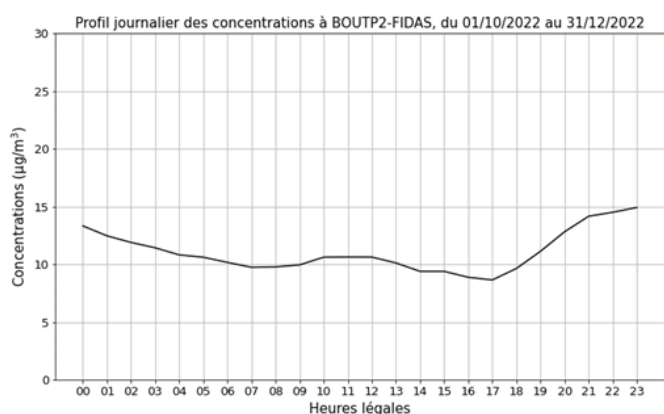
La Tardière PM10 (rural)



La Roche-sur-Yon PM2,5 (urbain)



Nantes PM2,5 (urbain)



La Tardière PM2.5 (rural)

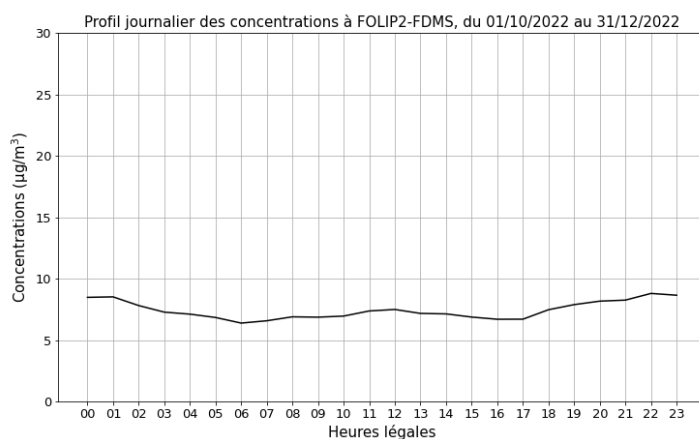
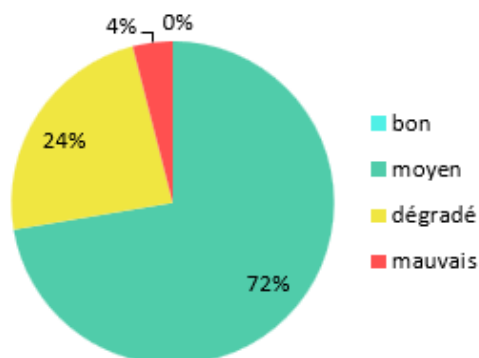


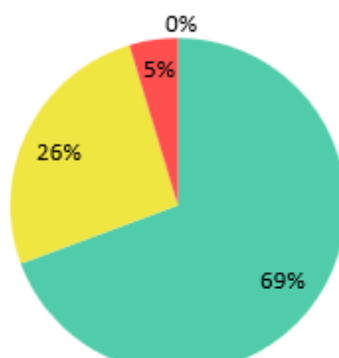
Figure 60 : comparaison des profils journaliers des concentrations en particules à Nantes, La Tardière et à La Roche-sur-Yon au quatrième trimestre

Annexe 5 : bilan de la qualité de l'air aux Sables d'Olonne

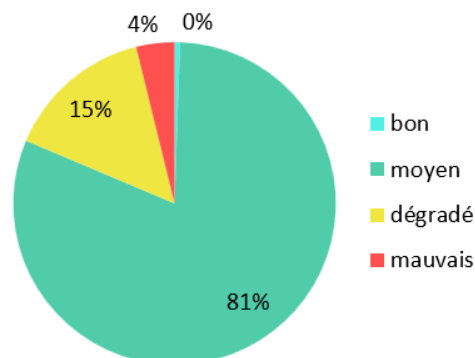
Indicateur Château d'Olonne
trimestres 2 à 4 2022
(microcapteurs)



Indicateur Centre-ville
trimestres 2 à 4 2022
(microcapteurs)



Indice ATMO
Les Sables d'Olonne 2022



Répartition annuelle des indices de qualité de l'air

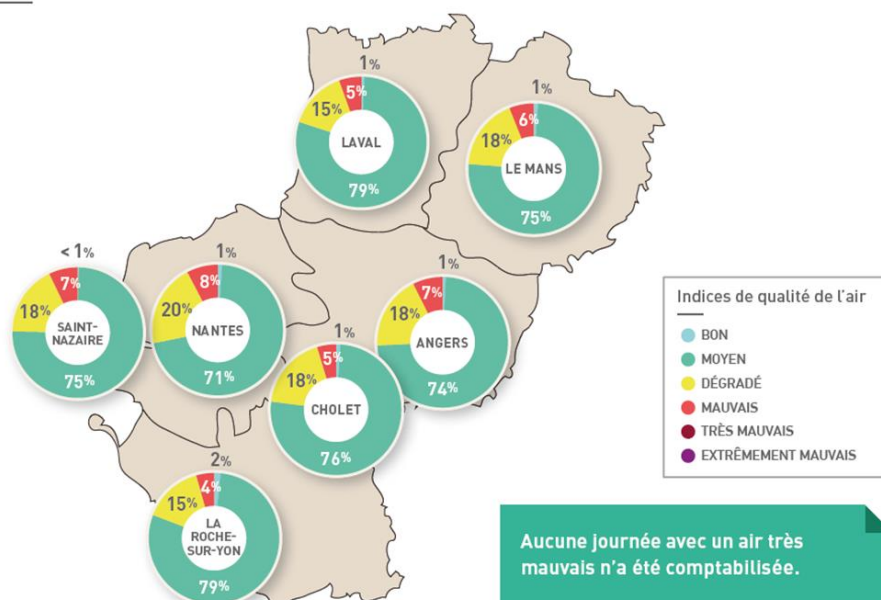
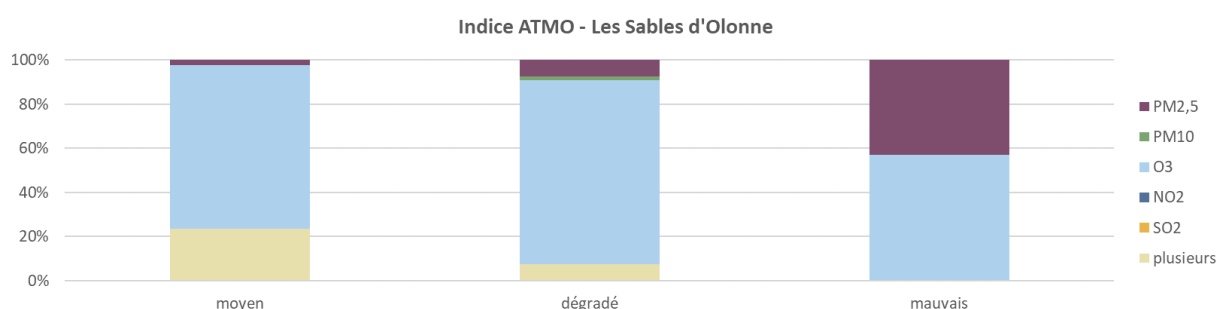


Figure 61 : répartitions des différents qualificatifs aux Sables d'Olonne et dans les différentes agglomérations de la région

En 2022, la qualité de l'air aux Sables d'Olonne a été « bonne » 2 jours, « moyenne » 295 jours, « dégradée » 54 jours et « mauvaise » 14 jours. La répartition des qualificatifs de l'indice ATMO aux Sables d'Olonne est proche de celles relevées à Laval ou à La Roche-sur-Yon. La proportion de « dégradé » et de « mauvais » est inférieure à celle relevée à Nantes.

Les polluants déterminant l'indice sont l'ozone à hauteur de 75 % du temps, plusieurs polluants 20 % du temps et les PM2.5 près de 5 % du temps. Lorsque l'indice est dégradé, l'ozone en est responsable 83% du temps. Lorsque l'indice ATMO est mauvais, il s'agit de l'ozone en période estivale (8 jours en 2022) et des PM2.5 en période hivernale (6 jours).





AIR PAYS DE LA LOIRE

5 rue Édouard-Nignon
CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3
Tél + 33 (0)2 28 22 02 02
Fax + 33 (0)2 40 68 95 29
contact@airpl.org

air | pays de
la Loire
www.airpl.org