

“L'air est **essentiel** à chacun
et mérite l'**attention de tous**.”

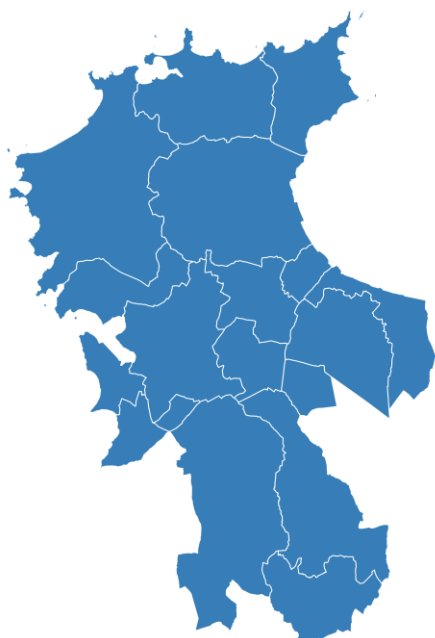
ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Période étudiée :
1 janvier 2019 – 31 décembre 2019

Polluants étudiés : NO₂ et PM10

Version finale, février 2021





ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Étude réalisée par Air Breizh

Organisation interne – contrôle qualité

Rédaction	Relecture	Validation	Version/Date
Marjolaine Justin (Ingénieure Modélisation/SIG)	Simon Leray (Chef de projet Modélisation/SIG) Olivier Le Bihan (Responsable service études)	Gaël Lefeuvre (Directeur)	Version finale Avril 2021

Glossaire

Unités de mesure

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgramme (10^{-6} g) par mètre cube (d'air)
kg/km	Kilogramme (10^3 g) par kilomètre

Polluants

NO	Monoxyde d'azote
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO _x (NO + NO ₂)	Oxydes d'azote
O ₃	Ozone
PM10	Particules fines de diamètre inférieur à 10 microns (μm)
PM2.5	Particules fines de diamètre inférieur à 2.5 microns (μm)

Abréviations

AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
CA	Communauté d'Agglomération
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CLC	Corine Land Cover
DDTM	Direction Départementales des Territoires et de la Mer
DGEC	Direction Générale de l'Energie et du Climat du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ECL	Ecole Centrale de Lyon
GSP	Grande Source Ponctuelle
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IGN	Institut National de l'information Géographique et forestière
IEM	Indicateur d'Exposition Moyenne
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
LMFA	Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique
MTES	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
ORSB	Observatoire Régional de Santé Bretagne
PDU	Plan de Déplacement Urbain
PLUi	Plan Local d'Urbanisme intercommunal
PPA	Plan de Protection de l'Atmosphère
SIG	Système d'Information Géographique
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
UVE	Unité de Valorisation Énergétique
VC	Valeur Cible
VG	Valeur Guide
VL	Valeur Limite
ZAG	Zone à risques – Agglomération
ZAR	Zones À Risques – hors agglomération
ZR	Zone Régionale

Sommaire

GLOSSAIRE.....	4
I. OBJET DE L'ETUDE : EVALUER L'EXPOSITION DES HABITANTS DE L'AGGLOMERATION DE SAINT-MALO A LA POLLUTION DE L'AIR	6
II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	9
II. 1. LA NOTION DE ZONAGE REGLEMENTAIRE	9
II. 2. LES EMISSIONS DU TERRITOIRE DE SAINT-MALO AGGLOMERATION.....	12
III. REPERES REGLEMENTAIRES	15
IV. METHODOLOGIE DE CONSTRUCTION D'UN MODELE URBAIN.....	18
IV. 1. CONTRAINTES LIEES A LA MODELISATION « HAUTE RESOLUTION »	19
IV. 2. CONSTITUTION D'UN RESEAU DE RUES INTERCONNECTEES	19
IV. 3. CARACTERISATION DES RUES AVEC L'OUTIL URBAN TRAFFIC	20
IV. 4. CALCUL DES EMISSIONS LIEES AU TRAFIC AUTOMOBILE	22
IV. 5. MODULATION DU TRAFIC ROUTIER	24
IV. 6. CADASTRAGE DES EMISSIONS MARITIMES ISSUES DE L'INVENTAIRE DES EMISSIONS	25
IV. 7. CADASTRAGE DES EMISSIONS HORS ROUTIER ET MARITIME (ISSUES DE L'INVENTAIRE DES EMISSIONS)	27
IV. 8. DETERMINATION DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES	29
IV. 9. DETERMINATION DE LA POLLUTION DE FOND.....	31
IV. 10. GRILLE ET POINTS RECEPTEURS DE CALCUL	33
V. VALIDATION DU MODELE : COMPARAISON DU MODELE AVEC LES MESURES DE TERRAIN.....	34
V. 1. DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR DE SAINT-MALO AGGLOMERATION	34
V. 2. VALIDATION DE LA MODELISATION	36
V. 3. LIMITES DE LA MODELISATION	38
V. 4. PERSPECTIVES	39
VI. EXPOSITION DES HABITANTS A LA POLLUTION DE L'AIR.....	40
VI. 1. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE L'EXPOSITION A LA POLLUTION DE L'AIR	40
VI. 2. LE DIOXYDE D'AZOTE NO ₂ : MOYENNE ANNUELLE 2019	42
VI. 3. LES PARTICULES FINES PM ₁₀ : MOYENNE ANNUELLE 2019	49
VII. CONCLUSION.....	58
LISTE DES FIGURES.....	61
LISTE DES TABLEAUX.....	62
LISTE DES SOURCES DE DONNEES.....	63
LISTE DES REFERENCES	64
ANNEXE 1 : ARRETE DU 7 DECEMBRE 2016 FIXANT UN OBJECTIF PLURIANNUEL DE DIMINUTION DE LA MOYENNE ANNUELLE DES CONCENTRATIONS JOURNALIERES DE PARTICULES ATMOSPHERIQUES.....	65
ANNEXE 2 : PRINCIPE DE CALCUL DES EMISSIONS ROUTIERES.....	68
ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIES DE POLLUTION ATMOSPHERIQUE 2019.....	70

I. Objet de l'étude : Evaluer l'exposition des habitants de l'agglomération de Saint-Malo à la pollution de l'air

Les enjeux de la pollution atmosphérique

La pollution de l'air est un facteur de risque environnemental et un enjeu important en matière de santé publique : **1 breton sur 5 déclare avoir déjà ressenti les effets de la pollution de l'air extérieur sur sa santé** ou celle de ses proches, quel que soit son lieu d'habitation¹.

Les effets néfastes de la pollution de l'air sur la santé et l'environnement dans les différentes régions de la France sont aujourd'hui avérés : **48 000 décès prématurés en France sont dus à la pollution de l'air, dont 2 000 en Bretagne**².

Les effets sanitaires ne surviennent pas uniquement lors des épisodes de pollution, l'exposition est aussi chronique. La pollution de l'air touche également les zones rurales. Elle agit au niveau respiratoire et cardiovasculaire, mais elle a également des effets sur la reproduction et le développement de l'enfant, et elle est à l'origine de perturbations endocriniennes ou neurologiques.

L'enjeu économique est également considérable : rien que pour la pollution particulaire, les coûts socio-économiques sont évalués à 145 milliards d'euros chaque année.³

Améliorer la qualité de l'air, c'est ainsi contribuer à une amélioration de la qualité de vie et de la santé des citoyens. Les scandales tels que le « Dieselgate » ont amplifié la demande citoyenne pour une information transparente sur la qualité de l'air.

Les risques sanitaires de la pollution atmosphérique ont contraint les pays à les réglementer. Il existe également à ce titre des recommandations mondiales de l'OMS (non contraignantes mais plus exigeantes). La France suit la réglementation européenne (contraignante et qui tend à converger avec les recommandations OMS).

Le contexte de l'étude

En charge de la surveillance de la qualité de l'air en Bretagne, Air Breizh dispose de stations fixes de mesure implantées sur l'ensemble de la région afin de suivre en continu l'évolution des polluants réglementés.

En complément, **Air Breizh a pris l'initiative d'évaluer l'exposition des populations à la pollution de l'air dans les principaux centres urbains bretons. Cette évaluation est possible grâce aux outils numériques de modélisation de la pollution atmosphérique.**

En effet, la modélisation permet d'effectuer en tout point du territoire un diagnostic de la qualité de l'air respiré par les citoyens. Cette évaluation répond aux questions suivantes :

- **Comment se dispersent les émissions de polluants sur mon territoire ?**
- **À quel niveau de pollution suis-je exposé quotidiennement ?**
- **Quelles sont les zones d'impact maximal de pollution ?**
- **Quel est l'impact des principales sources de pollution sur la qualité de l'air ?**

¹ Baromètre Santé-Environnement [ORSB – 2014]

² Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique [Santé Publique France – 2016]

³ Evaluation économique des impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité de la France continentale [O.CHANEL, CNRS, AMSE-GREQAM et IDEP – 2017]

Le plan de surveillance d'Air Breizh à 2021 via la modélisation

La modélisation de la qualité de l'air dite à « haute résolution » sera réalisée pour les agglomérations bretonnes de plus de 100 000 habitants d'ici 2021. Le terme de « haute résolution » signifie que la modélisation est réalisée à l'échelle d'un quartier.

Les évaluations sont effectuées pour a minima trois polluants réglementés, qui sont également des indicateurs de la pollution atmosphérique à laquelle les habitants sont exposés en milieu urbain et péri-urbain : le dioxyde d'azote (NO₂), les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}).

Cependant l'agglomération de Saint-Malo ne dispose pas de mesures permanentes des particules très fines (PM_{2.5}) en 2019. La validation nationale obligatoire de la modélisation imposant à minima un point de mesure couvrant 75% de l'année civile, l'étude portera uniquement sur le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules fines (PM₁₀).

Les centres urbains, soumis à de nombreuses sources de pollution intenses telles que le trafic automobile et le chauffage résidentiel et tertiaire sont des zones dites « sensibles ». Une attention particulière est ainsi déployée sur les territoires qui regroupent au total environ 1 300 000 habitants, soit 40 % de la population bretonne⁴ :

- Rennes Métropole,
- Brest Métropole,
- Communauté d'Agglomération (CA) de Lorient – Lorient Agglomération,
- CA du Golfe du Morbihan – Vannes Agglomération,
- CA de la Baie d'Armor – Saint-Brieuc Agglomération,
- CA de Quimper Bretagne Occidentale,
- CA du Pays de Saint-Malo – Saint-Malo Agglomération.

Déroulement de l'étude

Le processus d'évaluation de l'exposition des habitants de l'agglomération comprend quatre grandes étapes :

- La constitution d'une base de données nécessaire à la modélisation, accompagnée de l'analyse des données d'émission, météorologiques et de pollution de fond ;
- L'application et la validation du modèle sur l'agglomération via une comparaison des résultats de la modélisation avec les données mesurées sur le terrain (issues du parc technique d'Air Breizh et des études de qualité de l'air déployées sur le territoire) ;
- L'exploitation des résultats modélisés via la production de cartographies de dispersion et d'exposition annuelles de l'agglomération, basées sur les valeurs limites européennes réglementaires en vigueur ;
- L'Evaluation de la pollution atmosphérique sur la population via les productions cartographiques.

La modélisation produite a été calculée sur l'année 2019 (période 1^{er} janvier 2019 au 31 décembre 2019).

⁴ INSEE 2016



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

« La Carte Stratégique Air »

L'objectif final du diagnostic de la qualité de l'air via la modélisation urbaine est la création d'une synthèse de l'ensemble des résultats modélisés et d'évaluer l'exposition des populations qui en découle, nommée « Carte Stratégique Air » (CSA).

La « Carte Stratégique Air » est un outil d'aide à la décision. Elle doit être produite sur une période de trois à cinq ans et peut être utilisée dans des plans et programmes tels que les Plans de Déplacements Urbains (PDU) et les Plans Locaux d'Urbanisme intercommunaux (PLUi).

La CSA de l'agglomération de Saint-Malo n'a pas été produite au cours de ce rapport, compte tenu de la période d'étude réduite d'une année civile.

II. Présentation de la zone d'étude

II. 1. La notion de zonage réglementaire

Afin de répondre aux exigences européennes, la France est découpée en **Zones Administratives de Surveillance (ZAS)**. Ce zonage est indispensable pour déclarer les données de mesure auprès de la Commission européenne pour les polluants réglementés. Ces zones sont délimitées en tenant compte des niveaux de polluants, des densités de populations exposées, des sources d'émissions, des conditions météorologiques qui prévalent dans ces zones et de l'impact de leur création sur le coût du dispositif national de surveillance.

Depuis le 1^{er} janvier 2017, de nouvelles **ZAS** ont été mises en place, classées en trois catégories⁵ :

- Les « **Zones à risques - AGglomération** » (**ZAG**) qui comportent une agglomération de plus de 250 000 habitants, telle que définie par l'arrêté prévu à l'article L. 222-4 du code de l'environnement ;
- Les « **Zones À Risques – hors agglomération** » (**ZAR**) qui ne répondent pas aux critères des ZAG et dans lesquelles les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article R. 221-1 du code de l'environnement ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être ;
- La « **Zone Régionale** » (**ZR**) qui s'étend sur le reste du territoire de la région, comprenant plusieurs agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Ces zones administratives de surveillance, illustrées via la Figure 1 et le Tableau 1, déterminent le dispositif opérationnel de mesure de l'air ambiant à mettre en œuvre sur la région Bretagne. La modélisation de la qualité de l'air, alimentée par l'inventaire régional des émissions, permet en complément d'évaluer la pollution atmosphérique en tout point du territoire.

⁵ Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de l'air ambiant

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Périmètre de l'étude

La zone d'étude est la Communauté d'Agglomération (CA) de Saint-Malo, composée de 18 communes. Cette dernière est représentée par la zone grise sur la Figure 2. Avec ses 83 000 habitants, elle représente 2,5% de la population régionale et est la septième agglomération de Bretagne (Tableau 2).

Située au nord du département d'Ille-et-Vilaine, l'agglomération présente une situation littorale délimitée au nord par la Manche et à l'ouest par l'estuaire de la Rance avec un relief relativement plat. L'urbanisation de l'agglomération malouine est centrée autour de la commune de Saint-Malo et des communes littorales touristiques. Le reste du territoire Malouin est composé de zones agricoles parsemées de bourgs⁶.

L'aire urbaine de la commune de Saint-Malo possède une configuration originale avec :

- D'une part le vieux Saint-Malo, dit « intra-muros », contigu au port. Cette partie, la plus touristique, est délimitée par des remparts où la circulation automobile est proscrite.
- D'autre part, l'extension plus récente de la ville qui constitue la majeure partie de la surface communale.

Le territoire malouin est notamment influencé par l'activité portuaire et touristique. Le port de Saint-Malo est le port le plus important en Bretagne en termes de transport de passagers avec plus de 700 000 passagers ferries en 2019. Il possède également une activité commerciale et halieutique (1 500 tonnes de produits pêchés en 2019)⁷.

L'espace portuaire est divisé en deux zones illustré Figure 11 :

- Le port intérieur avec ses quatre bassins à flot accueillant des activités de pêche, de commerce et de plaisance (port Vauban),
- Le port extérieur accueille les terminaux de ferries, l'avant-port et le port de plaisance des Sablons.

L'activité touristique se concentre autour de la commune de Saint-Malo et des villes littorales. En 2017, 22,6% des logements de la métropole et 25,4% des logements de Saint-Malo étaient des résidences secondaires⁸. Cette dynamique touristique laisse présager d'importantes variations saisonnières en termes de fréquentation et d'émissions de polluants.

ZAS	Population et superficie			
	Superficie (km ²) (INSEE)	% Superficie / Superficie régionale	Population (INSEE 2016)	% Population / Population régionale
ZR – Bretagne	24 842	91 %	2 438 932	75 %
ZAG – Rennes Métropole	705	3 %	426 502	13 %
ZAR – Pays de Brest	1 661	6 %	393 273	12 %

Tableau 1: Zones administratives de surveillance (superficie et population)

Centres urbains bretons	Population et superficie			
	Superficie (km ²) (INSEE)	% Superficie / Superficie régionale	Population (INSEE 2016)	% Population / Population régionale
ZAG – Rennes Métropole	705	3 %	447 429	13 %
ZAR – Pays de Brest	1 661	6 %	393 273	12 %
CA Lorient Agglomération	739	3 %	201 024	8 %
CA du Golfe du Morbihan	807	3 %	163 178	7 %
CA Saint-Brieuc Agglomération Baie d'Armor	601	2 %	151 246	5 %
CA de Quimper Bretagne Occidentale	479	2 %	98 682	4 %
CA du Pays de Saint Malo	246	1 %	82 989	2,5 %
Total des centres urbains	3 795	14 %	1 292 707	41 %

⁶ Corine Land Cover, EEE, 2018

⁷ Site internet des Ports de la Région Bretagne : <https://ports.bretagne.bzh/ports/ille-et-vilaine/saint-malo/>, consultation le 13/01/2021

⁸ Chiffres INSEE 2017

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Tableau 2: Principaux centres urbains de la région Bretagne (superficie et population)

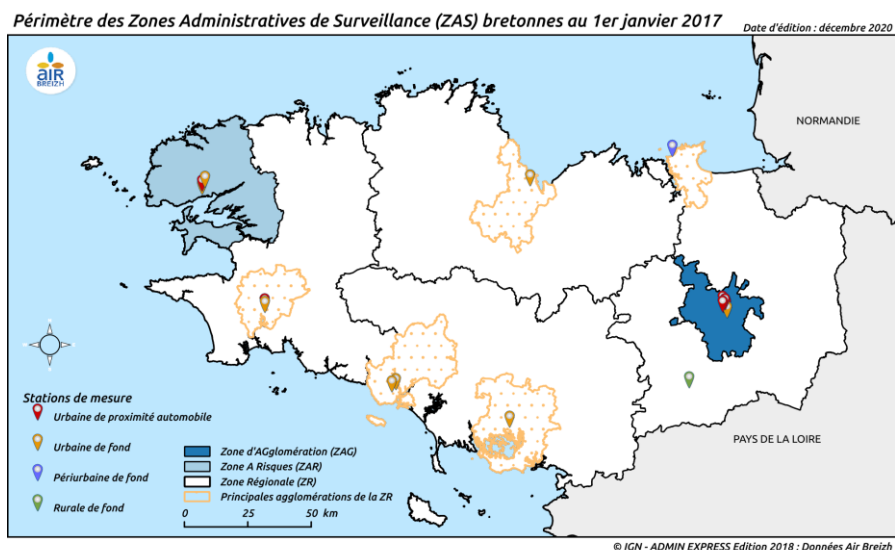


Figure 1: Découpage administratif des zones de surveillance bretonnes

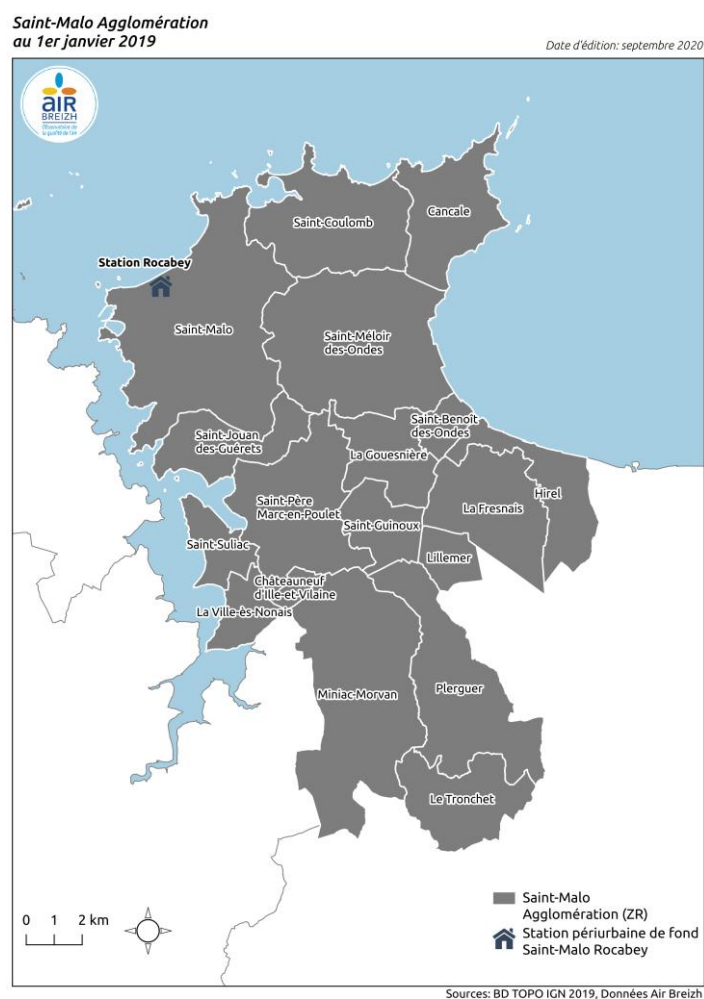


Figure 2: Communes de Saint-Malo agglomération



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

II. 2. Les émissions du territoire de Saint-Malo agglomération

Les émissions (sauf secteur maritime) utilisées dans cette étude proviennent de l'inventaire régional spatialisé des émissions atmosphériques d'Air Breizh version 3, pour l'année de référence 2016, la plus récente disponible. Les émissions du secteur maritime sont issues de l'inventaire version 4, disponible au moment de l'élaboration de cette étude.

Répartition des émissions du territoire

Les émissions de polluants de l'agglomération malouine, illustrées sur la Figure 3, proviennent majoritairement du transport et du secteur résidentiel/tertiaire :

- **Oxydes d'azote (NO_x)** : 78 % des émissions d'oxydes d'azote sont issues du transport ;
- **Particules fines et très fines (PM10 et PM2.5)** : Les sources d'émissions de particules sont principalement issues du transport routier et du chauffage résidentiel. Le secteur industriel vient en 3^{ème} place.

Transports (transports routier, ferroviaire, aérien, maritime)

Le secteur des transports est le secteur majoritaire dans les émissions de NO_x de Saint-Malo Agglomération :

- Les émissions de NO_x issues des transports sont à **65% liées au transport routier**. La majorité de ces émissions sont liés à la combustion d'hydrocarbures.
- Les émissions de PM10 issues des transports sont à **78% liées au transport routier**. Elles sont issues d'une part de la combustion de carburant (69%) et d'autre part de l'abrasion des pneus, des freins, des routes et de la remise en suspension liée à la circulation automobile (31%).

À l'échelle régionale, la contribution des transports dans les émissions de NO_x et de particules fines (PM10 et PM2.5) est plus faible en raison d'un réseau routier moins dense.

Résidentiel et tertiaire

La consommation énergétique du secteur **résidentiel/tertiaire** (chauffage, production d'eau chaude sanitaire et cuisson) est la principale source de PM2.5 et de PM10 de l'agglomération Malouine :

- **Les PM10 émises par le secteur résidentiel/tertiaire sont essentiellement constituées de PM2.5** (97% des PM10 émises sont des PM2.5),
- **Le tertiaire contribue peu aux émissions de PM2.5 puisque 99% des PM2.5 du secteur résidentiel/tertiaire sont issues du seul secteur résidentiel,**
- Le chauffage est le premier contributeur des émissions de PM2.5 du secteur résidentiel. Notons que la combustion du bois est le principal émetteur de particules (**90%** des PM2.5 du secteur résidentiel sont issues du chauffage au bois).

À l'échelle régionale, la part du secteur résidentiel et tertiaire est plus importante pour les PM2.5.

Agriculture

L'agriculture représente 17% des émissions de PM10 et 7% des émissions de PM2.5 de Saint-Malo agglomération :

- L'élevage représente **36%** des émissions de PM10 du secteur agricole, les cultures **55%** et la combustion dans les bâtiments et les engins **9%** ;
- L'élevage représente **31%** des émissions de PM2.5 du secteur agricole, les cultures **40%** et la combustion dans les bâtiments et les engins **29%**.

À l'échelle régionale, l'activité agricole est plus présente et a donc une contribution plus forte dans les émissions.

L'industrie

Le secteur industriel est un contributeur important dans les émissions de particules fines de Saint-Malo Agglomération, notamment à travers les activités manufacturières qui représentent la quasi-totalité des émissions de PM10 et PM2.5 de ce secteur.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

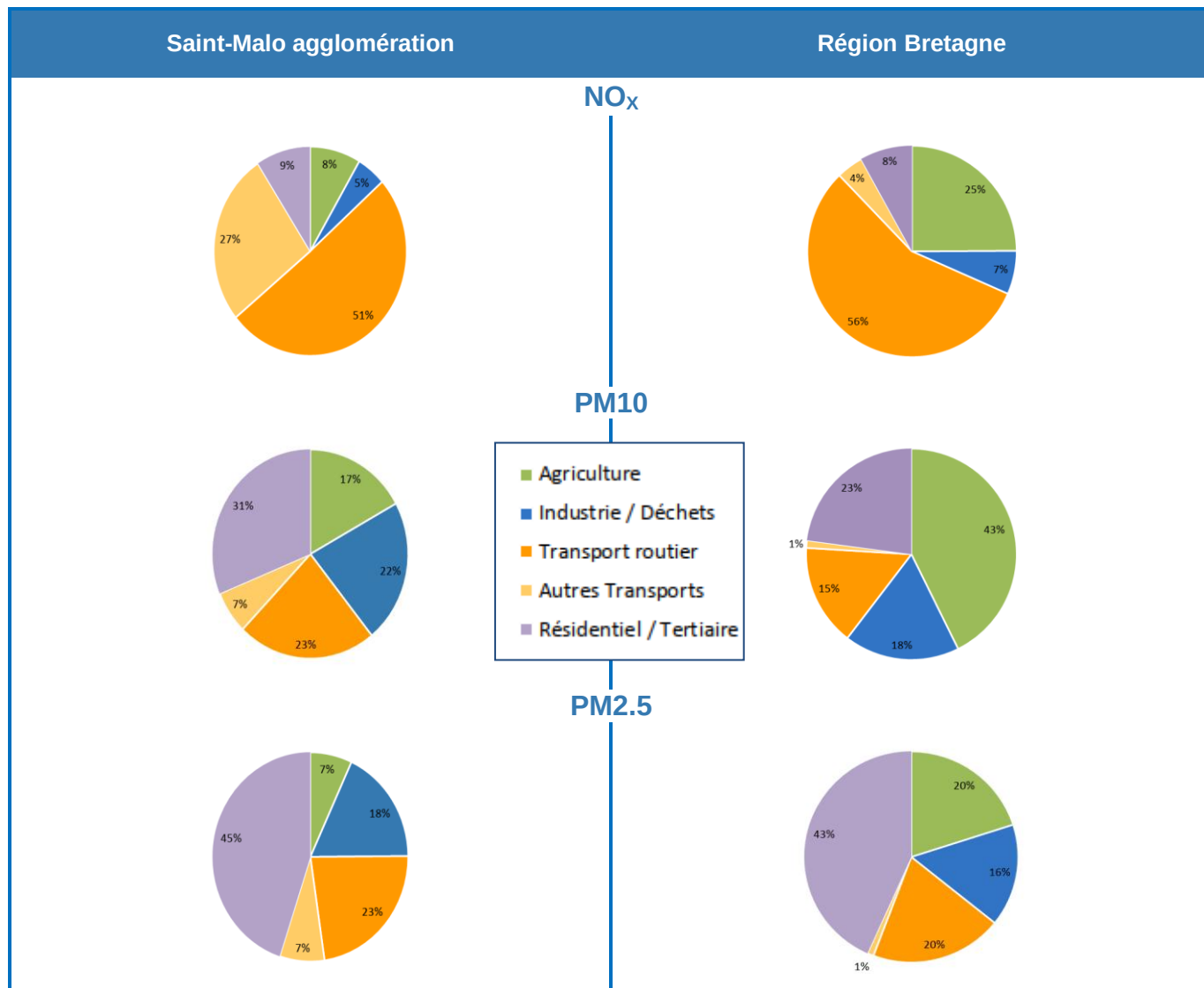


Figure 3: Répartition des émissions de NO_x, PM10 et PM2.5 en 2016 (Inventaire des émissions atmosphériques d'Air Breizh v3)

Le transport maritime

Le secteur des autres transports, représenté Figure 4, est divisé en trois sous-secteurs : le trafic ferroviaire, le trafic maritime et le trafic aérien.

Attention particulière : Les émissions du transport maritimes injectées dans la modélisation sont issues de l'inventaire régional spatialisé des émissions atmosphériques d'Air Breizh version 4, pour l'année de référence 2018. Seul ce secteur d'activité était disponible pour l'année 2018 au démarrage de la présente étude.

Le secteur maritime (présenté Figure 4) incluant le transport de voyageurs, le transport de marchandises et la pêche commerciale, représente une contribution importante des émissions issues du secteur des autres transports injectées dans la modélisation, avec 93 % des émissions de NO_x, 61 % des émissions de PM₁₀ et 75% des émissions de PM_{2.5}.

Les émissions maritimes émises à proximité des habitations de la commune de Saint-Malo et sur une zone restreinte (le port) seront donc étudiées dans un cadastre séparé avec une modélisation des émissions spécifique en fonction de l'activité portuaire.

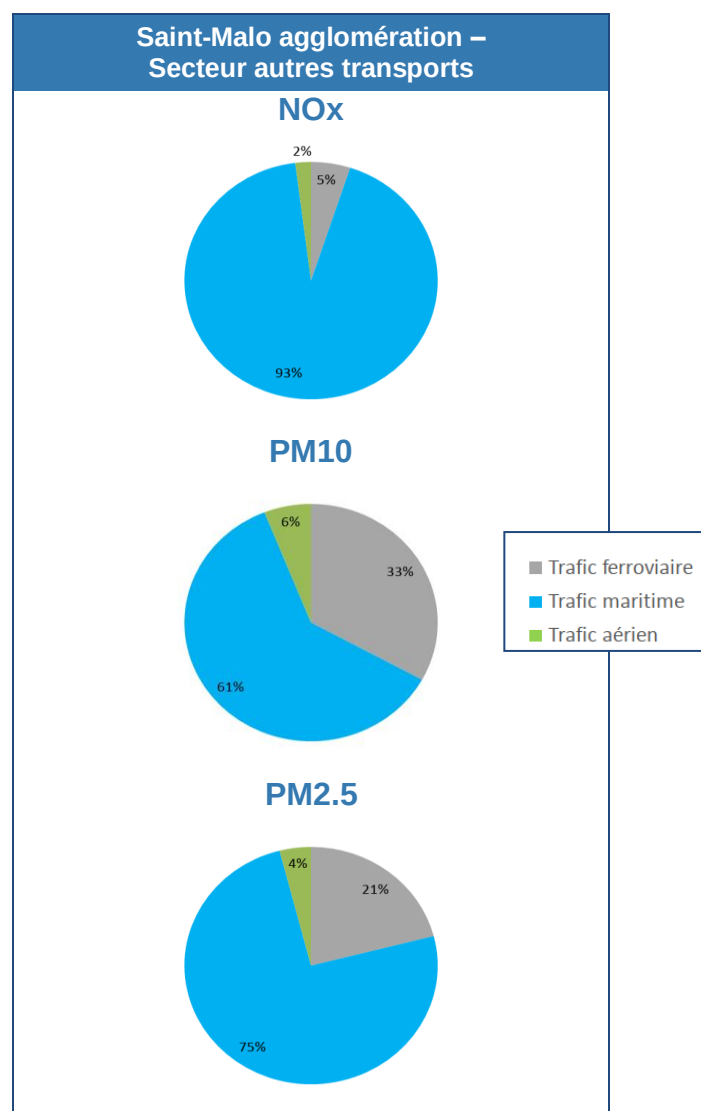


Figure 4: Répartition des émissions de NO_x, PM₁₀ et PM_{2.5} du secteur transport (inventaire V3 – réf. 2016)

III. Repères réglementaires

Au cours de cette étude, les niveaux de concentrations en polluants dans l'air sont comparés aux valeurs réglementaires européennes ainsi qu'aux valeurs guides OMS par le biais de cartographies. Les valeurs de référence pour les polluants mesurés sont synthétisées dans le Tableau 3 et le Tableau 4.

Afin de comprendre, des éléments de contexte sont nécessaires :

Réglementation en vigueur

À l'heure actuelle, les teneurs dans l'atmosphère de certains polluants sont réglementées au niveau européen⁹ dans des directives puis déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

- **Valeur limite** : un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser ; fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.
- **Valeur cible** : un niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- **Objectif de qualité** : un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Pour les particules très fines (PM_{2.5}), il existe également un **Indicateur d'Exposition Moyenne (IEM)**. Il est défini à la fois par les réglementations européenne et nationale.

- Selon la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, l'IEM est un niveau moyen déterminé sur la base des mesures effectuées dans des lieux caractéristiques de la pollution de fond urbaine sur l'ensemble du territoire d'un Etat membre et qui reflète l'exposition de la population ;
- Selon l'article R.221-1 du code de l'environnement, l'IEM est la concentration moyenne à laquelle est exposée la population et qui est calculée pour une année donnée à partir des mesures effectuées sur trois années civiles consécutives dans des lieux caractéristiques de la pollution de fond urbaine répartis sur l'ensemble du territoire.

La directive 2008/50/CE précise que l'IEM « est utilisé afin de calculer l'objectif national de réduction de l'exposition et l'obligation en matière de concentration relative à l'exposition ». Dans le cadre de cette dernière, l'objectif de réduction des concentrations atmosphériques en particules très fines PM_{2.5} à respecter en 2020 et calculé grâce à l'IEM est de 14,7 microgrammes par mètre cube (µg/m³) en ce qui concerne la France.

L'arrêté du 7 décembre 2016, joint en annexe de ce rapport, a fixé un objectif pluriannuel de diminution de la moyenne annuelle des concentrations journalières de particules atmosphériques PM_{2.5} afin d'améliorer la qualité de l'air et l'état de santé des populations¹⁰.

Cet arrêté publié fixe l'objectif de respecter en 2030 la valeur guide de l'OMS de 10 µg/m³, avec un objectif intermédiaire de 11.2 µg/m³ en 2025.

⁹ Directive 2008/05/CE, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000018984836/>

¹⁰ JORF n°0287 du 10 décembre 2016 Texte n°32



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Procédure d'alerte

La procédure d'alerte à la pollution atmosphérique a pour but d'informer les autorités, les collectivités locales et la population via les médias afin de limiter les épisodes de pollution. Des mesures tendant à limiter les émissions polluantes peuvent être prises dans le but de réduire l'ampleur des pics de pollution.

- **Seuil d'Information et de Recommandations (IR)** : un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions
- **Seuil d'alerte** : un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population et/ou de dégradation de l'environnement, justifiant la prise de mesures d'urgence par les services de l'Etat.

Valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a publié en 2005 des valeurs recommandées de polluants dans l'air ambiant : il s'agit des niveaux d'exposition en-dessous desquels il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur notre santé ou sur les végétaux. Ces valeurs correspondant à une qualité « idéale » de l'air ambiant sont données dans ce rapport à titre de comparaison avec les valeurs repères.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Polluants	Valeurs réglementaires en air extérieur en vigueur Code de l'Environnement R221-1 à R228-1			Seuils des procédures d'alerte en air extérieur en vigueur Procédures préfectorales		Valeurs guides OMS (2005)
	Valeurs limites	Valeurs cibles	Objectifs de qualité	Seuil IR	Seuil Alerte	
Dioxyde d'azote NO₂	40 µg/m³ en moyenne annuelle 200 µg/m³ en moyenne horaire, à ne pas dépasser plus de 18 heures/an	-	-	200 µg/m³ en moyenne horaire	400 µg/m³ en moyenne horaire	40 µg/m³ en moyenne annuelle
Particules en suspension PM10	40 µg/m³ en moyenne annuelle 50 µg/m³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 jours/an	-	30 µg/m³ en moyenne annuelle	50 µg/m³ en moyenne journalière	80 µg/m³ en moyenne journalière	20 µg/m³ en moyenne annuelle 50 µg/m³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 jours/an
Particules en suspension PM2.5	25 µg/m³ en moyenne annuelle	20 µg/m³ en moyenne annuelle	10 µg/m³ en moyenne annuelle	<i>Non inclus dans la procédure préfectorale</i>	<i>Non inclus dans la procédure préfectorale</i>	10 µg/m³ en moyenne annuelle 25 µg/m³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 jours/an

Tableau 3: Repères réglementaires (NO₂, PM10 et PM2.5)

Année pour laquelle le seuil doit être respecté	IEM – PM2.5 (Indicateur d'Exposition Moyenne)	
	Obligation en matière de concentration relative à l'exposition	Période de calcul
2015	20 µg/m³	2013 - 2015
2020	14.7 µg/m³	2018 - 2020
2025	11.2 µg/m³	2023 - 2025
2030	10 µg/m³	2028 - 2030

Tableau 4: IEM et objectif national de réduction de l'exposition des PM2.5

IV. Méthodologie de construction d'un modèle urbain

La création d'une plate-forme de modélisation nécessite de nombreuses données d'entrée :

- Un réseau de rues interconnectées,
- Des émissions linéiques associées à ce réseau de rues,
- Un cadastrage des émissions (hors secteur routier) sur la zone modélisée en tant que source ponctuelle/surfacique pour les industries majeures et source surfacique pour les émissions des autres secteurs d'activité,
- Des conditions météorologiques sur le domaine considéré et pour la période étudiée,
- La pollution de fond du domaine modélisé, qui peut être générée par les activités humaines en dehors de son périmètre ou naturellement présente dans l'air.

Le logigramme Figure 5 décrit le processus complet d'élaboration du modèle urbain de Saint-Malo Agglomération, de l'acquisition et du traitement des données d'entrée à l'exploitation des données de sorties. Ce processus fait l'objet d'une présentation dans les chapitres suivants.

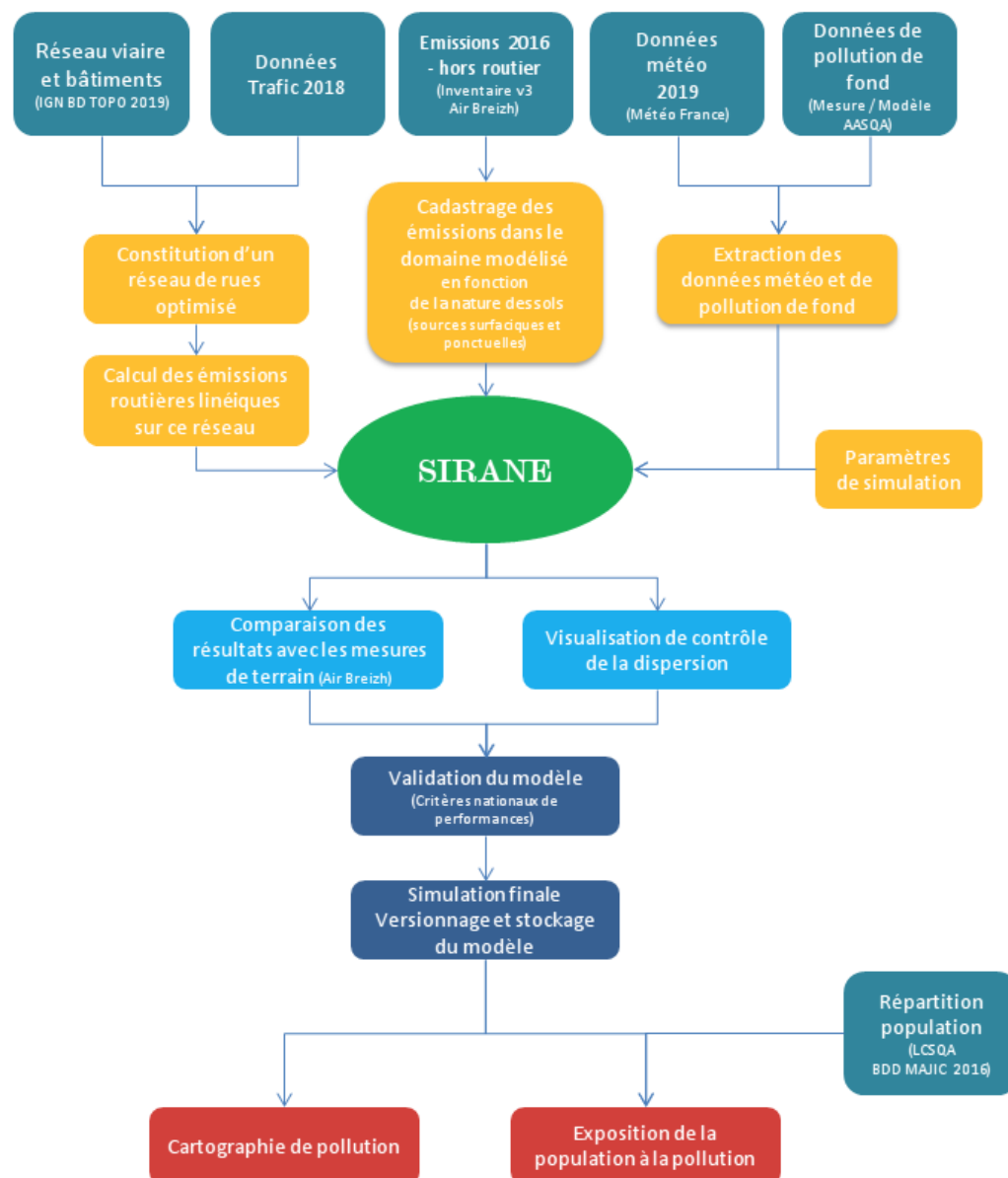


Figure 5: Processus de création d'un modèle urbain

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

IV. 1. Contraintes liées à la modélisation « haute résolution »

Les outils de modélisation à fine échelle comme SIRANE nécessitent un réseau routier optimisé :

- Le réseau routier doit être optimisé afin que les ressources informatiques nécessaires restent raisonnables (simplification du réseau...) ;
- Le réseau routier doit avoir une précision géographique de l'ordre de la dizaine de mètres afin qu'il ne se superpose pas aux habitations.

Compte tenu des contraintes du modèle, le LCSQA préconise d'utiliser un réseau routier issu la BD TOPO de l'IGN ou d'un modèle de trafic (si existant sur la zone urbaine étudiée).

IV. 2. Constitution d'un réseau de rues interconnectées

Saint-Malo agglomération dispose d'une base de données issue de comptages routiers mis à jour en 2018, projeté sur la BD TOPO de l'IGN.

Sur la base des préconisations du LCSQA, le réseau de rues présenté Figure 6 a été principalement construit à partir du réseau viaire BD TOPO de l'agglomération de Saint-Malo. Le réseau de route a été optimisé pour le besoin de la modélisation. La totalité des comptages réels disponibles transposés sur la BD TOPO a été implémentée dans le modèle. Ils couvrent 54% du réseau routier optimisé pour le modèle.

Réseau routier de Saint-Malo Agglomération optimisé pour la modélisation

Date d'édition: septembre 2020

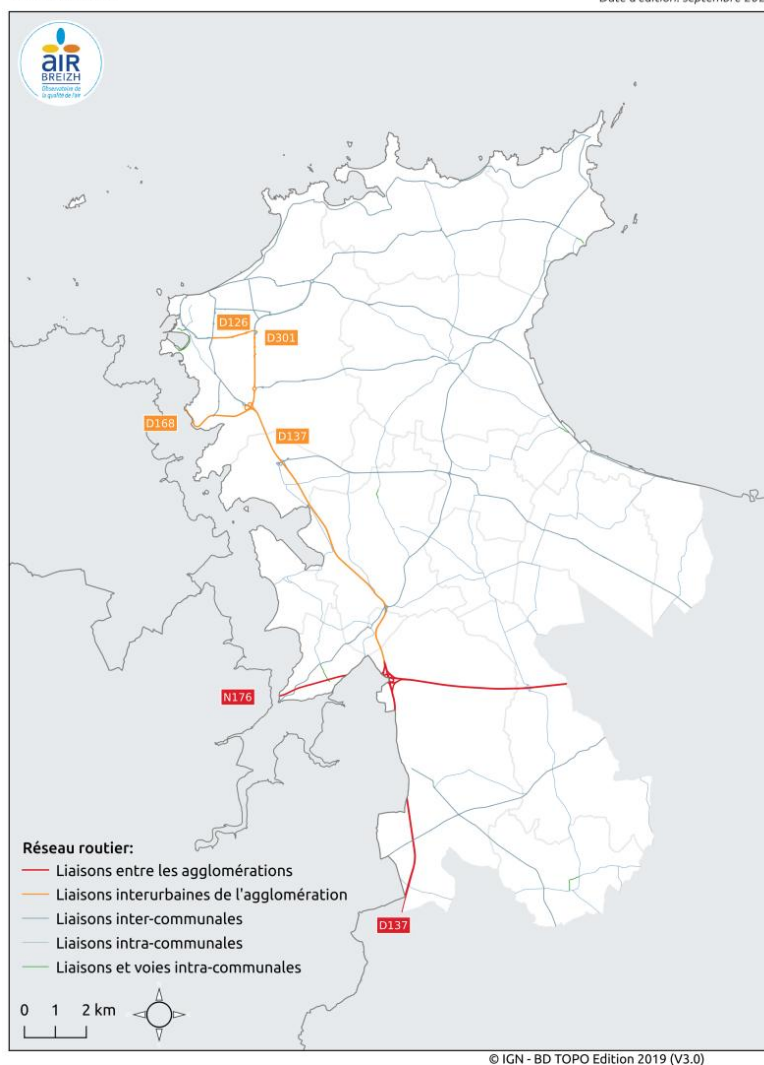


Figure 6: Réseau routier optimisé de Saint-Malo Agglomération

IV. 3. Caractérisation des rues avec l'outil URBAN TRAFFIC

Les caractéristiques géométriques de chaque tronçon routier doivent être déterminées afin de modéliser correctement le confinement des polluants entre les bâtiments. Pour ce faire, l'outil URBAN TRAFFIC (communication personnelle - équipe AIR de l'Ecole Centrale de Lyon) a été déployé sur l'agglomération de Saint-Malo.

Principes généraux d'URBAN TRAFFIC

À partir des fichiers géographiques du bâti et du réseau routier de la zone étudiée, l'outil URBAN TRAFFIC crée des images de résolution métrique des bâtiments simplifiés avec leur hauteur associée. Il identifie ensuite les volumes des rues et les associe au réseau routier initial.

Identification de la géométrie des rues : Est-ce une rue canyon ?

Le caractère « canyon » ou « ouvert » d'une rue est déterminé en fonction des critères suivants (Figure 7) :

- Les rues présentant une hauteur de bâti moyenne nulle à gauche et/ou à droite sont considérées « ouvertes » (cas d'une rue semi-bordée de bâtiments).
Exemple : La chaussée du Sillon bordée par des bâtiments uniquement d'un côté.
- Les rues pour lesquelles la largeur W est supérieure à trois fois la hauteur moyenne de bâti H , soit un rapport $W/H > 3$ (équivalent à $W > 3H$), sont considérées « ouvertes ».
Exemple : Le boulevard de l'Espérance
- Toutes les autres rues (rapport $W/H < 3$ et bordées de bâtiments des deux côtés) sont considérées de type « canyon ».
Exemple : Les rues du centre-ville de Saint-Malo

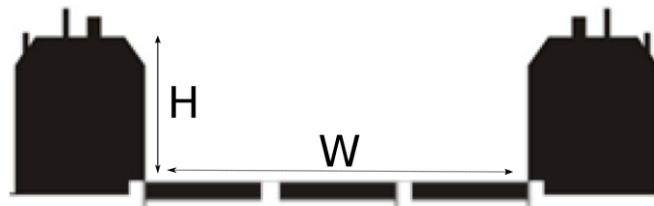


Figure 7: Critère de détermination des rues (« ouverte » ou « canyon »)

NB : La notion du « rue » est utilisée ici par simplification. Le réseau viaire de rue de la BD TOPO est décomposé en tronçons routiers.

Détermination du type de rues et leurs caractéristiques : longueur L , largeur W et hauteur H

L'outil URBAN TRAFFIC permet de déterminer si une rue est de type « canyon » ou non et de caractériser sa géométrie.

- le **type « canyon »** qui correspond à une situation de confinement du tronçon avec des bâtiments de chaque côté, caractérisé par un volume parallélépipédique de dimension Hauteur H x Largeur W x Longueur L .
- le **type « ouvert »** qui correspond aux rues en zone dégagée (places larges, rues non bordées ou bordées d'un seul côté), caractérisé par une surface plane de dimension Largeur W x Longueur L . La longueur L est issue de la largeur de route fournie par la BD TOPO.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Le réseau obtenu compte finalement 462 kilomètres de voies, dont environ 70 km de type "canyon", soit 15 % du réseau optimisé de rues de l'agglomération, représenté sur la Figure 8. Les rues de type "ouvert" prédominent largement dès que l'on s'éloigne du centre-ville.

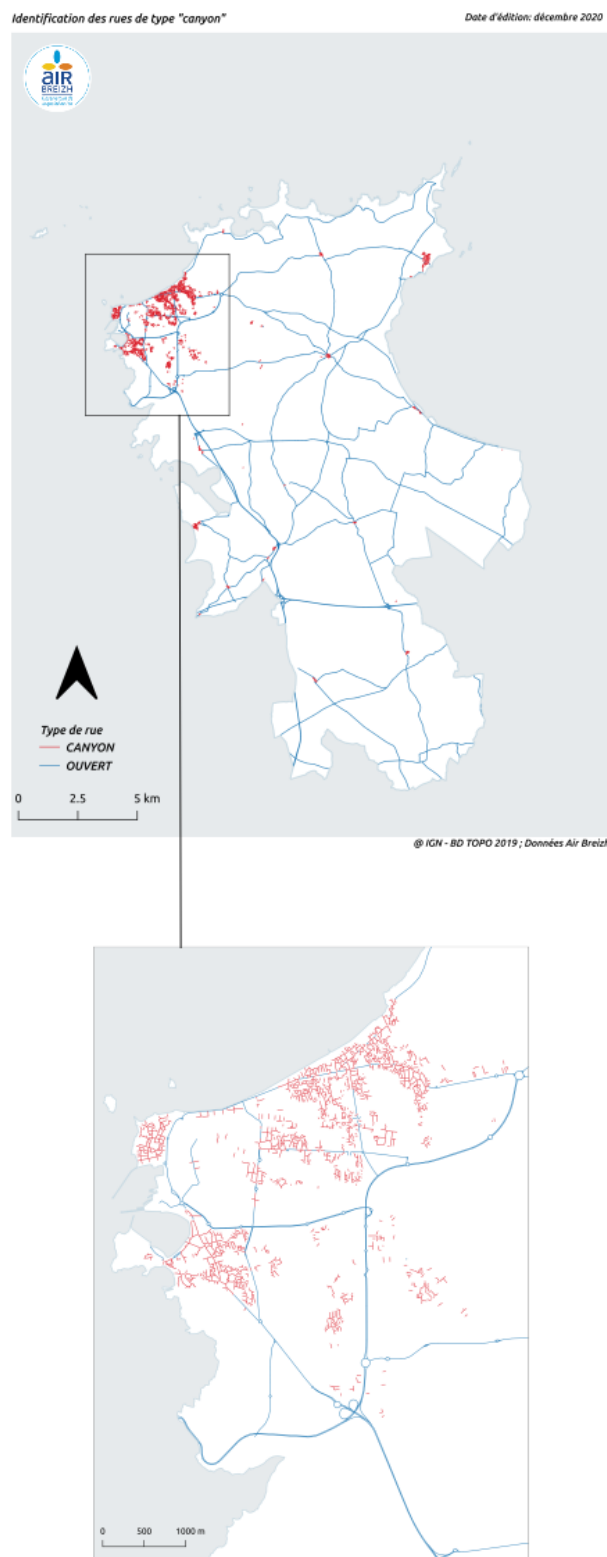


Figure 8: Identification des rues : « ouverte » ou « canyon »

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

IV. 4. Calcul des émissions liées au trafic automobile

Le calcul des émissions issues du trafic routier est un point essentiel de la mise en œuvre du modèle SIRANE. C'est aussi un des points les plus sensibles compte tenu de la difficulté à évaluer le trafic routier et le parc automobile.

Le calcul des émissions a été réalisé via le logiciel Circul'Air 4.0 (C. Schillinger – Atmo Grand Est) en utilisant la méthodologie COPERT V (« The industry standard emissions calculator » ; <https://www.emisia.com/utilities/copert/>) qui **repose sur l'utilisation de lois empiriques d'évolution des émissions en fonction de la vitesse des véhicules**. Ces lois sont spécifiées pour un grand nombre de classes, correspondant à différents types de véhicules, de carburants, de motorisations, de générations technologiques. Une illustration du principe de calcul est fournie en annexe (II) de ce rapport.

Données Trafs et vitesses réglementaires autorisées

Le calcul des émissions s'est appuyé sur les données communales (Ville de Saint-Malo), départementales et régionales :

- Comptages routiers : Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA). C'est le nombre moyen journalier de véhicule circulant sur un tronçon routier, tous véhicules confondus
- Pourcentage de poids lourds et de bus associés aux TMJA
- Vitesses réglementaires autorisées sur le réseau viaire.

Caractérisation du réseau routier

Les paramètres géométriques nécessaires tels les longueurs des tronçons, leur largeur (nombre de voies sur la chaussée), leur sens de circulation (direct, indirect ou double) sont fournis par la BD TOPO de l'IGN.

Parc automobile

Le parc automobile utilisé correspond à l'année de référence 2017 (parc automobile national le plus récent disponible issu du CITEPA).

Attention particulière : Une erreur dans la base de données trafic a été détectée a posteriori au niveau du tronçon de Saint-Méloir-des-Ondes à Cancale (Figure 9). Le comptage TMJA réel relevé en 2019 est de 10 501 véhicules en moyenne contre 19 152 imputé dans le modèle. Les émissions de ce tronçon sont ainsi surestimées dans cette version du modèle.



© IGN - BD TOPO 2019; Données Air Breizh

Figure 9: Emissions d'oxydes d'azote NO_x du réseau routier de Saint-Malo agglomération

IV. 5. Modulation du trafic routier

Le trafic routier évolue suivant l'heure de la journée, le jour de la semaine et le mois de l'année. Pour couvrir toutes ces échelles de temps, le pas de temps pour le débit des véhicules doit être horaire.

Ainsi, la répartition des trafics moyens journaliers annuels (TMJA) provenant des postes de comptage permanents disponibles sont utilisés pour temporaliser les émissions annuelles. Les données connues les plus proches de Saint-Malo ont été collectées en 2016 dans la métropole rennaise au niveau de l'autoroute A84; des routes nationales (N12, N26, N137, N157) et de la départementale D177.

Pour toutes les heures de l'année, un coefficient de modulation du trafic est déterminé à partir du produit de convolution de plusieurs profils. Le coefficient de modulation C à l'heure h , pour le jour de la semaine j et du mois m , est donné par la formule suivante :

$$Coefficient\ C(m,j,h) = coef(m) \times coef(j,h)$$

Avec

- m entre 1 et 12, correspondant à la répartition du trafic sur chaque mois de l'année ;
- j correspondant à la répartition du trafic sur chaque type de jour (Jour Ouvré « JO », Samedi Veille de Fêtes « SVF », Dimanche / Férié « DF »). Elle tient compte du nombre de jours-type présents dans le mois considéré (spécificités mensuelles) ;
- h entre 0 et 23h, correspondant à la répartition du trafic pour chaque heure et pour chaque type de jour (JO, SVF, DF) avec une distinction entre les périodes estivale (juillet-août) et non estivale (le reste de l'année).

Ainsi, il est possible de modéliser le trafic d'une année entière avec le débit horaire en véhicules à partir de la répartition précédemment déterminée.

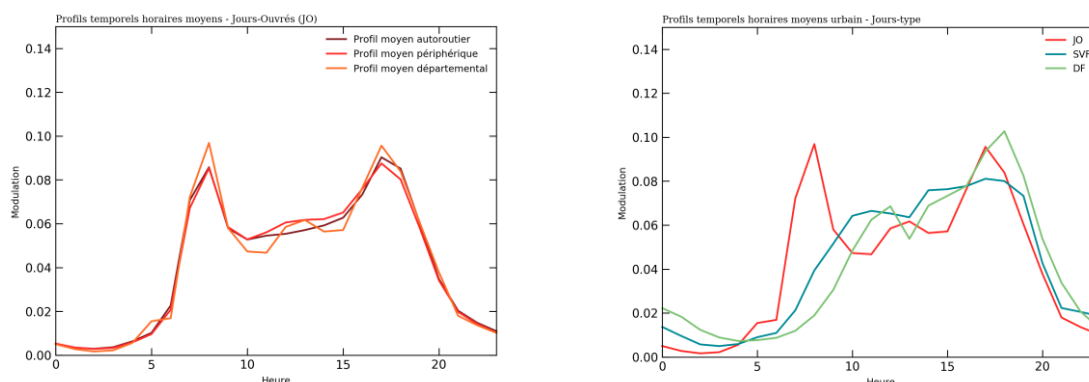


Figure 10: Exemple des profils temporels horaires du trafic routier

Cependant, ce calcul de la modulation implique deux fortes hypothèses :

- 3 profils horaires de modulation sont appliqués pour l'ensemble des rues :
 - ✓ 1 profil pour les nationales type autoroutier : profil moyen des postes de comptage ;
 - ✓ 1 profil pour les départementales : profil issu du poste de comptage de la D77 ;
 - ✓ 1 pour les autres routes urbaines : profil moyen urbain

Les profils mensuels ont été ajustés en fonction de l'activité touristique saisonnière reportée par la région Bretagne¹¹.

Pour être plus proche de la réalité, une modulation par tronçon routier aurait été plus adaptée afin de tenir compte des effets locaux de la circulation ou d'éventuels reports de trafic (si information existante). Ce niveau de détail n'est pas réalisable compte tenu des ressources informatiques nécessaires et des informations disponibles.

- La modulation est appliquée directement aux émissions, sans tenir compte de la variation de vitesse des véhicules sur un même tronçon.

¹¹ Site internet de Tourisme Bretagne, <https://acteurs.tourismebretagne.bzh/>

IV. 6. Cadastrage des émissions maritimes issues de l'inventaire des émissions

Cadastrage de l'inventaire des émissions maritimes 2018 (v4)

Les émissions communales de l'activité maritime ont été spatialisées à partir des données géographiques des bassins portuaires, des terminaux et des rampes ferry. Ces données sont fournies par la BD Topo IGN 2019 (V3.0).

Les zones identifiées comme abritant une activité portuaire se voient attribuées au prorata de leur surface des émissions issues du secteur maritime (pêche et transport maritime).

Bassins portuaire, terminaux, chenaux et rampes ferry utilisé pour le cadastrage des émissions maritimes

Date d'édition: janvier 2021

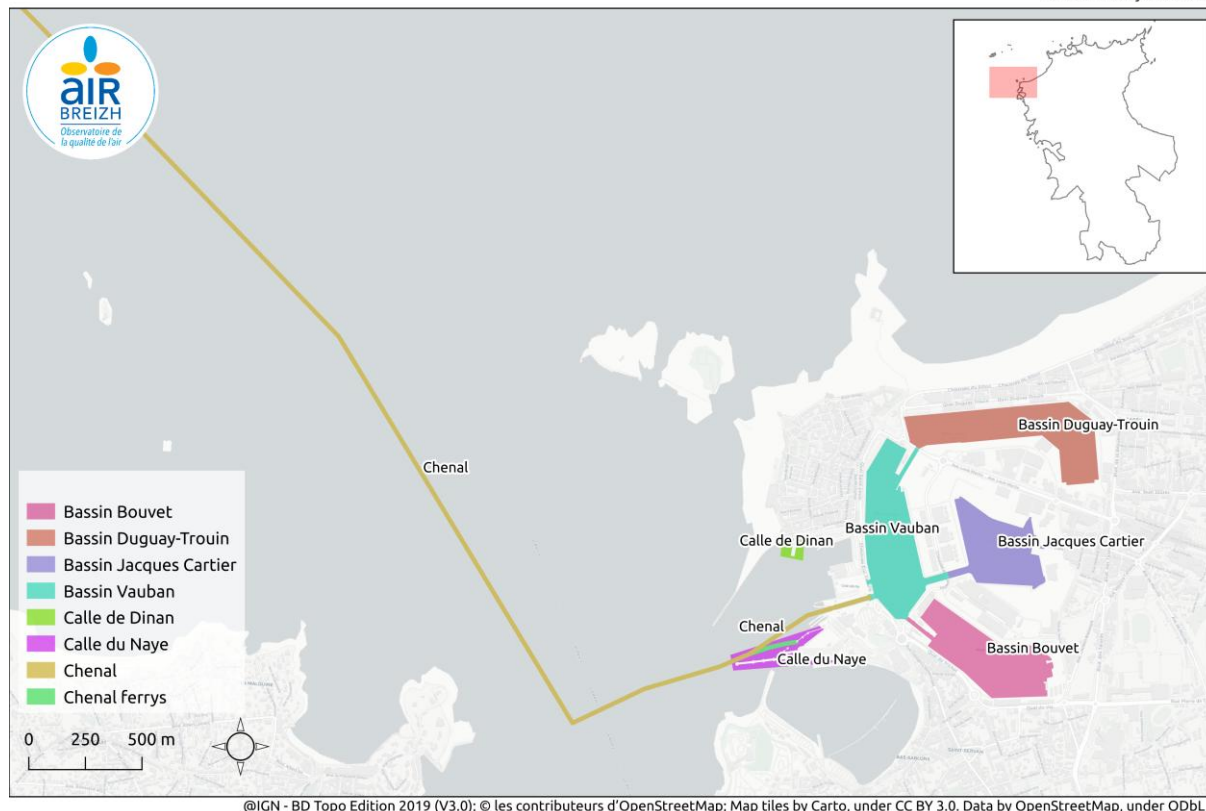


Figure 11: Représentation cartographique des zones d'émissions portuaires retenues pour l'élaboration du cadastre maritime

Attention particulière :

- Les émissions issues de la pêche et du transport en haute mer ne sont pas comprises dans ce cadastre car elles sont émises en dehors du domaine d'étude.
- Les rejets de chargement et déchargement sont calculés à l'échelle communale à partir de données régionales. Ces émissions sont distribuées spatialement à l'échelle de l'agglomération en fonction de l'occupation des sols, pouvant ainsi provoquer une sous-estimation de ces émissions à l'échelle portuaire.
- Les activités de plaisance ne sont pas incluses faute de données à la disposition d'Air Breizh.

Le cadastrage des émissions de NO_x issues des activités maritimes, illustré Figure 12, met en évidence les bassins, terminaux et chenaux du port de Saint-Malo. Les émissions NO_x maritimes représentent 27% des émissions totales.

Temporalisation du cadastre des émissions maritimes

La temporalisation du cadastre est basée sur les périodes d'activité nautique commerciale et halieutiques. Le profil temporel sélectionné est le profil maritime élaboré par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique (CITEPA).

Représentation des émissions annuelle de NO_x issues du cadastre des émissions maritimes

Date d'édition: janvier 2021

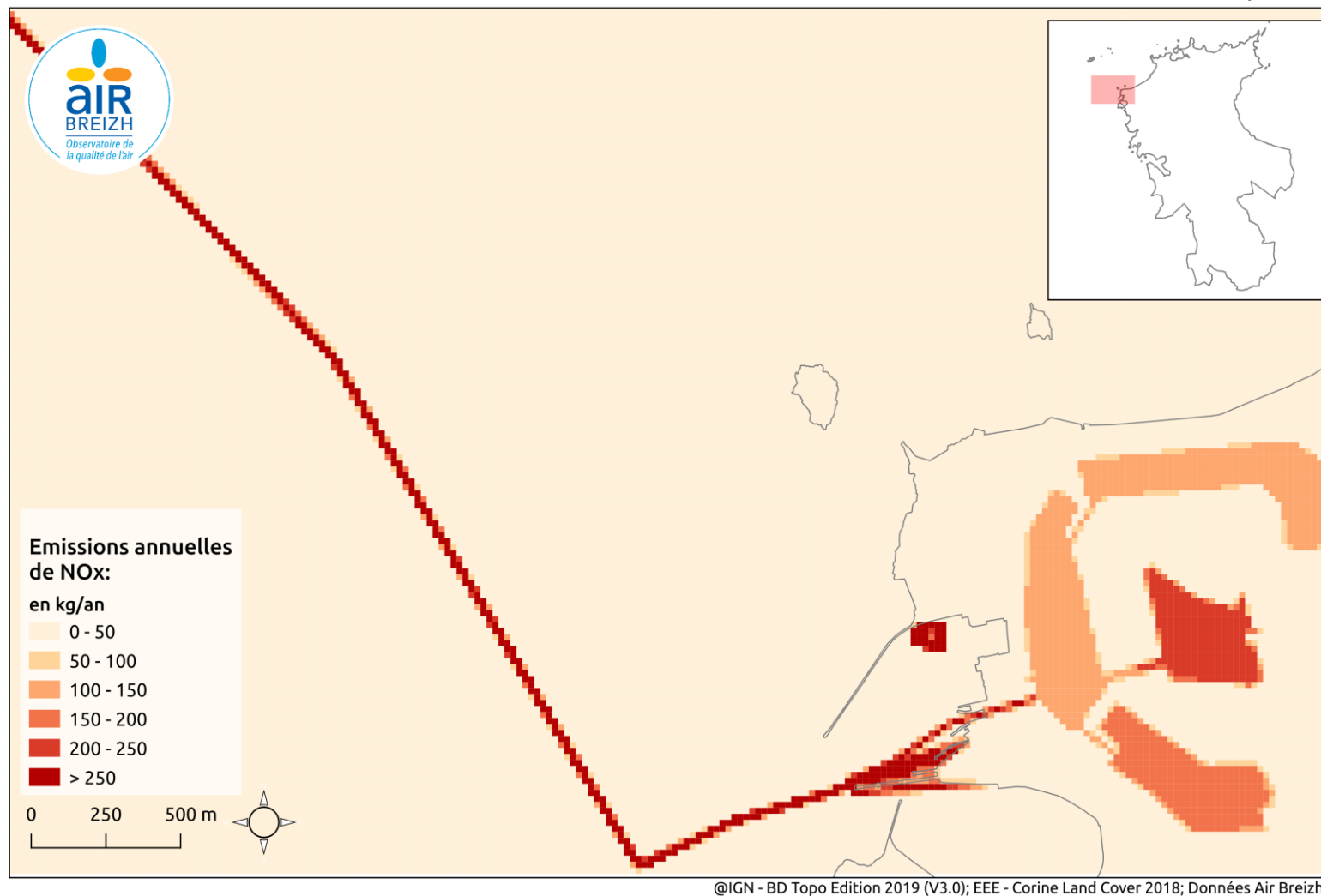


Figure 12: Cadastre maritime des émissions annuelles 2018 de NO_x

IV. 7. Cadastrage des émissions hors routier et maritime (issues de l'inventaire des émissions)

Cadastrage de l'inventaire des émissions 2016 (v3)

Les émissions communales des autres secteurs d'activités (hors routier et maritime) ont été spatialisées à partir de la nature des sols (zones résidentielles, industrielles, commerciales, portuaires, ...). Ces données sont fournies par la base de données Corine Land Cover (CLC Edition 2018).

- Une zone identifiée comme étant du bâti résidentiel se voit attribuer en fonction de sa surface des émissions issues du secteur résidentiel (chauffage urbain) ;
- Une zone identifiée comme étant des terrains agricoles se voit attribuer en fonction de sa surface des émissions issues du secteur de l'agriculture, ...

Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) de Saint-Malo agglomération et ses alentours ont été extraites du cadastre puis intégrées en tant que sources ponctuelles. Le module de source ponctuelle de SIRANE permet de modéliser la surélévation des panaches émis par les cheminées. Les émissions ponctuelles industrielles se basent sur les déclarations officielles d'émission 2018, année la plus récente disponible. Deux sites industriels avec cheminée(s) soumis à déclaration sont implantés sur le territoire (listés dans le Tableau 5).

Sites	Numéro d'inspection	Activité
TIMAC quai intérieur	0055.01533	Traitement et élimination des déchets non dangereux
TIMAC AGRO zone industrielle	0055.01532	Fabrication de produits azotés et d'engrais

Tableau 5: Sites industriels ICPE (sources ponctuelles) retenues dans le modèle

Le cadastrage des émissions de PM10 issues du secteur résidentiel / tertiaire, illustré Figure 13, met en évidence l'impact du chauffage, source principale de particules fines avec le transport routier. Les émissions de PM10 issues du secteur résidentiel / tertiaire sont maximales dans les centres urbains de l'agglomération de Saint-Malo.

Temporalisation du cadastre des émissions

La source principale des émissions étant les activités de chauffage du secteur résidentiel / tertiaire, la temporalisation du cadastre s'est basée sur les périodes de chauffage et des conditions météorologiques observées sur la période d'étude.

Concernant les sources ponctuelles, leurs émissions ont été considérées comme constantes dans le temps. Les périodes d'arrêt d'usine ne sont pas prises en compte dans la modélisation.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Représentation des émissions anuelles 2019 de PM10 issues du cadastre des émissions - secteur Résidentiel/Tertiaire

Date d'édition: septembre 2020

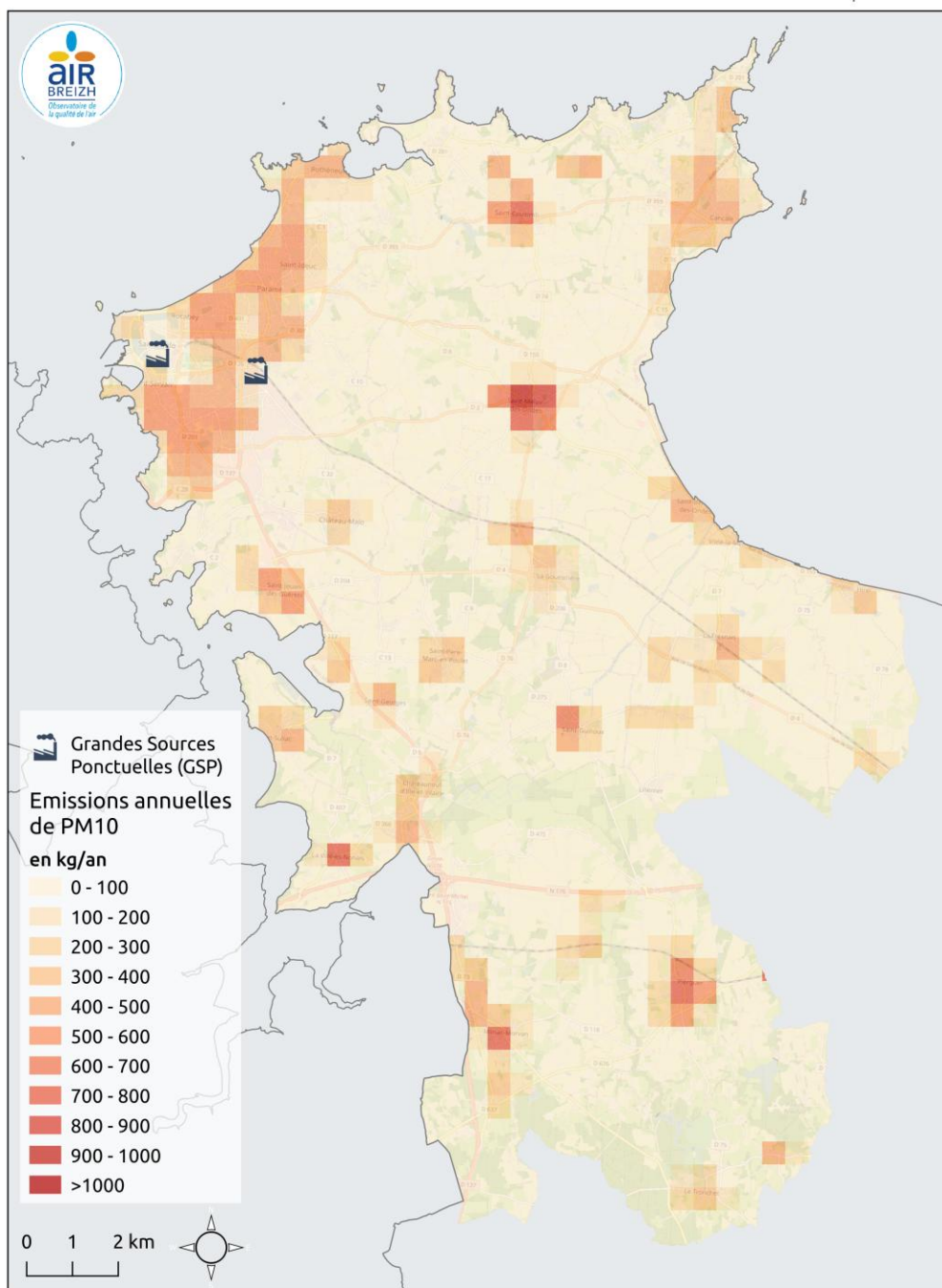


Figure 13: Cadastre résidentiel/tertiaire des émissions annuelles 2016 de particules fines PM10

IV. 8. Détermination des conditions météorologiques

La modélisation de la dispersion atmosphérique en milieu urbain nécessite la connaissance de différents paramètres météorologiques :

- la vitesse et la direction du vent à l'extérieur de la canopée urbaine ;
- les conditions de stratification thermique de l'atmosphère : température de l'air, rayonnement solaire incident et pluviométrie (hauteur de précipitations).

Ces paramètres sont fournis par des mesures de terrain et/ou par des données issues de modèles météorologiques. Les autres données météorologiques essentielles à la modélisation (turbulence, vitesse du vent à l'intérieur des rues, ...) sont calculées par le préprocesseur météo de SIRANE.

Les données météorologiques utilisées dans cette étude proviennent principalement de la station Météo France implantée à proximité de l'aéroport de Saint-Malo-Dinard. En cas d'absence de mesures, les sorties du modèle ARPEGE de Météo France sont implémentées dans le modèle.

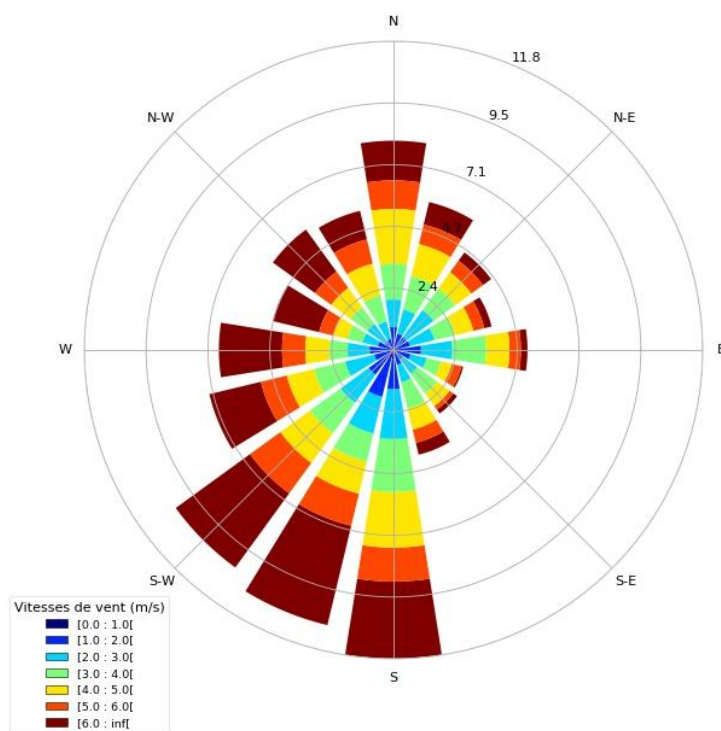
Rose des vents moyenne sur l'année 2019 (Station Météo France l'aéroport de Saint-Malo-Dinard)

Les vitesses de vent inférieures à 1 m/s (vent considéré comme calme et non suffisant pour obtenir des mesures météorologiquement fiables) ont été supprimées des calculs. Elles représentent 0.6 % des mesures (51 données horaires sur 8 745). Les pas de temps horaires non connus sur l'année 2019 représentent 0,17 % des mesures (15 données horaires).

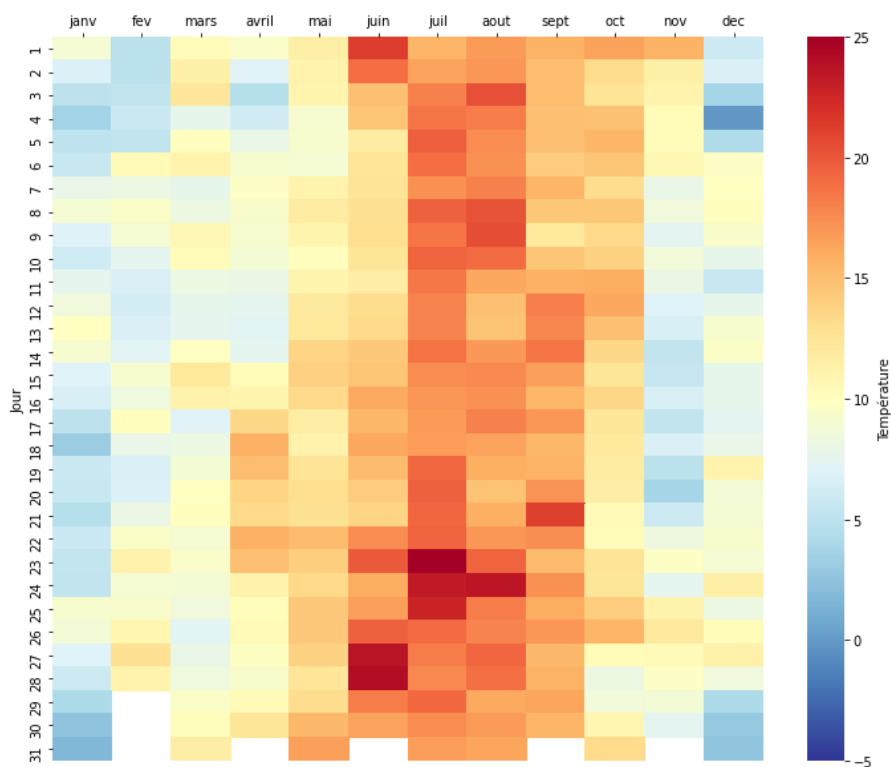
Attention particulière : une rose des vents montre d'où vient le vent et fait intervenir dans sa construction les directions et les vitesses de vent. Son rendu dépend du nombre de secteurs de direction ainsi que du nombre de classes de vitesse de vent choisis. Nous prendrons en considération 16 secteurs : 8 secteurs primaires (Nord, Est, ...) et 8 secteurs secondaires (Nord-Nord-Est, ...), soit 22.5° par secteur (360°/16), et des classes de vent par pas de 1 m/s.

Les vents, illustrés Figure 14, ont été majoritairement du Sud-Ouest avec 47% des enregistrements sur l'année 2019.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération



Rose des vents 01/01/19 – 31/12/19



Températures journalières moyennes de l'année 2019

Figure 14: Conditions météorologiques globales (stations Météo France Aéroport Saint-Malo-Dinard)

IV. 9. Détermination de la pollution de fond

La pollution de fond représente la pollution régionale qui est mesurée à l'extérieur du domaine étudié. Elle peut être influencée par de multiples sources d'émissions, dont les aires urbaines et agricoles du territoire. Pour le calcul des concentrations, SIRANE ajoute la concentration de fond à celle résultant des émissions des sources comprises dans le domaine (ponctuelles, linéiques et surfaciques).

La typologie rurale de fond n'est pas la même que la typologie urbaine de fond. La composante rurale correspond à la pollution de fond en dehors des centres urbains. L'assimilation de capteurs implantés dans des zones urbaines surévaluerait les concentrations simulées par le modèle.

La concentration de fond est supposée uniforme sur l'ensemble du domaine d'étude.

Le dispositif de surveillance d'Air Breizh comportait en 2019 une station rurale de fond, implantée sur la commune de Guipry-Messac en Ile-et-Vilaine. Elle mesurait le couple $\text{NO}_x - \text{O}_3$, nécessaire pour modéliser le dioxyde d'azote NO_2 , ainsi que les particules fines PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$. Les régions voisines des Pays de La Loire et de Normandie possèdent également des stations rurales de fond, permettant de mesurer la pollution de fond de leur territoire (stations implantées dans les départements de Mayenne, de la Vendée et de l'Orne). Cette méthode d'agrégation de la pollution de fond à partir de plusieurs instruments aux alentours du domaine d'étude permet d'obtenir des mesures pour chaque pas de temps horaire étudié.

Attention particulière : Les stations rurales ne mesurent pas toutes les 4 polluants nécessaires pour la modélisation urbaine ($\text{NO}_x - \text{O}_3$, $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2.5}$) et sont peu nombreuses sur le territoire français :

- Station « Guipry » implantée à 40 km au Sud de Rennes en Ile-et-Vilaine ;
- Station « La Tardière » implantée à 200 km au Sud de Rennes en Vendée ;
- Station « Saint-Denis-d'Anjou » implantée à 110 km à l'Est de Rennes en Mayenne ;
- Station « La Coulonche » implantée à 120 km au Nord-Est de Rennes dans l'Orne.

Couple $\text{NO}_x - \text{Ozone}$:

Les oxydes d'azote NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) sont principalement émis par les véhicules et les installations de combustion. Ils jouent un rôle majeur dans le cycle de formation et de destruction de l'ozone.

Le dioxyde d'azote NO_2 est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il est formé à partir du NO et d'oxydants tels que l'ozone O_3 et le dioxygène O_2 dans l'atmosphère. Il est également détruit par l'action du rayonnement solaire.

La pollution au dioxyde d'azote est très locale. En dehors des centres villes et sans influence de proximité automobile, les niveaux de NO_x sont généralement très faibles au regard de la réglementation européenne. À l'inverse, les niveaux d'ozone sont élevés en situation de fond rural, le puits azoté étant minoritaire.

La constitution de la pollution de fond pour le couple $\text{NO}_x - \text{O}_3$ a été élaborée de la façon suivante :

- Couple $\text{NO}_2 - \text{O}_3$ issu d'une des stations rurales de fond disponible dans le grand Ouest ;
- En cas d'absence de mesure sur la station sélectionnée (pour cause de maintenance ou invalidation de la donnée), le minimum (NO_x) / le maximum (O_3) horaire mesuré entre les autres stations rurales de fond du grand Ouest est sélectionné.

Des simulations pour chaque couple $\text{NO}_x - \text{O}_3$ disponible ont été réalisées. L'étape de calage du modèle a permis d'identifier la station la plus pertinente. Cette méthode permet également d'obtenir des mesures pour chaque pas de temps horaire étudié (condition obligatoire imposée par le modèle).

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

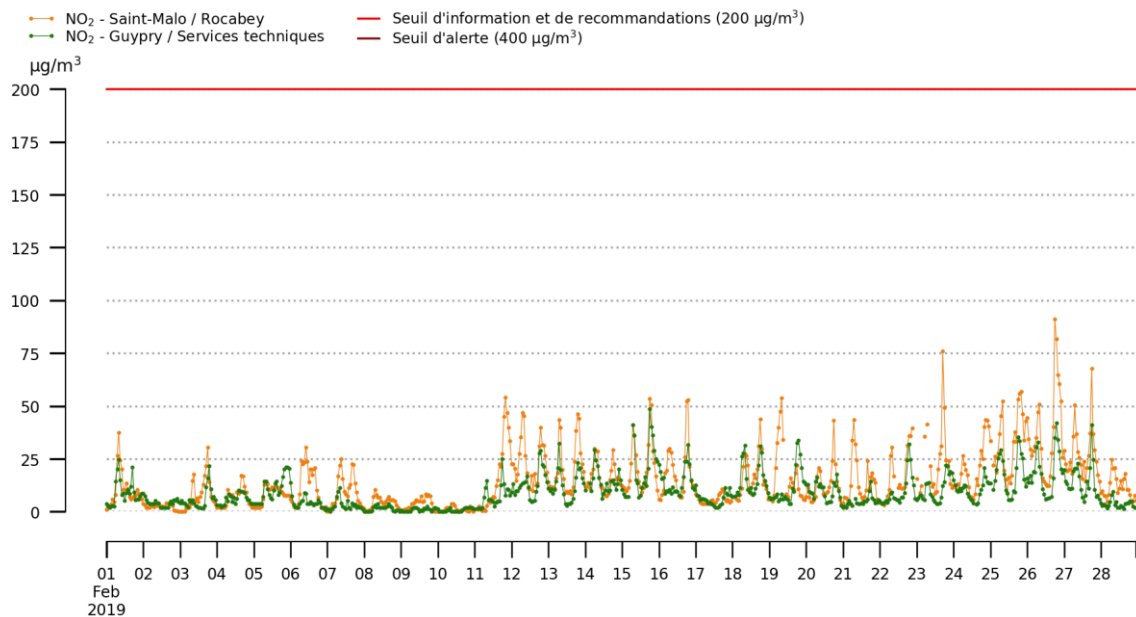


Figure 15: Comparaison de la pollution de fond rurale (Guipry) avec les concentrations mesurées à Saint-Malo

Couple PM₁₀ – PM_{2.5} :

Contrairement aux oxydes d'azote, la fraction du niveau de fond dans les concentrations respirées de particules fines est plus importante. Leur dispersion est plus « globale » (exemple de la pollution particulaire subsaharienne observée sur le territoire breton en octobre 2017).

Deux sources de données peuvent être utilisées pour la constitution de la pollution de fond :

- Des données issues d'instruments de référence implantés en situation de fond rural dans le grand Ouest (cf. paragraphe précédent « Couple NO_x – O₃ ») ;
- Des données issues des modèles régionaux de la qualité de l'air disponibles sur la région Bretagne. La sélection des concentrations issues des modèles est basée sur l'origine des vents (8 secteurs de vents).

Des simulations ont été réalisées à partir des deux sources de données. Elles montrent que pour le modèle de Saint-Malo agglomération, l'utilisation de sorties de modèles régionaux en fonction de l'origine des vents est plus pertinente par rapport à l'utilisation de données rurales de fond issues d'un ou plusieurs instruments.



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

IV. 10. Grille et points récepteurs de calcul

Le logiciel SIRANE utilise une grille prédéfinie de points réguliers tous les 10 m sur l'ensemble du domaine étudié afin d'obtenir des cartes à haute résolution.

Attention particulière : Le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique adapté à l'échelle du quartier. Les zooms effectués au niveau d'une rue doivent être effectués avec prudence. Les cartographies de pollution possèdent une résolution spatiale de 10m par 10m. La description des rues est simplifiée en utilisant des données moyennes pour la largeur moyenne d'une rue et une hauteur moyenne des bâtiments qui la bordent.

Le logiciel SIRANE permet également de calculer, en des points prédéfinis, la concentration et les statistiques associées. Ces points sont utilisés pour analyser les performances du modèle aux coordonnées géographiques des capteurs implantés sur le territoire. C'est la comparaison des données modélisées aux données de terrain issues de capteurs, présentée dans le chapitre suivant.

V. Validation du modèle : Comparaison du modèle avec les mesures de terrain

Afin d'évaluer la qualité des simulations effectuées avec le modèle SIRANE, les concentrations calculées ont été comparées avec les mesures des capteurs implantés sur l'agglomération. Pour cela, des points de références spécifiques (appelés « points récepteurs ») ont été déterminés aux coordonnées géographiques de la station de mesure de l'agglomération.

L'évaluation du modèle repose sur plusieurs indicateurs statistiques, calculé avec un logiciel de validation appelé « DeltaTool ». Les résultats de ces comparaisons sont présentés dans les paragraphes suivants.

V. 1. Dispositif de surveillance de la qualité de l'air de Saint-Malo Agglomération

Station de mesure du réseau de surveillance Air Breizh

Une station de surveillance de la qualité de l'air mesure en continu (pas de temps horaire) les niveaux de concentration de plusieurs polluants réglementés dans une situation urbaine de fond Rocabey.



Stations de mesure		Concentrations (µg/m ³)			
		NO _x	O ₃	PM10	PM25
Rocabey					
Station périurbaine de fond	2019	X	X	X	

Tableau 6: Station et polluants mesurés quotidiennement sur l'agglomération de Saint-Malo



Les stations « urbaines de fond » sont représentatives de l'air respiré par la majorité des habitants de l'agglomération

Tableau 7: Définition des typologies de station dans le cadre du dispositif de surveillance

Figure 16: Dispositif de surveillance de la qualité de l'air implanté sur Saint-Malo agglomération

Campagne de mesure des particules fines PM10 et PM2.5 à la station Rocabey

La station de référence Rocabey a été créée en juin 2018 afin de remplacer l'ancienne station Courtoisville (2001-2018). Ce déplacement a mis en évidence la présence de pics de particules fines à Saint-Malo plus élevés que dans les autres stations bretonnes. Dans ce cadre, une étude des concentrations et de la composition des particules fines (PM10) et très fines (PM2.5) a été mise en place en 2018-2019¹².

Localisation des points de mesure et période étudiée

Lors de cette étude, les concentrations de particules fines (PM10) ont été mesurées à la station Rocabey (Cf : Figure 16) sur la période du 01 juillet 2018 au 30 juin 2019. Des mesures complémentaires de particules fines PM2.5 ont également été mise en place du 11 juillet 2019 au 10 octobre 2019.

Seules les mesures de particules fines PM2.5 ont été prises en compte au cours de la présente étude.

Finalité de la campagne de mesure

Cette étude répond à un objectif de caractérisation des pics de particules observés :

- Etude de l'origine et de la localisation des sources d'émissions grâce à l'analyse de la composition des particules en l'associant à l'étude de paramètres météorologiques tels que le vent,
- Etude des potentiels biais induits par l'utilisation de différents appareils de mesures des particules fines en un même point de mesure.

Principaux résultats de la campagne de mesure

Les principaux enseignements retenus concernant les particules fines sont les suivants :

- Les niveaux moyens en PM de Saint-Malo sont supérieurs à ceux d'autres agglomérations bretonnes ;
- La ville de Saint-Malo est sous influence de deux types de sources : les émissions naturelles d'origine maritime (sels marins) et les émissions d'origine anthropique comme le chauffage, l'industrie, l'agriculture ou l'activité portuaire. Ces émissions expliqueraient l'observation de pics de concentration en PM singuliers par rapport aux autres agglomérations littorales bretonnes.

¹² Synthèse des mesures PM10 de juillet 2018 à septembre 2019, Air Breizh 2020, <https://www.airbreizh.asso.fr/publication/saint-malo-resultats-des-mesures-et-de-la-composition-des-particules-fines-pm10/>

V. 2. Validation de la modélisation

Afin de respecter les critères de validation nationaux, il est nécessaire d'avoir un taux de représentativité de la mesure supérieur à 75% sur la période étudiée. Ce critère n'étant pas respecté pour les PM2.5 sur l'année 2019, la validation du modèle est impossible pour ce polluant.

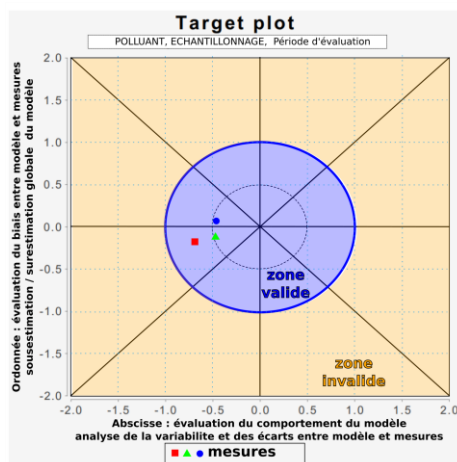


Figure 17: Illustration et signification d'une cible d'évaluation "Target Plot"

L'outil « Delta Tool » permet d'évaluer et de synthétiser la performance d'un modèle, par le biais d'une comparaison avec les données de mesure de terrain, illustrée sous forme de cible « Target Plot ». Les critères d'évaluation sont basés sur la directive européenne en vigueur (transcrite en droit français).

Interprétation : les résultats de la modélisation sont valides si 90 % des comparaisons horaires entre le modèle et les mesures aux stations de surveillance du territoire sont situées dans le cercle bleu de la cible illustrée Figure 17.

Le modèle reproduit exactement la mesure lorsque les marqueurs sont au cœur de la cible. Le modèle est dans l'intervalle de l'incertitude de la mesure si les marqueurs sont inclus dans le cercle plus restreint en pointillé.

Source : Outil « Delta Tool », développé par le Joint Research Centre, The European Commission's science and knowledge service

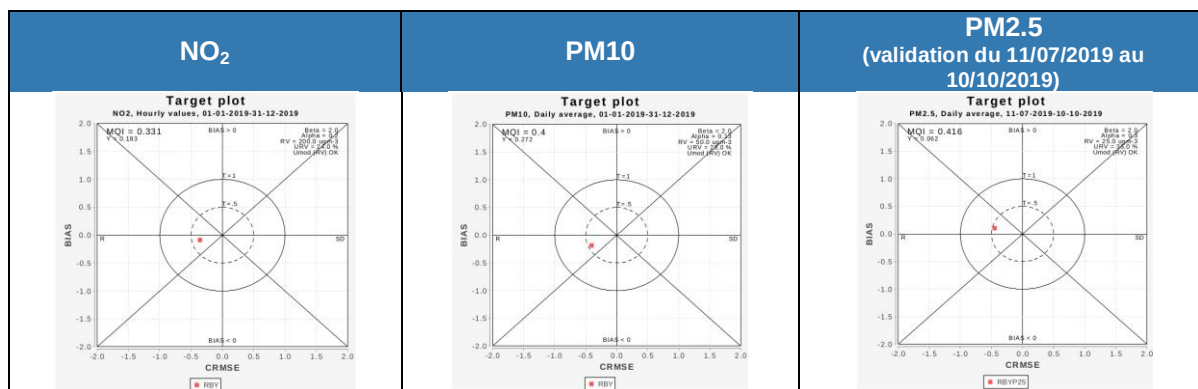


Figure 18: Evaluation du modèle sur l'année 2019 (Target Plot)

Les comparaisons des résultats de la modélisation 2019 avec les mesures de terrain pour chaque polluant étudié respectent les critères nationaux de validation d'un modèle de qualité de l'air. La modélisation des PM2.5 est valide sur la période de la campagne de mesure.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

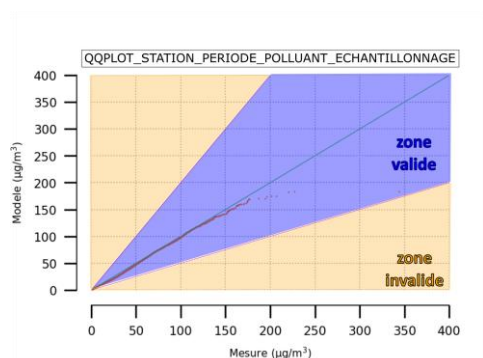


Figure 19: Illustration et signification d'une figure Quantile-Quantile

La figure Quantile-Quantile « QQ-Plot » permet d'évaluer et de synthétiser l'ajustement de la distribution modélisée avec la référence observée, par le biais d'une comparaison de ces deux jeux de données sans tenir compte de la chronologie des événements (tri par ordre croissant).

Interprétation : Les résultats de la modélisation sont valides si ils sont compris entre +/- 50 % de la mesure observée (critères d'évaluation basés sur la directive européenne en vigueur).

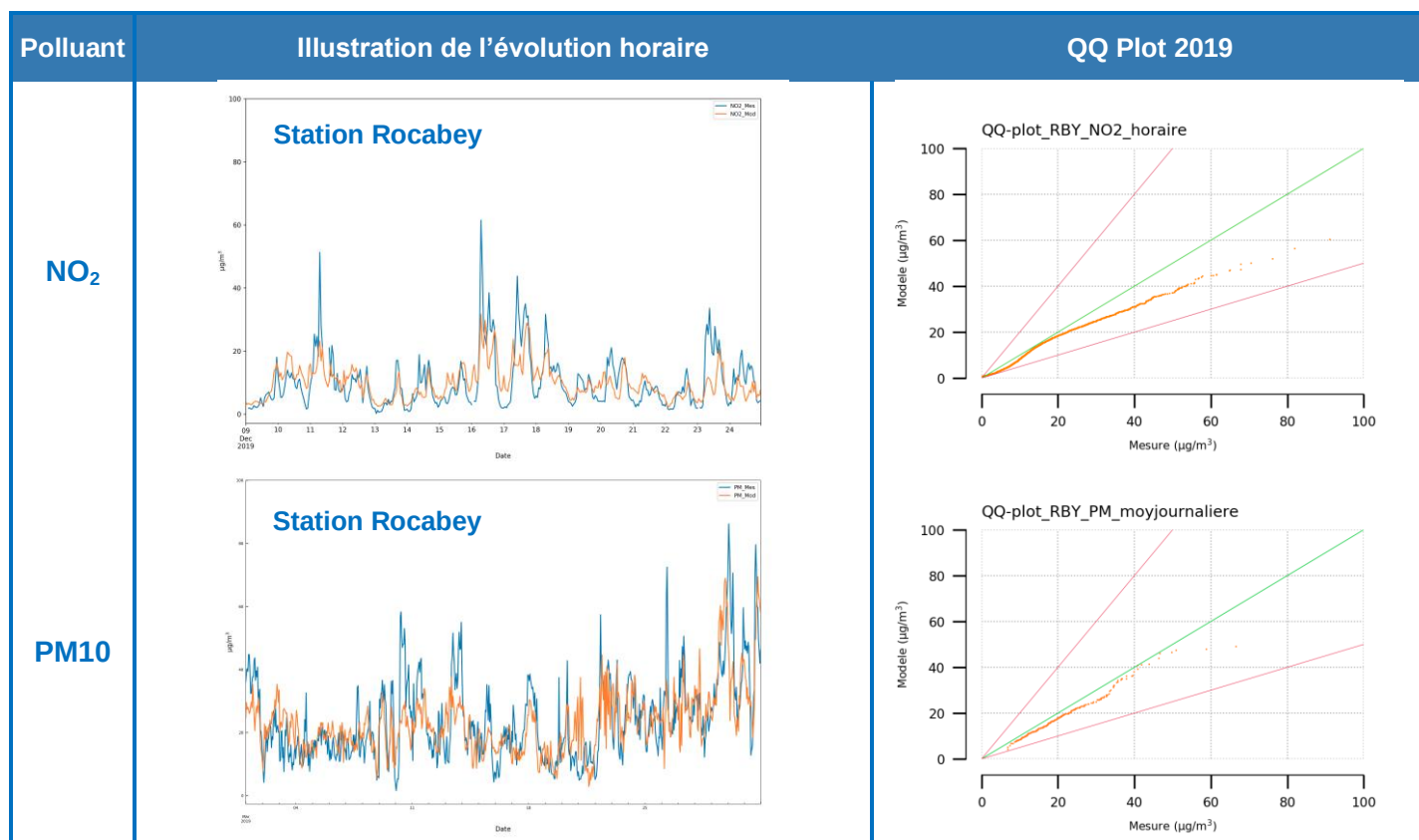


Figure 20: Evaluation du modèle pour les polluants étudiés sur l'année 2019 (QQplot)

V. 3. Limites de la modélisation

Limite de l'évaluation du NO₂ par la modélisation

Le NO₂ est un polluant principalement issu de la combustion des carburants d'origine fossile. Son évaluation est donc très dépendante des trafics routiers et maritimes (débit et temporalisation).

Concernant le trafic routier, seules 54% des données trafic (TMJA) sont des comptages réels du département, de la DIR Ouest ou de la commune de Saint-Malo. Les données correspondantes aux tronçons restants sont issues d'une extrapolation.

La modulation des émissions routières est issue de profils moyens bretons modulés en fonction de l'activité touristique en Ile-et-Vilaine faute de données réelles in-situ disponibles.

Limite de l'évaluation des particules fines (PM10) et très fines (PM2.5) par la modélisation

La campagne de mesure à la station Rocabey (cf V. 1) a mis en évidence la présence de pics de particules d'origines locales et régionales. Certains pics observés en 2019 ne sont pas reproductibles par la modélisation.

Les conditions aux limites du modèle s'appuient sur la modélisation interrégionale ESMERALDA afin de permettre la modélisation des imports de polluants provenant de l'extérieur du domaine d'étude. Grâce à la prise en compte de ces imports, les pics régionaux sont globalement reproduits par la modélisation urbaine.

Le modèle SIRANE se base sur des hypothèses régies par les émissions injectées dans le modèle et leur modulation horaire théorique sur l'année. Les événements exceptionnels, en particulier à proximité des stations, ne peuvent donc pas être reproduits. Par exemple, une source ponctuelle telle que des travaux à proximité de la station ne peut pas être prise en compte par le modèle.

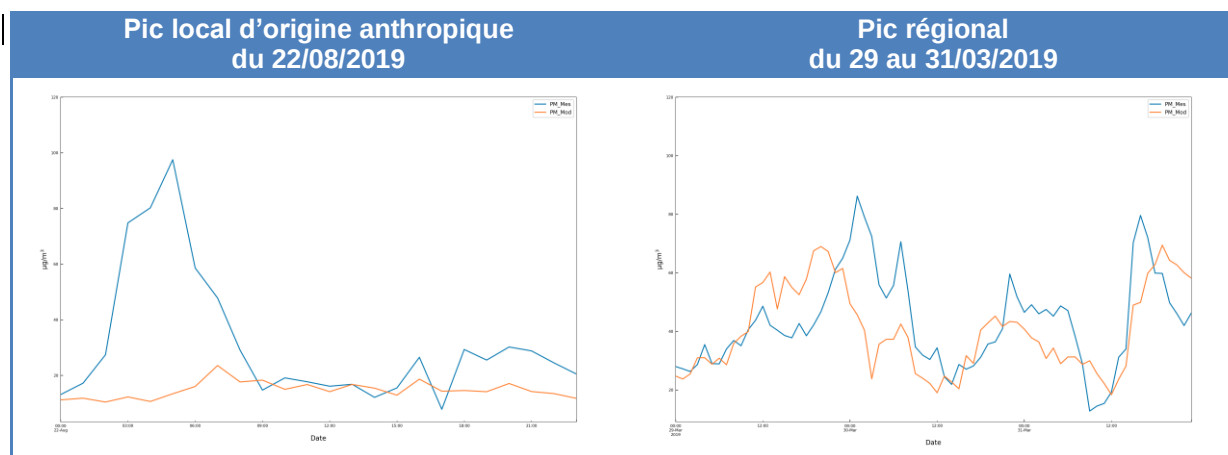


Figure 21: Exemple de pics locaux et de pics régionaux

Enfin, seules les émissions des polluants étudiés (NO_x, PM10 et PM2.5) ont été injectées dans le modèle. Les émissions d'ammoniac (NH₃), précurseur de particules fines secondaires (formées dans l'atmosphère en combinaison avec notamment les NO_x), n'ont pas été prises en compte dans cette évaluation car le modèle SIRANE n'est pas paramétré pour modéliser la chimie de ce polluant. L'évaluation des concentrations de particules fines est donc potentiellement sous-évaluée dans certaines zones géographiques contributrice d'émissions d'ammoniac (secteurs agricole et industriel).



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

V. 4. Perspectives

L'estimation des concentrations de NO₂ serait grandement améliorée par la mise à disposition de données trafic supplémentaires, notamment au niveau des boulevards et avenues de la commune de Saint-Malo.

Les résultats produits par la modélisation ont été confrontés à un seul point de mesure (station Rocabey). Des points de mesure complémentaires, via l'installation de nouvelles stations permanentes ou de campagnes de mesure de proximité trafic et portuaire, seraient pertinents pour vérifier la dispersion et améliorer les résultats de la modélisation.

Un analyseur PM2.5 installé en Août 2020 à la station Rocabey permettra de produire et valider des évaluations pour les particules très fines PM2.5 lors de futures mises à jour du modèle de Saint-Malo agglomération.

VI. Exposition des habitants à la pollution de l'air

Les cartes de ce chapitre représentent les concentrations moyennes annuelles 2019 pour les deux polluants réglementés étudiés, indicateurs de la pollution de l'air ambiant à laquelle les habitants sont exposés en milieux urbain et péri-urbain : le dioxyde d'azote NO₂ et les particules fines PM10.

Attention particulière : La prise en compte spécifique des émissions maritimes permet d'obtenir uniquement les concentrations moyennes annuelles modélisées sur l'agglomération de Saint-Malo. La nouvelle version de SIRANE, prévue pour le second semestre 2021 permettra d'obtenir l'ensemble des résultats, dont le nombre de jours de dépassement du seuil d'information et de recommandations pour les particules fines PM10.

Les niveaux de pollution modélisés résultent de la concentration de fond qui provient des sources extérieures à l'agglomération et de la contribution des sources d'émissions locales.

VI. 1. Méthodologie d'évaluation de l'exposition à la pollution de l'air

Définition de l'échelle de couleur

L'échelle de couleur est basée sur la valeur limite annuelle réglementaire européenne de chaque polluant. Elle est définie au niveau national par le LCSQA. Lorsque la concentration moyenne dépasse la valeur limite (> 100% de VL), la carte vire au rouge.

Seuils % VL (Valeur Limite)	Couleurs	Qualificatif	Concentrations (µg/m ³) moyenne annuelle	
			NO2	PM10
> 0 % VL		Très Bon	>0	>0
> 20 % VL			>8	>8
> 30 % VL		Bon	>12	>12
> 40 % VL			>16	>16
> 50 % VL		Moyen	>20	>20
> 60 % VL			>24	>24
> 70 % VL		Médiocre	>28	>28
> 80 % VL			>32	>32
> 90 % VL			>36	>36
> VL		Mauvais	>40	>40
> 2 x VL		Très Mauvais	>80	>80

Tableau 8 : Échelle de couleurs réglementaire nationale pour la modélisation

Définition de l'indicateur d'exposition de la population à la pollution de l'air

Le calcul d'exposition de la population s'appuie sur la base de données MAJIC (référence 2016), élaborée par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) à partir notamment de la BD TOPO de l'IGN.

La base de données MAJIC décrit la répartition de la population sur l'ensemble des bâtiments de la zone d'étude. Un bâtiment est considéré comme « impacté » par un dépassement de la valeur limite lorsque tout ou partie de ce bâtiment est impacté par un dépassement.

La méthodologie implique ainsi une précision à l'échelle du bâtiment. La population habitant dans un bâtiment situé dans une zone en dépassement de valeur limite (> 100 % de VL) est distribuée en fonction de la surface du bâtiment affectée par ce dépassement.

$$Exposition_{LCSQA} = \left| \sum_{\text{Bâtiment}} Population_{\text{Bâtiment}} \left\{ \frac{Surface_{\text{exposée}}_{\text{Bâtiment}}}{Surface_{\text{Bâtiment}}} \right\} \right|$$

Avec {

- Population_{Bâtiment} = Nombre d'habitants du bâtiment impacté par un dépassement de VL
- Surface_{Bâtiment} = Surface du bâtiment impacté par un dépassement de VL
- Surface exposée_{Bâtiment} = Surface exposée du bâtiment impacté par un dépassement de VL

Il est aussi possible de calculer la population impactée par un dépassement en prenant en compte toute la population résidant dans les bâtiments concernés.

Ainsi l'exposition de la population sera présentée dans le rapport sous forme d'intervalle (exposition LCSQA et population résidant dans les bâtiments).

{ Exposition LCSQA – Population totale vivant dans les bâtiments impactés }.

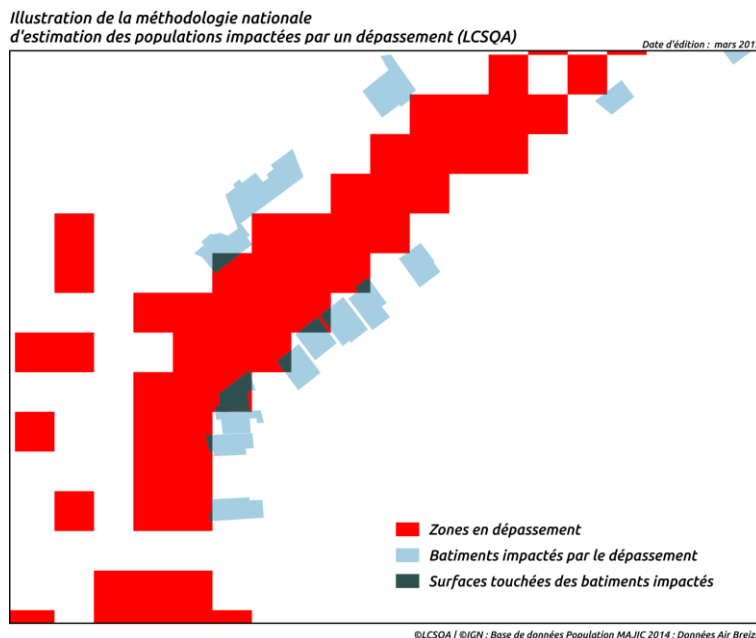


Figure 22: Méthodologie d'estimation des populations exposées à la pollution

VI. 2. Le dioxyde d'azote NO₂ : moyenne annuelle 2019

Les oxydes d'azote proviennent principalement du transport, des activités agricoles et du chauffage urbain (résidentiel et tertiaire), représentant respectivement 78%, 8% et 9% des émissions de l'agglomération malouine¹³.

Les **seuils réglementaires** de la qualité de l'air pour le dioxyde d'azote NO₂ sont :

- La valeur limite annuelle fixée à **40** µg/m³ (moyenne annuelle) ;
- La valeur limite horaire fixée à **200** µg/m³ (moyenne horaire) à ne pas dépasser plus de **18 heures** par an.

Les **valeurs guides établies** par l'OMS, au-dessous desquelles il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation, sont identiques à la réglementation européenne en vigueur.

Les **cartes d'exposition de la population** à la pollution de l'air seront présentées selon 3 classes :

- Zone en dépassement de Valeur limite (> 40 µg/m³) ;
- Zone en dépassement potentiel de Valeur limite (> 80% VL soit > 32 µg/m³), l'incertitude de la modélisation est en moyenne comprise entre 20 et 30 % ;
- Zone supérieure à 60% de Valeur Limite (soit > 24 µg/m³), à titre d'information et non réglementaire.

Attention particulière : Le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique adapté à l'échelle du quartier. Les zooms effectués au niveau d'une rue doivent être effectués avec prudence. Les cartographies de pollution possèdent une résolution spatiale de 10m par 10m. La description des rues est simplifiée en utilisant des données moyennes pour la largeur moyenne d'une rue et une hauteur moyenne des bâtiments qui la bordent.

¹³ Inventaire spatialisé des émissions atmosphériques d'Air Breizh v3

Etat des lieux : moyenne annuelle 2019

Concentration de NO₂ au niveau de l'agglomération

En cohérence avec la répartition de ses sources d'émissions et de son niveau de pollution de fond très faible, les concentrations de NO₂ sont plus élevées au niveau des axes routiers (Cf. Figure 23 et Figure 24). Sa durée de vie étant très courte, les concentrations chutent très rapidement à mesure que l'on s'éloigne des voies de circulation.

Les grands axes routiers (D137 et N176) sont exposés à des niveaux élevés de dioxyde d'azote :

- Les voies rapides à fort trafic (supérieur à 20 000 véhicules par jour en moyenne) reliant l'agglomération de Saint-Malo aux agglomérations de Rennes, Saint-Brieuc et Caen ;
- Le boulevard périphérique (entre 10 et 15 000 véhicules par jour en moyenne) reliant Dinard (D168) à Saint-Malo (D301, avenue Charles de Gaulle, direction Cancale).

Les tronçons routiers de la D137 et de la D401 en centre-ville de Saint-Malo avec des trafics de l'ordre de 10 000 à 20 000 véhicules par jour, sont également exposés à de forts niveaux de concentration de dioxyde d'azote au regard de la réglementation en vigueur. L'effet de confinement des polluants dû à la présence de bâtiments de chaque côté peut accentuer les concentrations :

- Les tronçons de la D137 reliant le quartier Bellevue au littoral et à la vieille ville :
 - ✓ L'axe contenant la rue de la Marne ;
 - ✓ Le boulevard des Talards ;
 - ✓ Le Boulevard de la République ;
 - ✓ La chaussée du Sillon ;
- La chaussée Eric Tabarly, le Quai Saint-Louis et le Quai Saint-Vincent longeant le littoral.
- Les boulevards et pénétrantes de la ville de Saint-Malo liant le centre-ville à la périphérie :
 - ✓ Rue de Triquerville ;
 - ✓ Rue de René Boltz ;
 - ✓ Boulevard de l'Espérance.

Les routes touristiques telles que les tronçons de la D76 et D201 menant à Cancale avec des trafics quotidiens de l'ordre de 10 000 véhicules par jour sont également concernées :

- Avenue Olivier Biard ;
- Avenue de Scissy.

Concentration de NO₂ au niveau du port de Saint-Malo

Des concentrations de l'ordre de 20 µg/m³ en moyenne annuelle sont observées à proximité des bassins, des chenaux de navigation ainsi que des gares et terminaux maritimes.

Cependant, les émissions maritimes sont estimées sur la base des informations fournies par la capitainerie du port et spatialisées dans la modélisation au niveau des bassins, gares et chenaux (sources surfaciques).

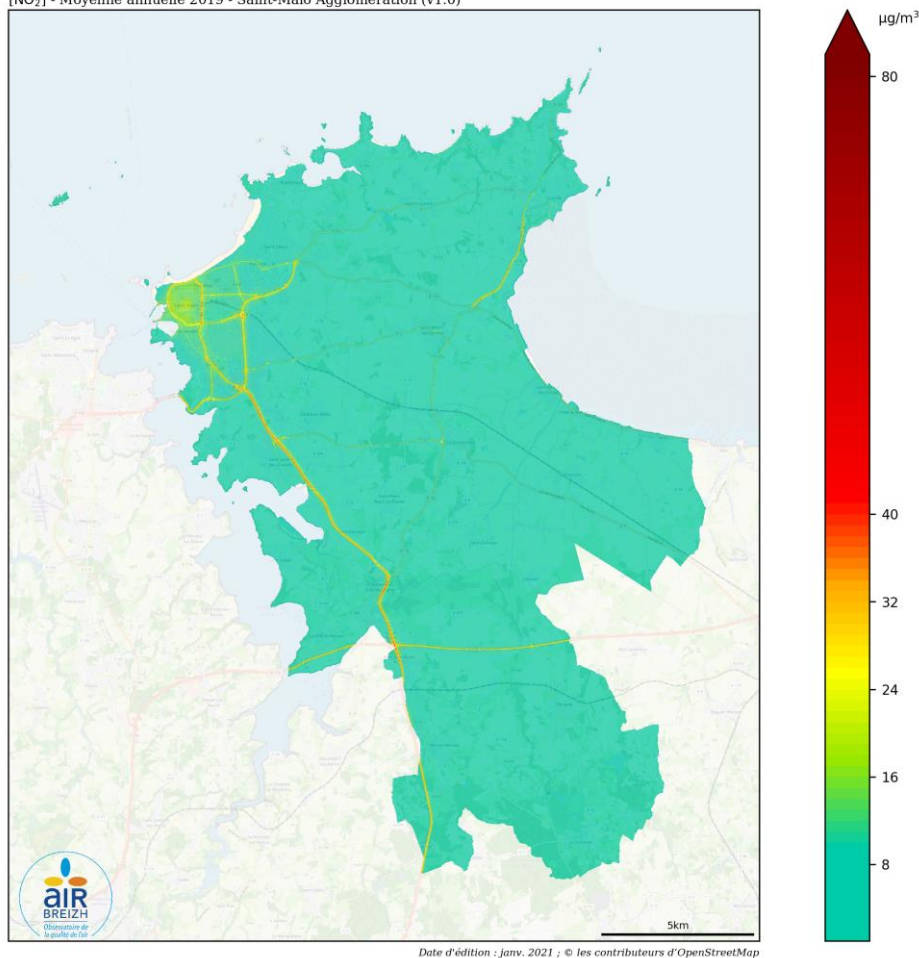
Afin de mieux évaluer les concentrations modélisées, des points de mesure supplémentaires seraient nécessaires par le biais de campagne de mesures.

La majorité de la population réside dans des zones faiblement exposées au dioxyde d'azote. Cependant, entre 70 et 100 personnes sont exposées à des dépassements de la valeur limite en moyenne annuelle à leur domicile.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

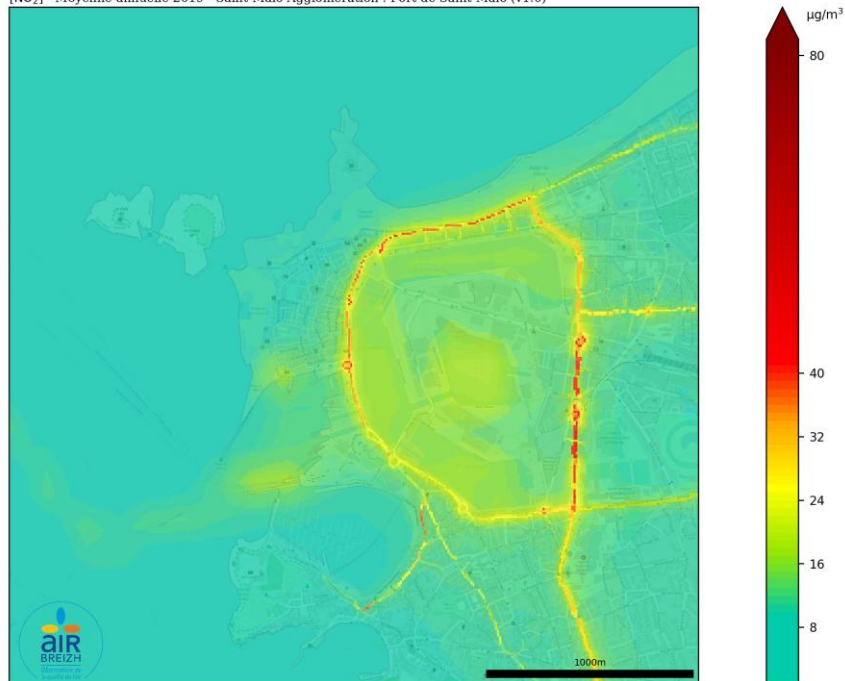
Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

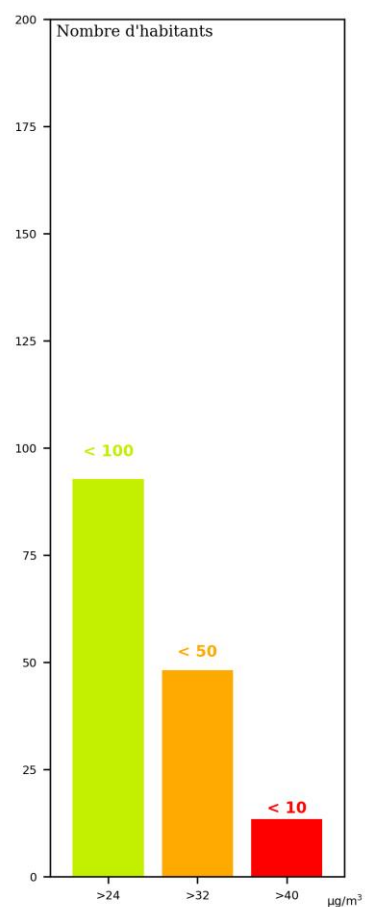
Figure 23: Cartographies des concentrations 2019 de NO₂ - Saint-Malo Agglomération

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Zone en dépassement et Exposition [NO₂] - Moyenne annuelle 2019
Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; ©LCSQA|©IGN : Base de données Population MAJIC 2016



Zone en dépassement et Exposition [NO₂] - Moyenne annuelle 2019
Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; ©LCSQA|©IGN : Base de données Population MAJIC 2016

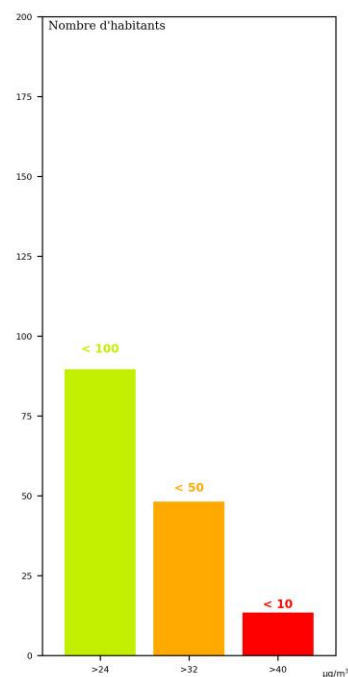


Figure 24: Exposition de la population aux NO₂ par rapport à la valeur limite annuelle - Saint-Malo Agglomération

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Origine de la pollution au NO₂ : Quel est l'impact des principales sources de pollution sur la qualité de l'air ?

Les Figure 25 et Figure 26 illustrent l'origine des sources de pollution du dioxyde d'azote en situation estivale et hivernale, au niveau de la station de mesure de fond urbain Rocabey.

Les sources sont classées en cinq catégories, selon la méthodologie employée dans le modèle :

- Les sources linéiques routières, représentées en orange ;
- Les sources ponctuelles industrielles, représentées en bleu ;
- Les sources maritimes cadastrées, représentées en bleu clair ;
- Les sources cadastrées (autres émissions dont le chauffage urbain), représentées en violet ;
- La pollution de fond régionale, qui peut être influencée indirectement par tout type de sources d'émission, dont les aires urbaines, industrielles ou agricoles extérieures au domaine, représentée en vert.

La mesure de NO₂ est également représentée en trait bleu sur la figure, afin de pouvoir comparer les concentrations simulées (somme des aires colorées) aux concentrations réelles respirées.

Au niveau de la station urbaine de fond « Rocabey », sans proximité directe avec le trafic routier, la contribution principale dans les concentrations respirées en 2019 provient des sources cadastrées principalement issues des équipements de chauffage, avec environ 30 % des concentrations modélisées. En effet, la station de référence étant située en situation de fond urbain, les concentrations mesurées reflètent principalement les émissions issues des logements.

Cependant, on observe des disparités saisonnières illustrées par les Figure 25 et Figure 26.

En été (Figure 25), les concentrations issues d'émissions liées aux trafics routier et maritime sont majoritaires. Elles contribuent aux concentrations à hauteur de 22% et 29% sur la période illustrée. Ce phénomène montre l'influence de l'activité touristique quand les émissions issues des équipements de chauffage sont minimales.

En hiver (Figure 26), l'origine des émissions se rapproche de celles observées à l'échelle annuelle. Les concentrations issues des émissions des sources cadastrées, principalement liées aux équipements de chauffage, représentent 42% des concentrations respirées sur la période illustrée alors que les concentrations issues des émissions liées aux trafics routier et maritime ne représentent plus que 14% des concentrations respirées au niveau de la station.

Afin de mieux appréhender les contributions des sources en fonction de la situation géographique, les cartes de dispersion (moyenne annuelle 2019) par type de source implémentées dans le modèle (trafic routier, transport maritime, grandes sources ponctuelles industrielles et autres sources) sont présentées Figure 27.

Les contributions des sources de pollution sont variables en ordre de grandeur et spatialement :

- **Le trafic routier** apporte des concentrations de NO₂ respirées importantes, avec une augmentation croissante avec la proximité des axes routiers.
- **Le transport maritime** contribue fortement aux concentrations de NO₂ respirées au niveau de la zone portuaire, avec des moyennes annuelles autour de 10 µg/m³.
- **Les grandes sources ponctuelles industrielles** ont un impact très faible sur les concentrations de NO₂, avec des niveaux inférieurs à 1 µg/m³ en moyenne annuelle.
- **Les autres sources cadastrées**, principalement pilotées par les équipements de chauffage, contribuent à hauteur de quelques µg/m³ en moyenne annuelle. Cette contribution est plus forte en hiver.

Ces résultats suggèrent que réduire les sources d'émissions de NO₂ issues du trafic routier, du transport maritime et du chauffage, grâce à la modernisation des équipements ou à la réduction des activités, pourrait diminuer les niveaux de pollution respirés quotidiennement par les habitants de l'agglomération.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

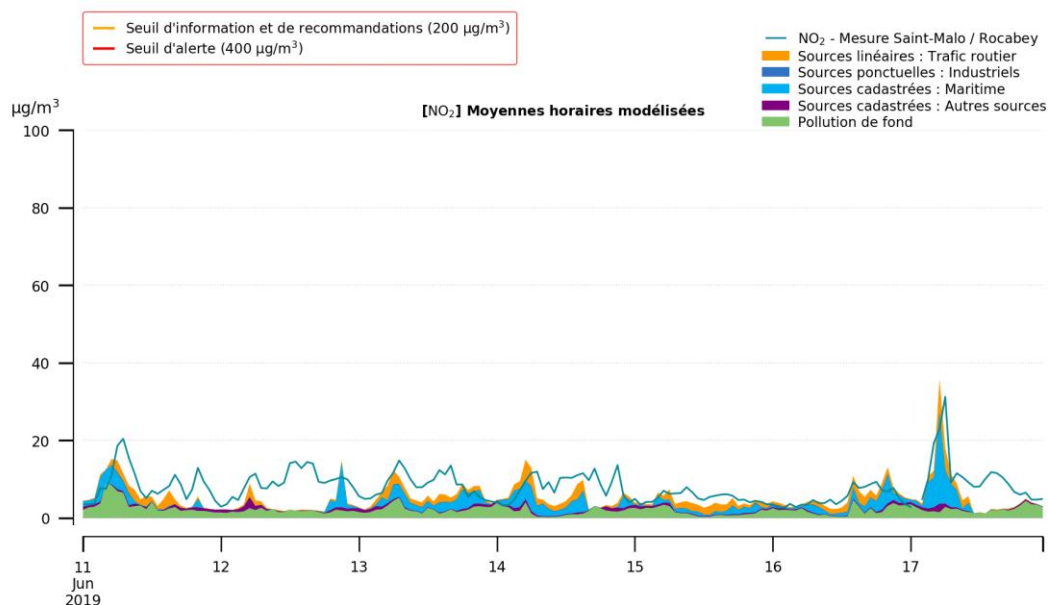


Figure 25: dans les concentrations moyennes modélisées de NO_2 au niveau de la station "Rocabey" - Situation estivale (du 11/06/2019 au 17/06/2019)

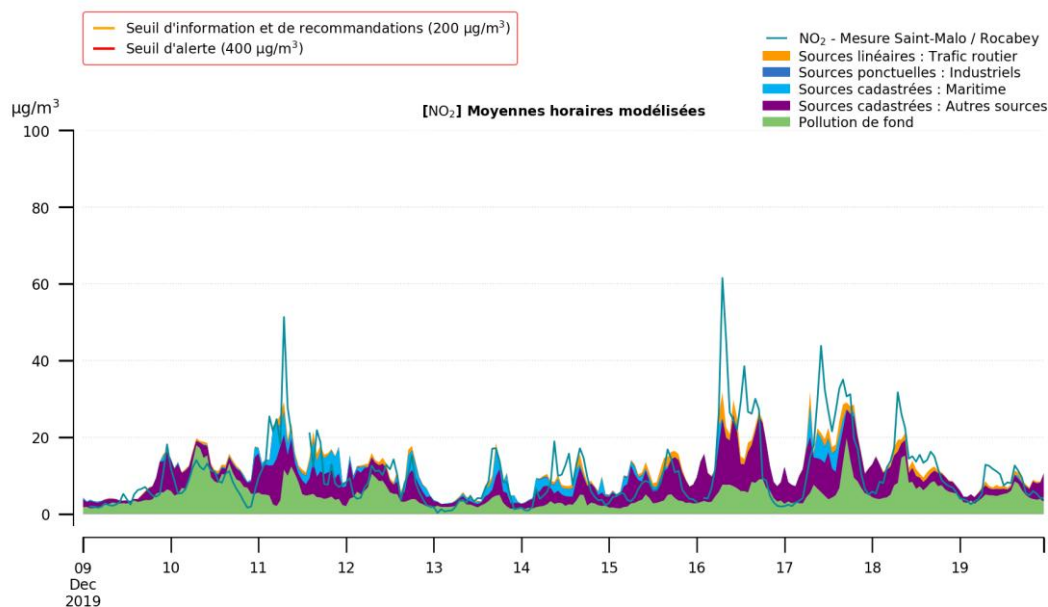
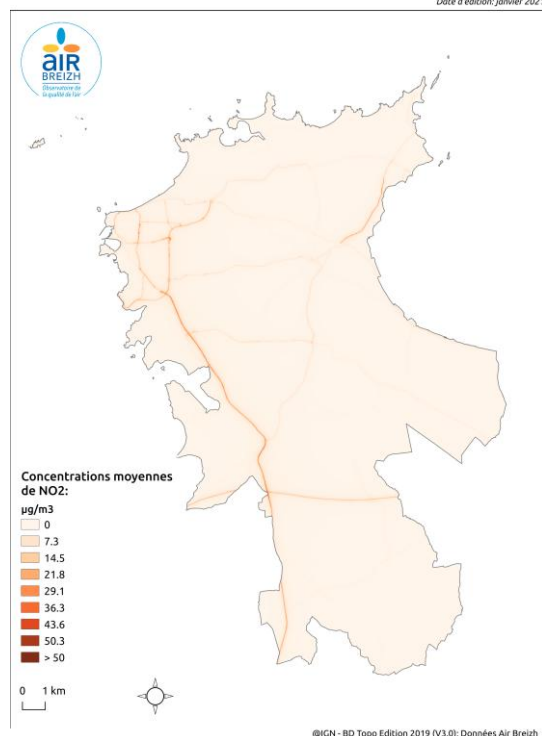


Figure 26: Contribution des sources dans les concentrations moyennes modélisées de NO_2 au niveau de la station "Rocabey" - Situation hivernale (du 09/12/2019 au 19/12/2019)

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

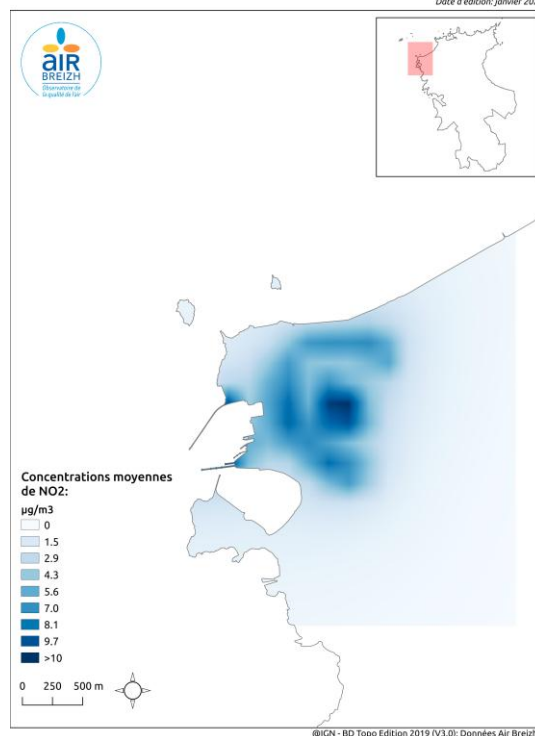
[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Sources linéaire : Trafic Routier

Date d'édition: janvier 2021



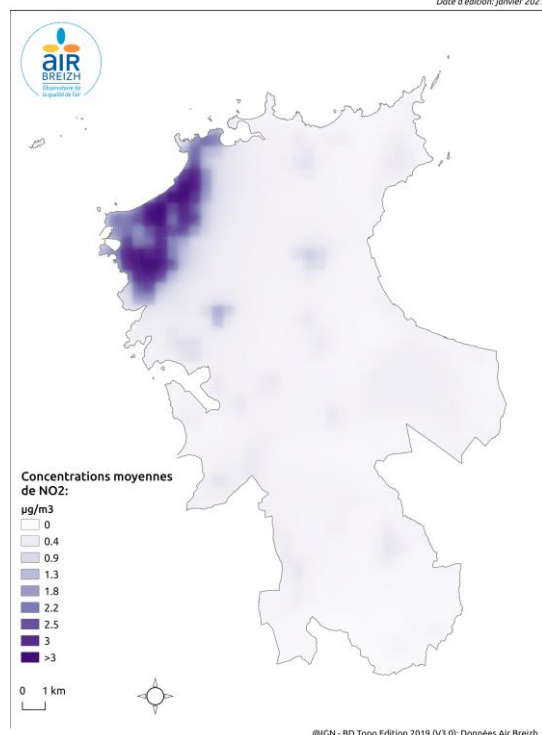
[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Sources cadastrées : Maritime

Date d'édition: janvier 2021



[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Autres sources cadastrées

Date d'édition: janvier 2021



[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Sources ponctuelles : Industriels

Date d'édition: janvier 2021



Figure 27: Contribution de sources dans les concentrations moyennes modélisées de NO₂ pour l'année de référence 2019

VI. 3. Les particules fines PM10 : moyenne annuelle 2019

Etat des lieux : moyenne annuelle 2019

Le chauffage urbain (résidentiel et tertiaire), le transport et les activités industrielles émettent respectivement 36%, 25% et 24% des émissions de particules fines PM10 de l'agglomération malouine¹⁴.

Les **seuils réglementaires** de la qualité de l'air pour les PM10 sont :

- La valeur limite annuelle fixée à **40** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne annuelle) ;
- L'objectif de qualité annuel fixé à **30** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne annuelle) ;
- La valeur limite journalière fixée à **50** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne journalière) à ne pas dépasser plus de **35** jours par an.

Les **valeurs guides** de la qualité de l'air pour les PM10 établies par l'OMS sont :

- La valeur guide annuelle fixée à **20** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne annuelle) ;
- La valeur guide journalière fixée à **50** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne journalière) à ne pas dépasser plus de **3** jours par an.

Les valeurs limites européennes en vigueur en 2021 pendant l'écriture de ce rapport seront à court terme révisées et très vraisemblablement abaissées pour tendre vers les valeurs guides établies par l'Organisation Mondiale de la Santé.

Au cours de l'année 2018, Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) a « pris en charge l'organisation d'un séminaire réunissant les membres du dispositif national de surveillance mais également l'Anses afin de préparer collectivement la contribution française au processus de révision des directives européennes sur la qualité de l'air souhaité par la Commission. »¹⁵.

Les **cartes d'exposition de la population** à la pollution de l'air seront présentées selon 3 classes :

- Zone en dépassement de Valeur Limite ($> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Zone en dépassement d'objectif de qualité ($> 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Zone en dépassement de la valeur guide OMS ($> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), non réglementaire.

Attention particulière : Le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique adapté à l'échelle du quartier. Les zooms effectués au niveau d'une rue doivent être effectués avec prudence. Les cartographies de pollution possèdent une résolution spatiale de 10m par 10m. La description des rues est simplifiée en utilisant des données moyennes pour la largeur moyenne d'une rue et une hauteur moyenne des bâtiments qui la bordent.

¹⁴ Inventaire spatialisé des émissions atmosphériques d'Air Breizh v3

¹⁵ Rapport d'activité LCSQA 2018 [LCSQA – sept. 2019]

Etat des lieux : moyenne annuelle 2019

Concentrations de PM10 au niveau de l'agglomération

L'amplitude des concentrations de particules fines modélisées, illustrées Figure 28 et Figure 29, est plus restreinte que pour le dioxyde d'azote (NO₂) :

- Le niveau de fond périurbain dans les zones peu habitées de l'agglomération est autour de 16 µg/m³ (environ 40% de VL) ;
- Le niveau de fond urbain de la ville de Saint-Malo est autour de 18 µg/m³ en cohérence avec le dispositif de mesure implanté en situation urbaine de fond. Le chauffage résidentiel, représentant 31 % des émissions de PM10 de l'agglomération, est très majoritairement responsable de cette augmentation par rapport aux zones moins habitées de l'agglomération ;
- Le niveau simulé en situation de proximité automobile varie autour de 20 µg/m³ (environ 50% de VL). Ces niveaux peuvent atteindre 24 µg/m³ (environ 60% de VL) à proximité des routes à fort trafic (N176).

Concentrations de PM10 au niveau du port de Saint-Malo

Des concentrations de l'ordre de 18 - 20 µg/m³ (environ 50% de VL) en moyenne annuelle sont modélisées à proximité des bassins, des chenaux de navigation ainsi que des gares et terminaux maritimes.

Les émissions maritimes de PM10 sont moins visibles sur la carte de dispersion en raison d'émissions moindres par rapport aux émissions de NO_x. En effet, seules 14 tonnes de PM10 d'origine maritime sont émises au niveau du port de Saint-Malo, contre 284 tonnes de NO_x.

Cependant, les émissions maritimes sont estimées sur la base des informations fournies par la capitainerie du port et spatialisées dans la modélisation au niveau des bassins (sources surfaciques).

Afin de mieux évaluer les concentrations modélisées, des points de mesure supplémentaires seraient nécessaires par le biais de campagne de mesures.

D'après la modélisation, aucun habitant n'est exposé à des dépassements de seuils annuels européens en vigueur :

- Respect de la valeur limite fixée à 40 µg/m³ (équivalent à 100 % de VL) ;
- Respect de l'objectif de qualité fixé à 30 µg/m³ (équivalent à 75 % de VL).

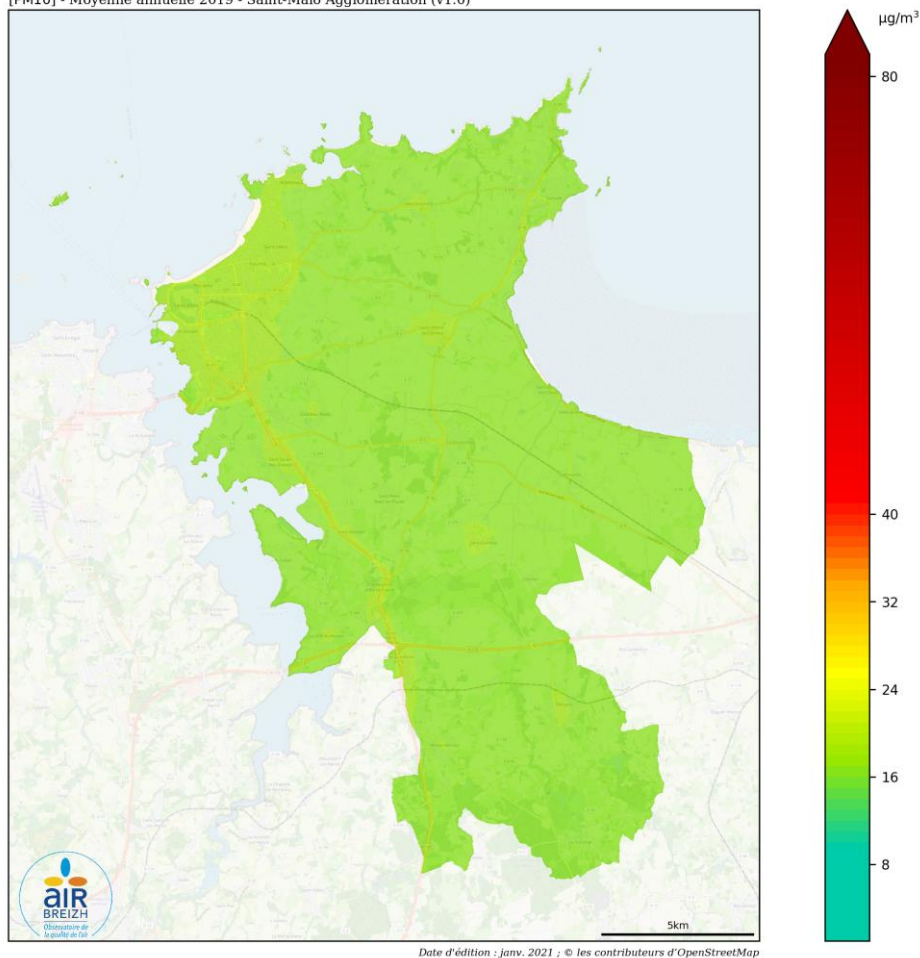
Toutefois, entre 60 et 700 personnes sont exposées quotidiennement à des concentrations pouvant potentiellement dépasser la valeur guide établie par l'OMS (20 µg/m³ en moyenne annuelle soit 50% de la VL en vigueur).

Ce constat est en adéquation avec les zones d'impact maximal provoquées par le dioxyde d'azote. La majorité des personnes exposées à des dépassements de la valeur guide annuelle de l'OMS vit dans la commune de Saint-Malo.

Une comparaison cartographique par rapport à la valeur limite annuelle réglementaire et à la valeur guide annuelle de l'OMS est illustrée dans le paragraphe suivant (Figure 31).

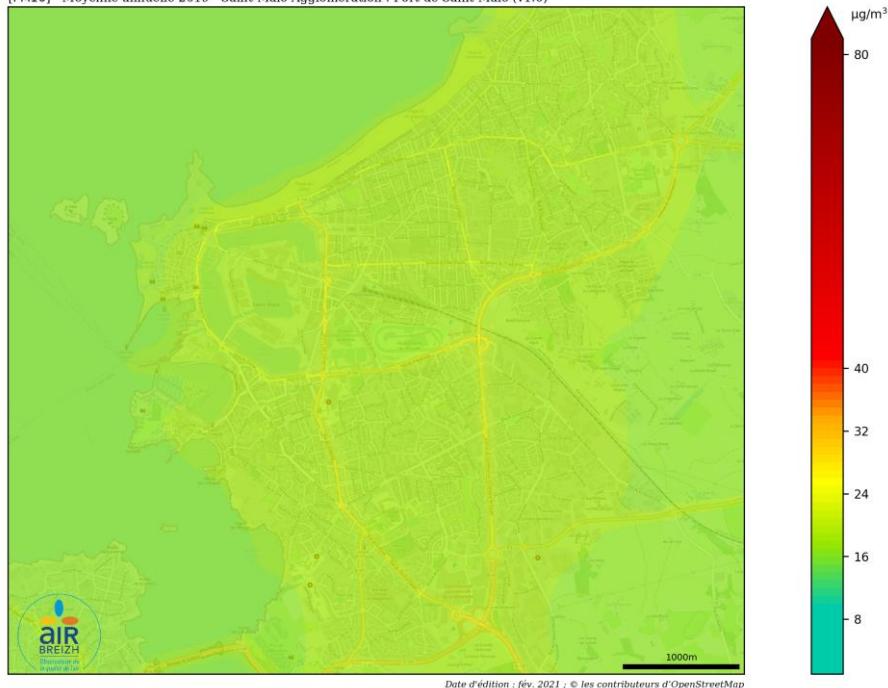
ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)

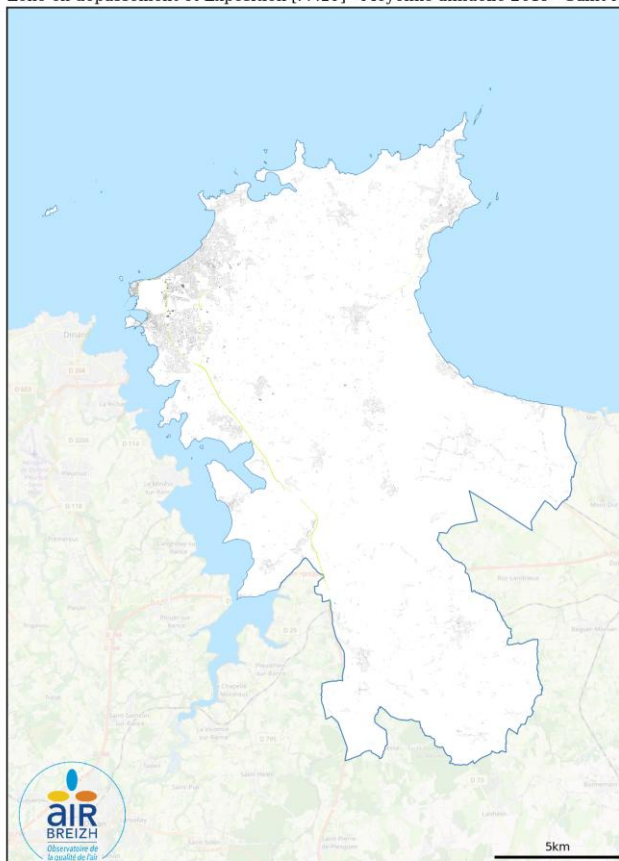


Date d'édition : fév. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

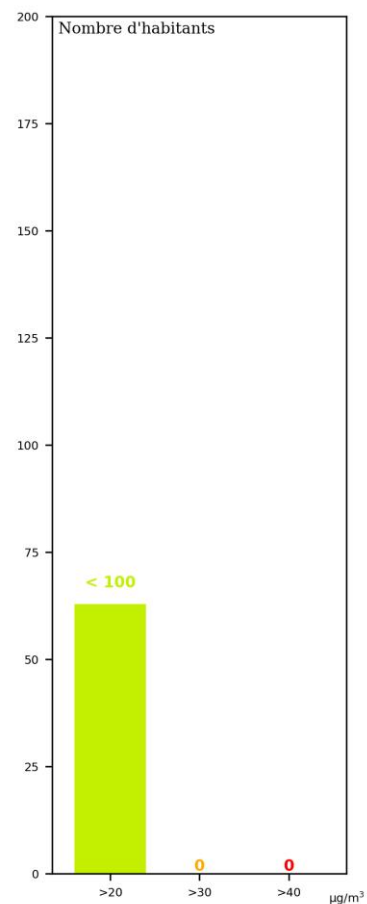
Figure 28: Cartographies des concentrations 2019 en PM10 - Saint-Malo Agglomération

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

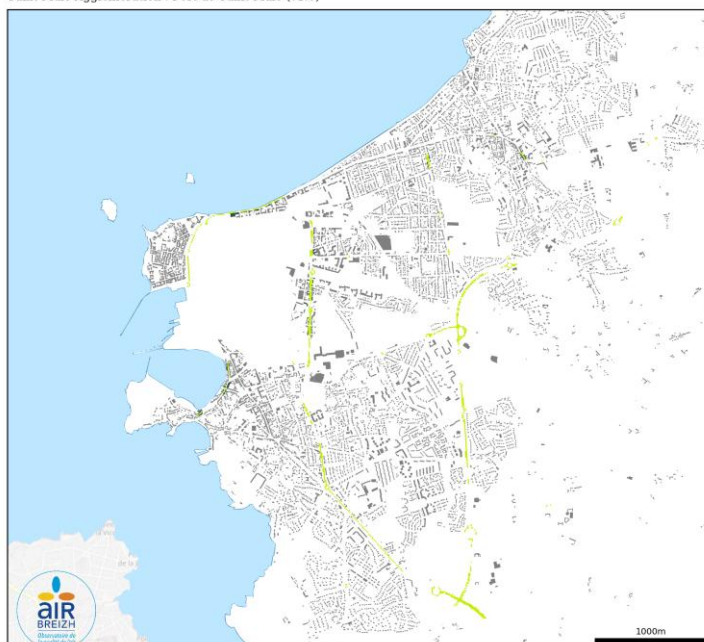
Zone en dépassement et Exposition [PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © LCSQA|©IGN : Base de données Population MAJIC 2016



Zone en dépassement et Exposition [PM10] - Moyenne annuelle 2019
Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; © LCSQA|©IGN : Base de données Population MAJIC 2016

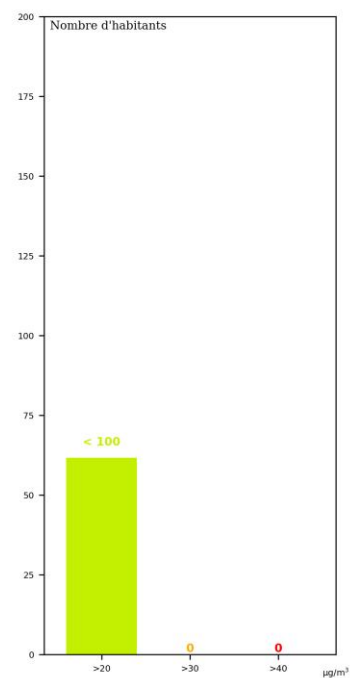


Figure 29: Exposition de la population aux PM10 par rapport à la valeur limite annuelle - Saint-Malo Agglomération

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Comparaison des synthèses annuelles avec le seuil préconisé par l'OMS

Afin de limiter les problèmes sanitaires, le seuil annuel de recommandations fixé par l'OMS est établi à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, soit 50 % de la valeur limite européenne en vigueur sur le territoire français ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Une comparaison cartographique des concentrations 2019 en moyenne annuelle est effectuée Figure 31, avec :

- d'un côté la **carte « réglementaire »** avec l'échelle de couleur officielle valeur Limite européenne.
- de l'autre la **carte « OMS »** avec l'échelle de couleur adaptée à la valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Une visualisation des cartes régionales en amont a été ajoutée Figure 30 dans le cadre de cette perspective. L'année de référence est la dernière disponible : 2019. Elle s'appuie sur les résultats des stations de mesure bretonnes pour affiner les résultats.

Les concentrations modélisées sur le territoire de Saint-Malo agglomération sont proches de la valeur guide annuelle établie par l'OMS. Les dépassements ont lieu à proximité directe des axes routiers, zones d'impact maximal (Cf. paragraphe « Etat des lieux : moyenne annuelle 2019 »).

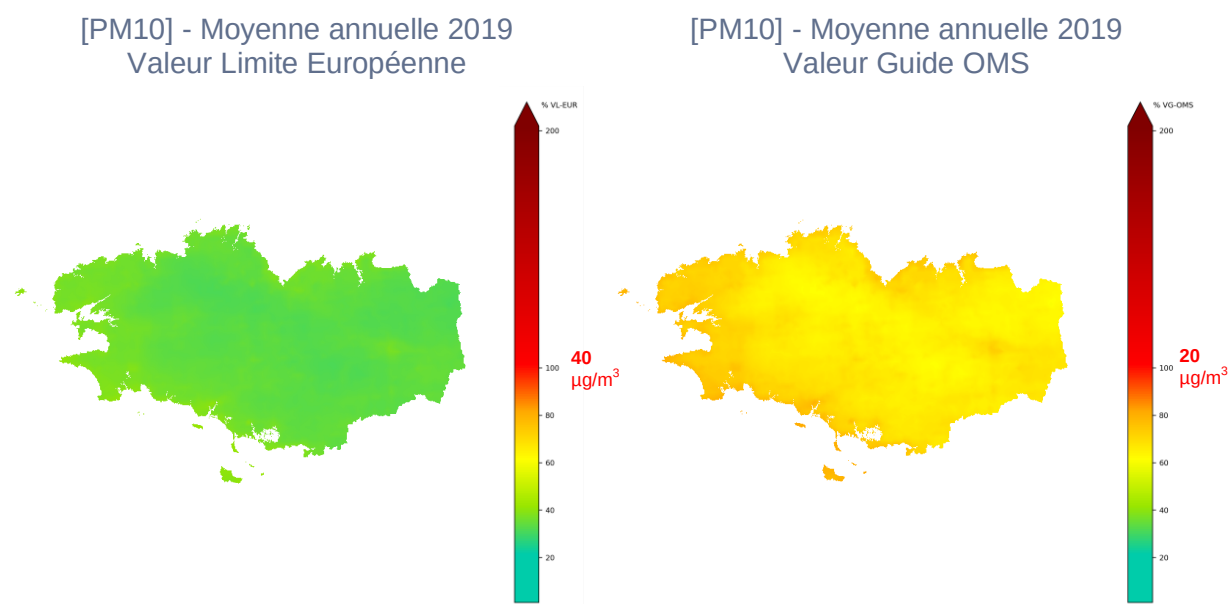
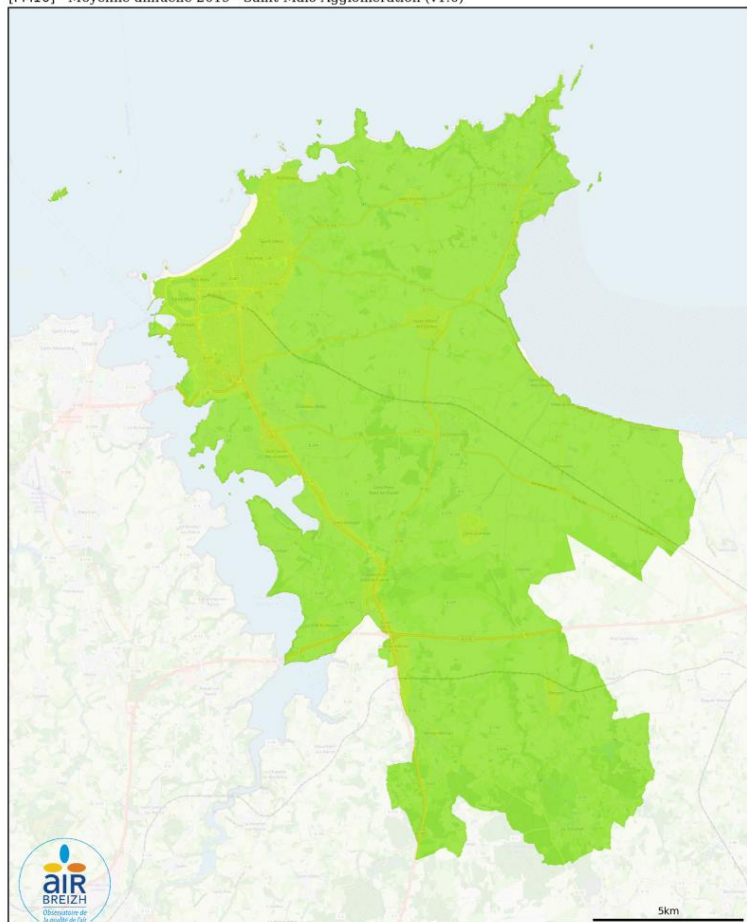


Figure 30: Cartographies de dispersion 2019 des PM10 pour la région Bretagne par rapport à la valeur limite annuelle réglementaire (à gauche) et à la valeur guide annuelle de l'OMS (à droite)

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Valeur Limite Européenne

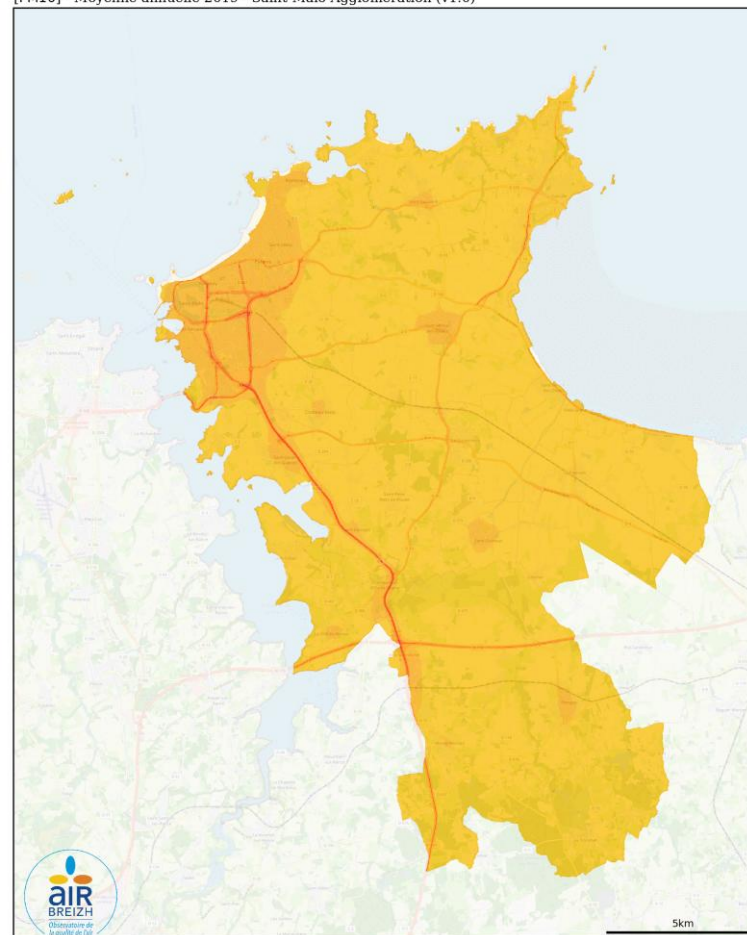
[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

Valeur Guide OMS

[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

Figure 31: Cartographies de concentrations 2019 des PM10 par rapport à la valeur limite annuelle réglementaire (à gauche) et à la valeur guide annuelle de l'OMS (à droite)

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Origine de la pollution particulaire PM10 : Quel est l'impact des principales sources de pollution sur la qualité de l'air ?

La Figure 33 illustre l'origine des sources de pollution des particules fines PM10, au niveau de la station de mesure de fond urbain Rocabey.

Les sources sont classées en cinq catégories, selon la méthodologie employée dans le modèle :

- Les sources linéiques routières, représentées en orange ;
- Les sources ponctuelles industrielles, représentées en bleu ;
- Les sources maritimes cadastrées, représentées en bleu clair ;
- Les sources cadastrées (autres émissions dont le chauffage urbain), représentées en violet ;
- La pollution de fond régionale, qui peut être influencée indirectement par tout type de sources d'émission, dont les aires urbaines, industrielles ou agricoles extérieures au domaine, représentée en vert.

La mesure de PM10 est également représentée en trait bleu sur la figure, afin de pouvoir comparer les concentrations simulées (somme des aires colorées) aux concentrations réelles respirées.

Au niveau de la station « Rocabey », les concentrations de PM10 respirées en 2019 proviennent principalement des imports extérieurs de particules (90%) et des sources cadastrées principalement liées aux équipements de chauffage (8%).

La localisation de la station de référence, station urbaine de fond sans proximité automobile et portuaire, expliquent ces observations.

Afin de mieux appréhender les contributions des sources en fonction de la situation géographique, les cartes de dispersion (moyenne annuelle 2019) par type de source implémentées dans le modèle (trafic routier, transport maritime, grandes sources ponctuelles industrielles et autres sources) sont présentées Figure 34.

Les contributions des sources de pollution sont variables en ordre de grandeur et spatialement :

- **Le trafic routier** apporte des concentrations de PM10 respirées inférieures à celles du NO₂, en lien avec un secteur des transports routiers moins contributeur pour les PM10 que pour les NO_x. Le trafic routier est cependant un des contributeurs principaux, avec une augmentation croissante en fonction de la proximité des axes routiers.
- **Le transport maritime** contribue très peu aux concentrations de PM10 respirées au niveau de la zone portuaire, avec des moyennes annuelles modélisées inférieures à 1 µg/m³.
- **Les grandes sources ponctuelles industrielles** ont un impact très faible sur les concentrations de PM10, avec des niveaux inférieurs à 1 µg/m³ en moyenne annuelle.
- **Les autres sources cadastrées**, principalement pilotées par les équipements de chauffage, contribuent à hauteur de quelques µg/m³ en moyenne annuelle. Cette contribution est plus forte en hiver.

Ces résultats suggèrent que réduire les sources de PM10 liées trafic routier et du chauffage, grâce à la modernisation des équipements ou à la réduction des activités, pourrait dans une moindre mesure que pour le NO₂ diminuer les niveaux de pollution respirés quotidiennement par les habitants de l'agglomération.

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

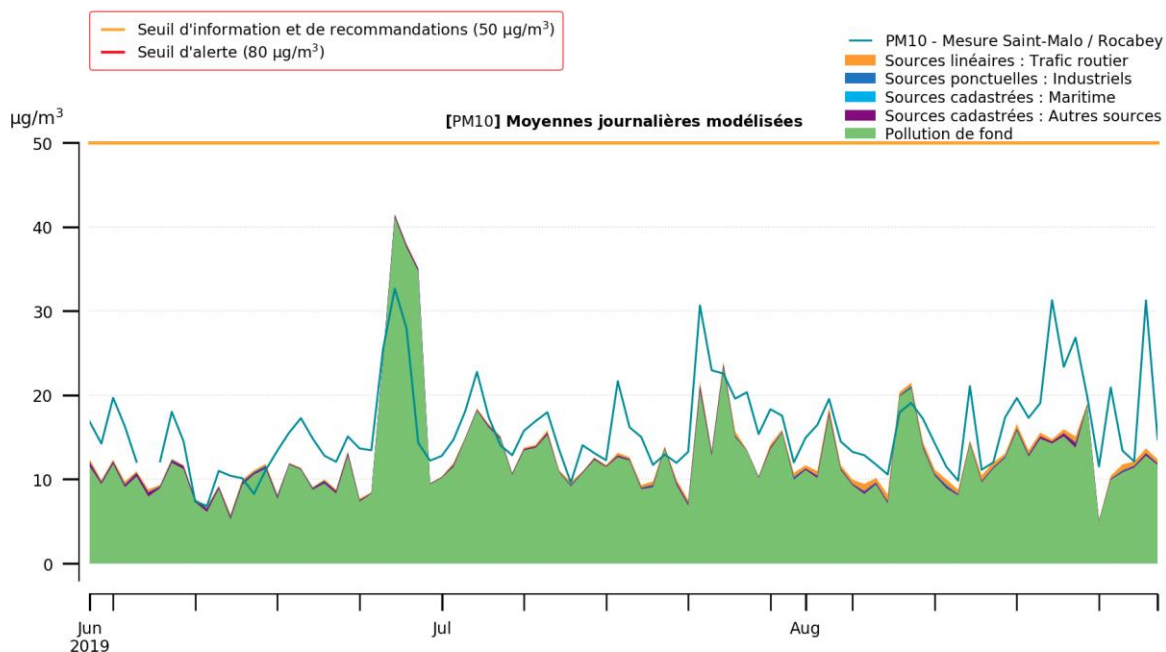


Figure 32: Contribution des sources de PM10 au niveau de la station "Rocabey" - Situation estivale (du 01/06/2019 au 31/08/2019)

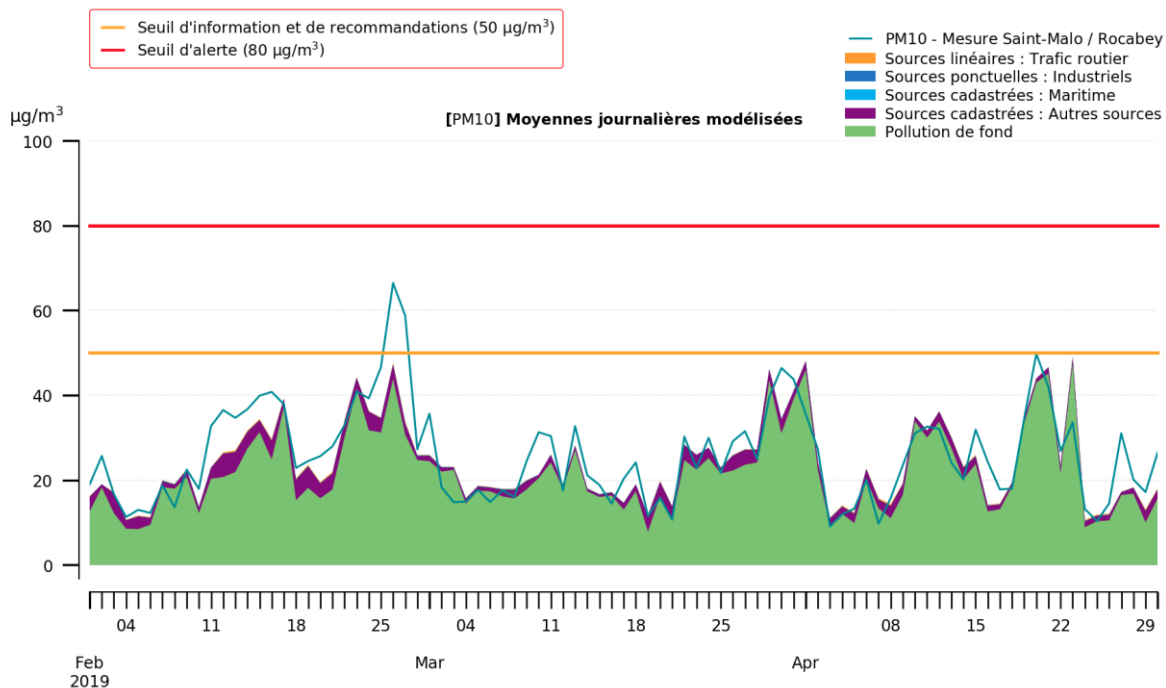
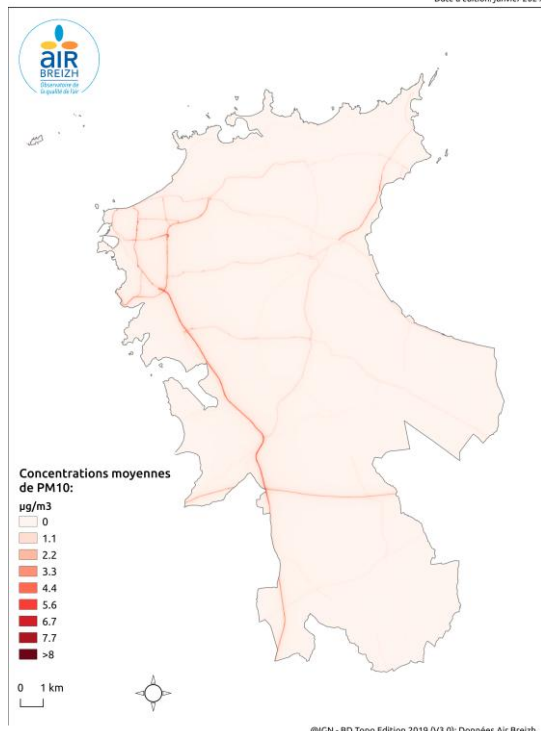


Figure 33: Contribution des sources de PM10 au niveau de la station "Rocabey" - Situation hivernale (du 01/02/2019 au 30/04/2019)

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

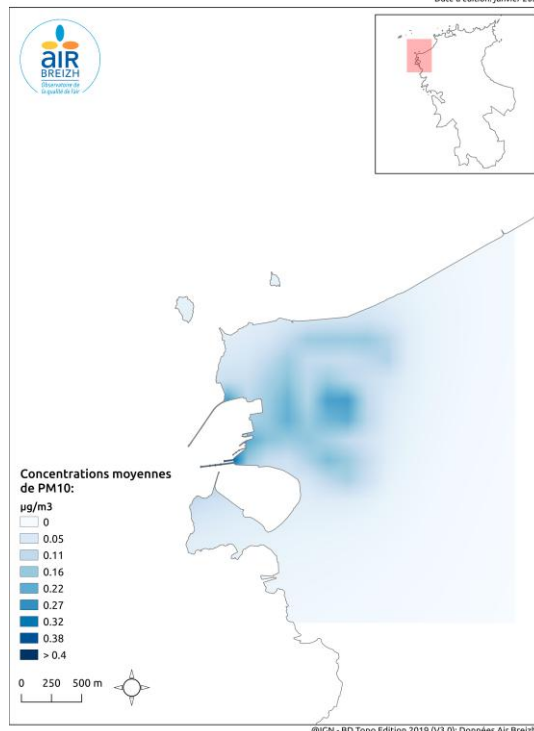
[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Sources linéaire : Trafic Routier

Date d'édition: janvier 2021



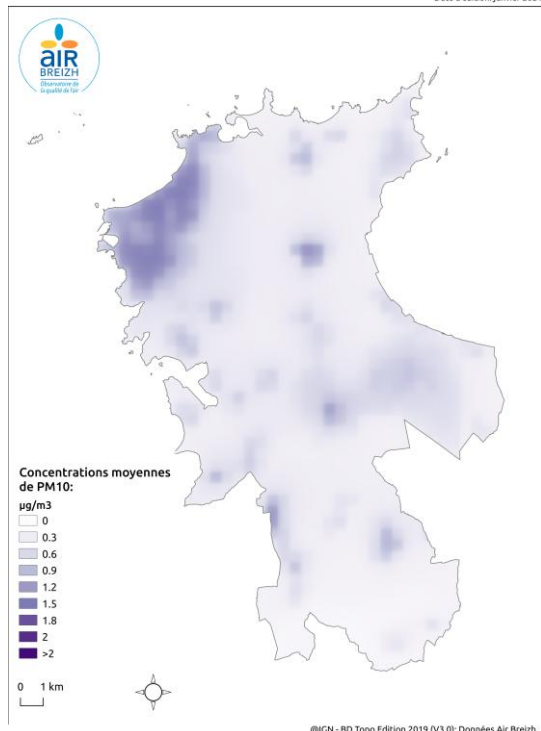
[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Sources cadastrées : Maritime

Date d'édition: janvier 2021



[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Autres sources cadastrées

Date d'édition: janvier 2021



[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Sources ponctuelles : industriels

Date d'édition: janvier 2021

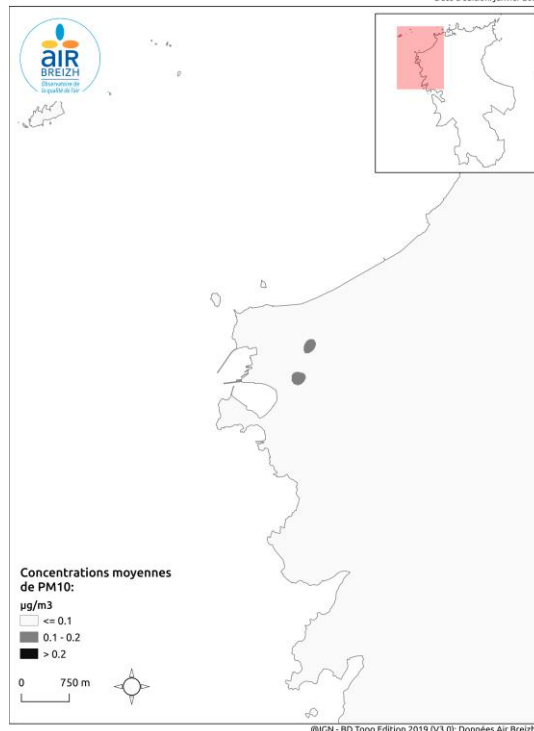


Figure 34: Contribution de sources dans les concentrations moyennes modélisées de PM10 pour l'année de référence 2019

VII. Conclusion

1. L'étude de modélisation de deux polluants atmosphériques (dioxyde d'azote NO₂ et particules fines PM10) sur l'agglomération de Saint-Malo a permis de caractériser les différentes zones en termes de qualité de l'air et d'identifier les zones prioritaires. Cette étude constitue une première approche pour l'amélioration des connaissances de la qualité de l'air sur le territoire de l'agglomération, notamment dans la zone portuaire.
2. Cette étude montre que **la majeure partie du territoire de l'agglomération malouine n'est pas impactée par un dépassement réglementaire** sur les moyennes annuelles. Elle regroupe les zones résidentielles urbaines et périurbaines. Cependant, si les concentrations moyennes annuelles ne sont pas préoccupantes au regard de la réglementation, des pics de concentration ponctuels ont été reportés au cours de l'année 2019 (voir Tableau 9).

Par ailleurs, les valeurs limites européennes en vigueur en 2021 pendant l'écriture de ce rapport seront à court terme révisées et très vraisemblablement abaissées pour tendre vers les valeurs guides établies par l'Organisation Mondiale de la Santé. Les niveaux de particules fines PM10 sont jugés préoccupants au regard de ces valeurs guides.

3. L'absence de mesures de particules très fines PM2.5 sur la période étudiée constitue une des principales limites de cette étude.

Depuis le 1^{er} janvier 2021 les particules très fines PM2.5 sont incluses dans le calcul de l'indice ATMO quotidien en 2021. Le seuil à partir duquel l'air sera qualifié de « mauvais » a été fixé à la valeur guide OMS, établie à 25 µg/m³. En conséquence, il en résultera une évolution de la qualification de la qualité de l'air qui pourra amener plus régulièrement à constater un état plus dégradé.

Ainsi, l'application d'une nouvelle réglementation se rapprochant des valeurs guides fixées par l'OMS pourrait largement modifier la caractérisation de la situation. Il appartient à la collectivité d'anticiper ces évolutions en agissant dès à présent en ce sens, comme il sera vraisemblablement le cas dans une majeure partie des grandes métropoles et agglomérations françaises.

4. La modélisation de la qualité de l'air a identifié **uniquement des dépassements de la valeur limite réglementaire établie pour le dioxyde d'azote**. Les secteurs en dépassement ou en dépassement potentiel sont principalement identifiés à proximité d'axes routiers très empruntés ou d'axes de type « canyon » confinés entre des bâtiments. Ces dépassements sont en adéquation avec les sources d'émissions d'oxydes d'azote : la circulation automobile est responsable de 80% des émissions d'oxydes d'azote de l'agglomération malouine.

Les principaux axes identifiés comme « sensibles » où des habitants résident sont des boulevards et des avenues du centre-ville de Saint-Malo, avec des trafics quotidiens de l'ordre de 10 000 à 20 000 véhicules par jour. Ces axes sont les suivants :

- L'axe contenant la rue de la Marne, le boulevard des Talards et le Boulevard de la République,
- La chaussée du Sillon,
- La chaussée Eric Tabarly, le Quai Saint-Louis et le Quai Saint-Vincent,
- L'avenue du Général Charles de Gaulle et les pénétrantes associées (rue de Triquerville, rue de René Boltz, Boulevard de l'Espérance).

La modernisation du parc de véhicules et une diminution du trafic routier permettraient de limiter progressivement les zones en dépassement réglementaire.

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Ces données et enseignements sont à intégrer dans les réflexions futures en matière d'urbanisation aux abords de ces axes, où les effets « canyons » peuvent amener à augmenter la population exposée à des dépassements des valeurs réglementaires.

5. Une attention particulière devra être apportée à la **zone portuaire** de Saint-Malo. **Les niveaux moyens modélisés de NO₂ sont dégradés vis-à-vis de la réglementation et les niveaux maximum modélisés dépassent la valeur réglementaire au niveau des axes routiers.** L'absence de point de mesures sur le port rend difficile la modélisation des concentrations de polluants dans cette zone.

Compte tenu de ces résultats et de l'activité croissante du terminal du Naye, Air Breizh recommande un renforcement du dispositif de surveillance via la mise en place de campagnes de mesure ou d'une station de mesure permanente pour mieux évaluer les niveaux de pollution respirés.

6. La modélisation urbaine calcule les concentrations de polluants réglementés (NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5}), indicateurs de l'état de la qualité de l'air en agglomération. Cependant d'autres polluants, actuellement non réglementés dans l'air ambiant, peuvent être à l'origine de problématiques environnementales.

L'ammoniac (NH₃), polluant issu des activités agricoles et industrielles, précurseur majeur des particules fines atmosphériques, peut être responsable d'une part importante des niveaux de particules observés.

Les émissions d'ammoniac sur le territoire breton représentent 14 % des émissions françaises. Le 3ème Plan Régional Santé Environnement (PRSE3) Bretagne 2017-2021, signé le 4 juillet 2017, a fixé notamment un objectif visant à « mieux connaître les émissions issues des activités agricoles en Bretagne » et « d'assurer une surveillance de l'ammoniac dans l'air ».

L'ammoniac ne faisant pas partie des polluants réglementés dans l'air ambiant (Code de l'environnement R221-1), sa mesure n'est pas intégrée à ce jour au réseau de surveillance régionale d'Air Breizh¹⁶. En revanche, la Directive européenne 2016/2284/EU fixe des objectifs de réduction des émissions de NH₃ par pays aux horizons 2020 et 2030.

Des études scientifiques sur l'ammoniac montrent en effet que des pays européens, comme la France, les Pays-Bas, la Suisse ou l'Italie, comportent de larges zones à fortes émissions d'origine agricole.

En raison de la forte activité agricole en Bretagne, ce polluant fait l'objet depuis 2020 d'une surveillance rapprochée :

- Installation d'un appareil de mesure de l'ammoniac en centre Bretagne à la station rurale de fond « Kergoff » implantée dans les Côtes d'Armor sur la commune de Merléac ;
- Installation du dispositif de caractérisation de la composition chimique des particules (programme CARA) dans l'agglomération rennaise (quartier du Blosne).

Ces deux dispositifs permettront d'aller plus loin dans l'identification et la compréhension des sources de pollution particulaire.

¹⁶ Stratégie de surveillance de l'ammoniac dans l'air ambiant en Bretagne [Air Breizh – Décembre 2019]

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

7. Afin d'affiner les résultats des prochaines mises à jour de la modélisation de l'agglomération de Saint-Malo, plusieurs axes d'amélioration ont été mis en évidence :
- L'enrichissement de la base de données trafic (TMJA et modulation du trafic) grâce à la prise en compte de données complémentaires ;
 - La prise en compte de la modulation des émissions des sources industrielles en fonction des périodes d'activité d'usine ;
 - La mise à jour de l'inventaire des émissions notamment pour les émissions portuaires et issues des activités de chauffage ;
 - La mise en place de mesures complémentaires de proximité trafic et portuaire ;
 - La prise en compte de la formation de particules secondaires dans l'atmosphère produite à partir de la transformation de l'ammoniac.

Polluants	Bilan d'exposition à la pollution de l'air	
	Réglementation française	Valeurs guides OMS
Dioxyde d'azote NO ₂	 Exposition proximité trafic	 Exposition proximité trafic
Particules fines PM10	 Respect de la valeur limite et de l'objectif de qualité	 Exposition proximité trafic

Tableau 9: Synthèse de l'exposition des habitants de l'agglomération à la pollution de l'air

Liste des figures

Figure 1: Découpage administratif des zones de surveillance bretonnes.....	11
Figure 2: Communes de Saint-Malo agglomération	11
Figure 3: Répartition des émissions de NO _x , PM10 et PM2.5 en 2016 (Inventaire des émissions atmosphériques d'Air Breizh v3).....	13
Figure 4: Répartition des émissions de NO _x , PM10 et PM2.5 du secteur transport (inventaire V3 – réf. 2016)	14
Figure 5: Processus de création d'un modèle urbain.....	18
Figure 6: Réseau routier optimisé de Saint-Malo Agglomération.....	19
Figure 7: Critère de détermination des rues (« ouverte » ou « canyon »)	20
Figure 8: Identification des rues : « ouverte » ou « canyon »	21
Figure 9: Emissions d'oxydes d'azote NO _x du réseau routier de Saint-Malo agglomération.....	23
Figure 10: Exemple des profils temporels horaires du trafic routier	24
Figure 11: Représentation cartographique des zones d'émissions portuaires retenues pour l'élaboration du cadastre maritime	25
Figure 12: Cadastre maritime des émissions annuelles 2018 de NO _x	26
Figure 13: Cadastre résidentiel/tertiaire des émissions annuelles 2016 de particules fines PM10.....	28
Figure 14: Conditions météorologiques globales (stations Météo France Aéroport Saint-Malo-Dinard).....	30
Figure 15: Comparaison de la pollution de fond rurale (Guipry) avec les concentrations mesurées à Saint-Malo	32
Figure 16: Dispositif de surveillance de la qualité de l'air implanté sur Saint-Malo agglomération	34
Figure 17: Illustration et signification d'une cible d'évaluation "Target Plot"	36
Figure 18: Evaluation du modèle sur l'année 2019 (Target Plot)	36
Figure 19: Illustration et signification d'une figure Quantile-Quantile.....	37
Figure 20: Evaluation du modèle pour les polluants étudiés sur l'année 2019 (QQplot).....	37
Figure 21: Exemple de pics locaux et de pics régionaux.....	38
Figure 22: Méthodologie d'estimation des populations exposées à la pollution.....	41
Figure 23: Cartographies des concentrations 2019 de NO ₂ - Saint-Malo Agglomération.....	44
Figure 24: Exposition de la population aux NO ₂ par rapport à la valeur limite annuelle - Saint-Malo Agglomération	45
Figure 25: dans les concentrations moyennes modélisées de NO ₂ au niveau de la station "Rocabey" - Situation estivale (du 11/06/2019 au 17/06/2019).....	47
Figure 26: Contribution des sources dans les concentrations moyennes modélisées de NO ₂ au niveau de la station "Rocabey" - Situation hivernale (du 09/12/2019 au 19/12/2019).....	47
Figure 27: Contribution de sources dans les concentrations moyennes modélisées de NO ₂ pour l'année de référence 2019.....	48
Figure 28: Cartographies des concentrations 2019 en PM10 - Saint-Malo Agglomération.....	51
Figure 29: Exposition de la population aux PM10 par rapport à la valeur limite annuelle - Saint-Malo Agglomération	52
Figure 30: Cartographies de dispersion 2019 des PM10 pour la région Bretagne par rapport à la valeur limite annuelle réglementaire (à gauche) et à la valeur guide annuelle de l'OMS (à droite)	53
Figure 31: Cartographies de concentrations 2019 des PM10 par rapport à la valeur limite annuelle réglementaire (à gauche) et à la valeur guide annuelle de l'OMS (à droite).....	54
Figure 32: Contribution des sources de PM10 au niveau de la station "Rocabey" - Situation estivale (du 01/06/2019 au 31/08/2019).....	56
Figure 33: Contribution des sources de PM10 au niveau de la station "Rocabey" - Situation hivernale (du 01/02/2019 au 30/04/2019)	56
Figure 34: Contribution de sources dans les concentrations moyennes modélisées de PM10 pour l'année de référence 2019.....	57



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Liste des tableaux

Tableau 1: Zones administratives de surveillance (superficie et population).....	10
Tableau 2: Principaux centres urbains de la région Bretagne (superficie et population).....	11
Tableau 3: Repères réglementaires (NO ₂ , PM10 et PM2.5).....	17
Tableau 4: IEM et objectif national de réduction de l'exposition des PM2.5.....	17
Tableau 5: Sites industriels ICPE (sources ponctuelles) retenues dans le modèle	27
Tableau 6: Station et polluants mesurés quotidiennement sur l'agglomération de Saint-Malo.....	34
Tableau 7: Définition des typologies de station dans le cadre du dispositif de surveillance.....	34
Tableau 8 : Échelle de couleurs réglementaire nationale pour la modélisation	40
Tableau 9: Synthèse de l'exposition des habitants de l'agglomération à la pollution de l'air.....	60

Liste des sources de données

Nom / Libellé	Année de référence	Version	Auteur(s)	Lien
BD TOPO® Base de données Topographiques	2019	3.0	IGN	https://geoservices.ign.fr/ressources_documentaires/Espace_documentaire/BASES_VECTORIELLES/BDTOPO/DC_BDTOPO_3-0.pdf (accès le 13/01/2021)
ADMIN-EXPRESS® Base de données Administratives	2019	1.1	IGN	https://geoservices.ign.fr/ressources_documentaires/Espace_documentaire/BASES_VECTORIELLES/ADMIN_EXPRESS/DC_DL_ADMIN_EXPRESS_2-3.pdf (accès le 13/01/2021)
Corine Land Cover	2018	-	EEA	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover (accès le 13/01/2021)
Données Trafics – Réseau de postes de comptage	2019	-	Commune de Saint-Malo	Communication personnelle : Saint-Malo- Service Circulation le 28/07/2020
			DIR Ouest	https://geobretagne.fr/geonetwork/srv/fr/catalog.srch#/metadata/bb6cb44b-503e-4a5d-9aff-e6baf3eabcef (accès le 13/01/2021)
Parc national de véhicules	2017	-	CITEPA	Communication personnelle : Atmo Grand-Est le 24/06/2019
Inventaire des émissions de polluants atmosphériques	2016	3	Air Breizh	https://www.airbreizh.asso.fr/observatoire/emissions/ (accès le 13/01/2021)
Déclaration annuelle des rejets relatifs aux émissions de polluants dans l'air, l'eau, le sol et les déchets des installations classées pour l'environnement (ICPE).	2019	-	MTES	https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/installations/donnees#/ (accès le 13/01/2021)
Données météorologiques – Mesures RADOME et Modèle ARPEGE	2019	-	Météo France	http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-stations-au-sol (accès le 13/01/2021)
BD Population spatialisées selon la méthodologie nationale MAJIC Base de données Population	2016	-	INERIS	https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2015/ineris/fourniture-donnees-population-spatialisees-selon-methode-nationale-methode (accès le 13/01/2021)
INSEE Base de données Population	2016	-	INSEE	https://www.insee.fr/fr/statistiques/3677855 (accès le 13/01/2021)



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Liste des références

- Baromètre Santé-Environnement [ORSB 2014]
https://orsbretagne.typepad.fr/ors_bretagne/baromtre_sant_environnement/ (accès le 13/01/2021)
- Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique [Santé Publique France ; 2016]
<https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/impacts-de-l-exposition-chronique-aux-particules-fines-sur-la-mortalite-en-france-continentale-et-analyse-des-gains-en-sante-de-plusieurs-scenarios> (accès le 13/01/2021)
- Evaluation économique des impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité de la France continentale - Synthèse [O.CHANEL ; CNRS, AMSE-GREQAM et IDEP – 2017]
<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27052-etude-invs-impact-sanitaires-pollution-air.pdf> (accès le 13/01/2021)
- Code de l'Environnement R221-1 à R228-1
<https://www.legifrance.gouv.fr> (accès le 13/01/2021)
- Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de l'air ambiant
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033735017&categorieLien=id> (accès le 13/01/2021)
- SIRANE – Urban Air Quality Model, développé par l'équipe AIR (Atmosphere Impact & Risk) du Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) – UMR CNRS 5509 / Ecole Centrale de Lyon / UCB Lyon / INSA
<http://air.ec-lyon.fr/SIRANE/> (accès le 13/01/2021)
- Méthodologie de répartition spatiale de la population ; Programme 2014 [LCSQA / INERIS – avril 2015]
https://www.lcsqa.org/system/files/drc-15-144366-00427a_modelisation_methodologie_population_2014_vf.pdf (accès le 13/01/2021)
- Méthodologie de calcul des émissions routières : COPERT V - European Environment Agency (EEA), <https://www.emisia.com/utilities/copert/> (accès le 13/01/2021)
- Qualité de l'air et urbanisme - guide méthodologique d'élaboration de la carte stratégique air - 2015 - version v1.4 [Atmo France - mai 2016] (rapport interne Air Breizh)
- Directive n°2008/50/CE du 21/05/2008, dite "Air pur pour l'Europe"
<https://www.legifrance.gouv.fr/> (accès le 13/01/2021)
- Rapport d'activité LCSQA 2018 [LCSQA – sept. 2019]
https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/Rapport_activite_lcsqa_2018_Web-VFb.pdf (accès le 13/01/2021)



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Annexe 1 :
Arrêté du 7 décembre 2016 fixant un objectif pluriannuel de
diminution de la moyenne annuelle des concentrations
journalières de particules atmosphériques



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Le 22 novembre 2019

JORF n°0287 du 10 décembre 2016

Texte n°32

Arrêté du 7 décembre 2016 fixant un objectif pluriannuel de diminution de la moyenne annuelle des concentrations journalières de particules atmosphériques

NOR: AFSP1622828A

ELI:<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2016/12/7/AFSP1622828A/jo/texte>

Publics concernés : tous publics.

Objet : fixation d'un objectif pluriannuel de diminution des concentrations atmosphériques de particules afin d'améliorer la qualité de l'air et l'état de santé des populations.

Entrée en vigueur : le texte entre en vigueur le lendemain de sa publication.

Notice explicative : Le présent arrêté fixe l'objectif pluriannuel de diminution de la moyenne annuelle des concentrations journalières de particules atmosphériques prévu par l'article L. 221-1 du code de l'environnement dans sa rédaction issue de l'article 46 de la loi n° 2016-41 du 26 janvier 2016 de modernisation de notre système de santé.

Références : le présent arrêté peut être consulté sur le site Legifrance <http://www.legifrance.gouv.fr/>.

La ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer, chargée des relations internationales sur le climat, et la ministre des affaires sociales et de la santé,

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 221-1 et R. 221-1 ;

Vu l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail en date du 1er septembre 2016 ;

Vu les observations formulées lors de la consultation du public réalisée du 22 août au 16 septembre 2016, en application de l'article L. 120-1 du code de l'environnement,

Arrêtent :



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Article 1

L'objectif de diminution des concentrations de particules atmosphériques PM_{2,5} prévu au II de l'article L. 221-1 du code de l'environnement est fixé pour l'indicateur d'exposition moyenne (IEM) mentionné à l'article R. 221-1 du même code conformément au tableau ci-dessous :

ANNÉE	VALEUR DE L'IEM
2025	11,2 µg.m-3
2030	10,0 µg.m-3

Article 2

Le directeur général de l'énergie et du climat et le directeur général de la santé sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 7 décembre 2016.

La ministre des affaires sociales et de la santé,
Pour la ministre et par délégation :
Le directeur général de la santé,
B. Vallet

La ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer, chargée des relations internationales sur le climat,
Pour la ministre et par délégation :
Le directeur général de l'énergie et du climat,
L. Michel



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

Annexe 2 :

Principe de calcul des émissions routières

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

CIRCUL'AIR calcule, pour chaque axe, les émissions annuelles du trafic routier selon le principe schématisé ici. Les données d'entrées à renseigner sont indiquées en **jaune**.

I Estimation du trafic horaire

Le **TMJA** (1) est renseigné pour chaque axe routier.

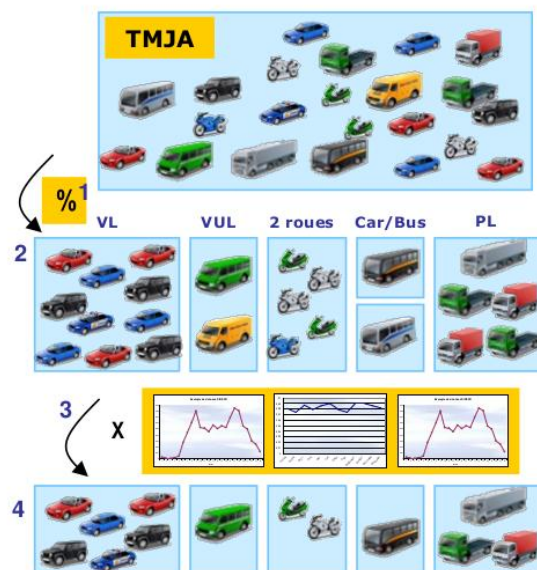
Le **% par type de véhicules** (2) est aussi renseigné par axe, à partir de données collectées (**% PL, % Bus, % Car**) ou issues de la littérature (**% 2roues, % VUL**).

A partir de ces données, le **trafic annuel** pour chaque type de véhicules est alors défini par l'outil.

Les profils temporels (3) sont à intégrer dans CIRCUL'AIR selon le type de voie :

- **profil par mois** répartition du trafic annuel /mois
- **profil par jour** répartition du trafic mois / JO, S et D
- **profil horaire** répartition du trafic JO, S et D / heure

A partir de ces profils, CIRCUL'AIR calcule le trafic horaire par type de véhicules pour chaque jour, de chaque mois de l'année (4).



II Estimation de la vitesse horaire du trafic

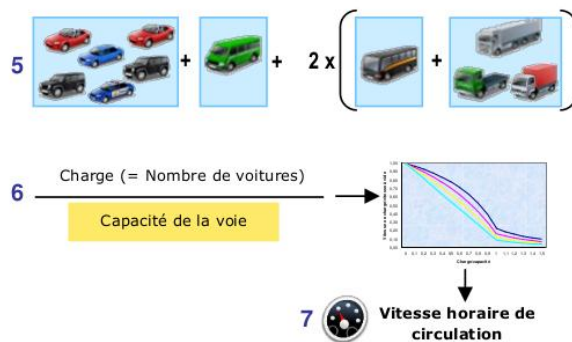
Le principe de CIRCUL'AIR est de définir, chaque heure, la **vitesse** des véhicules en estimant la congestion sur les axes.

La **charge horaire** est déterminée en considérant que :

- les bus et PL occupent 2 fois plus de place sur la route que les VL;
- les 2 roues ne participent pas à l'encombrement de l'axe (5).

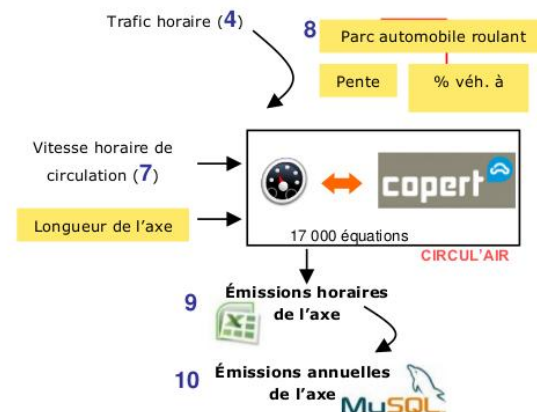
La **capacité de la voie** est estimée à partir du nombre de voies et de la catégorie de l'axe (autoroute, route, ville).

Le **coefficient de charge** (6) horaire obtenu est croisé avec des courbes théoriques (intégrées dans l'outil) pour en déduire une vitesse horaire (7).



III Calcul des émissions annuelles

CIRCUL'AIR contient l'ensemble des équations COPERT V pour 336 types de véhicules (carburant, cylindrée, norme EURO...). Le trafic horaire (4) est réparti à l'aide du **parc automobile roulant** (8).



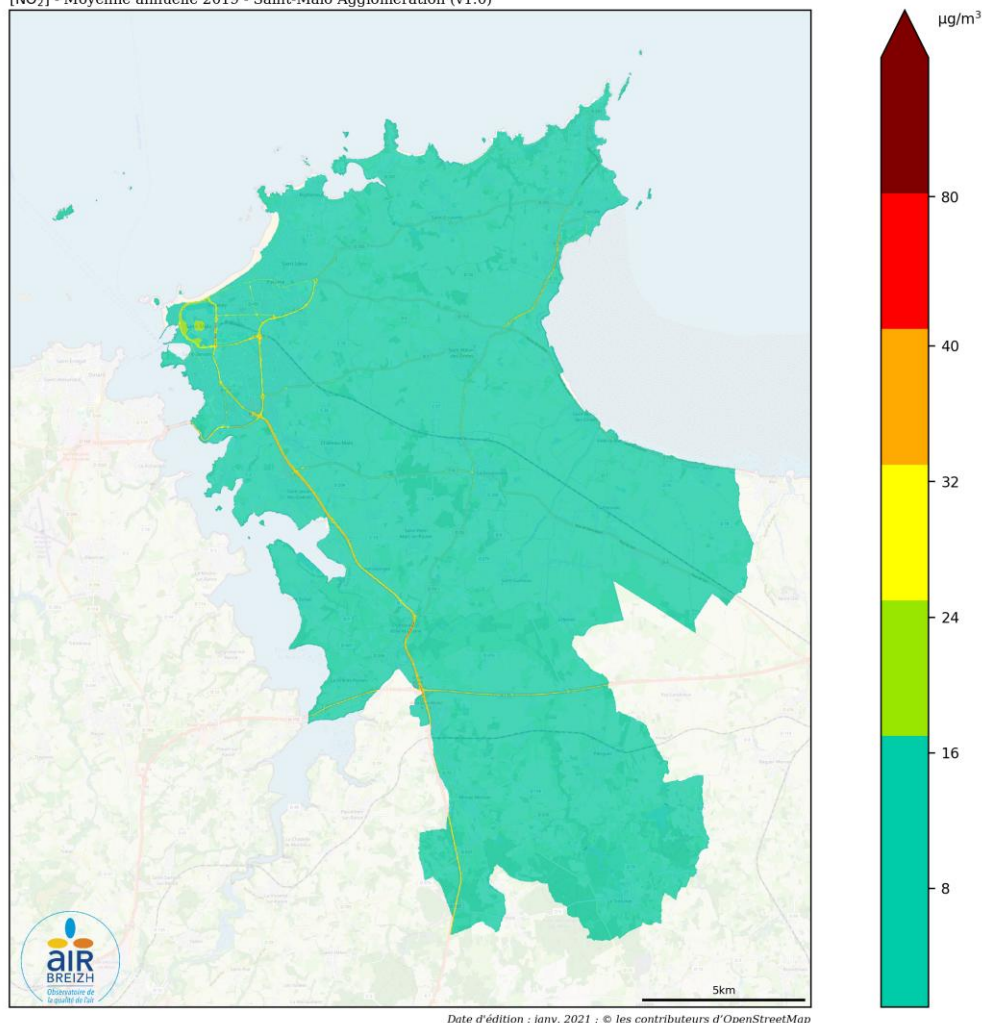


ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : **Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo** **agglomération**

Annexe 3 : Cartographies de pollution atmosphérique 2019

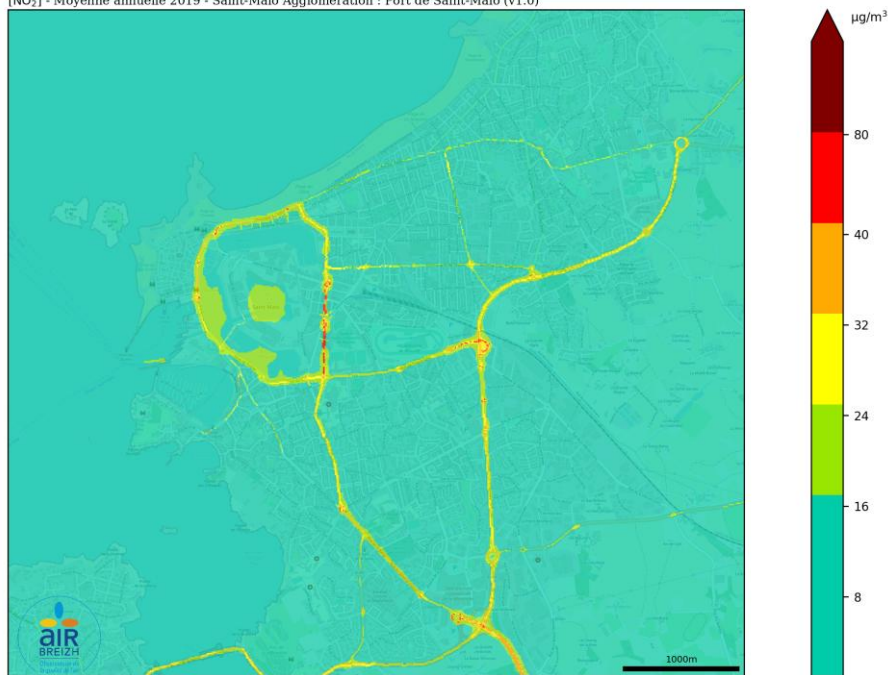
ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

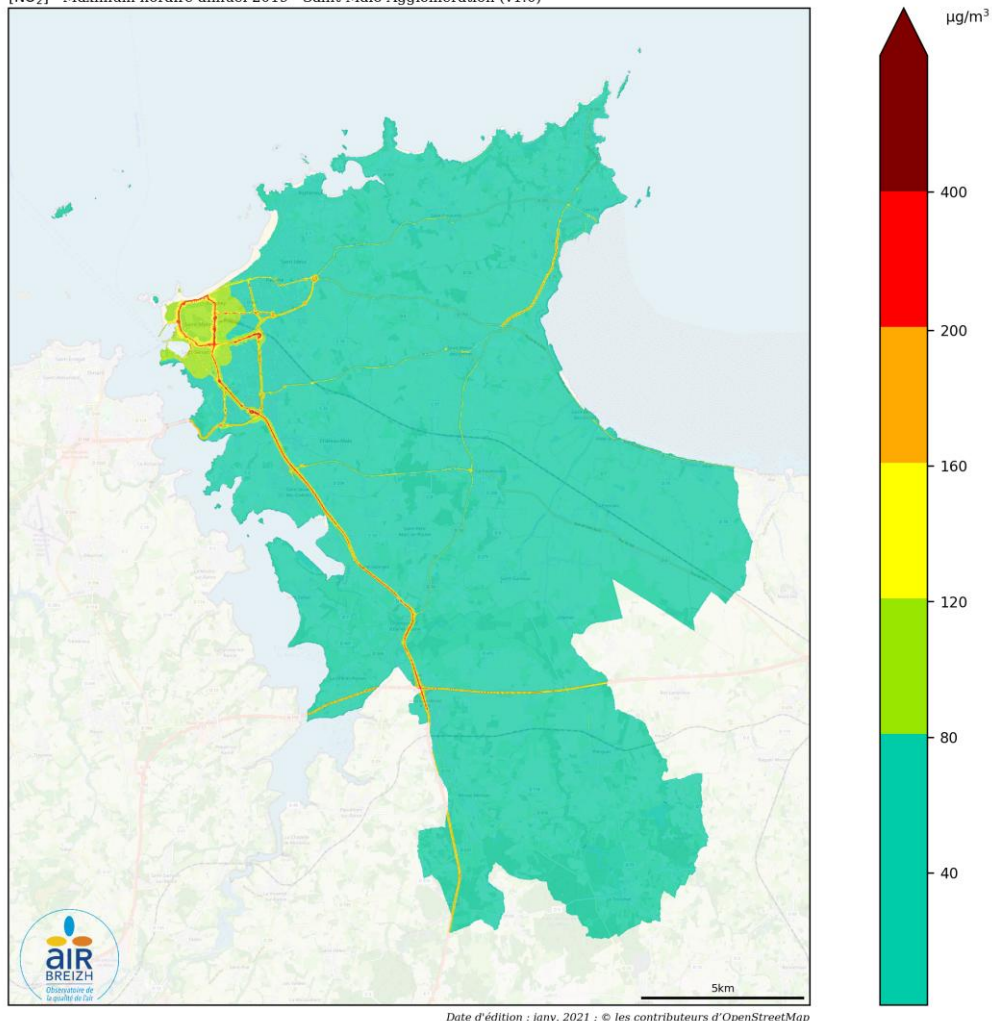
[NO₂] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

[NO₂] - Maximum horaire annuel 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

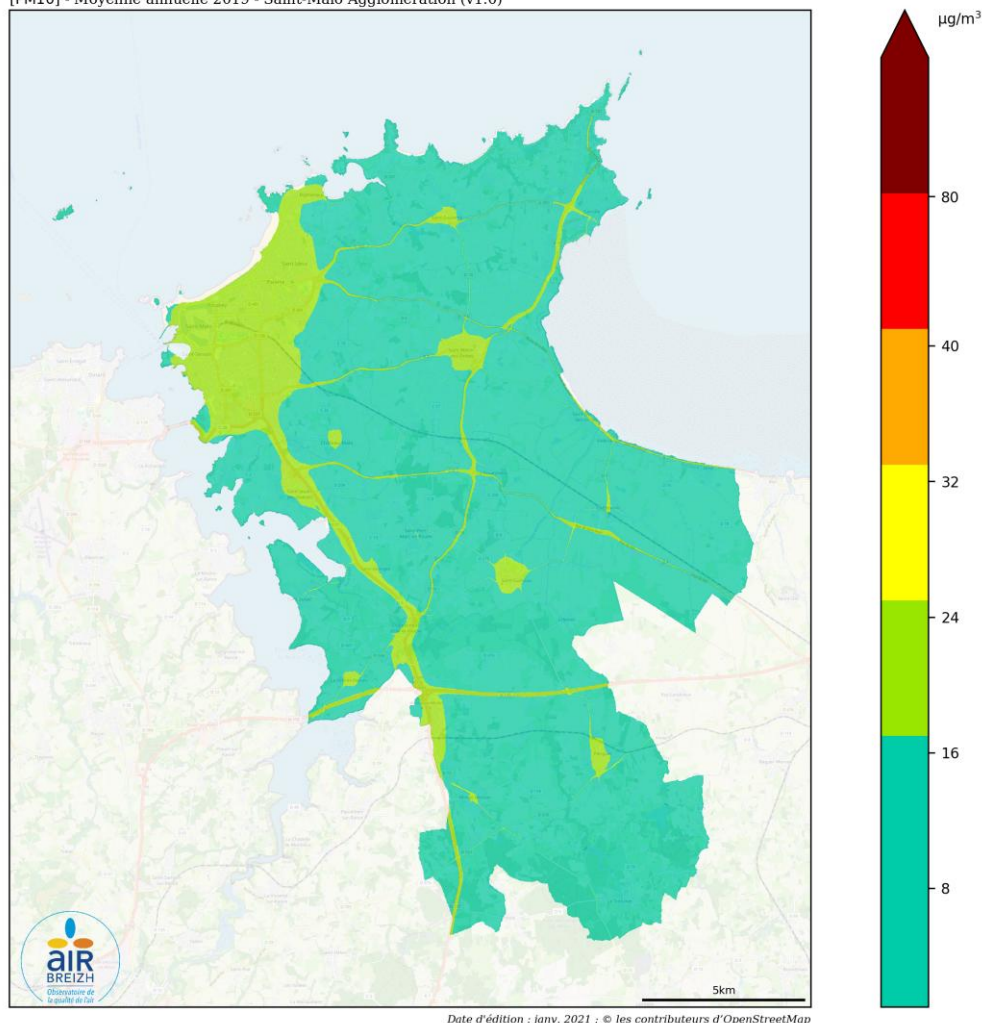
[NO₂] - Maximum horaire annuel 2019 - Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

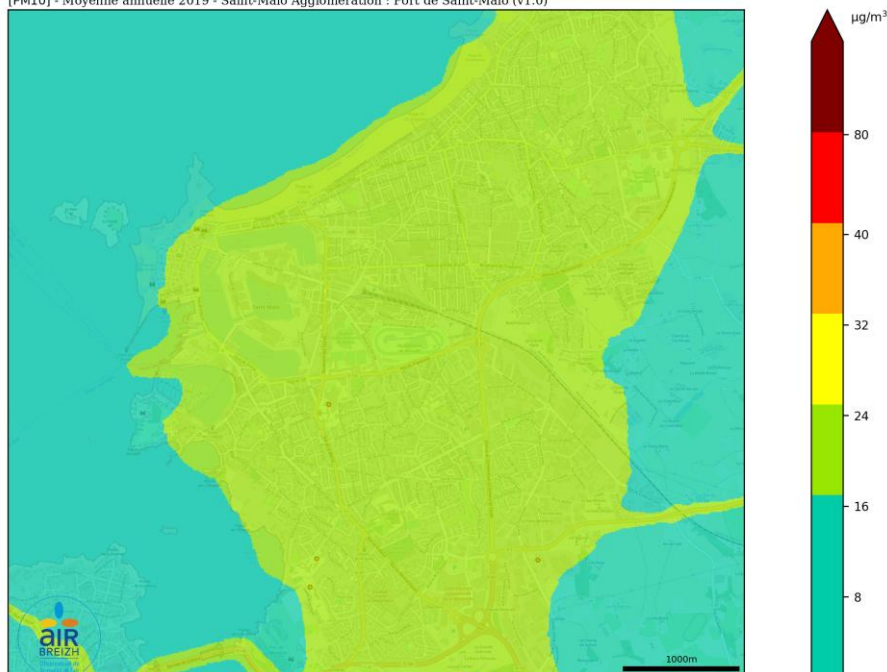
ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

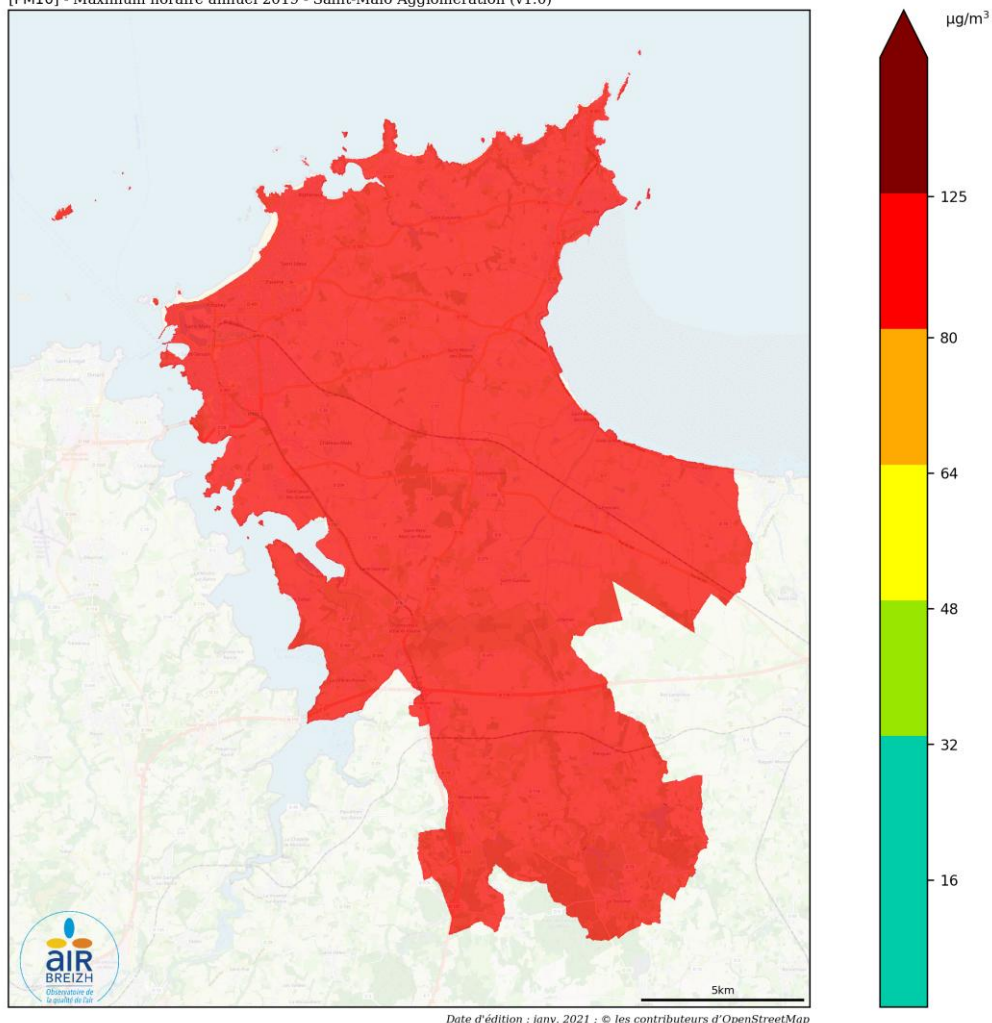
[PM10] - Moyenne annuelle 2019 - Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

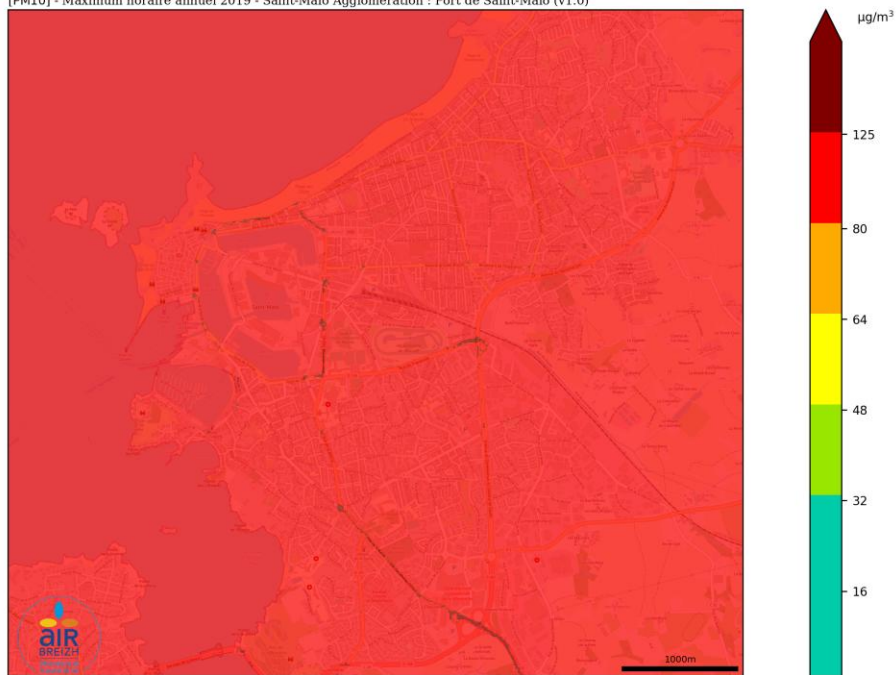
ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR : Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération

[PM10] - Maximum horaire annuel 2019 - Saint-Malo Agglomération (v1.0)



Date d'édition : janv. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap

[PM10] - Maximum horaire annuel 2019 - Saint-Malo Agglomération : Port de Saint-Malo (v1.0)



Date d'édition : fév. 2021 ; © les contributeurs d'OpenStreetMap



ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR :

Modélisation et évaluation de la pollution atmosphérique à Saint-Malo agglomération



Air Breizh
L'observatoire régional de l'air

www.airbreizh.asso.fr

3, rue du Bosphore
Tour ALMA
8^{ème} étage
35200 Rennes