

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

ETUDE

Niveaux de concentrations et composition des particules PM10 à Saint-Malo

Données de mesures de juillet 2018 à septembre 2019

Rapport version du 30/04/2020



ORGANISME
DE MESURE, D'ÉTUDE
ET D'INFORMATION SUR
LA QUALITÉ DE L'AIR
EN BRETAGNE



Air Breizh
3 rue du Bosphore - Tour ALMA 8ème étage - 35200 Rennes
Tél : 02 23 20 90 90 – Fax : 02 23 20 90 95

www.airbreizh.asso.fr

Etude réalisée par Air Breizh en partenariat avec le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'environnement) pour la réalisation des analyses chimiques



Avertissement

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments à un instant et un lieu donné, caractérisé par des conditions climatiques propres.

Air Breizh ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

Conditions de diffusion

Air Breizh est l'organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air dans la région Bretagne, au titre de l'article L221-3 du Code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 1^{er} aout 2016 pris par le Ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

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

Air Breizh réserve un droit d'accès au public à l'ensemble des résultats de mesures et rapports d'études selon plusieurs modalités : document papier, mise en ligne sur son site internet www.airbreizh.asso.fr, résumé dans ses publications, ...

Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Air Breizh. Air Breizh ne peut, en aucune façon, être tenu responsable des interprétations et travaux utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Breizh n'aura pas donné d'accord préalable.

Organisation interne – contrôle qualité

Service Etudes (rédacteur)	Relecture	Validation
O. CESBRON (Ingénieur d'études)	D. LAVOUE (Responsable service études)	G. LEFEUVRE (Directeur) A. LAPLANCHE (Président)

Sommaire

I. Contexte de l'étude	7
II. Description de la zone d'étude – la station Rocabey.....	8
II.1. La ville de Saint-Malo.....	8
II.2. Les zones d'activités, la zone portuaire et les principaux axes routiers à Saint Malo	9
II.3. La station de mesures réglementaire « Rocabey ».....	10
III. Polluant étudié : les particules PM10	13
III.1. Définition	13
III.2. L'origine des particules et leur composition chimique	13
III.2.1 Les particules primaires.....	13
III.2.2 Les particules secondaires	14
III.3. La taille des particules.....	15
IV. Résultats d'un an de mesures de particules PM10 à Rocabey	17
IV.1. Données utilisées	17
IV.2. Comparaison des systèmes de mesures des particules	18
IV.3. Synthèse des données statistiques des mesures PM10.....	19
IV.3.1 Analyse des données horaires	19
IV.3.2 Analyse des données journalières	21
IV.4. Evolution temporelle des niveaux de PM10	21
IV.5. Sources d'influence en PM10.....	23
IV.6. Synthèse : résultats d'un an de mesures à Rocabey	25
V. Composition chimique des particules PM10 à Rocabey	26
V.1. Données utilisées	26
V.2. Conditions météorologiques pendant les prélèvements	27
V.2.1 Température et précipitations.....	27
V.2.2 Direction et vitesse des vents.....	28
V.3. Recherche de sources selon la méthode du bilan de masse	29
V.3.1 Principe.....	29
V.3.2 Composés majoritaires dans les particules.....	29
V.3.3 Bilan de masse	30
V.4. Interprétation des résultats.....	31
V.4.1 Validation préalable des données d'analyses chimiques.....	31
V.4.2 Analyse globale des résultats : influence sur les PM10 en situation de fond	31
V.4.3 Valeurs de références utilisées pour l'interprétation du bilan de masse	33
V.4.4 Les matières carbonées : carbone élémentaire (EC) et matière organique (OM)	33
V.4.5 Les espèces inorganiques secondaires majeures : nitrates, sulfates et ammonium	39
V.4.6 Les espèces inorganiques primaires majeures	44
V.5. Evolution temporelle de la composition chimique des particules	48
V.6. Synthèse de la composition chimique des particules	50
VI. Répartition des particules selon leur taille	51

VI.1. Données utilisées	51
VI.2. Résultats des mesures PM2.5 et PM10 à Rocabey	52
VI.3. Synthèse de la caractérisation des sources de particules selon la taille	54
VII. Analyse des mesures PM10 lors des journées jugées atypiques à Rocabey	55
VII.1. Méthode de sélection des épisodes atypiques du 01/07/18 au 05/09/19	55
VII.2. Méthode d'analyse des épisodes atypiques	56
VII.3. Analyse des épisodes par typologie d'influence majoritaire suspectée.....	57
VII.3.1 Episodes d'origine régionale	58
VII.3.2 Les épisodes d'origine locale	61
VII.3.3 Episodes d'origine microlocale	66
VII.4. Synthèse de l'analyse des mesures PM10 lors des journées atypiques relevées à Rocabey.....	67
VIII. Mesures complémentaires des particules dans le quartier Découverte à Saint-Malo	68
VIII.1. Données utilisées	68
VIII.2. Comparaison des données horaires des deux sites à Saint-Malo	69
VIII.3. Comparaison des données journalières des deux sites à Saint-Malo	70
VIII.4. Comparaison des roses de pollutions des deux sites à Saint-Malo	71
VIII.5. Synthèse de la comparaison des données de mesures des particules sur deux sites à Saint-Malo.....	73
IX. Conclusion générale	74
Annexe I : Présentation d'Air Breizh.....	76
Missions d'Air Breizh.....	77
Réseau de surveillance en continu	77
Moyens.....	78
Annexe II : Méthode du bilan des masses.....	79
Annexe III : Paramètres pris en compte pour l'analyse des mesures PM10 lors des épisodes jugés atypiques.....	84
Annexe IV : Fiche d'analyse détaillée des épisodes atypiques	87

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation de l'unité urbaine de Saint-Malo [GéoBretagne].....	8
Figure 2 : Carte topographique [Source : Topographic map].....	8
Figure 3 : Implantation du bâti [données INSEE 2014].....	9
Figure 4 : Les zones d'activités et la zone portuaire à Saint-Malo (Association des Propriétaires & Exploitants des zones Industrielles, Commerciales & Artisanales de St Malo)	10
Figure 5 : Localisation de la station Rocabey (fond de carte OpenStreetMap)	11
Figure 6 : Bâti autour de la station Rocabey (rayon de 1 km).....	11
Figure 7 : Local de la station de mesures réglementaires Saint-Malo Rocabey	12
Figure 8 : Fractions chimiques des particules.....	15
Figure 9 : Corrélations des mesures PM10 Fidas vs BAM (données horaires) du 12 au 22/11/18 ..	18
Figure 10 : Corrélations des mesures PM10 TEOM-FDMS vs BAM (données horaires) du 12 au 22/11/18	18
Figure 11 : Distribution statistique des données horaires PM10 du 01/07/18 au 30/06/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20
Figure 12 : Profils mensuels des données PM10 du 01/07/18 au 30/06/19	21
Figure 13 : Profils hebdomadaires des données PM10 du 01/07/18 au 30/06/19.....	22
Figure 14 : Profils journaliers des données PM10 du 01/07/18 au 30/06/19	22
Figure 15 : Rose des pollutions PM10 à Saint-Malo Rocabey (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	23
Figure 16 : Rose des pollutions PM10 à Saint-Brieuc Balzac (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	23
Figure 17 : Rose des pollutions PM10 à Rennes Pays-Bas (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23
Figure 18 : Rose des pollutions PM10 à Saint-Malo Rocabey – concentrations horaires supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	24
Figure 19 : Evolutions des températures moyennes jour et cumul de précipitations jour durant les prélèvements.....	27
Figure 20 : Roses des vents par sous période [données : Météo France Dinard]	28
Figure 21 : Comparaison des concentrations en PM10 reconstituées et analysées pour chacun des échantillons	31
Figure 22 : Composition chimique des PM10 pour l'ensemble des échantillons collectés.....	32
Figure 23 : Evolution des concentrations en matière carbonée (EC et OM) au sein des PM10	34
Figure 24 : Evolution des concentrations en matière organique dans les PM10 et de la température ambiante.....	35
Figure 25 : Evolution des concentrations journalières en Lévo-glucosan dans les PM10 et de la température ambiante	36
Figure 26 : Evolution des concentrations en polyols (arabitol et mannitol) et des précipitations journalières dans les échantillons collectés	37
Figure 27 : Rose des pollutions des concentrations moyennes journalières en polyols (en ng/m^3)	38
Figure 28 : Répartition des émissions pour l'EPCI de Saint-Malo agglomération (données inventaire des émissions Air Breizh version 3 année 2016)	40
Figure 29 : Processus de formation du nitrate d'ammonium et du sulfate d'ammonium [Air Paris] .	41
Figure 30 : Evolution des concentrations en nitrates, ammonium et sulfates non marins (nss SO_4^{2-}) dans les particules PM10	42
Figure 31 : Comparaison des concentrations en ions nitrate dans les PM10 avec les températures max journalières	42
Figure 32 : Concentrations en ions sulfate, nitrate et ammonium au sein des particules PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43
Figure 33 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote à Saint-Malo (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44
Figure 34 : Evolution des concentrations en sels de mer dans les PM10 des échantillons prélevés (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	45
Figure 35 : Rose des pollutions en sels de mer sur la période d'étude (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	46
Figure 36 : Corrélations entre les concentrations en sels de mer et une autre fraction (autre que EC, OM, NH_4^+ , NO_3^- et nss SO_4^{2-}).....	47
Figure 37 : Evolution des concentrations en poussières minérales dans les particules PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	47
Figure 38 : Evolution de la composition chimique des particules PM10 durant la campagne de mesures.....	48

Figure 39 : Evolution des concentrations en PM10 et PM2.5 ainsi que du ratio PM2.5/PM10 à partir des mesures réalisées fin 2018 (à gauche) et durant l'été 2019 (à droite) à Saint-Malo Rocabey .	52
Figure 40 : Roses des pollutions pour les ratios PM2.5/PM10 durant les mesures réalisées en fin d'année 2018/début 2019 (à gauche) et durant l'été 2019 (à droite).....	53
Figure 41 : Episodes de pollution aux particules PM10 sélectionnés sur la période d'étude	56
Figure 42 : Répartition des épisodes PM10 par type d'influence majoritaire en nombre de jours ..	58
Figure 43 : Rose des pollutions en PM10 pour le 02/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59
Figure 44 : Evolution des concentrations horaires en PM10 le 2 et 3/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59
Figure 45 : Ecart relatif entre les moyennes journalières en PM10 de Saint-Malo Rocabey et la station avec la concentration la plus élevée du réseau de mesures d'Air Breizh	59
Figure 46 : Rose des pollutions en PM10 pour le 10/03/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60
Figure 47 : Evolution des concentrations horaires en PM10 le 10/03/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60
Figure 48 : Rose des pollutions en PM10 pour le 26/09/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	61
Figure 49 : Evolution des concentrations horaires en PM10 le 26/09/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	61
Figure 50 : Profils horaires des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU)	62
Figure 51 : Rose des pollutions en PM10 du 24/08/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	62
Figure 52 : Evolution des ratios PM2.5/PM10 lors de deux épisodes : le 24/08/19 (en haut) et le 30/08/19 (en bas)	63
Figure 53 : Profil horaire des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU) pour le 12/09/18	64
Figure 54 : Rose des pollutions du 12/09/18 pour les PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64
Figure 55 : Profil horaire des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU) pour le 17/10/18	64
Figure 56 : Rose des pollutions du 17/10/18 pour les PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64
Figure 57 : Profil horaire des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU) pour le 23/07/19	65
Figure 58 : Rose des pollutions du 23/07/19 pour les PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65
Figure 59 : Evolution des mesures à Saint-Malo Rocabey (PM2.5 et PM10) et Saint-Brieuc Balzac (PM10) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	66
Figure 60 : Localisation du point de mesures complémentaire 'Découverte' à Saint-Malo	68
Figure 61 : Evolution des concentrations horaires en PM10 sur les site Rocabey et Découverte à Saint Malo (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	69
Figure 62 : Comparaison des concentrations moyennes journalières en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70
Figure 63 : Ecart des concentrations en PM10 entre les sites Découverte et Rocabey à Saint-Malo (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	70
Figure 64 : Roses des pollutions PM10 des sites Découverte et Rocabey pendant la campagne du 22/11 au 11/12/18	71
Figure 65 : Rose des pollutions PM10 du 23/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72
Figure 66 : Rose des pollutions PM10 du 30/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72
Figure 67 : Rose des pollutions PM10 du 9/12/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Autres stations du réseau de surveillance d'Air Breizh utilisées pour la comparaison des résultats	17
Tableau 2 : Données utilisées pour l'analyse des mesures après un an de fonctionnement.....	17
Tableau 3 : Statistiques sur les données de mesures PM10 (horaires) à Rocabey lors des tests réalisés du 12 au 22/11/18.....	19
Tableau 4 : Synthèse des valeurs maximales et nombre de dépassement de la valeur seuil de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 du 01/07/18 au 30/06/19	21
Tableau 5 : Données utilisées pour la caractérisation des particules selon leur composition chimique	26
Tableau 6 : Données utilisées pour la caractérisation des particules selon leur taille.....	51
Tableau 7 : Distribution statistique des données PM10 à Rocabey du 01/07/18 au 05/09/19	55
Tableau 8 : Données utilisées pour l'interprétation des données de mesures à Découverte.....	68

I. Contexte de l'étude

Fin juin 2018, une nouvelle station de mesures de la qualité de l'air a été installée à Saint-Malo. Il s'agit de la station 'Rocabey' implantée dans le cimetière du même nom.

Cette station a été créée afin de **compléter la surveillance de la qualité de l'air sur l'agglomération par l'ajout de la mesure des particules PM10**. Depuis 2001, la surveillance était basée sur la mesure de l'ozone et du dioxyde d'azote au niveau de la station Courtoisville. Pour des raisons techniques, cette station a été fermée et les appareils ont été transférés sur le site Rocabey, à quelques centaines de mètres. Cette station est en fonctionnement depuis le 22 juin 2018.

Durant cette première année de fonctionnement, des concentrations en particules PM10 ponctuellement plus élevées à Rocabey par rapport à celles des stations du réseau de surveillance d'Air Breizh ont été observées. Près d'une trentaine de jours a été identifiée sur la période de juillet 2018 à septembre 2019.

Pour cette raison, Air Breizh a souhaité approfondir l'analyse des résultats des mesures PM10 après un an de fonctionnement et réaliser des prélèvements complémentaires sur la composition des particules en fin d'année 2018 et début d'année 2019.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Réaliser un bilan des mesures PM10 après un an de fonctionnement de la station Rocabey de juillet 2018 à juin 2019 (chapitre IV) ;
- Identifier les différentes influences pour les particules PM10 au niveau de la station en situation de fond (chapitre V et VI) et lors des pics (chapitre VII) ;
- Etudier les variations spatiales des niveaux à Saint-Malo à partir de mesures réalisées ponctuellement sur un autre site de mesures dans le quartier 'Découverte' (chapitre VIII).

Le présent rapport reprend l'intégralité des données disponibles et leurs interprétations.

Pour faciliter la lecture du document, une synthèse a été réalisée à chaque fin de chapitre sous la forme d'un tableau qui reprend les objectifs du traitement de données réalisés, les données utilisées et les résultats.

II. Description de la zone d'étude – la station Rocabey

II.1. La ville de Saint-Malo

La ville de Saint-Malo est située dans le département d'Ille-et-Vilaine (35), au Nord-Est de la Bretagne, plus précisément entre la baie de Saint-Brieuc à l'Ouest, et la baie du Mont-Saint-Michel à l'Est (figure 1). **Saint-Malo est largement ouvert sur le littoral, ce qui lui confère une vocation très maritime** avec la pêche, l'ostréiculture et la conchyliculture, le fret et le transport maritime. Le secteur a connu un fort développement touristique.

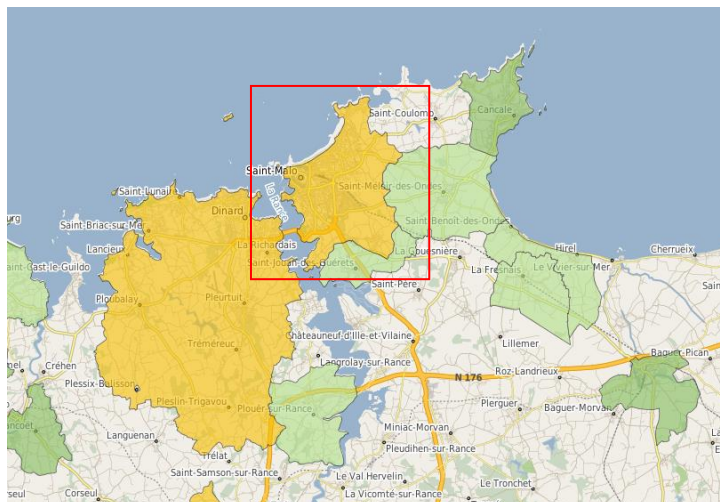


Figure 1 : Délimitation de l'unité urbaine de Saint-Malo [GéoBretagne].

La majeure partie de la commune de Saint-Malo présente une altitude comprise entre 5 et 10 mètres. Des altitudes plus élevées, de l'ordre de 40 à 50 mètres, sont observées au Sud-Ouest, au niveau du quartier de St Servan, et à l'Est à Paramé (figure 2).

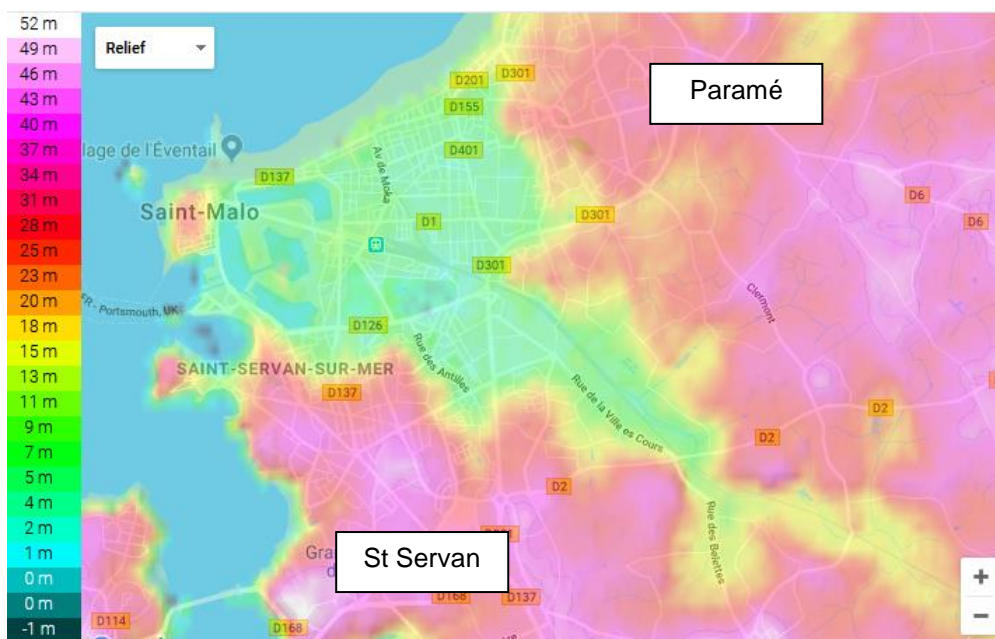


Figure 2 : Carte topographique [Source : Topographic map]

D'après le dernier recensement de l'INSEE (2017), la population de l'unité urbaine de Saint-Malo s'élève à 46 097 habitants pour une densité moyenne de 1 260 habitant/km². La population de la commune de Saint-Malo représente deux tiers de la population de l'agglomération.

Le bâti est concentré entre le littoral constituant les limites Ouest et Nord, puis la départementale D168 au Sud et l'avenue du Général De Gaulle à l'Est.

Saint-Malo s'est développé par le regroupement de trois anciennes communes à savoir : Saint-Servan, Saint-Malo intra-muros et Paramé. La densité d'habitations dans ces secteurs est la plus importante.

Des quartiers se sont développés entre ces centres urbains tels que Rocabey et plus récemment Découverte.



Figure 3 : Implantation du bâti [données INSEE 2014]

II.2. Les zones d'activités, la zone portuaire et les principaux axes routiers à Saint Malo

Il existe plusieurs zones d'activités et deux zones industrielles (dites Nord et Sud) réparties sur le territoire de la ville de Saint-Malo (figure 4).

Le port occupe une place centrale dans la ville.



Figure 4 : Les zones d'activités et la zone portuaire à Saint-Malo (Association des Propriétaires & Exploitants des zones Industrielles, Commerciales & Artisanales de St Malo)

Les spécificités du port sont les suivantes :

- situé au cœur de la ville ;
- port complet et polyvalent dans lequel toutes les activités (commerce, passagers, pêche, plaisance, construction et réparation navale) sont présentes ;
- port à flot dont les possibilités d'accès sont rythmées par le cycle et l'importance des marées.

II.3. La station de mesures réglementaire « Rocabey »

La station de mesures réglementaires de la qualité de l'air à Saint-Malo se trouve dans le cimetière de Rocabey, le long de l'avenue du 47^{ème} régiment d'infanterie.

Elle se trouve dans la partie Nord de la ville de Saint-Malo, dans le quartier Rocabey. Il s'agit d'un quartier aménagé dans un ancien marais asséché. La topographie n'est donc pas très marquée.

Le site est séparé de la Grande plage du sillon par des quartiers résidentiels dont les constructions sont de faibles hauteurs. **La distance entre le littoral et le site est de 400 mètres.**

Le port se trouve à environ 600 mètres à l'Ouest de cette station (figure 5). Les zones industrielles Nord et Sud se trouvent respectivement à 700 et 1600 mètres de la station de mesures.

Du fait de sa localisation géographique, le site de mesures se trouve sous les influences suivantes en fonction de la direction des vents (figure 5) :

- de la zone industrielle Sud par vent de Sud-Est ;
- du port et des installations industrielles avoisinantes par vent de Sud-Ouest.



Figure 5 : Localisation de la station Rocabey (fond de carte OpenStreetMap)

La densité de population dans un cercle de rayon 1 kilomètre autour de la station, est de 2760 hab/km² (cf. figure 6).

Le bâti à l'Est de la station est constitué de maisons individuelles tandis qu'à l'Ouest, l'occupation est variable : installations portuaires, immeubles résidentiels récents, équipements publics, etc.

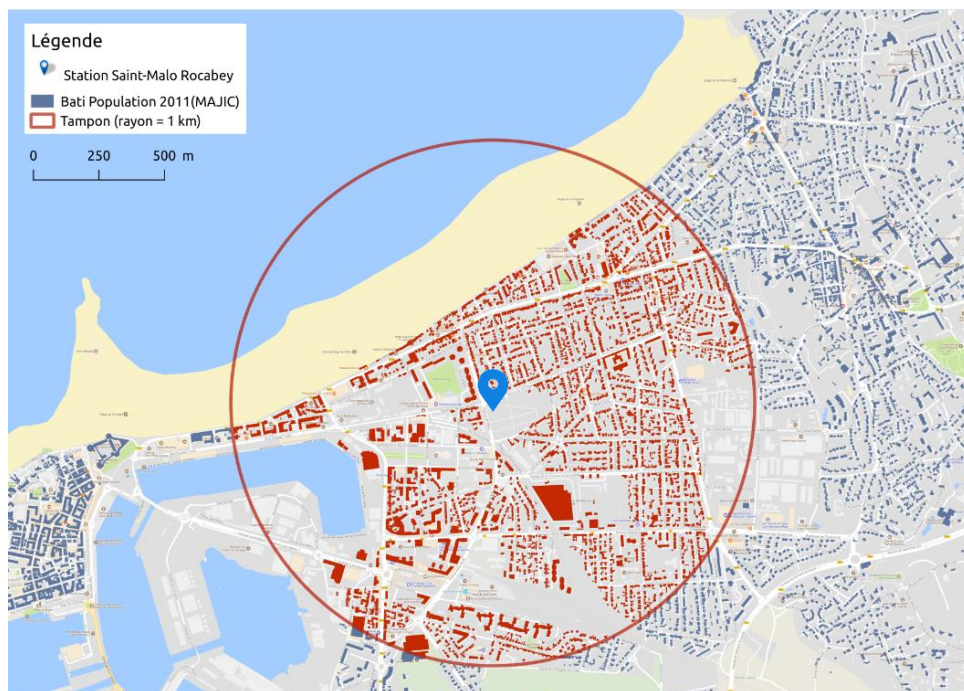


Figure 6 : Bâti autour de la station Rocabey (rayon de 1 km)

Niveaux de concentrations et composition des particules à Saint-Malo

Selon les critères du guide de classification des stations de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), il s'agit d'une station de type **périurbaine de fond** dont l'objectif est la surveillance de l'exposition de la population aux concentrations de fond dans l'air ambiant.

Les mesures des particules PM10, du dioxyde d'azote et de l'ozone ont démarré le 20/06/2018.



Figure 7 : Local de la station de mesures réglementaires Saint-Malo Rocabey

III. Polluant étudié : les particules PM10

III.1. Définition

Le terme « particules » est une expression générique qui désigne un mélange de polluants solides et /ou liquides en suspension dans un milieu gazeux. Les particules sont aussi appelées aérosols, notion qui inclut à la fois les particules et le gaz dans lequel elles se trouvent en suspension.

La taille de ces particules peut s'étendre de quelques fractions de nanomètre à une centaine de micromètres, et leur composition chimique est très variable, ce qui en fait l'un des constituants les plus complexes de l'atmosphère.

On appelle « poussières » les particules solides de dimensions et de provenances diverses pouvant rester un certain temps en suspension dans un gaz. Ce terme désigne en général les plus grosses d'entre elles.

Il existe à ce jour plusieurs manières de classer les particules : selon leur taille, leur origine ou leur composition. Ces classements sont présentés ci-après.

III.2. L'origine des particules et leur composition chimique

La complexité des aérosols atmosphériques vient en grande partie du fait qu'il existe une multitude de sources et de procédés de formation, contrairement à la majorité des polluants gazeux.

Les aérosols atmosphériques ont trois origines principales :

- Ils sont d'une part rejetés directement dans l'atmosphère, on parle d'aérosols primaires ;
- Ils peuvent d'autre part résulter de transformations chimiques à partir des polluants gazeux présents dans l'atmosphère, ce sont des aérosols secondaires ;
- Enfin, les aérosols qui se sont déposés au sol peuvent être remis en suspension.

Ces différents modes de formation déterminent la composition chimique de l'aérosol, mais aussi sa taille, et donc ses propriétés physiques et optiques.

Ainsi les sources primaires émettent généralement des particules plus grossières, tandis que les sources secondaires engendrent essentiellement les particules les plus fines.

III.2.1 Les particules primaires

Les particules primaires sont directement émises dans l'atmosphère, d'une part par les activités humaines et par des sources naturelles.

La fraction grossière des particules primaires est essentiellement formée par des procédés mécaniques tels que l'érosion. Les plus fines sont émises soit directement sous forme solide, soit sous forme de vapeur qui condense très rapidement.

Les sources naturelles sont les suivantes :

- La **source terrigène** : ces particules sont générées par l'érosion des sols sous l'action du vent.
- La **source marine** : sous l'action des vagues, des gouttelettes d'eau sont projetées dans l'atmosphère. Après évaporation de l'eau de mer, les sels marins constituent alors des aérosols.
- La **source biogénique** : l'aérosol biogénique provient de l'émission directe par les plantes de pollens, spores et autres débris végétaux.

Les sources anthropiques sont les suivantes :

- **L'agriculture** : elle concerne majoritairement les émissions de particules terrigènes issues de la mise en suspension des poussières de sols par des pratiques telles que le labourage, etc. ;

- **L'industrie** : les émissions et leur composition chimique dépendent de nombreux paramètres tels que le secteur, les procédés, les dispositifs de traitement, ...
- Le **secteur résidentiel et tertiaire**, via le chauffage (combustion du bois, du charbon et du fioul), constitue une source importante de particules en particulier PM_{2.5}.
- Les **transports**, en particulier routier, via les émissions directes (issues des moteurs de véhicules et des pots catalytiques) et indirectes via l'usure des mécanismes du véhicule (pneus, usure des freins, embrayage, ...), remise en suspension de poussières du sol et émissions dues à l'abrasion des revêtements routiers.

III.2.2 Les particules secondaires

Les particules secondaires ne sont pas émises directement dans l'atmosphère. Elles résultent de la transformation des polluants gazeux présents dans l'atmosphère, tels que le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), l'ammoniac (NH₃) et les composés organiques volatils (COV).

On distingue les aérosols secondaires inorganiques (ou particules secondaires minérales) et carbonés.

a) Les aérosols inorganiques

Les émissions naturelles ou anthropiques (combustion fossile notamment) sont des sources importantes d'émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxyde d'azote (NO_x).

L'oxydation photochimique du dioxyde de soufre peut conduire à la formation d'aérosols inorganiques secondaires que sont les sulfates, en particulier les **sulfates d'ammonium**.

De la même manière, l'oxydation du dioxyde d'azote peut entraîner la formation de nitrates, en particulier le **nitrate d'ammonium**. En présence de poussières crustales ou sels marins, on obtient des nitrates de calcium et de sodium.

Nous reviendrons dans le détail sur les conditions de formation de ces aérosols inorganiques.

b) Les aérosols carbonés

Dans la fraction carbonée, on distingue la fraction contenant du carbone élémentaire (EC) et la fraction contenant du carbone organique (OC).

Le **carbone élémentaire** est constitué à quasiment 100% d'atomes de carbone et est considérée comme chimiquement inerte. Les particules de carbone élémentaire sont émises directement dans l'atmosphère au cours des processus de combustion.

Le **carbone organique** est la fraction regroupant tous les composés organiques fonctionnalisés, soit émis directement dans l'atmosphère, soit formés in-situ par condensation ou nucléation des produits de dégradation photochimique des composés organiques volatils (COV).

La fraction OC est une matrice très complexe, constituée d'une multitude de composés différents appartenant aux grandes familles de la chimie organique que sont les alcanes, les acides carboxyliques, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les esters, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les dioxines, etc.

La figure 8 synthétise les différentes fractions chimiques des particules.

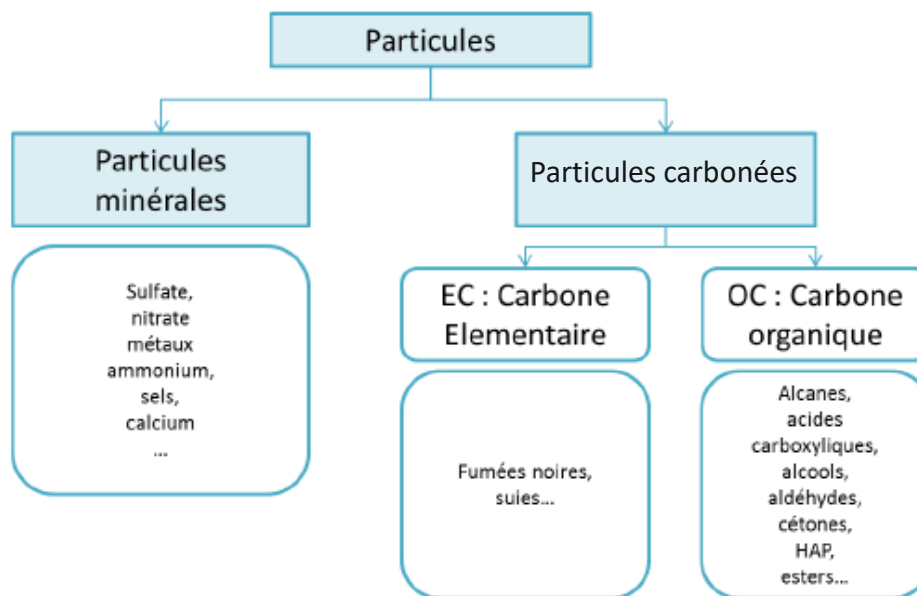


Figure 8 : Fractions chimiques des particules

La composition chimique des particules varie dans l'espace, dans le temps et en fonction de leur fraction granulométrique :

- dans l'espace, car notablement dépendante des sources d'émissions présentes sur les zones géographiques ;
- dans le temps, et ce en lien avec les diverses conditions météorologiques influençant la dispersion ou l'accumulation des polluants, les processus chimiques atmosphériques à l'origine de particules secondaires et l'intensité des sources émettrices ;
- en fonction de la classe granulométrique des particules ; si la plupart des composantes se retrouve dans les différentes fractions granulométriques, leurs parts relatives y sont très variables.

Au sein des particules, les espèces majoritaires sont le carbone élémentaire (5-15%), le carbone organique (15-25%), les nitrates (7 à 15%), les sulfates (5-20%), les sels d'ammonium (1-10%), les sels de mer (5-10%), les poussières minérales (10-20%) et l'eau.

Toutefois, la contribution relative de chacune des espèces dépend de l'origine des particules. Elle est donc variable dans le temps et selon la typologie et l'influence du site.

III.3. La taille des particules

La taille des particules est la manière la plus couramment utilisée pour leur classement. En termes de surveillance de la qualité de l'air, on distingue :

- Les particules en suspension (PM signifie « particulate matter ») :
 - o Les particules ultrafines PM 0.1 ;
 - o Les particules fines : PM 10, PM 2.5 et PM 1 ;
- Les particules sédimentables.

Le terme de particules ultrafines désigne généralement l'ensemble des particules de diamètre inférieur à 0.1 μm , aussi appelées nanoparticules. Essentiellement produites par l'homme, ces nanoparticules sont utilisées dans de nombreux procédés industriels ou applications médicales. Elles sont très peu suivies à ce jour dans l'environnement.

Les particules fines PM10 et PM2.5 sont l'ensemble des particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur respectivement à 10 et 2.5 μm . C'est sur cette catégorie de

particules que porte essentiellement la surveillance de la qualité de l'air car elles correspondent aux particules « respirables ».

Bien que les deux fractions soient à ce jour réglementées, les PM10 font l'objet de seuils journaliers (d'informations et d'alerte) contrairement aux PM2.5 qui ne disposent que d'une valeur limite annuelle. Néanmoins, ces dernières peuvent pénétrer plus profondément dans l'appareil respiratoire humain. La fraction dite « grossière » (ou « coarse ») comprise entre 2.5 et 10 μm est en partie retenue dans les voies respiratoires supérieures.

On appelle poussières sédimentables les particules qui se déposent au niveau du sol ou de toute autre surface, soit par gravité (dépôt sec), soit entraînées par la pluie ou la neige (dépôt humide). C'est leur densité et leur taille aérodynamique qui, par opposition aux particules en suspension leur confère la propriété de se déposer.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons aux particules PM10 qui sont mesurées en continu sur la station Saint-Malo Rocabey depuis fin juin 2018.

Les évolutions temporelles des niveaux de particules seront étudiées ainsi que leur composition chimique afin de tenter d'en déterminer les origines.

IV. Résultats d'un an de mesures de particules PM10 à Rocabey

L'objectif de ce chapitre est de caractériser les niveaux de particules PM10 mesurées à Saint-Malo Rocabey pendant une année sur la période du 01/07/2018 au 30/06/2019. Les concentrations et leurs évolutions sont comparées à d'autres stations de typologie identique.

IV.1. Données utilisées

Les mesures PM10 de la station de Rocabey à Saint-Malo sont comparées aux mesures des stations suivantes.

Tableau 1 : Autres stations du réseau de surveillance d'Air Breizh utilisées pour la comparaison des résultats

Station	Typologie	Distance à Rocabey	Densité de population	Spécificités
St Brieuc Balzac	Urbaine de fond	≈ 60 kms	4 733 hab/km ²	Influence maritime (distance 3 kms)
Rennes Pays-Bas	Urbaine de fond	≈ 70 kms	8 093 hab/km ²	
Guipry	Rurale nationale	≈ 90 kms	305 hab/km ²	Réseau de surveillance MERA ¹

Tableau 2 : Données utilisées pour l'analyse des mesures après un an de fonctionnement

Lieu	Station	Paramètre	Analyseur	juil.-18	août-18	sept.-18	oct.-18	nov.-18	déc.-18	janv.-19	févr.-19	mars-19	avr.-19	mai-19	juin-19
				mesures en continu											
Saint-Malo	Rocabey (périurbaine de fond)	PM10	BAM	mesures en continu											
			Teom-Fdms	12 -> 22/11											
			Fidas	12 -> 22/11											
St Brieuc	Balzac (urbaine de fond)	PM10	BAM	mesures en continu											
Rennes	Pays-Bas (urbaine de fond)	PM10	Fidas	mesures en continu											
Guipry	Service technique (rurale de fond)	PM10	Fidas	mesures en continu											

Avant l'analyse des données de mesures, nous revenons sur les différentes méthodes utilisées par Air Breizh pour la surveillance des particules dans l'air ambiant et sur les écarts possibles entre les mesures en fonction des méthodes.

¹ L'observatoire MERA, est la composante française du dispositif européen EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) de suivi sur le long terme de la pollution atmosphérique dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière à longue distance.

IV.2. Comparaison des systèmes de mesures des particules

Plusieurs appareils sont approuvés conformes par le LCSQA² pour la mesure réglementaire des particules PM₁₀ dans l'air ambiant. Ils sont basés sur des techniques de mesures différentes tels que le comptage optique, l'absorption d'un rayonnement radioactif (jauge Beta) ou encore la pesée.

Air Breizh utilise ces trois types d'appareil pour la mesure des particules dans la région :

- BAM 1020 (jauge beta) pour les stations Saint-Malo Rocabey et Saint-Brieuc Balzac ;
- FIDAS 200 (comptage optique) pour les stations Rennes Pays-Bas et Guipry ;
- TEOM-FDMS (pesée) sur les sites Rocabey puis Découverte (chapitre VIII).

Conformément à l'arrêté du 19 avril 2017, le LCSQA est chargé de suivre l'équivalence de ces différentes méthodes de mesures.

Certaines techniques de mesures peuvent être influencées par le contexte local dans lequel elles sont réalisées. Par conséquent, nous avons effectué des mesures en parallèle sur le site de Rocabey avec ces trois techniques différentes : BAM, TEOM-fdms et Fidas.

Les tests ont été réalisés pendant 10 jours du 12/11 au 22/11/18 (tableau 2). Un TEOM-Fdms et un Fidas ont été positionnés à proximité de la station Rocabey, elle-même équipée d'un BAM.

Ces essais n'ont pas la prétention de remplacer les tests d'équivalence du LCSQA qui sont basés sur un jeu de données très important pour garantir la robustesse des traitements statistiques réalisés. **En revanche, ils permettent d'approcher l'ordre de grandeur des écarts possibles entre plusieurs systèmes de mesures différents placés dans un environnement semblable.**

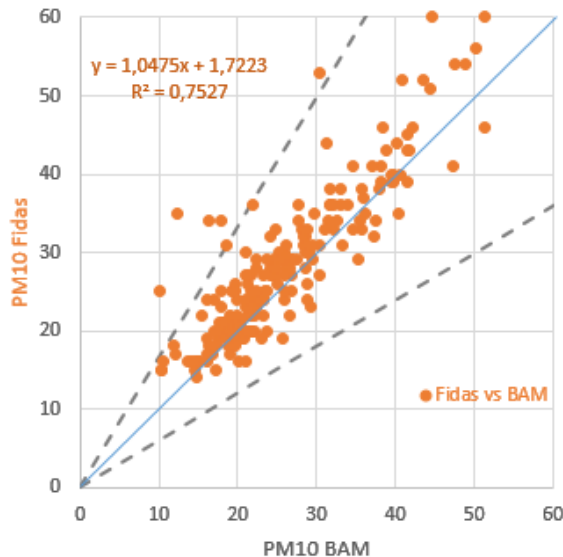


Figure 9 : Corrélation des mesures PM₁₀ Fidas vs BAM (données horaires) du 12 au 22/11/18

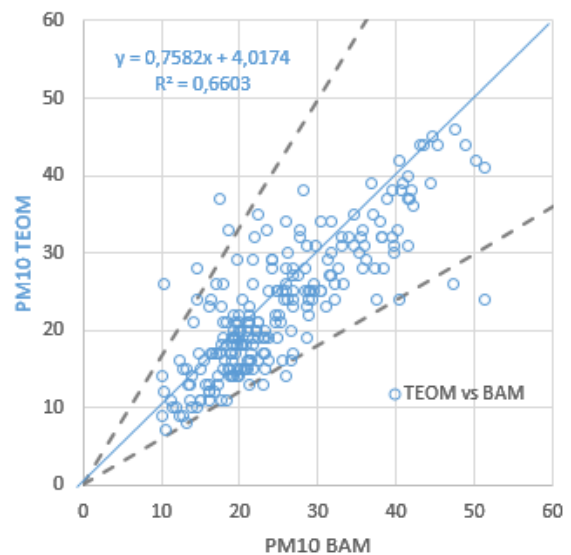


Figure 10 : Corrélation des mesures PM₁₀ TEOM-FDMS vs BAM (données horaires) du 12 au 22/11/18

Les coefficients de régression sont de l'ordre de 0,7 ce qui est satisfaisant. Les mesures Fidas sont légèrement supérieures à celles du BAM sur la période de l'essai (pente 1.05). Au contraire, les mesures du TEOM-fdms sont légèrement inférieures à celles du BAM (pente 0.76).

² LCSQA : Laboratoire Central pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (appui technique des AASQA)

Tableau 3 : Statistiques sur les données de mesures PM10 (horaires) à Rocabey lors des tests réalisés du 12 au 22/11/18

Test à Rocabey	BAM	Fidas	TEOM-FDMS
taux fonctionnement (en %)	99%	87%	97%
Q1	18,7	21,0	16,0
Moyenne	25,0	29,2	23,1
Mediane	22,6	27,0	22,0
Q3	29,8	34,0	29,0
Maximum	51,4	69,0	46,0

Sur la même période, par comparaison à la méthode de mesures BAM, les écarts sur la moyenne des méthodes Fidas et TEOM-fdms sont respectivement de +17% (4.2 µg/m³) et -8% (-2.9 µg/m³).

Ces résultats sont à considérer avec prudence en raison de la courte période de mesures en parallèle des équipements.

L'incertitude tolérée par la réglementation pour la mesure des PM10 est de 25%. Elle doit être respectée à la valeur limite soit 50 µg/m³, en moyenne journalière.

En réalité, d'après les essais réalisés par le LCSQA lors de l'approbation type des appareils, les incertitudes sur la mesure par rapport à la méthode de référence (prélèvement suivi d'une pesée différée) sont de 10% pour les BAM, 7.5% pour les Fidas, et entre 8 et 18% selon les modèles de TEOM-FDMS³.

Ces essais réalisés à partir de plusieurs techniques approuvées pour la mesure des particules montrent que des écarts de l'ordre de 20% peuvent être observés entre les méthodes malgré un environnement semblable.

IV.3. Synthèse des données statistiques des mesures PM10

IV.3.1 Analyse des données horaires

La distribution statistique des **données horaires** sur chaque point de mesures est présentée sur la figure 10 sous la forme d'un graphique 'boxplot'.

La **moyenne annuelle** de la station Rocabey à Saint-Malo est la plus élevée à savoir 20 µg/m³. **Elle est respectivement 13% et 30 % plus élevée** que celles des stations de Saint-Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas.

La technique de mesure utilisée à Saint-Malo Rocabey est identique à celle de la station St Brieuc Balzac (BAM). La station Rennes Pays-Bas est équipée d'un Fidas.

Au regard des différences constatées entre les techniques de mesures (cf. chapitre précédent), l'appareil Fidas aurait tendance à surestimer les concentrations en PM10 par rapport au BAM. La situation inverse est observée entre les moyennes de Rennes et de Saint-Malo.

Concernant la comparaison des mesures avec Saint-Brieuc, les techniques de mesures sont identiques.

Pour ces raisons, nous considérons les écarts des mesures entre Saint-Malo et les deux autres stations de Rennes et Saint-Brieuc significatifs et non liés à la méthode de mesures.

³ Rapport « Suivi de l'équivalence des analyseurs automatiques de PM10 et PM2.5 à la méthode de référence : bilan 2015-2017.

La moyenne annuelle mesurée sur la période à Saint-Malo Rocabey ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) respecte les valeurs de références réglementaires fixées dans le code de l'environnement (article R221-1) : valeur limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et l'objectif qualité ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En revanche, elle atteint la valeur recommandée par l'OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le niveau de fond sur chaque station peut être représenté par la médiane qui n'est pas influencée par les valeurs élevées.

La médiane sur le site de Rocabey est de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre 16 et $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les sites de Saint-Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas. Le niveau de fond à la station Rocabey est supérieur à celui des deux autres stations (+10 et +30%).

Enfin, par comparaison aux deux autres sites de fond urbain, les mesures à Saint-Malo Rocabey se caractérisent par de nombreuses valeurs horaires élevées qui sont représentées par les points extérieurs aux 'moustaches' (appelés outliers). Ces valeurs horaires s'étendent de 44 à $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Rocabey.

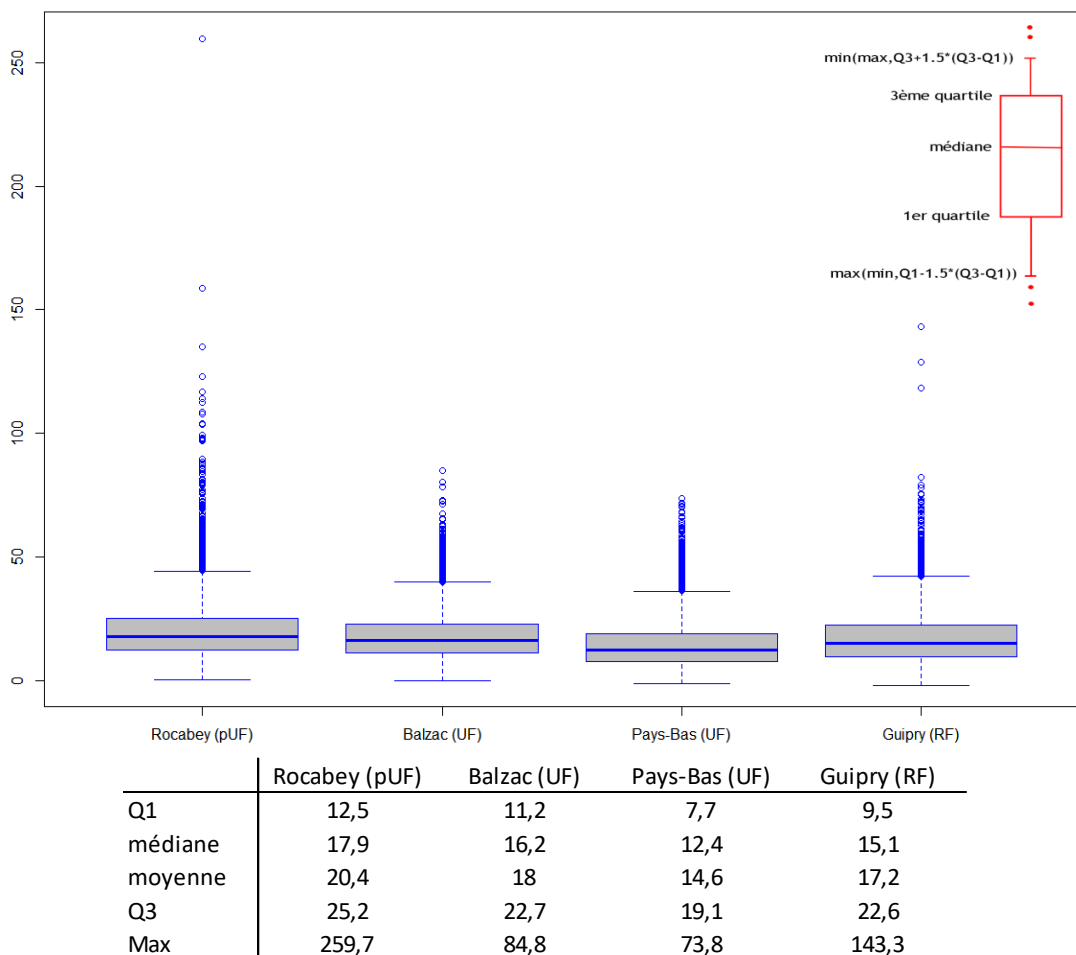


Figure 11 : Distribution statistique des données horaires PM10 du 01/07/18 au 30/06/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Les questionnements suivants découlent de cette analyse :

- Pourquoi les niveaux en PM10 sur la station Rocabey sont-ils plus élevés que sur les autres stations ?
- Quels sont les origines des pics mesurés sur la station Rocabey ?

IV.3.2 Analyse des données journalières

Des valeurs limites sont également fixées par la réglementation pour les PM10 sur un pas de temps journalier à savoir $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (article R221-1 du Code de l'Environnement). L'OMS recommande de ne pas dépasser ce seuil journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ plus de 3 jours par an.

Par ailleurs, des seuils d'information et d'alerte de la population sont fixés sur ce même pas de temps, respectivement à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il n'y a pas eu de dépassement de la valeur seuil $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la période de mesures.

Au contraire, la valeur seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière a été dépassée à plusieurs reprises. Les dépassements par site de mesures sur la période du 01/07/18 au 30/06/19 sont repris dans le tableau 4.

Tableau 4 : Synthèse des valeurs maximales et nombre de dépassement de la valeur seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 du 01/07/18 au 30/06/19

	Rocabey (pUF)	Balzac (UF)	Pays-Bas (UF)	Guipry (RF)
maximum Jour	67	48	49	55
nb moy Jr > 50	3	0	0	1
Date (valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28/12/2018 (52) 26/02/2019 (67) 27/02/2019 (59)			01/04/2019 (55)

Sur la période retenue, trois journées présentent des moyennes journalières supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site de Rocabey. Aucun dépassement n'a été observé sur les autres sites excepté le site rural de Guipry le 01/04/19.

Ces trois dépassements constatés à Rocabey ont fait l'objet d'un déclenchement des procédures d'informations et recommandations pour l'Ille et vilaine.

Ils seront étudiés dans la suite du rapport pour tenter d'en déterminer leur origine.

IV.4. Evolution temporelle des niveaux de PM10

Les profils temporels des stations Saint-Malo Rocabey, Saint-Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas ont été réalisés à partir des données horaires PM10 du 01/07/18 au 30/06/19.

- Profils mensuels :

>Comparaison à St Brieuc Balzac :

Excepté le mois d'avril où les mesures sont proches, les moyennes mensuelles de Saint-Malo Rocabey sont supérieures à celles de Saint-Brieuc Balzac d'un facteur de l'ordre de 10 à 20%.

Les variations saisonnières sont proches entre les deux sites.

>Comparaison à Rennes Pays-Bas :

Concernant Rennes Pays-Bas, l'écart entre les moyennes est plus important, compris entre 23 et 84% sur la période. Les écarts les plus élevés ont été observés en mai et juin de l'année 2019. Les tendances saisonnières sont proches entre les deux sites.

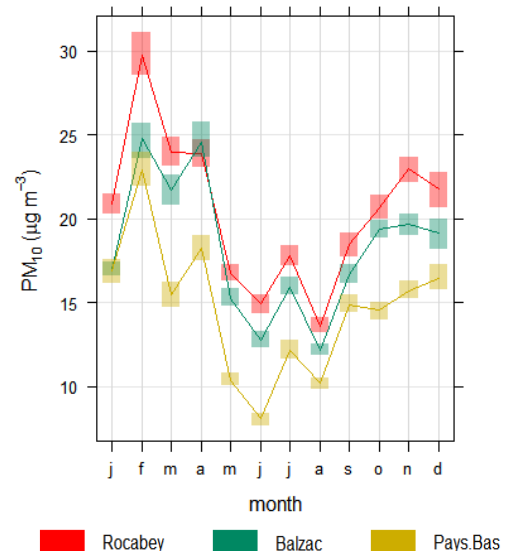


Figure 12 : Profils mensuels des données PM10

du 01/07/18 au 30/06/19

- Profils hebdomadaires

Les niveaux observés pendant les jours de la semaine évoluent de la même manière aux trois stations.

Les mesures de Saint-Malo Rocabey et Saint-Brieuc Balzac sont proches suivant les journées. Le vendredi présente les concentrations les plus élevées.

Une légère différence toutefois entre les deux sites concernant le mardi.

A Rennes, les variations des niveaux suivant les jours de la semaine sont peu significatives excepté le vendredi qui présente le niveau le plus élevé. Les concentrations observées le samedi sont proches de celles du vendredi, contrairement aux deux autres sites pour lesquels une baisse plus significative est observée le week-end.

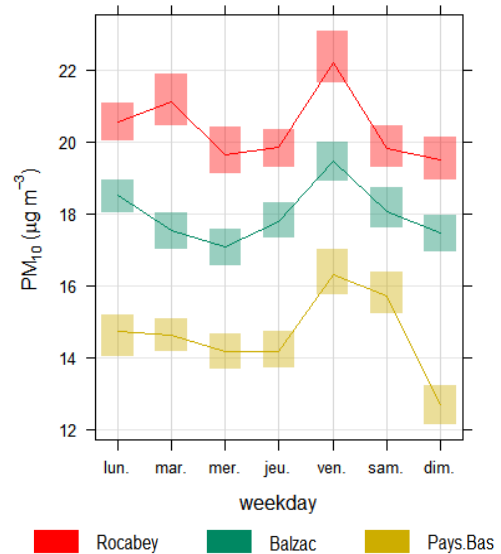


Figure 13 : Profils hebdomadaires des données PM10 du 01/07/18 au 30/06/19

- Profils journaliers

Le traitement des données de mesures sous la forme de profils journaliers montre des évolutions similaires des niveaux entre les sites tout au long de la journée, avec deux pics observés, dont l'un dans la matinée et l'autre en soirée.

Les deux pics journaliers observés pour la station Saint-Malo Rocabey sont légèrement plus élevés que ceux de Saint-Brieuc Balzac et nettement supérieurs à ceux de la station Rennes Pays-Bas.

En dehors de ces pics, on observe un niveau de fond pour la station Saint-Malo Rocabey (environ 19 µg/m³) qui est nettement plus élevé que ceux des autres stations (13 µg/m³ à Pays-Bas et 15 µg/m³ à Balzac).

Contrairement à Balzac, le niveau de fond observé en journée à Rocabey, reste élevé.

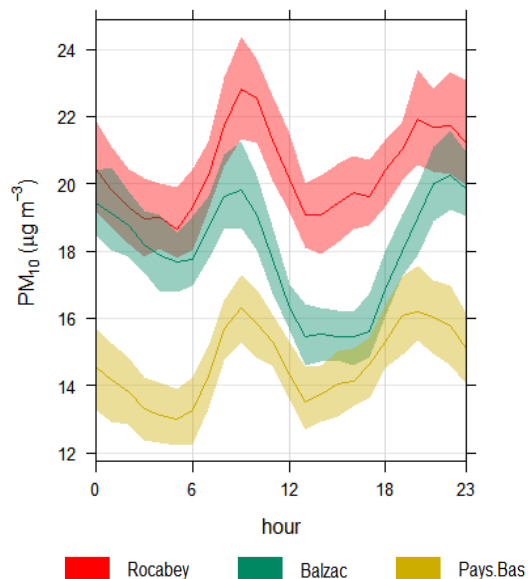


Figure 14 : Profils journaliers des données PM10 du 01/07/18 au 30/06/19

L'analyse des évolutions temporelles des niveaux de la station Rocabey comparées aux autres stations n'a pas permis d'identifier des différences notables qui auraient pu être liées à des sources de pollution différentes.

Quel que soit le pas de temps retenu, les évolutions des niveaux de PM10 sont proches entre les sites en conservant la hiérarchie entre eux.

IV.5. Sources d'influence en PM10

Pour approcher les origines possibles des émissions de particules PM10 mesurées au niveau de la station Rocabey, nous avons analysé chaque niveau horaire selon la provenance des vents. Il s'agit d'une des approches qui permet de renseigner sur les origines des masses d'air. Elle sera complétée par l'analyse des résultats de la composition chimique des particules dans la suite du rapport. Ces résultats sont représentés sous forme de **roses des pollutions** (figure 15), qui permettent de visualiser les concentrations en fonction de la provenance des vents. Les données horaires du 01/07/18 au 30/06/19 ont été utilisées.

Chaque pôle d'une rose des pollutions représente la fréquence d'occurrence des concentrations mesurées en PM10 lorsque les vents proviennent de cette direction. L'échelle de couleur permet de différencier les concentrations mesurées selon les directions. Les roses des pollutions des stations de Saint-Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas sont également présentées à titre de comparaison (figures 16 et 17).

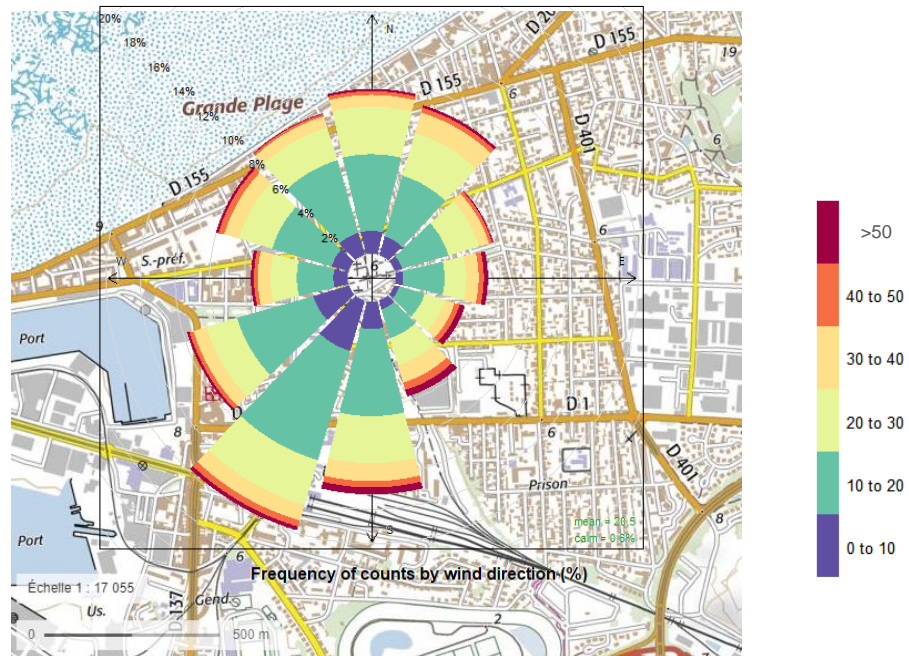


Figure 15 : Rose des pollutions PM10 à Saint-Malo Rocabey (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

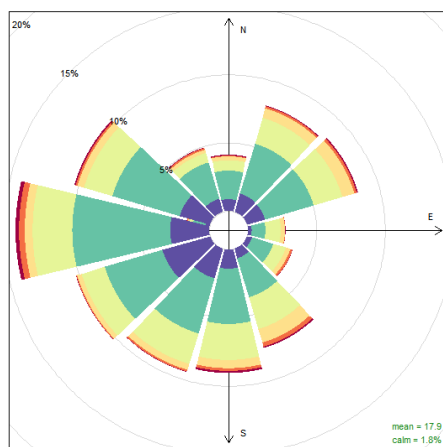


Figure 16 : Rose des pollutions PM10 à Saint-Brieuc Balzac (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

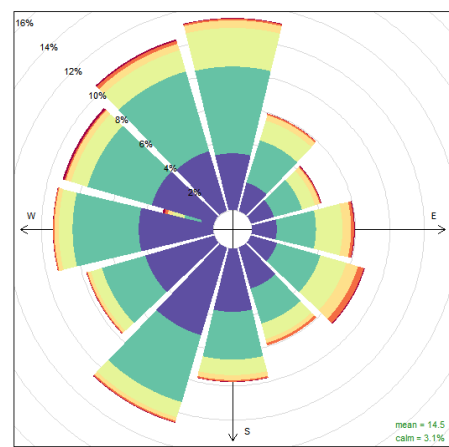


Figure 17 : Rose des pollutions PM10 à Rennes Pays-Bas (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Niveaux de concentrations et composition des particules à Saint-Malo

Durant la période de mesures, deux directions de vents majoritaires ont été observées à Saint-Malo : des vents de Sud-Ouest et des vents de Nord. Ce sont les conditions habituellement rencontrées dans le secteur.

La rose des pollutions montre que quelles que soient les directions de vents, les concentrations en particules PM10 sont semblables.

Cela confirme la typologie dite de fond du site retenu qui, selon la définition du LCSQA, ne doit pas être influencé par une seule source d'émission mais par la contribution de sources multiples.

Pour les autres sites, les concentrations sont également proches quelles que soient les directions de vents.

Pour approfondir cette analyse, nous avons sélectionné les valeurs les plus élevées pour le site Saint-Malo Rocabey et étudié la répartition de ces concentrations en fonction des vents (figure 18).

La rose des pollution ci-contre illustre la répartition des concentrations horaires en PM10 supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

On observe que les concentrations les plus élevées sont mesurées par vent en provenance des secteurs Sud-Ouest à Est soit plutôt en provenance de la ville et non du littoral.

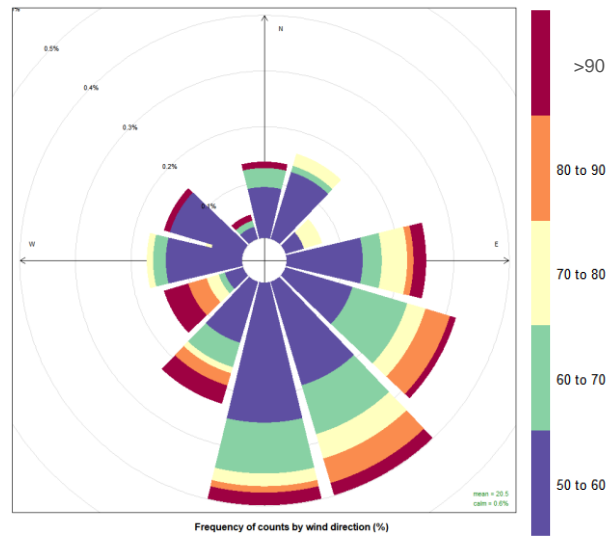


Figure 18 : Rose des pollutions PM10 à Saint-Malo Rocabey – concentrations horaires supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

IV.6. Synthèse : résultats d'un an de mesures à Rocabey

✓ Principe et objectifs :
<p>Ce chapitre était réservé à l'analyse des données de mesures PM10 de la première année de suivi à Saint-Malo Rocabey soit de juillet 2018 à juin 2019.</p> <p>L'objectif était de comparer ces résultats aux seuils réglementaires et aux mesures d'autres stations du réseau de surveillance d'Air Breizh.</p>
✓ Données utilisées :
<p>Les données PM10 du 01/07/18 au 30/06/19 de la station Saint-Malo Rocabey ont été comparées à celles des stations urbaines de fond Rennes Pays-Bas et Saint-Brieuc Balzac ainsi qu'à la station rurale de fond Guipry.</p>
✓ Enseignements :
<ul style="list-style-type: none"> - Les concentrations à Saint-Malo Rocabey sont entre 10 et 30% supérieures à celles des stations urbaines de fond Rennes Pays-Bas et Saint-Brieuc Balzac ; - Les différences de principe de mesures des appareils ainsi que l'incertitude des mesures ne permettent pas d'expliquer ces écarts ; - La moyenne annuelle calculée sur une période glissante de juillet 2018 à juin 2019 respecte les seuils réglementaires (art. R221-1 du Code de l'environnement). En revanche, elle atteint le niveau recommandé par l'OMS. - L'analyse de l'évolution temporelle des données ne met pas en évidence de profils atypiques concernant les mesures à Rocabey ; les évolutions entre les stations sont proches. - L'approche sous la forme de rose des pollutions montre que les mesures de fond en PM10 sont influencées par des sources multiples. Les concentrations les plus élevées sont le plus souvent mesurées par vents de Sud-Ouest à Est.
✓ Perspectives :
<p>L'analyse de la composition chimique des particules en situation de fond permettrait de caractériser les influences sur les niveaux de particules et expliquer les différences entre les stations de mesures.</p> <p>Les résultats sont présentés dans le chapitre suivant.</p>

V. Composition chimique des particules PM10 à Rocabey

Des prélèvements journaliers de particules PM10 sur filtres ont été réalisés de novembre 2018 à fin janvier 2019.

L'objectif de ces prélèvements était de déterminer les origines des particules mesurées à la station de mesures réglementaires Saint Malo-Rocabey à partir de leur composition chimique selon la méthode du bilan des masses.

Les résultats sont présentés dans ce chapitre.

V.1. Données utilisées

Des prélèvements journaliers de particules PM10 sur filtres suivis d'analyses de spéciation en laboratoire ont été réalisés à la station Saint-Malo Rocabey. Les analyses ont été réalisées par le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement).

Du 12/11/18 au 31/01/19, 56 échantillons journaliers ont été analysés sur deux périodes (tableau 5) :

- P1 : du 12/11 au 9/12/18 ;
- P2 : du 09/01 au 31/01/19.

L'interruption des prélèvements du 14/12 au 09/01 est liée à un problème technique.

Tableau 5 : Données utilisées pour la caractérisation des particules selon leur composition chimique

Lieu	Station	Paramètre	Analyseur	juil.-18	août-18	sept.-18	oct.-18	nov.-18	déc.-18	janv.-19	févr.-19	mars-19	avr.-19	mai-19	juin-19	juil.-19	août-19	sept.-19
				Saint-Malo	Rocabey (périurbaine de fond)	PM10	BAM	mesures en continu										
Composition chimique PM10	préleveur	1/7 -----> 30/6 12/11 --> 14/12 09/01 --> 31/01																

Les analyses de composition chimique ont été **réalisées par le laboratoire LSCE**. Les paramètres suivants ont été recherchés :

Les aérosols carbonés :

- Carbone élémentaire (EC)
- Carbone organique (OC)

Les aérosols inorganiques (espèces ioniques) :

- | | | |
|---|--|---------------------------------|
| - Chlorures (Cl ⁻) | - Oxalate (C ₂ O ₄ ²⁻) | - Potassium (K ⁺) |
| - Nitrates (NO ₃ ⁻) | - Sodium (Na ⁺) | - Magnésium (Mg ²⁺) |
| - Sulfates (SO ₄ ²⁻) | - Ammonium (NH ₄ ⁺) | - Calcium (Ca ²⁺) |
| - Phosphates (PO ₄ ³⁻) | | |

Les acides organiques :

- Acide méthylsulfonique (MSA)

Les sucres et polyols :

- | | | |
|------------|----------------|-----------|
| - Arabitol | - Levoglucosan | - Glucose |
| - Sorbitol | - Mannosan | |
| - Mannitol | - Galactosan | |

V.2. Conditions météorologiques pendant les prélèvements

Avant d'interpréter les résultats d'analyses, il est nécessaire d'étudier les conditions météorologiques pendant les mesures de composition chimique (de novembre 2018 à fin janvier 2019).

Ces données sont issues de la station MétéoFrance de Dinard, située à moins de 10 kilomètres de la station Rocabey.

Le site météo se trouve à environ 4.5 kilomètres du littoral au niveau de l'aéroport de Dinard. Bien que les conditions mesurées au niveau de cette station soient jugées représentatives de celles que l'on pourrait observer sur le site Rocabey, des phénomènes locaux ne peuvent être écartés (brise de mer par exemple).

V.2.1 Température et précipitations

La figure 19 présente l'évolution des températures moyennes journalières et le cumul des précipitations journalières du 12/11/18 au 31/01/19.

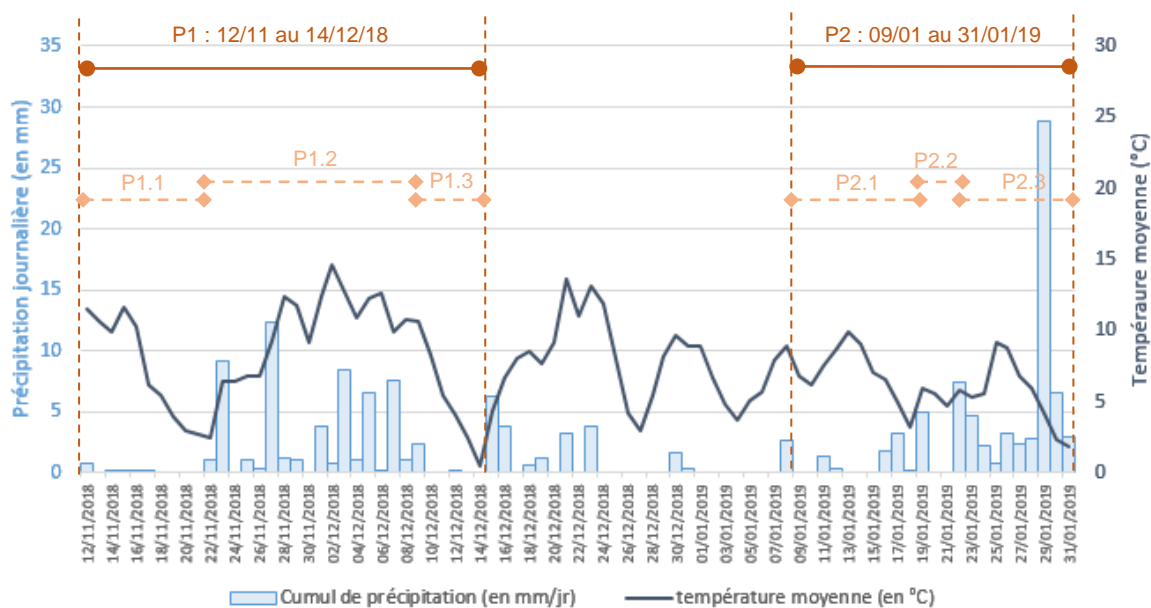


Figure 19 : Evolutions des températures moyennes jour et cumul de précipitations jour durant les prélèvements

Les deux périodes de prélèvements 'P1' et 'P2' peuvent être découpées en sous-périodes présentant des conditions proches.

- Première série de prélèvement P1 du 12/11 au 14/12/18 :

Une succession de périodes anticyclonique (températures froides et conditions de stabilité atmosphérique) puis dépressionnaire (précipitations récurrentes, vents de Sud-Ouest) a été observée à savoir :

- **P1.1 du 12/11 au 22/11/18** : Le début de la série est marqué par une absence de précipitations, et une baisse des températures journalières atteignant 2°C le 22/11/18.
- **P1.2 du 23/11 au 09/12/18** : A partir du 23/11/18, les températures augmentent et sont associées à des précipitations parfois significatives (9 mm le 23/11, 12 mm le 26/11).
- **P1.3 du 10/12 au 14/12/18** : Une nouvelle baisse des températures est observée à partir du 10/12 et ce jusqu'à la fin de la série.

Au total 59.6 mm de précipitations ont été enregistrées durant cette première série dont la majorité a été mesurée du 23/11 au 09/12 (sous-période P1.2).

Nous verrons par la suite que ces trois périodes sont associées à des directions de vents caractéristiques.

- Seconde série P2 du 09/01 au 31/01/19 :

Les conditions ont été assez proches sur l'ensemble de cette période avec des températures modérées et des précipitations régulières (**périodes P2.1 et P2.3**).

Exception sur quelques journées à mi-série présentant des températures plus faibles et une absence de précipitations (**périodes P2.2.**, les 20 et 21/01/19).

73.9 mm ont été enregistrées durant cette série dont 29 mm le 29/01/19.

Lors de l'interprétation des résultats, nous ferons référence à ces sous-périodes.

V.2.2 Direction et vitesse des vents

Les conditions de direction et vitesse des vents pour chaque sous-période identifiée précédemment sont présentées sur la figure 20.

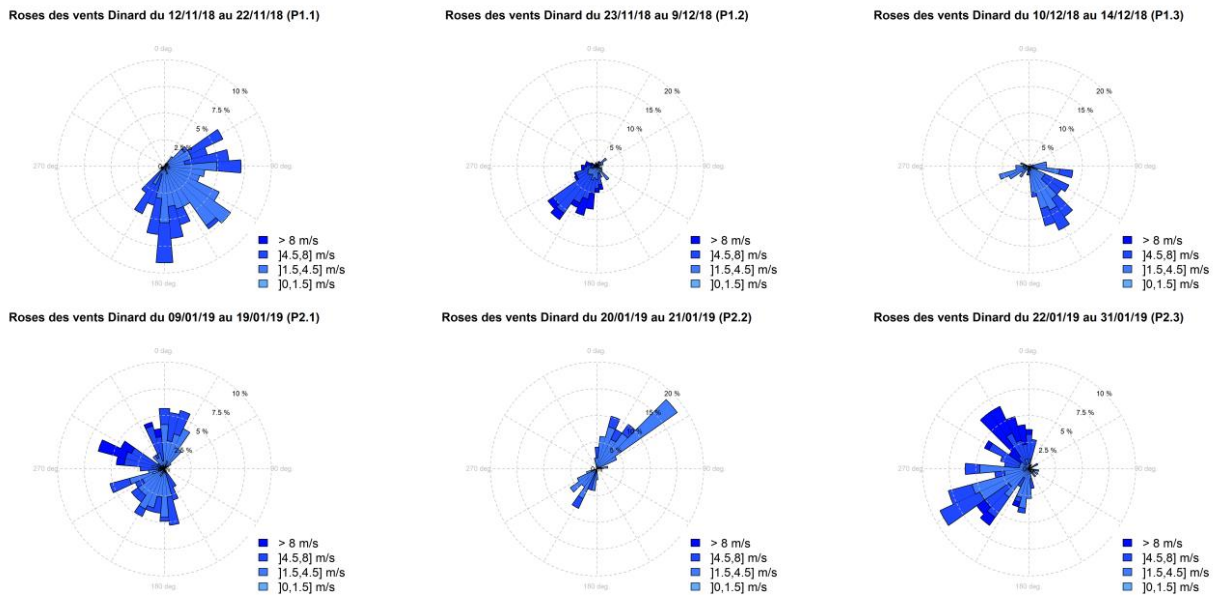


Figure 20 : Roses des vents par sous période [données : Météo France Dinard]

- Première série de prélèvement P1 du 12/11 au 14/12/18 :

Les **sous-périodes P1.1 et P1.3** ont été dominées par des vents de Sud-Est associées à des températures froides et une absence de précipitations (chapitre précédent).

La **sous-période P1.2** présente des vents de Sud-Ouest associés à des précipitations et des températures modérées (chapitre précédent).

- Seconde série de prélèvement P2 du 09/01 au 31/01/19 :

Les **sous-périodes P2.1 et P2.3** ont présenté des flux de Sud-Ouest à Nord. Des précipitations récurrentes et parfois abondantes ont été observées sur ces périodes.

La **sous-période P2.2**, de courte durée, a été dominée par des vents de Nord-Est (conditions anticycloniques).

Nous constaterons dans la suite du rapport une relation entre la composition des particules et ces conditions météorologiques par sous-période.

V.3. Recherche de sources selon la méthode du bilan de masse

V.3.1 Principe

Bien que la composition des particules varie beaucoup dans l'espace et le temps, il existe des composés dits 'majoritaires' qui forment une grande part de la masse des particules. **Ces composés majoritaires peuvent être reliés à des familles de sources** telles que, par exemple, la combustion ou encore le trafic routier, et permettent d'estimer l'impact de ces sources sur la masse totale des particules.

Les composés chimiques formant les particules peuvent avoir plusieurs sources. La classification utilisée dans la plupart des études actuelles sur le bilan des masses est un compromis entre les sources de particules recherchées et le savoir-faire actuel en matière analytique.

Les composés chimiques mesurés et la méthode du bilan des masses à partir de ces résultats sont décrits dans les paragraphes suivants.

V.3.2 Composés majoritaires dans les particules

Les composés majoritaires des particules facilement mesurables se décomposent en matière carbonée, inorganique, poussières minérales et sels marins. Dans certains cas, des facteurs de conversion sont utilisés pour estimer les proportions de certaines espèces majoritaires. Ils sont repris en annexe II.

a) La matière carbonée : EC et OM

EC (Elemental Carbon) désigne le carbone suie. C'est un composé purement primaire, apparenté à du graphite pur. **Il est uniquement émis lors des processus de combustion (source anthropique)**. EC est mesuré par méthode thermique ou thermo-optique.

OM (organic matter) désigne la matière organique contenue dans les particules. Elle est composée d'une multitude de molécules différentes. Les sources d'OM sont multiples : **anthropiques** (émissions directes par les combustions, oxydation dans l'atmosphère de composés organiques volatils émis par l'activité humaine, ...) et **naturelles** (remise en suspension de débris végétaux, oxydation dans l'atmosphère de composés organiques volatils émis par la végétation, ...). Les contributions des sources anthropiques et naturelles au sein de la matière organique sont différentes selon la période de l'année.

Les techniques actuellement disponibles ne permettent de mesurer que la masse d'atome de carbone contenu dans la matière organique. Cette masse est appelée carbone organique (OC). Or la matière organique est constituée du carbone organique et de nombreux autres atomes (H, O, N, ...).

Un facteur de conversion est donc utilisé pour estimer la matière organique à partir du carbone organique.

Les études réalisées sur le sujet montrent que ce facteur est très lié à la source et au vieillissement du carbone organique. Un facteur de 1.75, issu de la bibliographie, a été retenu⁴.

⁴ Thèse de Diogo Miguel BARROS de OLIVEIRA, Lille 1, 2017

b) Les espèces inorganiques secondaires :

Trois espèces sont majoritaires : les ions ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-) et sulfates non-marins (nssSO_4^{2-}).

Ces espèces se retrouvent principalement dans les particules sous forme de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) et sulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), formés dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux que sont l'ammoniac (NH_3), l'acide nitrique (HNO_3) et le dioxyde de soufre (SO_2).

Les sulfates non marins (nss SO_4^{2-}) sont estimés par soustraction des sulfates marins aux sulfates totaux. La masse des sulfates marins est quant à elle estimée à partir de la masse du sodium (origine maritime quasi exclusive) auquel ils sont associés⁵.

$$\text{nss SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - (0.251 \times \text{Na}^+)$$

c) Les poussières minérales et les sels marins

Les poussières minérales ou crustales (dust) peuvent être d'origine naturelle, ou considérées d'origine anthropique si elles sont liées à la remobilisation de poussières naturelles par l'activité humaine. Ces poussières sont issues de l'érosion ou l'exploitation des sols, et principalement formées d'aluminium, silicium, fer et calcium.

La masse de ces poussières est estimée à partir de la masse de calcium et de sodium comme suit⁶ : $\text{dust} = (\text{Ca}^{2+} - 0.039 \times \text{Na}^+) \times 8$

La masse de sels marins est estimée à partir du sodium⁵ comme suit : $\text{sels de mer} = 3 \times \text{Na}^+$

V.3.3 Bilan de masse

La somme des espèces citées ci-dessus, comparées à la masse totale de particules permet de réaliser un bilan de masse, c'est-à-dire de reconstruire la composition chimique des particules.

Ce bilan de masse est une étape essentielle pour mieux connaître les sources. Cet exercice fait systématiquement apparaître une part de particules non déterminée ('nd') liée à la différence entre la masse totale de particules (mesurées avec l'appareil de mesures automatiques), et la somme des masses des différentes composantes chimiques prises en compte.

La masse de particules non déterminée a essentiellement trois origines :

- La masse d'eau : il s'agit de la masse d'eau résiduelle dans les particules ;
- Les espèces non mesurées (métaux par exemple) ou estimées : la masse de chacune des espèces n'est pas toujours mesurée. C'est le cas de la masse de la matière organique, de la masse de poussières crustales, ...
- Les incertitudes de mesure sur la masse (cf. chapitre IV.2)

Cette part de particules non déterminée est généralement de l'ordre de 10 à 20% de la masse totale. Elle peut être supérieure en cas d'influence maritime, nous y reviendrons dans l'analyse des résultats.

D'autres composés analysés ne sont pas intégrés dans ce bilan de masse du fait de leur faible contribution dans la masse totale des particules. Or certains composés, bien que minoritaires, peuvent apporter des informations intéressantes sur la contribution de certaines sources. On peut citer par exemple le Lévo-glucosan, considéré comme traceur de la combustion biomasse.

Pour cette raison, une analyse par espèce chimique sera réalisée en complément du bilan de masse.

⁵ Turpin et Lim 2001, Caractérisation chimique des particules LCSQA juin 2009

⁶ Méthode retenue par l'IMT de Douai pour le suivi de la caractérisation des particules des sites MERA

V.4. Interprétation des résultats

Avant d'interpréter les résultats des analyses, plusieurs vérifications sont nécessaires⁷ pour valider la cohérence des analyses et l'utilisation des facteurs de conversion dans le contexte du site d'étude.

Les analyses chimiques ont été réalisées sur des échantillons journaliers. L'interprétation des résultats est réalisée sur ce pas de temps et de ce fait, les variations horaires sont lissées.

V.4.1 Validation préalable des données d'analyses chimiques

Les étapes de validation des résultats sont reprises en annexe II.

Seule la comparaison des PM10 mesurées avec l'appareil de référence et des PM10 reconstituées par la méthode du bilan de masse est présentée.

La comparaison des PM10 reconstituées et mesurées pour chacun des échantillons (figure 21) montre que le pourcentage de cette part de particules non déterminées varie dans le temps.

L'analyse détaillée des résultats permettra d'apporter des éléments de réponse concernant ces variations.

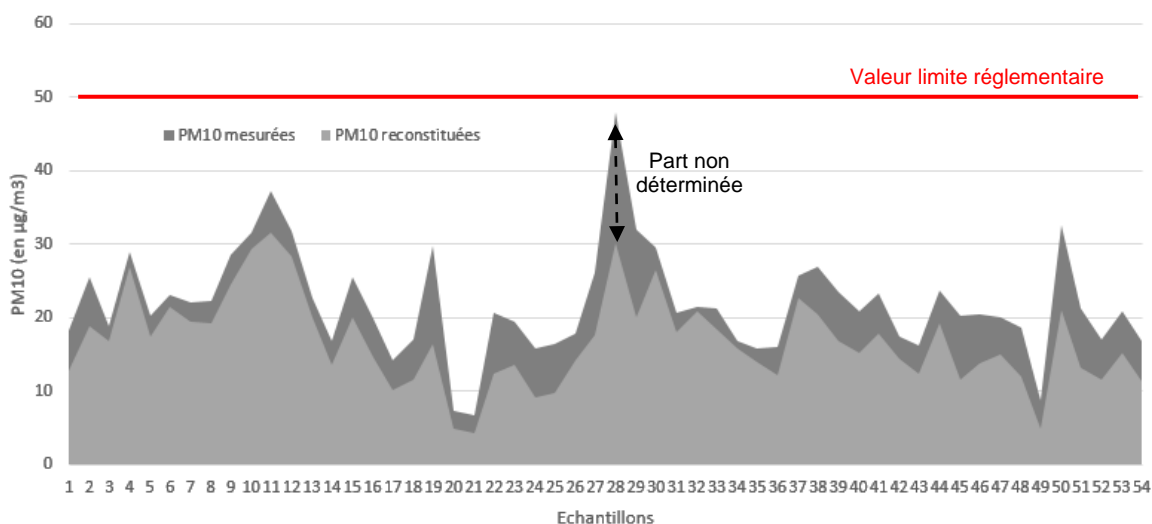


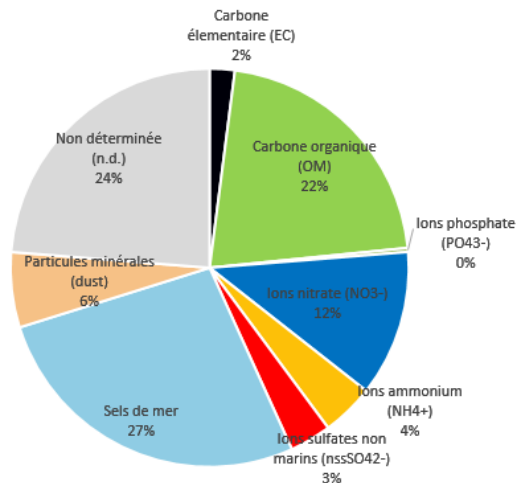
Figure 21 : Comparaison des concentrations en PM10 reconstituées et analysées pour chacun des échantillons

V.4.2 Analyse globale des résultats : influence sur les PM10 en situation de fond

La figure 22 présente la composition moyenne des particules PM10 pour les 56 échantillons collectés de novembre 2018 à janvier 2019.

⁷ Recommandations du GT LCSQA « sites ruraux » : procédure de validation des données d'analyses chimique des particules atmosphériques (21/06/2012)

Composition moyenne des PM10



en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	21,8	x				
Carbone élémentaire (EC)	0,5	2%	1,3	31,7	4%	23/11/2018
Carbone organique (OM)	4,7	22%	13,4	31,7	42%	23/11/2018
Ions Phosphate (PO43-)	0,1	0%	0,6	31,7	2%	23/11/2018
Ions Nitrate (NO3-)	2,6	12%	9,6	31,6	30%	21/11/2018
Ions Ammonium (NH4+)	0,9	4%	3,8	31,6	12%	21/11/2018
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	0,7	3%	3,1	29,0	11%	15/11/2018
Sels de mer	6,0	27%	29,3	48,0	61%	09/12/2018
Particules minérales (dust)	1,4	6%	5,5	29,0	19%	15/11/2018
non déterminée (n.d.)	5,3	24%	17,8	48,0	37%	09/12/2018

Figure 22 : Composition chimique des PM10 pour l'ensemble des échantillons collectés

La **matière carbonée** (EC+OM) représente 24% des échantillons dont : 22% de carbone organique OM et 2% de carbone élémentaire. La forte contribution de la matière organique dans la masse des PM10 indique l'influence des émissions de chauffage.

Les **sels de mer** occupent également un quart de l'échantillon (27%) en moyenne sur la campagne. Leur variabilité dans les particules est importante (max $29.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 9/12/18 soit 61% de la masse des particules).

Les ions inorganiques secondaires représentent 20% de l'échantillon. Ils sont dominés par les ions **nitrate** (NO_3^-).

Les ions phosphate (PO_4^{3-}) sont très peu représentés dans les PM10 : au maximum 2% de la masse des PM10.

Enfin, les **poussières minérales** (dust) sont également peu représentées dans les PM10 (6%) avec de légère variation (max 19% de la masse).

La part non déterminée dans les particules représente en moyenne 23% de la masse des PM10 ce qui est légèrement supérieur à ce que l'on peut observer habituellement dans un bilan de masse. Une partie de cette masse indéterminée serait attribuable aux sels marins. Nous y reviendrons dans l'analyse détaillée des résultats.

En moyenne sur la campagne, la composition des particules PM10 durant la campagne est conforme aux résultats attendus sur un site urbain de fond.

Une analyse fine de chaque espèce est toutefois nécessaire pour étudier les variabilités possibles et les influences sur les niveaux mesurés.

Avant cela, les enseignements suivants sont à souligner :

- La part significative des sels de mer et leur variabilité importante ;
- La faible contribution des ions phosphate et leur faible variabilité.

Commentaire : en 2017, Air Breizh a conduit une campagne de prélèvement des retombées de particules suivie d'une caractérisation chimique. Celle-ci avait notamment mis en évidence la présence de produits phosphatés dans les échantillons prélevés en sites urbains et notamment à Rocabey. Il s'agissait des particules sédimentables (taille allant de quelques microns jusqu'à l'échelle millimétrique) contrairement à la présente étude basée sur la mesure des particules fines PM10.

V.4.3 Valeurs de références utilisées pour l'interprétation du bilan de masse

Les résultats sont interprétés par famille dans les chapitres suivants et comparés aux quatre références suivantes :

[1] *Variation spatio-temporelle des espèces chimiques majeures et de composés traces des PM10 en France Métropolitaine [LCSQA 2017]*

Il s'agit d'analyses de la composition chimique des PM10 collectées sur 21 sites de mesures français de 2012 à 2016 dont 5 sites de fond rural, 3 sites en vallées alpines, 2 sites trafic et 11 sites de fond urbain. La majorité des prélèvements a été réalisé sur les particules PM10 (seuls 3 sites de fond rural). Concernant les sites urbains de fond, ils ont principalement été réalisés dans des zones urbaines de taille supérieure à celle de Saint Malo. Les résultats sont présentés en moyenne saisonnière.

[2] Résultats des analyses de composition chimique des particules PM2.5 collectées pendant la campagne sur le site rural national de Guipry (35) intégré au dispositif de surveillance régionale d'Air Breizh ainsi qu'à l'observatoire MERA pour le suivi des polluants atmosphériques sur de longues distances⁸.

Les résultats de ce suivi doivent être interprétés avec prudence puisqu'il s'agit de prélèvements réalisés sur la fraction PM2.5 des particules et que la distribution des espèces est différente selon les fractions collectées.

[3] *Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers (86) [Atmo Poitou Charente 2015-2016]*

Il s'agit de prélèvements réalisés en 2015 sur un site de fond urbain à Poitiers : Poitiers Centre.

[4] *Caractérisation de la composition chimique des particules [LCSQA décembre 2010]*

Des prélèvements sur les fractions PM10, PM2.5 et PM10-PM2.5 (fraction grossière) ont notamment fait l'objet d'analyses chimiques.

V.4.4 Les matières carbonées : carbone élémentaire (EC) et matière organique (OM)

Les particules carbonées sont constituées de matière organique (OM), de carbone élémentaire (EC), et d'espèces minérales (tel que le carbonate de calcium).

Le carbone minéral n'est généralement pas utilisé dans les études de sources, en raison notamment de la difficulté de mesurer les carbonates et de leur faible concentration dans l'air ambiant.

a) *Le carbone élémentaire (EC)*

Le carbone élémentaire, émis directement dans l'atmosphère par les processus de combustion (transport, chauffage et émissions industrielles), présente des variations saisonnières marquées en lien avec les conditions météorologiques et l'intensité des sources de combustion et notamment du chauffage résidentiel. Les valeurs maximales sont rencontrées en hiver ; période choisie pour la présente campagne.

La moyenne de carbone élémentaire dans les PM10 des échantillons prélevés à Saint-Malo est de 0,5 µg/m³ (max. 1,3 µg/m³) représentant une faible part au sein des PM10 (2% en moyenne, max 4%).

Durant la campagne, les variations des concentrations pour le carbone élémentaire sont peu sensibles (figure 23).

⁸ <https://www.lcsqa.org/fr/actualite/mera-observatoire-national-mesure-evaluation-zone-rurale-pollution-atmospherique-longue-di>

D'après l'étude conduite par le LCSQA [1], les concentrations relevées au sein des PM10 sur des sites urbains à cette période de l'année, oscillent entre 1 et 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations peuvent atteindre jusqu'à 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les vallées alpines.

A titre de comparaison dans la région, la concentration moyenne relevée en carbone élémentaire dans les PM2.5 pour le site rural de Guipry était de 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la même période avec une valeur maximale de 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les concentrations en carbone élémentaire relevées lors de la période semblent donc correspondre aux normales saisonnières.

b) La matière organique (OM)

La matière organique est émise soit directement dans l'atmosphère via des sources anthropiques (combustion du trafic routier notamment) et naturelles (débris de végétaux, pollen, etc.) soit à partir de mécanismes de transformations secondaires impliquant notamment des composés organiques volatils (COV).

Elle est constituée d'une multitude d'espèces chimiques, dont le nombre et les concentrations individuelles sont impossibles à quantifier. Les concentrations en matière organique sont donc estimées à partir de la mesure de la masse de carbone (OC) - cf. chapitre V.3.2.a

La matière organique présente théoriquement des **variations temporelles marquées** avec des concentrations maximales en hiver en raison d'une plus forte intensité de leurs sources d'émissions telle que la combustion biomasse.

La moyenne du carbone organique relevée durant la campagne hivernale à Saint-Malo est de 4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 22% de la masse des PM10)

Les concentrations les plus élevées en carbone organique ont été relevées en début de campagne, plus précisément du 20/11 au 24/11/18 avec un maximum de 13.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atteint le 23/11 soit 42% de la masse des PM10 (cf. figure 23).

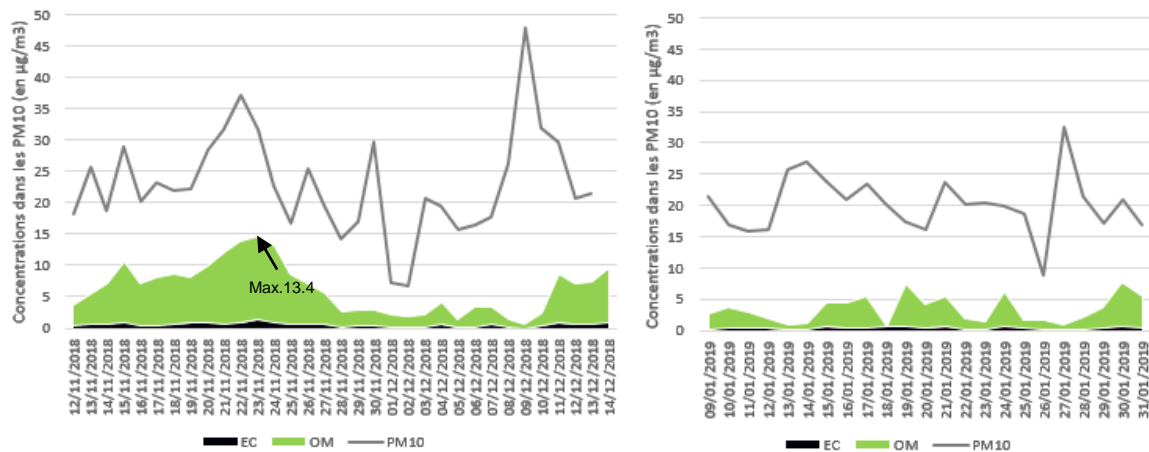


Figure 23 : Evolution des concentrations en matière carbonée (EC et OM) au sein des PM10

Les évolutions des concentrations en carbone organique sont fortement liées aux conditions météorologiques. Les **plus fortes teneurs en carbone organique ont été mesurées en fin de période P1.1 ayant présenté des conditions anticycloniques** (températures faibles et des vents de Sud-Est).

Ces périodes sont souvent associées à un abaissement de la hauteur de la couche de mélange atmosphérique entraînant une moins bonne dispersion des émissions.

La figure 24 présente les évolutions corrélées des concentrations en carbone organique dans les PM10 et de la température ambiante.

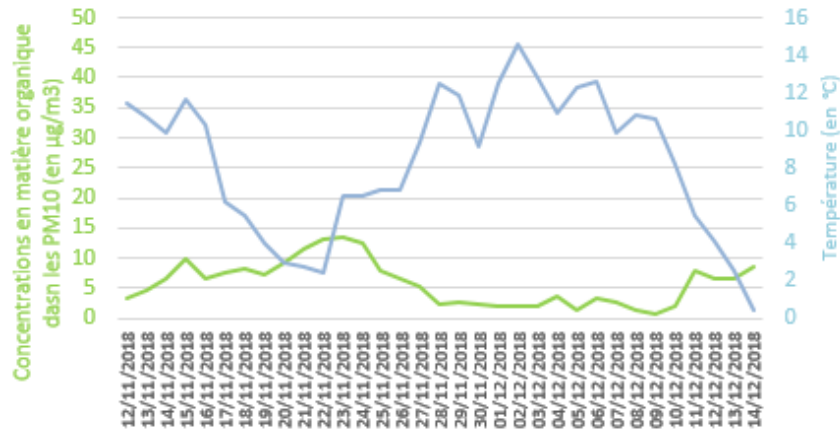


Figure 24 : Evolution des concentrations en matière organique dans les PM10 et de la température ambiante

Ces concentrations plus élevées en matière organique sont donc à mettre directement en relation avec une augmentation des émissions du chauffage à cette période et des conditions météorologiques moins dispersives.

Les concentrations en carbone organique dans les prélèvements de PM10 réalisés en milieu urbain dans d'autres secteurs géographiques oscillent entre 4 et 7 µg/m³ en période hivernale [1]. La concentration relevée sur les PM2.5 sur la même période sur le site de Guipry est identique à celle relevée à Saint-Malo (moyenne de 4.7 µg/m³).

En moyenne sur la période, les teneurs en matière organique dans les PM10 mesurées à Saint-Malo sont cohérentes avec les mesures réalisées sur d'autres zones géographiques.

En revanche, ponctuellement, des valeurs élevées ont été observées, ce qui témoigne d'une influence marquée sur le territoire des émissions du chauffage (source majoritaire au sein de la matière organique à cette période).

Au sein de la matière organique, l'analyse de certains composés peut permettre de préciser l'origine des sources d'émissions. Il s'agit par exemple :

- De certains polyols (mannitol, glucose, arabitol) et acide organique (MSA) qui sont reconnus comme traceurs **d'émissions biogéniques primaires** (naturelle) ;
- Des monosaccharides anhydrides (lévoglucosan, mannosan, galactosan) qui sont des traceurs spécifiques de la **combustion biomasse (anthropique)**.

Ces composés ont été recherchés dans les échantillons collectés. Leurs concentrations et évolutions durant la campagne sont présentées dans le chapitre suivant.

c) Marqueurs au sein de la matière organique :

- ✓ **Le levoglucosan : marqueur de la combustion de biomasse**

Les prélèvements réalisés à Saint-Malo montrent que **les concentrations en Lévo-glucosan sont plus élevées lorsque les températures diminuent** (figure 25) en lien avec l'augmentation des émissions du chauffage au bois.

La concentration moyenne relevée durant la période est de 295 ng/m³. La valeur maximale de 1310 ng/m³ a été relevée le 24/11/18, par vent de Sud/Sud-Est.

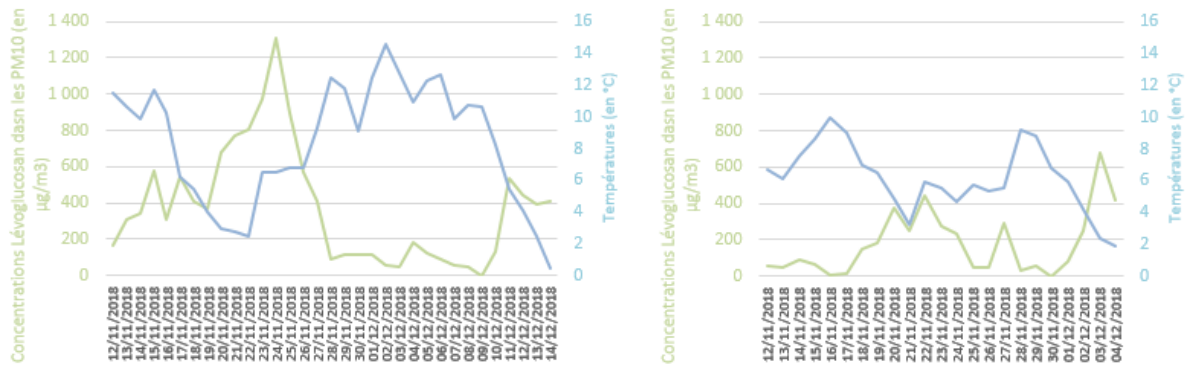


Figure 25 : Evolution des concentrations journalières en Lévo-glucosan dans les PM10 et de la température ambiante

Les sucres ne sont pas mesurés dans les particules sur le site rural de Guipry.

L'étude nationale réalisée par le LCSQA [1] révèle des taux compris entre 300 et 1300 ng/m³ en période hivernale (moyenne saisonnière) sur des sites de fond urbain, allant jusqu'à 3000 ng/m³ en vallée alpine.

Les concentrations en Lévo-glucosan relevées à Saint-Malo traduisent un impact marqué de la combustion de biomasse sur le territoire pendant les périodes de faible température, et par vents de Sud/Sud-Est.

✓ **Les polyols (arabitol et mannitol) : marqueurs des émissions biogéniques primaires**

Les polyols sont dans l'état actuel des connaissances, considérés comme **traceurs des émissions biogéniques primaires** liées aux spores fongiques, grains de pollens et débris de plantes.

De par leurs sources d'émissions, les concentrations maximales sont souvent observées en été et en automne.

Les prélèvements réalisés à Saint-Malo révèlent une variabilité assez importante des niveaux de polyols (figure 26). Les concentrations les plus élevées ont été observées durant la 1^{ère} série de prélèvement du 12/11 au 14/12/18.

La moyenne sur l'ensemble de la période a été de 25,3 ng/m³.

La valeur maximale a été enregistrée le 6/12/18 à savoir 98 ng/m³ pour la somme des espèces arabitol et mannitol.

Ces composés ne sont pas suivis sur le site rural de Guipry.

Dans l'étude du LCSQA [1], les polyols ont été calculés à partir des concentrations de **trois composés** (contre deux à Saint-Malo) : l'arabitol, le sorbitol et le mannitol.

Les niveaux moyens relevés en hiver sur les sites de fond urbains sont compris entre 10 et 30 ng/m³. En été et automne, les concentrations oscillent entre 20 et 80 ng/m³ en moyenne. Il s'agit des saisons où les concentrations sont les plus élevées.

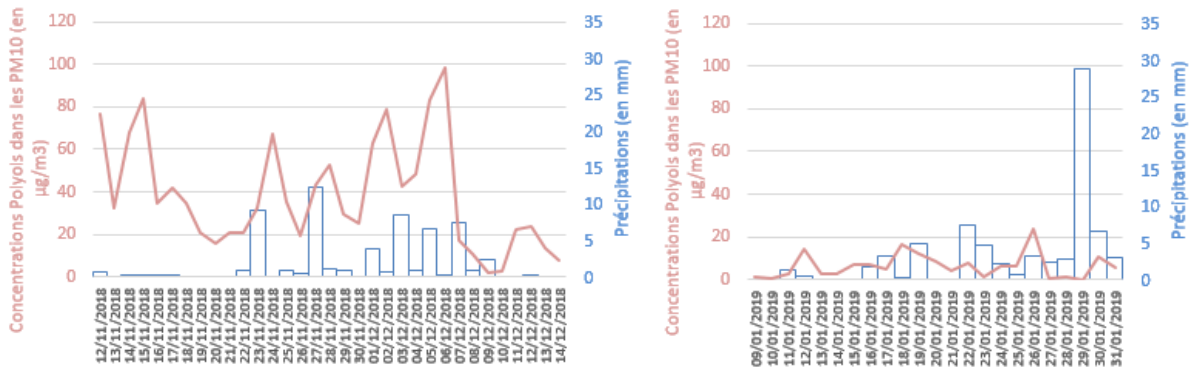


Figure 26 : Evolution des concentrations en polyols (arabitol et mannitol) et des précipitations journalières dans les échantillons collectés

Durant la seconde série de prélèvements (à droite figure 26), les concentrations en polyols dans les PM10 ont été très faibles en lien possible avec les précipitations récurrentes à cette période.

Durant la première série de prélèvements (à gauche figure 26), la variabilité des niveaux a été importante et ce malgré des précipitations récurrentes notamment en milieu de période ce qui est plus étonnant.

Différentes hypothèses pourraient expliquer ces variations à la fois entre les deux séries de prélèvements et au sein de la première série : l'état de développement de la végétation différent entre les deux séries (décomposition des plantes en novembre, début décembre), d'éventuels apports supplémentaires en lien avec des opérations de déchargements/manipulation de produits végétaux sur le port.

Les prélèvements réalisés par Air Breizh en 2017 dans le cadre d'une étude de caractérisation des retombées de particules sédimentables et la recherche de sources⁹ avait permis de montrer que certains produits manipulés au port, pouvaient être transportés jusqu'au site de Rocabey (les tourteaux de tournesol notamment).

Concernant cette dernière source suspectée, nous avons corrélé les conditions de vents avec les concentrations en polyols pour voir si les niveaux enregistrés étaient influencés par la provenance des vents.

La rose des pollutions de la figure 27 montre que les concentrations journalières en polyols sont clairement influencées par les directions des vents.

Ainsi les concentrations moyennes journalières sont plus élevées lorsque les vents sont issus du Sud-Ouest soit en provenance du port.

Au contraire, on constate par exemple que les vents de Nord-Est (pourtant seconde direction majoritaire pendant les mesures), ne sont pas porteurs de concentrations importantes en polyols.

Des corrélations avec l'activité exercée sur le port ont été réalisés pour les jours suivants ayant présenté des pics de concentrations en polyols : jeudi 15/11/18, samedi 24/11/18, mercredi 28/11/18, dimanche 2/12/18, jeudi 6/12/18.

Pour trois de ces dates, des navires à quai pour chargement/déchargement de végétaux ont été recensés (données communiquées par l'exploitant du port) à savoir :

- Du 22 au 28/11/18 : navire avec 2450 tonnes de tourteaux de colza,
- Du 4 au 6/12/18 : navire avec 2900 tonnes de drêche de maïs,
- Du 6 au 11/12/18 : navire avec 2450 tonnes de tourteaux de colza.

⁹ Evaluation des niveaux de particules à Saint-Malo – Recherche de sources campagnes de mesures 2017 (Air Breizh juin 2018) – disponible sur le site internet d'Air Breizh

Les pics de concentrations en polyols relevés sur le site Rocabey en novembre/décembre 2018 pourraient donc s'expliquer par ces opérations de manipulation de produits végétaux au niveau du port.

Par ailleurs, des remises en suspension de particules sont également possibles.

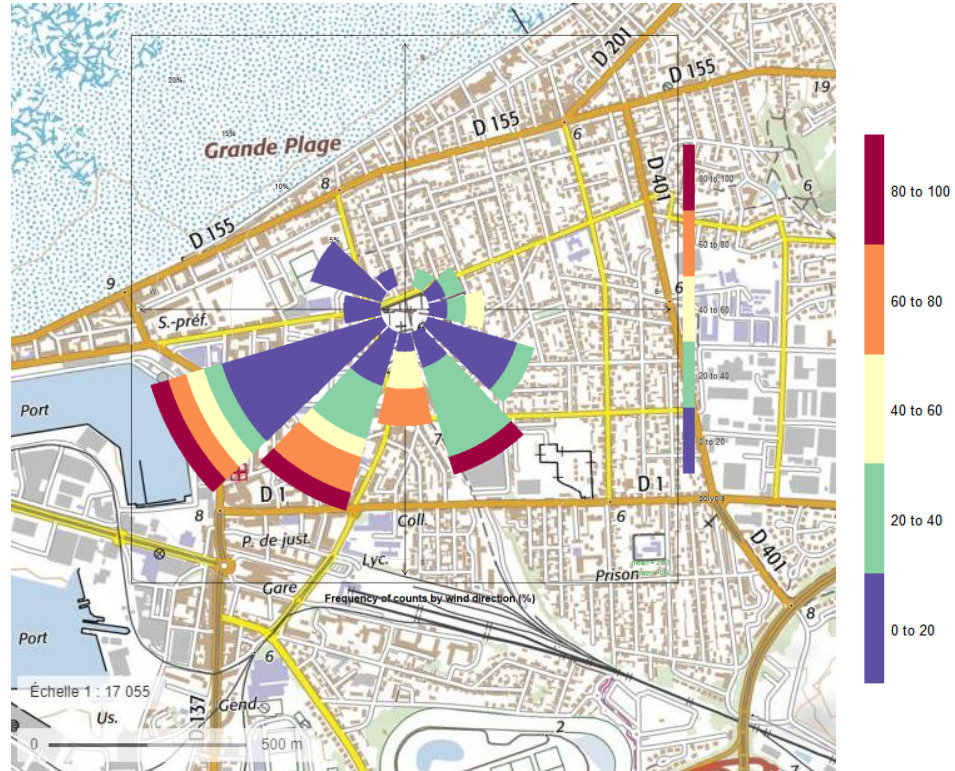


Figure 27 : Rose des pollutions des concentrations moyennes journalières en polyols (en ng/m^3)

✓ **MSA (acide méthylsulfonique) : marqueur des émissions biogéniques marines secondaires**

Le MSA est issu de l'oxydation du diméthyl-sulfate (DMS) généralement émis par le phytoplancton marin. Il est utilisé comme traceur secondaire des émissions biogéniques de composés soufrés naturels.

Les concentrations maximales de ce composé sont détectées en saison estivale principalement dû à l'insolation intense et à la physiologie du phytoplancton favorisant ainsi sa formation.

Notre période de campagne de mesures n'est donc pas favorable à la détection des plus fortes concentrations.

La concentration moyenne relevée lors de la campagne est de $7.1 \text{ ng}/\text{m}^3$ avec un maximum de $32.5 \text{ ng}/\text{m}^3$ le 15/11.

Les concentrations relevées en hiver dans le cadre de l'étude du LCSQA [1] sont inférieures à $20 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Au sein de la fraction inorganique des particules, nous distinguons les **espèces inorganiques primaires** composant majoritairement les poussières minérales et les sels marins, ainsi que les **espèces inorganiques secondaires** constitués principalement des nitrates, des sulfates (non marins) et de l'ammonium.

Le chapitre suivant concerne les résultats des **espèces inorganiques secondaires**.

V.4.5 Les espèces inorganiques secondaires majeures : nitrates, sulfates et ammonium

Au sein des particules fines, les ions nitrate et sulfate sont majoritairement associés à l'ammonium, respectivement sous la forme de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium, ce qui a été confirmé précédemment par la corrélation des espèces (V.5.b).

Le nitrate d'ammonium et le sulfate d'ammonium contribuent à la formation de particules secondaires dont la part dans les particules peut être importante à certaines périodes de l'année,

Afin de mieux comprendre les limites des mesures réalisées dans le cadre de cette étude, nous revenons dans la suite sur la formation de ces particules secondaires.

a) Retour sur le principe de formation des particules secondaires

Les particules secondaires sont formées par réaction chimique dans l'atmosphère à partir de gaz précurseurs.

Les principaux gaz concernés par ces réactions ainsi que leurs répartitions par source d'émissions sur le territoire malouin sont les suivants (cf. figure 28¹⁰) :

- L'ammoniac :

Sur la zone d'étude et plus largement en Bretagne, il est essentiellement émis par le secteur agricole (95%) à travers les déjections animales et l'utilisation d'engrais azotés.

Une réserve toutefois concernant cette répartition des émissions d'ammoniac à Saint-Malo puisque l'inventaire réalisé par Air Breizh (présenté figure 28 page suivante), ne tient pas compte des émissions canalisées des deux sites industriels TIMAC Agro. A partir des informations communiquées par la DREAL, elles pourraient atteindre 160 tonnes/an. Ces émissions sont à mettre en perspectives avec celles de la ville de Saint-Malo et de l'agglomération (hors TIMAC) respectivement de 36 tonnes/an et 403 tonnes/an (année 2016).

- Les oxydes d'azote :

Ils sont majoritairement émis par le secteur du transport (77%) puis par le résidentiel-tertiaire (10%) et l'agriculture (9%).

- Le dioxyde de soufre :

Il est majoritairement émis par le secteur résidentiel et tertiaire (62%) puis par le secteur du transport (35%). Dans la zone d'étude, la place du transport maritime constitue une particularité. Ce secteur d'émissions représente 31% des émissions du territoire contre seulement 3% pour la région Bretagne.

La répartition des émissions de ces gaz est présentée sur la figure 28. Ces données proviennent de l'inventaire des émissions 2016 version 3 réalisé par Air Breizh.

¹⁰ D'après les données de l'inventaire des émissions d'Air Breizh (données pour l'EPCI de Saint-Malo pour l'année 2016 – v3).

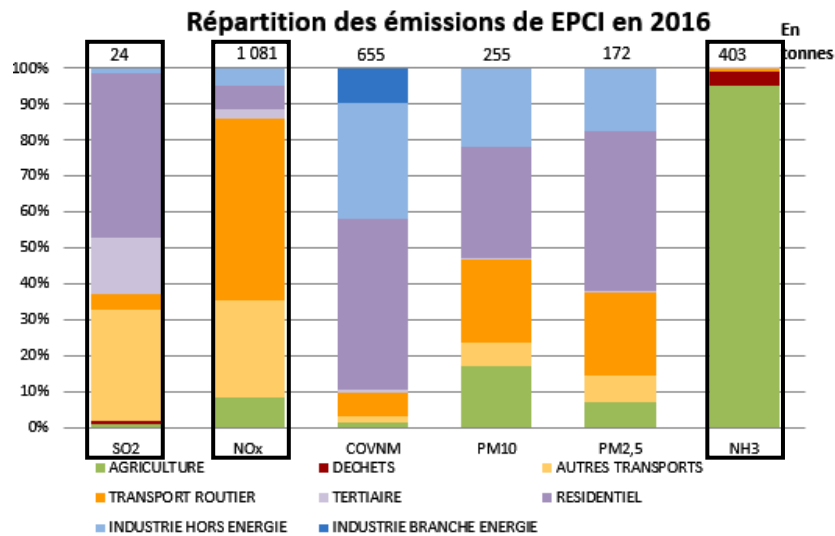


Figure 28 : Répartition des émissions pour l'EPCI de Saint-Malo agglomération (données inventaire des émissions Air Breizh version 3 année 2016)

A partir de ces gaz précurseurs, les réactions chimiques dans l'atmosphère sont les suivantes.

a) De manière préférentielle, l'ammoniac va réagir avec l'acide sulfurique H_2SO_4 (formé par oxydation du dioxyde de soufre, propice dans des conditions de fort ensoleillement) pour former du **sulfate d'ammonium** particulaire (figure 29).

Cette réaction est prioritaire mais la quantité d'ammonium ainsi présente sous forme particulaire, dépendra directement de la quantité de sulfate disponible. Le sulfate d'ammonium est stable en phase particulaire et peut donc être transporté sur de longues distances.

Depuis une dizaine d'année, les émissions de dioxyde de soufre ont diminué en France impliquant une moindre formation de sulfates d'ammonium.

C'est le cas également à Saint-Malo où les émissions de dioxyde de soufre sur le territoire ont diminué d'un facteur 2 entre 2008 et 2016 (inventaire des émissions d'Air Breizh).

b) Par conséquent, la principale espèce formée dans l'atmosphère, dite secondaire, est le **nitrate d'ammonium** (figure 29).

Les oxydes d'azote réagissent avec les espèces oxydantes de l'atmosphère pour former l'acide nitrique (HNO_3). Il réagit ensuite avec l'ammoniac en phase gazeuse disponible (n'ayant pas réagi avec l'acide sulfurique) pour former du nitrate d'ammonium en phase particulaire. Contrairement au sulfate d'ammonium, il s'agit d'une réaction réversible dépendante des conditions météorologiques.

Le nitrate d'ammonium constitue donc une espèce semi-volatile en équilibre entre la phase gazeuse et la phase particulaire. Sa répartition entre les phases dépend des conditions météorologiques (température et hygrométrie ambiantes) mais également des concentrations de ses précurseurs : l'ammoniac et les oxydes d'azotes.

Plus l'humidité augmente, plus la formation de nitrate d'ammonium en phase particulaire est importante. A l'inverse, plus la température augmente, moins le nitrate d'ammonium est stable.

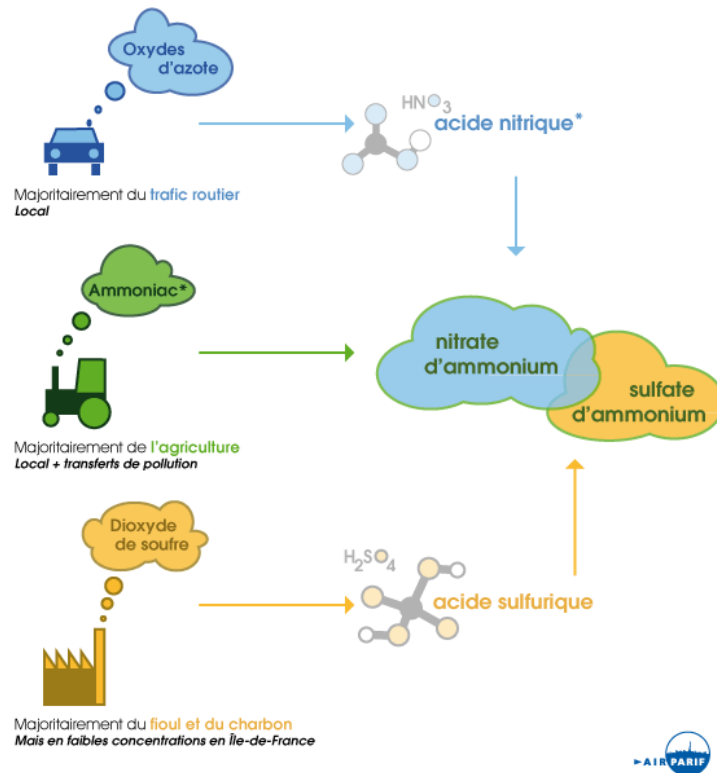


Figure 29 : Processus de formation du nitrate d'ammonium et du sulfate d'ammonium [Air Parif]

Par conséquent, s'il est mesuré en concentration insignifiante dans les particules, le nitrate d'ammonium peut se trouver à l'état gazeux en raison de conditions non favorables à son passage en phase particulaire.

Pour cette raison, le diagnostic d'une zone d'étude consiste idéalement en la mesure des nitrates d'ammonium et sulfates d'ammonium sous forme particulaire (prélèvement sur filtres) complétée par la mesure des gaz précurseurs NO_x, NH₃ et SO₂.

Dans le cas de cette étude, des prélèvements sur filtres ont été réalisés suivis de l'analyse des espèces inorganiques, ainsi que des mesures d'oxydes d'azote (NO_x).

L'ammoniac et le dioxyde de soufre n'ont pas fait l'objet de mesures par nos soins pendant cette période.

b) Résultats des espèces inorganiques secondaires dans les prélèvements à Saint-Malo

Les méthodes d'analyses ne permettent pas de mesurer directement les concentrations de nitrate d'ammonium et/ou de sulfate d'ammonium. Les concentrations des ions nitrate, sulfate et ammonium sont obtenues séparément.

Les ions nitrate présentent les concentrations atmosphériques les plus variables (écart type 2.5 µg/m³). La valeur moyenne relevée durant la période est de 2.6 µg/m³ avec un maximum de 9.6 µg/m³ atteint le 21/11/18.

Les ions ammonium (NH⁴⁺) et sulfate non marins (nss SO₄²⁻) présentent moins de variabilité (écart type de 0.8 µg/m³ pour les ions sulfate non marins et de 1.1 µg/m³ pour les ions ammonium) et des teneurs moyennes similaires inférieures à 1 µg/m³.

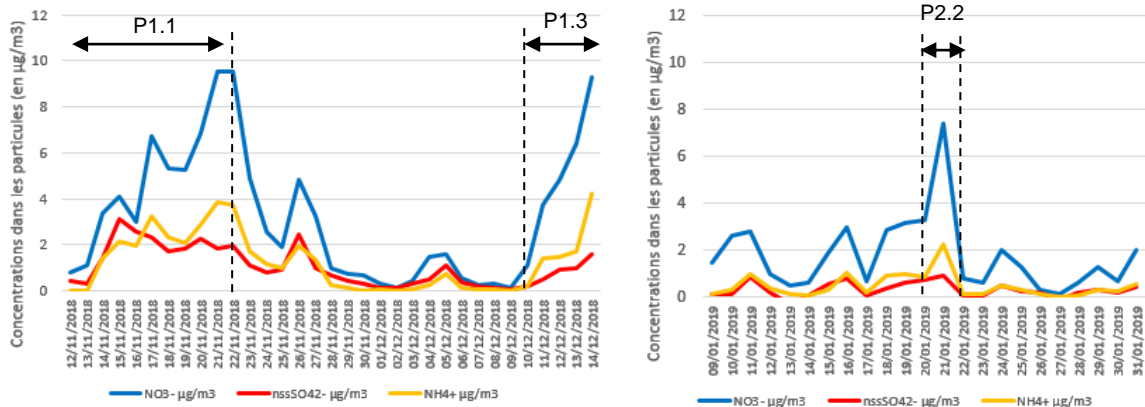


Figure 30 : Evolution des concentrations en nitrates, ammonium et sulfates non marins ($nss SO_4^{2-}$) dans les particules PM10

La concentration moyenne en ions **nitrate** dans les PM2.5 relevée sur le site rural de Guipry sur la même période (1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est légèrement inférieure à celle mesurée à Saint-Malo (2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La valeur maximale est bien inférieure à Guipry : 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ contre 9.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Malo. Toutefois pour des raisons techniques, il n'y a pas eu de prélèvements réalisés à Guipry pendant la période la plus critique à Saint-Malo (du 17 au 22/11).

Les concentrations en ions nitrate dans les prélèvements PM10 réalisés dans le cadre de l'étude du LCSQA [1] sont de l'ordre de 2 à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne hivernale sur les sites de fond urbain.

Les résultats des prélèvements d'ions nitrate effectués à Saint-Malo se trouvent dans cette gamme de mesures.

Comme cela a été détaillé précédemment, la répartition des ions nitrate entre les phases particulaire et gazeuse est très influencée par la température ambiante.

Durant la campagne, la comparaison des niveaux d'ions nitrate dans les particules avec les températures montre que les concentrations les plus élevées ont été mesurées lorsque les températures étaient inférieures à 10°C (cf. figure 31).

Cela correspond aux sous-périodes : P1.1 du 12 au 22/11, P1.3 du 10 au 14/12/18 et P2.2 du 20 au 21/01/19 (figure 30).

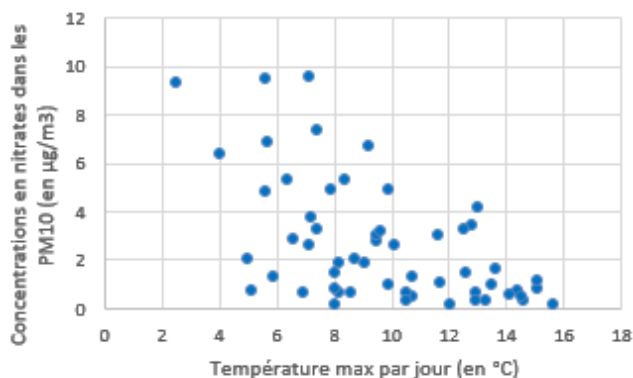


Figure 31 : Comparaison des concentrations en ions nitrate dans les PM10 avec les températures max journalières

Les concentrations les plus élevées en ions **sulfate** sont souvent observées en été et au printemps du fait d'un ensoleillement plus important favorisant l'oxydation du dioxyde de soufre (SO_2).

La période de la campagne ne correspond donc pas aux saisons les plus favorables à leur formation.

Durant la campagne, les concentrations en ions sulfate dans les PM₁₀ ont été assez stables, avec une moyenne de 0.7 µg/m³.

Ces mesures se trouvent plutôt dans la gamme basse des résultats obtenus en hiver sur des sites urbains dans l'étude du LCSQA [1] : entre 1 et 2.5 µg/m³.

Sur le site de Guipry, la moyenne relevée durant la même période a été identique à celle de la campagne.

Les faibles niveaux et variations observés pour les ions sulfate non marins pendant la campagne semblent cohérents avec les mesures réalisées sur d'autres secteurs.

Des interrogations subsistent toutefois sur les niveaux de concentrations lors d'une période à la fois plus ensoleillée et plus favorable aux émissions de dioxyde de soufre. C'est le cas notamment de l'été où le trafic maritime est nettement plus important.

c) Contribution des espèces inorganiques secondaires dans les PM₁₀

La contribution des trois espèces (ions nitrate, sulfate non-marins et ammonium) au sein des PM₁₀ a représenté en moyenne 18% de leur masse sur la campagne.

Lors de conditions anticycloniques (température froide, vents en provenance du secteur Nord-Est à Sud-Est), leur contribution augmente pour atteindre 50% de la masse des particules PM₁₀ (figure 32, sous-périodes P1.1, P1.3 et P2.2).

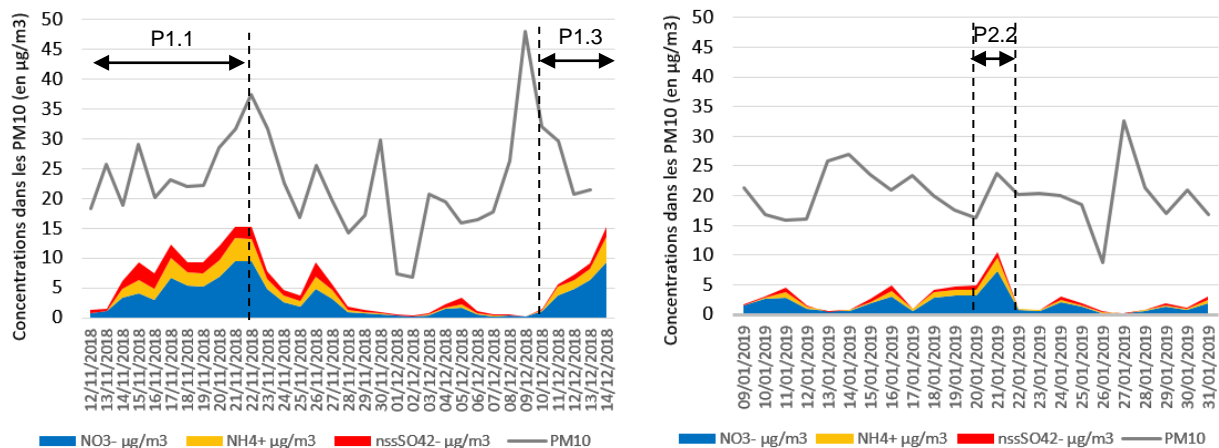


Figure 32 : Concentrations en ions sulfate, nitrate et ammonium au sein des particules PM₁₀ (en µg/m³)

Malgré l'absence de conditions favorables à leur formation (conditions météorologiques et émissions de gaz précurseurs), les espèces inorganiques secondaires ont occupé par période une part significative des particules PM₁₀.

Des contributions supérieures pourraient être théoriquement observées sur des périodes plus favorables à leur formation : lorsque les émissions de gaz précurseurs sont plus importantes (l'été pour le dioxyde de soufre, le printemps pour les nitrates) et les conditions météorologiques plus favorables.

d) Commentaires sur les concentrations de l'un des gaz précurseurs : les oxydes d'azote

Les oxydes d'azote sont mesurés en continu sur le site Rocabey. Les niveaux enregistrés sont inférieurs à ceux relevés sur les sites urbains de St Brieuc et Rennes (figure 33).

Il ne semble pas y avoir de particularité locale concernant les émissions de ce composé.

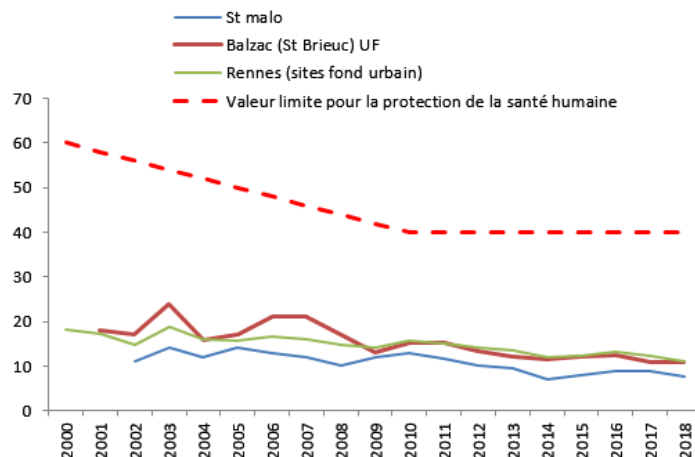


Figure 33 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote à Saint-Malo (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

e) Synthèse sur les espèces inorganiques secondaires

Les concentrations des ions inorganiques secondaires sont bien corrélées aux évolutions des PM10 lors des périodes anticycloniques : vent de Sud-Est à Nord-Est et température faible.

Les ions nitrate sont majoritaires et la corrélation de leurs concentrations avec celles des ions ammonium justifie leur association sous la forme de nitrate d'ammonium.

Au vu des gaz précurseurs identifiés, plusieurs origines sont ciblées : transport pour les oxydes d'azote, agriculture et industrie pour l'ammoniac, transport maritime pour le dioxyde de soufre.

Les analyses de composition chimique réalisées dans le cadre de cette étude constituent une première approche. Des prélèvements sur d'autres périodes de l'année et la mesure complémentaire des précurseurs gazeux seraient nécessaires pour améliorer la compréhension de la formation des particules sur le territoire.

D'autres pics PM10 ne sont pas associés à une augmentation de ces espèces ce qui signifie que d'autres sources d'influence existent.

V.4.6 Les espèces inorganiques primaires majeures

Les concentrations en ions sodium et calcium sont utilisés pour estimer respectivement la contribution des sels de mer et des poussières minérales dans les particules.

a) Les sels de mer

Les sels de mer, estimés à partir des concentrations en ions sodium, ont représenté **27% de la masse des PM10** en moyenne sur la campagne.

L'analyse des données journalières montre de grandes variabilités durant la campagne de mesures (figure 34).

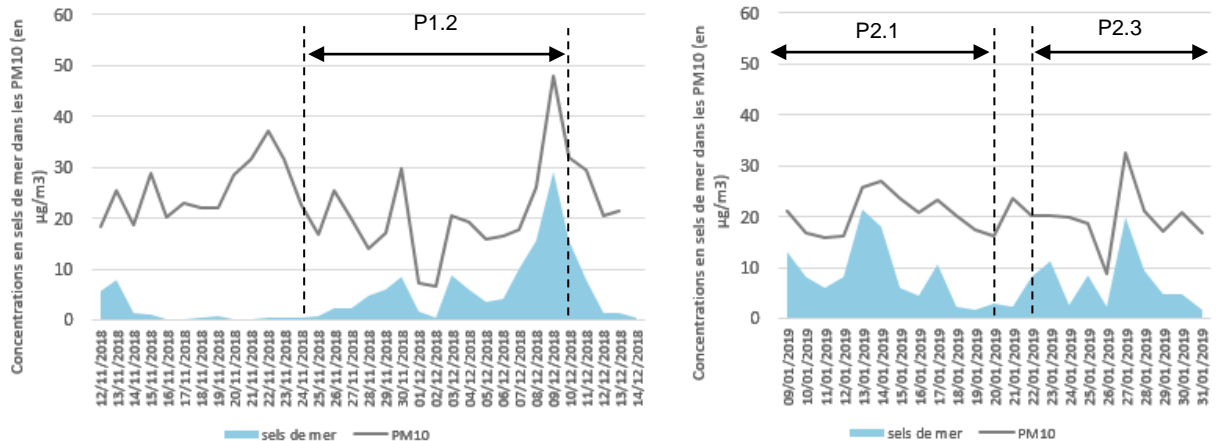


Figure 34 : Evolution des concentrations en sels de mer dans les PM10 des échantillons prélevés (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Sur la première moitié de la série 1 (du 14 au 24/11 – sous-période P1.1), les concentrations en sels de mer ont représenté moins de 5% de la masse des PM10. Il s'agit d'une période caractérisée par des vents de secteur Sud et des températures froides (conditions anticycloniques).

Ensuite, les conditions de vents ont changé : passage à des vents de Sud-Ouest et précipitations régulières (sous-période P1.2). La part des sels de mer dans les PM10 a augmenté pour atteindre 60% des PM10 les 8 et 9/12.

Les vents ont changé de nouveau de direction à la fin de la première série (passage à des vents de Sud-Est) ce qui a été associé à une diminution des sels de mer dans les PM10 (sous-période P1.3).

Lors de la seconde série, le début et la fin de la période (sous-périodes P2.1 et P2.3), caractérisés par des vents de Sud-Ouest à Nord, ont été associés à des contributions importantes de sels de mer dans les particules (plus de 60%).

Leur part a diminué en milieu de période (sous-période P2.2) en raison de vents majoritaires de Nord-Est.

Ces résultats montrent la corrélation évidente entre les conditions météorologiques, en particulier la direction et la vitesse des vents, et les concentrations en sels de mer.

La représentation graphique des résultats des concentrations en sels de mer et des conditions de vents sous la forme de rose des pollutions permet d'illustrer ce constat (figure 35)

Si l'on considère un bruit de fond de l'ordre de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sels de mer dans les particules PM10 sur la période (médiane = $4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), **leurs concentrations augmentent lorsque les vents proviennent du Sud-Ouest et sont les plus élevées ($> 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lorsque les vents proviennent du Nord-Ouest.**

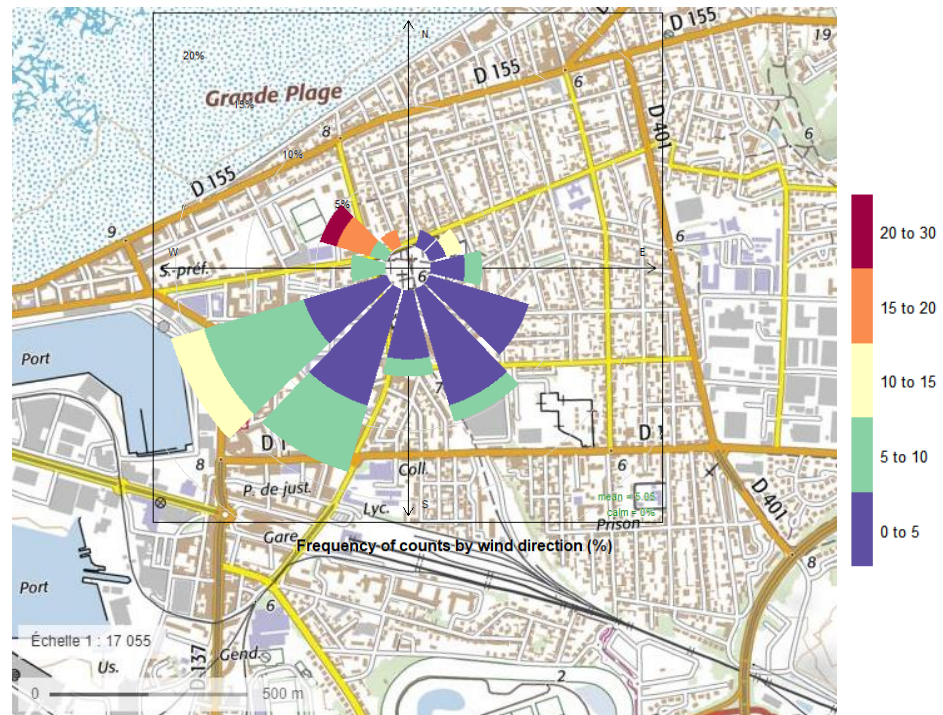


Figure 35 : Rose des pollutions en sels de mer sur la période d'étude (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Si l'on compare ces résultats aux prélèvements réalisés dans le cadre de l'étude LCSQA [1], la concentration moyenne en sodium observée à Saint-Malo lors de cette période ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est jusqu'à deux fois supérieures à celles observées sur les autres sites urbains bien que certains se trouvent en bordure littorale : moyennes en hiver comprises entre 0.2 et $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'influence maritime sur les niveaux de particules PM₁₀ mesurés sur le site Rocabey à Saint-Malo est clairement mise en évidence.

La part des sels marins dans les PM₁₀ est en moyenne de 30% dans les PM₁₀ mais peut largement doublée lorsque les vents proviennent des secteurs Sud-Ouest à Nord-Ouest.

Par ailleurs, l'analyse des résultats montre que la part non-déterminée dans les PM₁₀ augmente de manière corrélée avec celle des sels de mer.

Ce constat avait déjà été observé dans le cadre d'une étude similaire réalisée en bordure littorale à la Réunion¹¹.

Habituellement de l'ordre de 10-20%, la part de particules non déterminée dans les prélèvements effectués à Saint-Malo représente jusqu'à 40% de l'échantillon pour certaines périodes.

L'étude du LCSQA à La Réunion avait conclu à la présence d'eau liquide sur les aérosols marins qui n'est pas prise en compte dans l'analyse chimique contrairement à la mesure avec l'appareil automatique.

Pour notre campagne, la corrélation entre les sels de mer et la somme $\{\text{EC}+\text{OM}+\text{NH}_4^{4+}+\text{NO}_3^-+\text{nssSO}_4^{2-}\}$ est très satisfaisante ($r^2=0.88$ sur la figure 36).

La pente de la courbe de tendance ($a=1.3$) montre que **cette masse d'eau représenterait un tiers de la masse des sels de mer secs** mesurés via l'analyse de composition chimique. Cette valeur est identique à celle observée dans l'étude réalisée à la Réunion.

¹¹ Evaluation de la contribution des embruns marins aux dépassements des valeurs limites fixées pour les PM₁₀ à Saint-Pierre de la Réunion (LCSQA 2012)

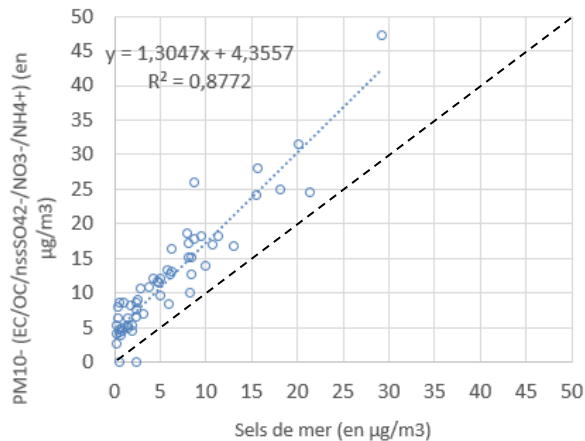


Figure 36 : Corrélation entre les concentrations en sels de mer et une autre fraction (autre que EC, OM, NH_4^+ , NO_3^- et $nss\ SO_4^{2-}$)

Ce constat montre que la part des sels de mer dans les particules PM10 quantifiée via l'analyse chimique est probablement sous-estimée lorsque l'influence maritime est majoritaire.

b) Les poussières minérales

Les particules minérales peuvent être d'origine **naturelle**, provenant notamment de l'érosion éolienne, ou considérées comme d'origine **anthropique** si elles sont liées à la remobilisation par l'activité anthropique de poussières naturelles (travaux, activités agricoles, transports, ...).

Ces poussières, dites crustales ou terrigènes, sont principalement formées d'aluminium, silicium, fer et calcium. La fraction soluble du calcium étant facilement mesurable, l'ion calcium est le plus souvent utilisé pour estimer les concentrations de particules minérales.

Durant la campagne, **la contribution moyenne des poussières minérales dans les PM10 a été estimée à 6%**. Des variations des concentrations en poussières minérales ont été observées (figure 37). Toutefois leur contribution dans les particules est la plupart du temps peu significative.

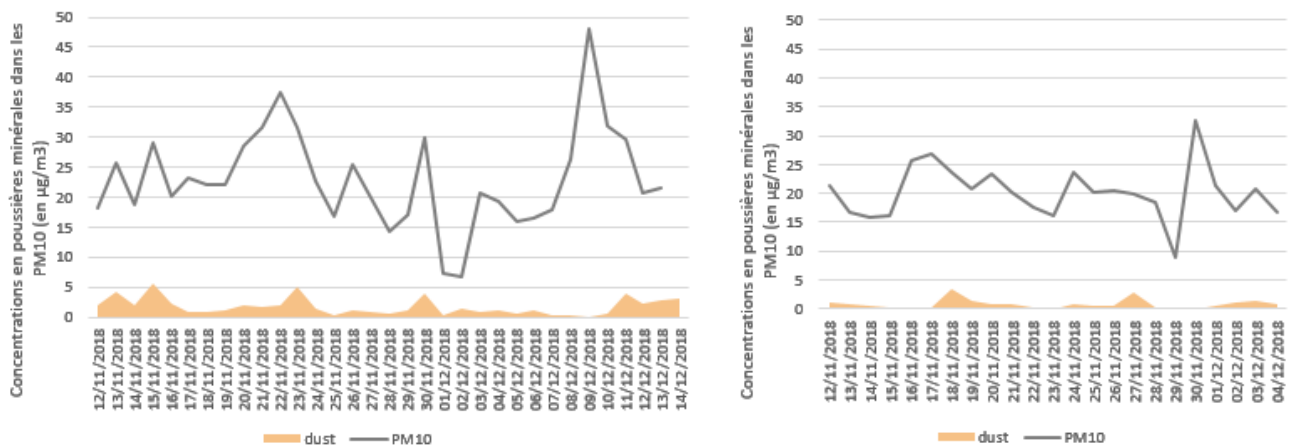


Figure 37 : Evolution des concentrations en poussières minérales dans les particules PM10 (en $\mu g/m^3$)

La concentration moyenne en ions calcium dans les échantillons est de $0.2\ \mu g/m^3$. Ce niveau se trouve dans la gamme basse des moyennes enregistrées dans l'étude du LCSQA (2017).

Cela confirme la faible contribution des poussières minérales dans les échantillons de particules PM10 collectées.

V.5. Evolution temporelle de la composition chimique des particules

Les figures suivantes présentent l'évolution de la composition chimique des particules PM10 prélevées sur le site Saint-Malo Rocabey corrélée aux directions moyennes du vent.

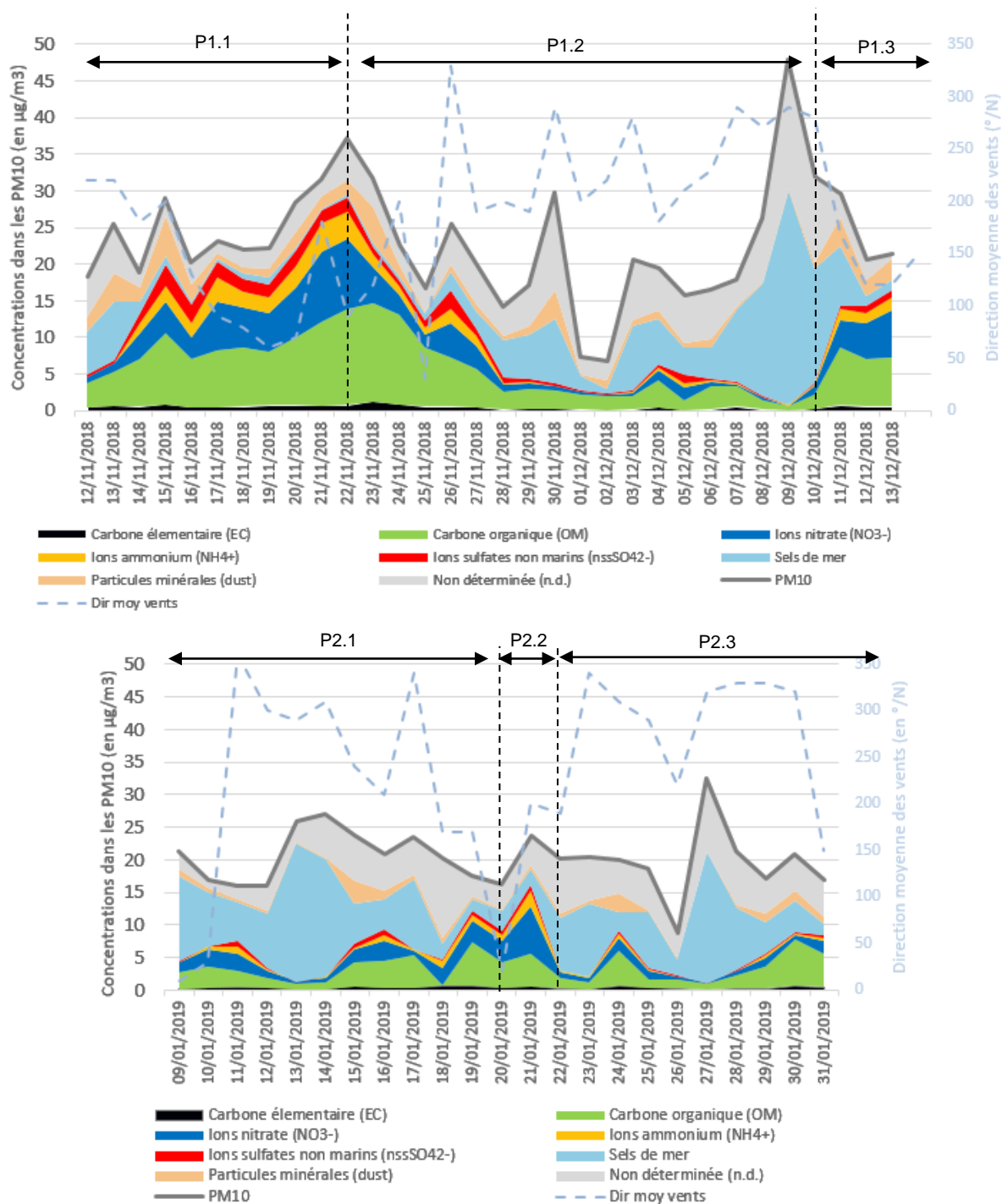


Figure 38 : Evolution de la composition chimique des particules PM10 durant la campagne de mesures

Niveaux de concentrations et composition des particules à Saint-Malo

Ces représentations permettent de confirmer le lien entre les conditions météorologiques (notamment la direction des vents représentée sur les figures) et la composition chimique des particules :

- **Lors des périodes anticycloniques, par vents des secteurs Nord-Est à Sud-Est (P1.1, P1.3 et P2.2), les particules sont majoritairement composées de matière organique et d'ions inorganiques secondaires.**
- **Lors des périodes dépressionnaires, par vents de Sud-Ouest à Nord (P1.2, P2.1 et P2.3), les particules sont composées essentiellement de sels marins.**

Cela permet d'identifier deux types d'influences majoritaires sur les niveaux de particules mesurées à Saint-Malo Rocabey respectivement anthropique et maritime.

V.6. Synthèse de la composition chimique des particules

✓ Principe et objectifs :
<p>Ce chapitre était réservé à l'interprétation des résultats d'analyses de la composition chimique des particules PM10 à partir d'échantillons journaliers prélevés sur le site Saint-Malo Rocabey.</p> <p>L'objectif de ces analyses étaient de déterminer les influences majoritaires sur les niveaux de fond en PM10 mesurés sur ce site selon la méthode du bilan de masse.</p>
✓ Données utilisées :
<p>Durant la période hivernale 2018/2019, 56 échantillons journaliers de particules PM10 ont été collectés sur le site Saint-Malo Rocabey, puis analysés en laboratoire.</p>
✓ Enseignements :
<p>Les résultats des analyses montrent que la composition des PM10 évolue en fonction de deux types d'influences majoritaires :</p> <p>D'une part, une influence locale maritime qui se caractérise par l'augmentation des sels de mer dans les particules.</p> <p>Leur contribution peut atteindre 60% de la masse des particules voire davantage en raison de la sous-estimation probable de cette contribution via l'approche chimique. Cette influence est liée au contexte géographique de la ville de Saint-Malo et au positionnement de la station à 400 mètres du littoral. L'influence maritime est plus importante lorsque les vents proviennent des directions Sud-Ouest à Nord.</p> <p>D'autre part, une influence 'anthropique' a été identifiée, caractérisée par une augmentation de la matière organique (associée majoritairement à des sources anthropiques à cette période de l'année, notamment la combustion de biomasse) et des ions inorganiques secondaires dans les particules. Ces deux espèces peuvent représenter jusqu'à 85% de la masse des particules.</p> <p>Ces augmentations ont été associées à des températures faibles et des vents en provenance des secteurs Sud-Est à Nord-Est.</p> <p>Au sein de la matière organique, le Levoglucosan, considéré comme traceur de la combustion biomasse locale, présente des évolutions de concentrations très bien corrélées aux températures et donc aux émissions. L'influence des émissions du <u>chauffage</u> sur les niveaux de particules PM10 a donc été mis en évidence.</p> <p>Par ailleurs, les ions nitrate et ammonium, associés sous la forme de nitrates d'ammonium, présentent également une augmentation des niveaux en phase particulaire lors des périodes froides. Les sources identifiées pour ces particules secondaires sont le <u>trafic</u>, pour les émissions d'oxydes d'azote, mais également <u>l'agriculture et l'industrie</u>, concernant les émissions d'ammoniac.</p>
✓ Perspectives :
<p>Pour approfondir la contribution des gaz précurseurs dans la formation des particules secondaires, une étude plus approfondie serait nécessaire sur d'autres périodes de l'année mais également via des mesures simultanées des gaz (ammoniac notamment) et de la composition chimique de la phase particulaire (nitrate et sulfate d'ammonium).</p> <p>Ces deux influences dominées par des espèces chimiques différentes entraînent une distribution différente des particules selon les fractions granulométriques. Ce point est étudié dans le chapitre suivant.</p>

VI. Répartition des particules selon leur taille

La répartition des particules selon les classes de taille a été étudiée pour compléter la caractérisation des sources de particules via l'approche chimique.

Depuis sa création en juin 2018, le site de mesures réglementaires Rocabey est équipé d'un analyseur PM10. En revanche, il ne dispose pas encore d'une mesure en continu des fractions granulométriques inférieures à 10µm (PM2.5 notamment) qui pourrait permettre d'interpréter les variations des niveaux de particules avec plus d'exactitude.

Lors des campagnes réalisées durant l'hiver 2018/2019 puis l'été 2019, des mesures complémentaires des particules ont été réalisées à l'aide d'un appareil de type FIDAS, permettant la mesure de plusieurs classes de taille de particules.

Pour assurer la comparaison des concentrations en particules suivants les classes de taille et le calcul du ratio PM2.5/PM10, les mesures PM10 présentées dans ce chapitre sont celles obtenues avec le Fidas et non le BAM, ce qui peut expliquer de légères différences dans les niveaux par rapport aux données du chapitre précédent.

VI.1. Données utilisées

Deux séries de mesures complémentaires des particules ont été réalisées sur le site Rocabey de Saint-Malo :

- Du 12 au 22/11/18 soit pendant 10 jours ;
- Du 11/07/19 au 5/09/19 soit pendant 57 jours.

Tableau 6 : Données utilisées pour la caractérisation des particules selon leur taille

Lieu	Station	Paramètre	Analyseur	juil.-18	août-18	sept-18	oct-18	nov-18	déc-18	janv.-19	févr.-19	mars-19	avr.-19	mai-19	juin-19	juil.-19	août-19	sept-19	
Saint-Malo	Rocabey (périurbaine de fond)	PM10	Fidas					12 -> 22/11								11/7 - - - - -		5/9	
		PM2,5	Fidas					12 -> 22/11									11/7 - - - - -		5/9
		Composition chimique PM10	préleveur								09/01 -> 31/01								

Les classes de taille étudiées sont les suivantes :

- PM10 ;
- PM2.5 ;
- PM10-PM2.5 : fraction grossière appelée 'coarse'.

Les données d'analyses de composition chimique disponibles pendant ces mesures ont également été utilisées de manière à étudier le lien entre la composition et la taille des particules.

Les analyses chimiques réalisées en fin d'année 2018 et début 2019 ont porté sur la fraction PM10 des particules.

D'autres études de composition chimique ont été réalisées conjointement sur d'autres fractions granulométriques à savoir : PM2.5 et entre PM2.5 et PM10.

Citons par exemple une étude du LCSQA en 2010 portant sur des prélèvements réalisés à Rouen en situation de fond¹².

Cette étude a montré que chaque constituant des particules se trouvait dans toutes les fractions de taille des particules. En revanche, certains constituants peuvent être plus présents dans une fraction que dans une autre.

¹² Caractérisation de la composition chimique des particules (LCSQA décembre 2010)

Dans cette étude du LCSQA, **les sels de mer et poussières minérales sont majoritaires dans la fraction grossière des particules** (coarse) à savoir : 78% pour les sels de mer et 95% pour les poussières minérales.

En revanche, **les ions inorganiques secondaires et la matière organique sont présents principalement dans la fraction fine des particules (PM2.5)** : à savoir 55% pour les nitrates, 77% pour les sulfates, 68% pour la matière organique et 79% pour le carbone élémentaire.

En fonction des deux types d'influences sur les niveaux de particules identifiés précédemment, on peut donc s'attendre à observer des évolutions de la répartition des particules selon les classes de taille.

VI.2. Résultats des mesures PM2.5 et PM10 à Rocabey

Les mesures de la période hivernale 2018 ont été réalisées sur 10 jours. Durant l'été 2019, les mesures ont duré un peu moins de 2 mois.

Lors du mois de novembre 2018 (figure 39, gauche), un faible ratio PM2.5/PM10 a été observé en tout début de campagne (ratio 0.5 le 13/11) suivi de ratios plus élevés atteignant 0.8 à 0.9 en fin de période.

Si l'on fait le parallèle avec les analyses de composition chimique présentées dans le chapitre précédent, ces deux périodes se distinguent par des influences différentes :

- En début de période, jusqu'au 13/11, les sels de mer représentaient 30% de la masse des particules ce qui a probablement contribué à augmenter la fraction grossière des particules, d'où une diminution du ratio ;
- A l'inverse, le reste de la période a été dominé par une influence anthropique (apport d'ions inorganiques et matière organique majoritaire). Ces composés sont majoritairement présents dans la fraction PM2.5 des particules ce qui explique un ratio plus élevé.

En période estivale (figure 39, droite), le ratio PM2.5/PM10 a été plus faible, oscillant entre 0.4 et 0.6.

Cela peut s'expliquer par une modification des sources d'émissions et donc de la distribution des particules : conditions météorologiques moins favorables à la formation de particule secondaires, envois de poussières minérales supérieurs en raison des conditions météorologiques plus sèches, etc.

Des analyses de la composition chimique à cette période permettraient d'approfondir ces recherches.

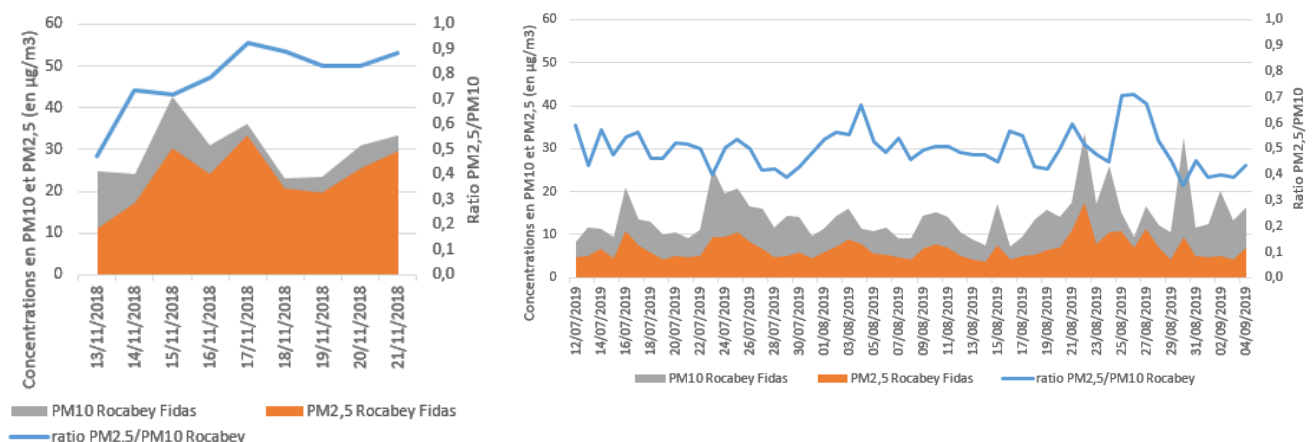


Figure 39 : Evolution des concentrations en PM10 et PM2.5 ainsi que du ratio PM2.5/PM10 à partir des mesures réalisées fin 2018 (à gauche) et durant l'été 2019 (à droite) à Saint-Malo Rocabey

Le peu de données de mesures PM_{2.5} et d'analyse de composition chimique des particules en simultané rend difficile l'association sources d'influence/taille de particules.

Cette analyse confirme toutefois que l'étude du ratio PM_{2.5}/PM₁₀ permet d'identifier les origines des particules mesurées lors d'un pic.

En complément, nous avons tenté d'identifier une relation entre les ratios PM_{2.5}/PM₁₀ et les directions de vents sous la forme de roses des pollutions (figure 40).

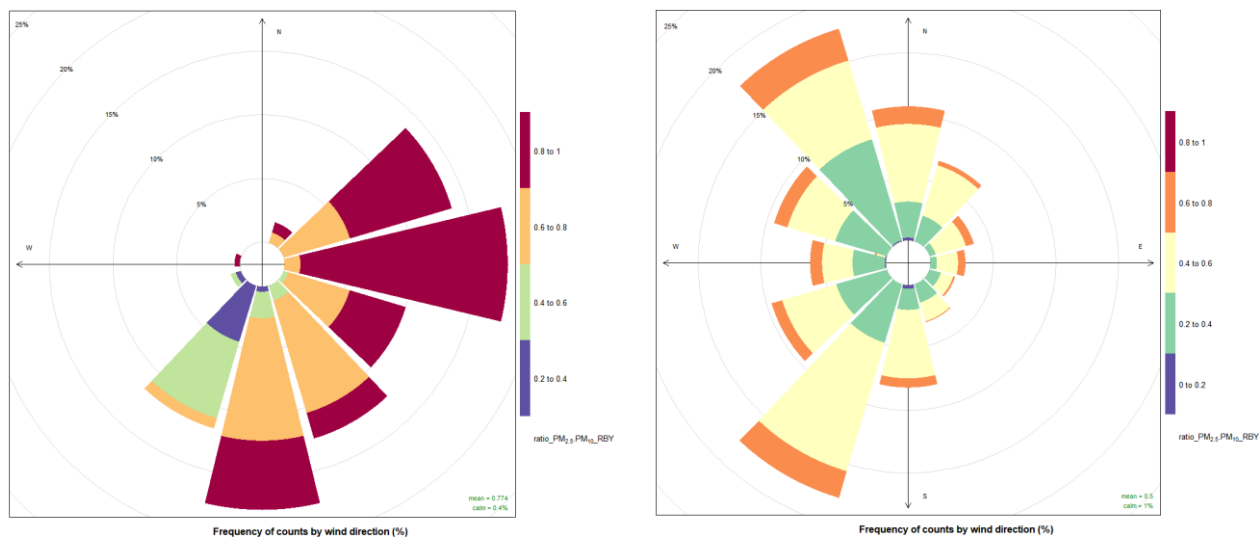


Figure 40 : Roses des pollutions pour les ratios PM_{2.5}/PM₁₀ durant les mesures réalisées en fin d'année 2018/début 2019 (à gauche) et durant l'été 2019 (à droite)

Lors de l'hiver 2018/2019 (figure 40, gauche), les ratios PM_{2.5}/PM₁₀ supérieurs à 0.6 ont été mesurés par vents de Sud à Nord-Est. Il s'agit le plus souvent de conditions anticycloniques, associées à un temps sec et des températures faibles propices aux formations de particules secondaires. Dans ces conditions, les particules grossières (coarse) sont minoritaires.

En revanche, les ratios PM_{2.5}/PM₁₀ inférieurs à 0.4 (fraction grossière majoritaire) ont été mesurés par vents de Sud-Ouest, caractéristiques d'une influence maritime.

Lors de l'été 2019 (figure 40, droite), les ratios PM_{2.5}/PM₁₀ ont été plus faibles (max. entre 0.6 et 0.8) ce qui s'explique probablement par une composition chimique différente des particules. Les ratios inférieurs à 0.4 ont été mesurés par vents Sud-Ouest à Nord-Ouest.

VI.3. Synthèse de la caractérisation des sources de particules selon la taille

✓ Principe et objectifs :
<p>Ce chapitre était réservé à l'interprétation de la répartition des classes de tailles des particules et à leurs évolutions.</p> <p>L'objectif de ce traitement était d'établir un lien entre la répartition des classes de taille et les sources d'influences en s'appuyant sur les quelques analyses de composition chimique réalisées en simultané.</p>
✓ Données utilisées :
<p>La mesure simultanée des fractions PM_{2.5} et PM₁₀ a été réalisée sur deux périodes distinctes à Rocabey : du 12 au 22/11/18 puis du 11/07 au 05/19.</p> <p>Les analyses de composition chimique étaient disponibles seulement durant la période du 12 au 22/11/18.</p>
✓ Enseignements :
<p>L'analyse des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ semblent dégager une relation entre direction des vents et classe de taille de particules. Ces répartitions sont en accord avec les quelques analyses chimiques réalisées en parallèle.</p> <p>En hiver :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'influence locale maritime, caractérisée par la présence majoritaire de sels marins dans les dans la fraction grossière des particules, se traduit par un ratio plus faible de l'ordre de 0.5 à 0.6. - L'influence anthropique, associée à une augmentation de la matière organique et des ions inorganiques dans la fraction fine des particules, se traduit par un ratio plus élevé de l'ordre de 0.8-0.9. <p>En été, le ratio est plus faible. L'absence d'analyse chimique en simultané ne permet pas de faire le lien entre les classes de taille et les sources d'influence.</p>
✓ Perspectives :
<p>L'installation d'un analyseur de particules PM_{2.5} en continu au niveau de la station Rocabey, complétée par des campagnes ponctuelles d'analyse chimique de particules à des saisons différentes de l'année, permettraient de déterminer des indices qui aideraient à l'identification des influences lors de pics de pollution.</p>

VII. Analyse des mesures PM10 lors des journées jugées atypiques à Rocabey

Suite à la mise en service de la station Rocabey et des mesures PM10 fin juin 2018, des élévations ponctuelles des niveaux ont été observées. Bien que n'ayant pas fait l'objet d'un dépassement du seuil réglementaire, ces journées jugées atypiques ont fait l'objet d'une analyse détaillée pour déterminer l'origine majoritaire des particules mesurées.

L'objet de ce chapitre est de comprendre l'origine de ces pics en distinguant les influences majoritaires sur les niveaux de particules mesurées à savoir :

- **Les influences régionales : naturelles et/ou anthropiques ;**
- **Les influences locales : naturelles et/ou anthropiques ;**
- **Les influences microlocales c'est-à-dire les émissions au voisinage immédiat de la station et donc non représentatives d'une situation de fond urbaine.**

VII.1. Méthode de sélection des épisodes atypiques du 01/07/18 au 05/09/19

Nous avons choisi de regrouper les journées ayant présenté des pics par « épisodes atypiques » afin de mieux identifier les influences.

La méthode suivante a été retenue pour leur sélection :

- **Utilisation des données de mesures PM10 horaires de Saint-Malo Rocabey :**

Il s'agit d'élévation souvent ponctuelle justifiant la nécessité de travailler avec les données horaires. Les moyennes jours peuvent être que très faiblement affectées en cas de pics. Les données prises en compte sont celles de la période du 01/07/18 au 5/09/19.

- **Définition d'un seuil horaires à partir de la distribution statistique des données :**

Il n'existe pas de valeur de référence réglementaire pour les particules sur un pas de temps horaire.

Par conséquent, nous avons étudié la distribution statistique du jeu de données et retenu le centile 98^{°13} comme seuil de définition d'un pic correspondant à une concentration de 52 µg/m³.

Tableau 7 : Distribution statistique des données PM10 à Rocabey du 01/07/18 au 05/09/19

	PM10 Rocabey
moyenne	20
mediane	18
quartile1	12
quartile 3	25
centile 98°	52
max	260

Sur la période, 67 jours sont concernés par des valeurs horaires supérieures à ce seuil.

- **Durée significative d'un pic :**

Nous considérons un pic comme significatif dans le cas où le seuil défini à 52 µg/m³ a été dépassé sur une durée supérieure ou égale à 2 heures. 42 jours sont concernés.

- **Regroupement des pics par épisode :**

Pour une meilleure interprétation des pics et de leurs origines, nous les avons regroupés par épisode atypique : il s'agit de pics successifs sur la même journée voire sur plusieurs journées survenus dans des conditions proches.

¹³ 98°centile : 2% des données sont supérieures à cette valeur

De cette manière, **24 épisodes ont été définis sur la période d'étude** (cf. figure 41).

L'automne et l'hiver sont les saisons ayant regroupé la majorité des épisodes mesurés. Les deux saisons estivales (2018 et 2019) ont été concernées par des épisodes à la fin du mois d'août.

Seuls trois épisodes ont été constatés durant la durée de la campagne d'analyse de composition chimique des particules.

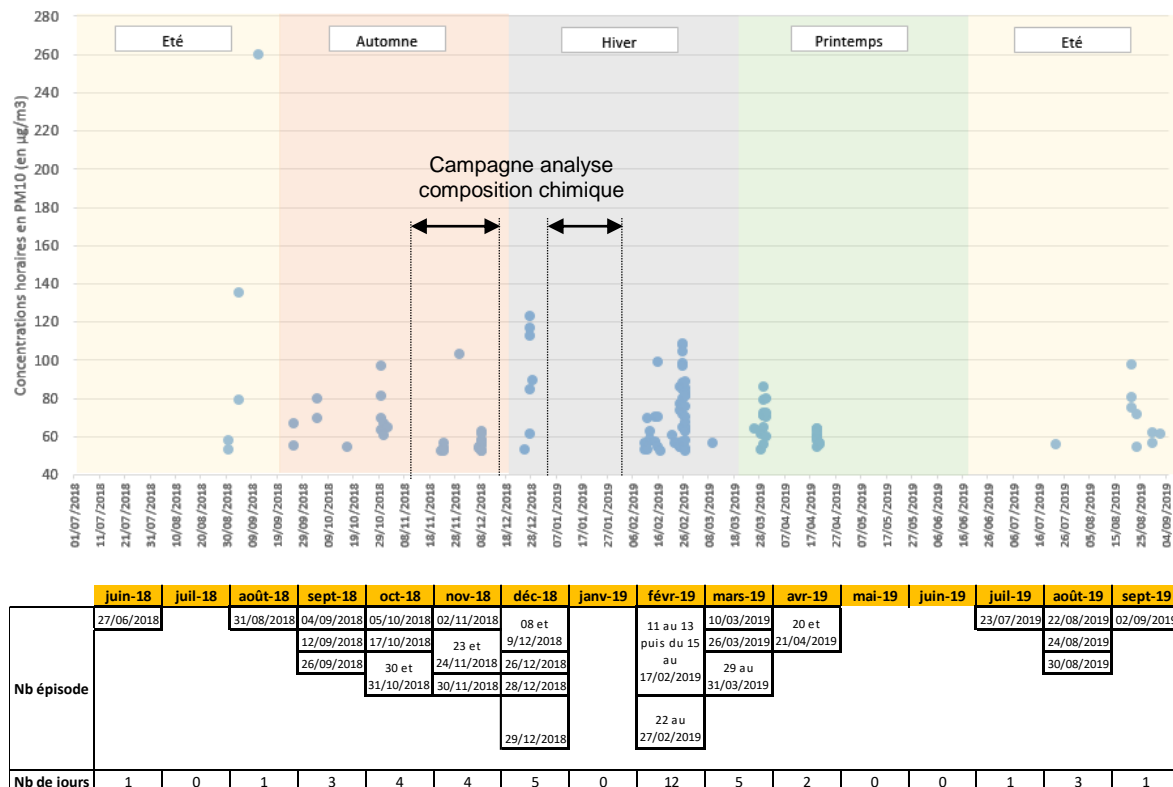


Figure 41 : Episodes de pollution aux particules PM10 sélectionnés sur la période d'étude

VII.2. Méthode d'analyse des épisodes atypiques

Chaque pic a fait l'objet d'une analyse détaillée sur la base de différents types d'informations reprises en annexe III.

Elles concernent par exemple :

- Les concentrations horaires en particules PM10 et dioxyde d'azote NO₂ à Saint-Malo Rocabay ainsi qu'à Saint Briec Balzac et Rennes Pays-Bas,
- Les données de compositions chimiques des particules ;
- Les conditions météorologiques ;
- Les conditions de houle.

Ces données sont synthétisées sous la forme d'une fiche par épisode avec pour chacune un commentaire sur le ou les influences majoritaires suspectées pour l'épisode.

Les principes retenus pour la caractérisation des origines majoritaires sont les suivants :

- **Influence régionale : naturelle et/ou anthropique**

Dans ce cas de figure, l'augmentation des concentrations en particules est également observée sur d'autres stations du réseau d'Air Breizh (Saint-Briec notamment).

La carte de modélisation présente un contexte de pollution généralisée sur la région voir sur d'autres régions limitrophes.

Il s'agit le plus souvent d'épisodes liés à des conditions météorologiques anticycloniques (vent de Sud à Nord-Est, températures faibles, ...). Dans ce cas, une augmentation des niveaux de NO₂ sur l'ensemble des stations est souvent observée.

La composition chimique des particules (modélisation ou mesures) peut permettre de préciser l'origine de l'épisode régional :

- Anthropique : augmentation des ions inorganiques secondaires ;
- Naturelle : augmentation des sels de mer (maritime) ou des poussières minérales.

- Influence locale naturelle et/ou anthropique :

Dans ce cas de figure, l'augmentation des particules est observée seulement sur le site Rocabey. Une sous-estimation du modèle par rapport à la mesure peut parfois témoigner d'un impact local non prévu par le modèle (non systématique).

On distingue deux types d'origines :

- Anthropique : le pic PM10 peut être associé à un pic en NO₂ à Rocabey contrairement à Saint-Brieuc.
La composition chimique des particules ainsi que la direction des vents, peuvent permettre d'apporter des éléments complémentaires.
- Naturelle : dans ce cas, les poussières minérales ou sels de mer sont majoritaires dans les particules (si données disponibles). La hauteur de houle peut être importante (influence maritime). La vitesse des vents peut être élevée. Des vents en provenance des secteurs Ouest à Nord peuvent justifier des apports en provenance du littoral.

- Influence microlocale :

Cette origine a été retenue dans le cas où une activité particulière a été réalisée auprès de la station (dans le cimetière).

Ces fiches sont annexées à ce rapport (annexe IV).

VII.3. Analyse des épisodes par typologie d'influence majoritaire suspectée

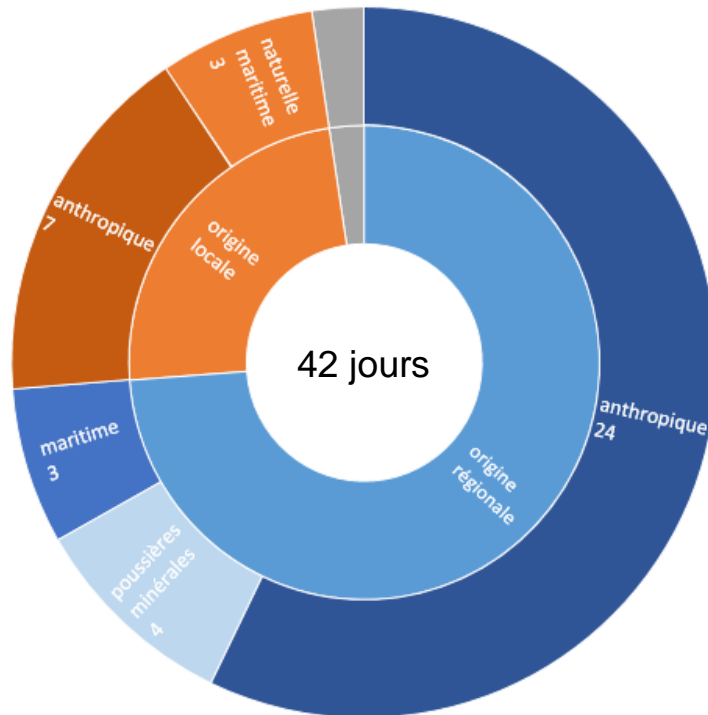
L'analyse de chacun des paramètres repris dans le chapitre précédent a permis d'identifier l'influence majoritaire de chacun des épisodes.

Sur les 24 épisodes étudiés et 42 jours concernés, la répartition en nombre de jours est la suivante (figure 42) :

- 31 jours (soit 74% de la durée cumulée des épisodes) avec une influence d'origine régionale ;
- 10 jours (soit 24%) avec une influence d'origine locale ;
- 1 jour (soit 2%) avec une origine micro locale.

L'influence régionale est donc majoritaire dans les épisodes observés.

Nous revenons dans les paragraphes suivants sur chacun de ces épisodes par origine.



juin-18	juil-18	août-18	sept-18	oct-18	nov-18	déc-18	janv-19	févr-19	mars-19	avr-19	mai-19	juin-19	juil-19	août-19	sept-19
27/06/2018		31/08/2018	04/09/2018	05/10/2018	02/11/2018	08/12/2018		11/02/2019	10/03/2019	20/04/2019				23/07/2019	22/08/2019
			12/09/2018	17/10/2018	23/11/2018	09/12/2018		12/02/2019	26/03/2019	21/04/2019				24/08/2019	02/09/2019
			26/09/2018	30/10/2018	24/11/2018	26/12/2018		13/02/2019	29/03/2019					30/08/2019	
				31/10/2018	30/11/2018	28/12/2018		15/02/2019	30/03/2019						
						29/12/2018		16/02/2019	31/03/2019						
								17/02/2019							
								22/02/2019							
								23/02/2019							
								24/02/2019							
								25/02/2019							
								26/02/2019							
								27/02/2019							

Figure 42 : Répartition des épisodes PM10 par type d'influence majoritaire en nombre de jours

VII.3.1 Episodes d'origine régionale

Les épisodes d'origine régionale sont majoritaires. Ils regroupent 31 jours sur les 42 jours concernés et peuvent être distingués selon la nature des particules mesurées :

- Particules d'origine anthropique ;
- Particules minérales (influence naturelle) ;
- Particules d'origine maritime (influence naturelle).

a) Les épisodes régionaux d'origine anthropique

24 des 42 jours correspondent à des épisodes régionaux d'origine anthropique. Ils sont donc majoritaires (57%).

Ils se caractérisent par des conditions météorologiques anticycloniques limitant la dispersion des émissions : faible hauteur de la couche de mélange atmosphérique, températures faibles, pic mesurés par vents faibles en provenance des secteurs Sud à Nord-Est (figure 43 exemple de la rose des pollutions du 2/11/18).

Les données de composition chimique des particules montrent une majorité d'espèces inorganiques secondaires dans les particules, ce qui coïncide avec les conditions météorologiques favorables à leur formation.

Ces épisodes ont été observés de fin octobre 2018 à avril 2019 sachant que la plupart d'entre eux a été enregistré en fin d'hiver/début de printemps (février/mars 2019). Il s'agit d'une période propice à ce type d'épisode en raison des conditions météorologiques et des émissions de gaz précurseurs (notamment les oxydes d'azote) plus importantes.

En revanche, pour la majorité de ces épisodes, on note **des concentrations relevées à Saint-Malo Rocabey bien supérieures à celles enregistrées sur les autres stations du réseau d'Air Breizh** notamment Saint-Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas (figure 44 exemple du 2 et 3/11/18).

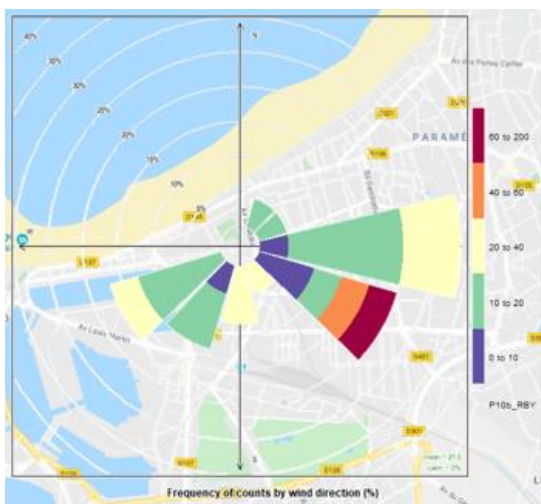


Figure 43 : Rose des pollutions en PM10 pour le 02/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

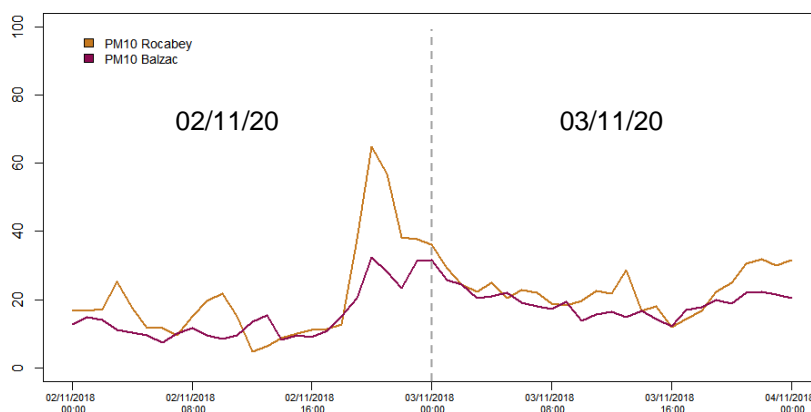


Figure 44 : Evolution des concentrations horaires en PM10 le 2 et 3/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Nous avons comparé les écarts relatifs entre les moyennes journalières de Rocabey et les autres stations du réseau de mesures d'Air Breizh. L'écart moyen est de **+10%** entre Rocabey et la station avec la concentration la plus élevée (figure 45).

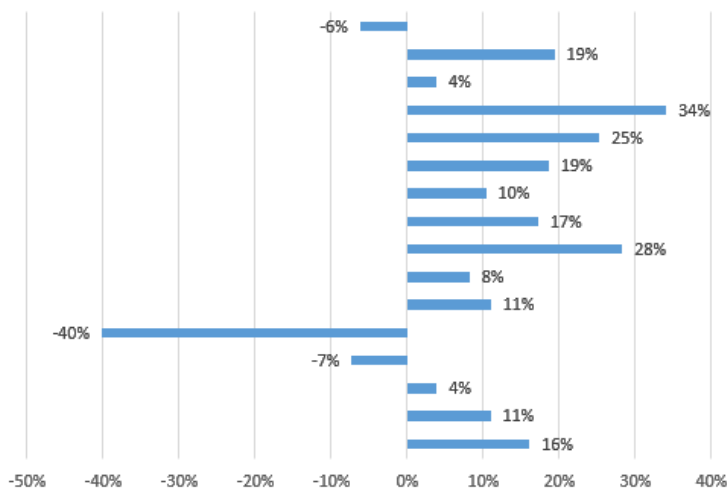


Figure 45 : Ecart relatif entre les moyennes journalières en PM10 de Saint-Malo Rocabey et la station avec la concentration la plus élevée du réseau de mesures d'Air Breizh

Différentes explications sont possibles :

Les pics interviennent souvent en période nocturne. Parmi les agglomérations dotées de stations de mesures en Bretagne, souvent de taille supérieure, le **parc de chauffage** à Saint-Malo est peut-être différent : moins de chauffage collectif à Saint-Malo, plus de chauffage au bois, ... Une analyse du parc de chauffage au bois à Saint-Malo pourrait-être réalisée.

Par ailleurs, les **émissions locales** pourraient être plus importantes sur le territoire de Saint-Malo en raison de la présence au sein de la ville **d'installations portuaires et d'industries** qui s'ajoutent aux autres émissions urbaines. Lors de faibles conditions de dispersion, l'incidence de ces émissions sur les concentrations serait plus importante.

Enfin, ces épisodes s'expliquent le plus souvent par une augmentation des ions inorganiques secondaires (nitrate, ammonium). Ils interviennent majoritairement au printemps. On peut s'interroger sur les **émissions locales de gaz précurseurs** et notamment d'ammoniac. Il serait intéressant d'estimer lors de ces épisodes la part des imports et des productions locales au sein des particules secondaires.

Sur la période du 01/07/18 au 30/06/19, ces épisodes atypiques ont entraîné une augmentation de la moyenne annuelle de l'ordre de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit +5%). La moyenne annuelle calculée sur la période est de $20.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de $19.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sans ces épisodes.

Bien que les concentrations à Saint Malo soient supérieures à celles des autres stations de mesures, il n'y a pas de risque de dépassement de la valeur limite annuelle ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En revanche, le nombre de jours de dépassement du seuil d'informations pour l'Ille et Vilaine pourra augmenter du fait de ces épisodes.

b) Les épisodes régionaux d'origine maritime (influence naturelle)

Trois jours sont concernés à savoir le 8 et 9/12/18 et le 10/03/19.

Ces épisodes se caractérisent par des vents forts, avec des pics de concentrations mesurés par vents de secteur Ouest (figure 46, exemple du 10/03/19), au moment de la pleine-mer, par fort coefficient et avec une forte houle.

La composition chimique des particules lors de ces épisodes est largement dominée par les sels de mer.

Dans ces conditions, les concentrations en particules augmentent également sur d'autres stations du réseau de mesures d'Air Breizh (Brest Macé notamment).

Toutefois les concentrations sont plus élevées à Rocabey (figure 47) : l'écart relatif moyen entre la moyenne journalière de Saint-Malo Rocabey et la station la plus élevée du réseau de mesures d'Air Breizh lors de ces épisodes est de **+18%**.

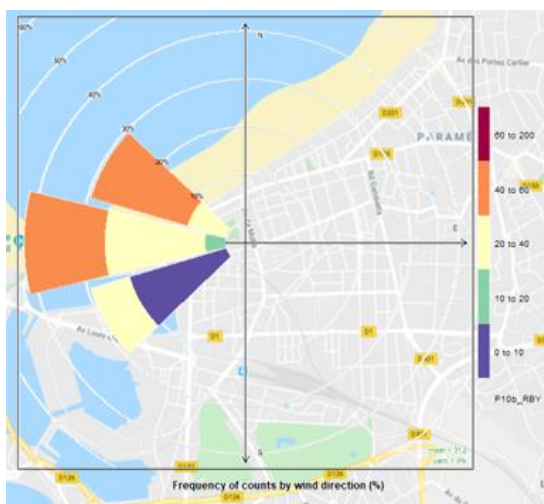


Figure 46 : Rose des pollutions en PM10 pour le 10/03/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

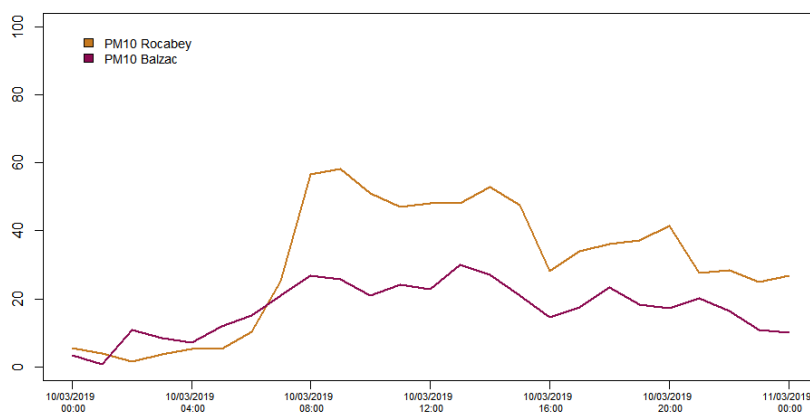


Figure 47 : Evolution des concentrations horaires en PM10 le 10/03/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

La faible distance de la station par rapport au littoral pourrait expliquer cette différence par rapport aux autres stations.

Ces épisodes sont peu nombreux. Ils concernent moins de 1% des données horaires sur la période du 01/07/18 au 30/06/19 ce qui affecte très peu la moyenne annuelle (+0.6%).

En fonction de la fréquence de ces épisodes, ils peuvent toutefois contribuer à augmenter le nombre de jours de dépassement du seuil d'informations pour l'Ille et Vilaine.

c) Les épisodes régionaux liés à des poussières minérales (influence naturelle)

Trois jours sont concernés par ces épisodes : le 27/06/18, le 26/09/18 et le 05/10/18.

Ces épisodes sont intervenus lorsque les vents provenaient des secteurs Sud ou Est (exemple du 26/09/18 sur la figure 48) ce qui permet d'exclure les apports locaux en provenance du littoral.

L'augmentation généralisée des concentrations sur les autres stations du réseau de mesures ainsi que les données de composition chimique issues de la modélisation nous ont permis d'identifier l'origine de ces épisodes.

Lors de ces épisodes, les concentrations relevées à Saint-Malo Rocabey sont semblables à celles relevées sur les autres stations notamment Saint-Brieuc Balzac (cf. exemple du 26/09/18 figure 49).

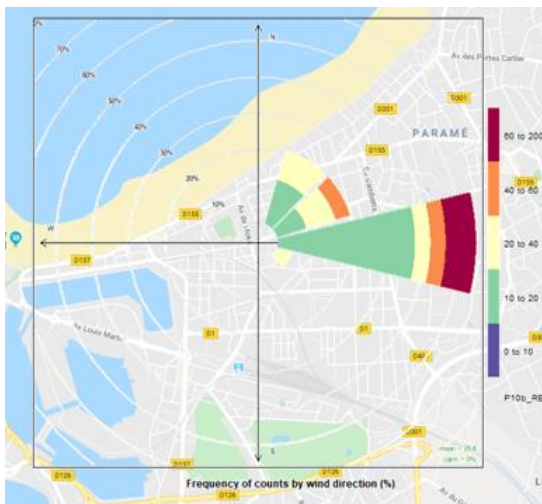


Figure 48 : Rose des pollutions en PM10 pour le 26/09/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

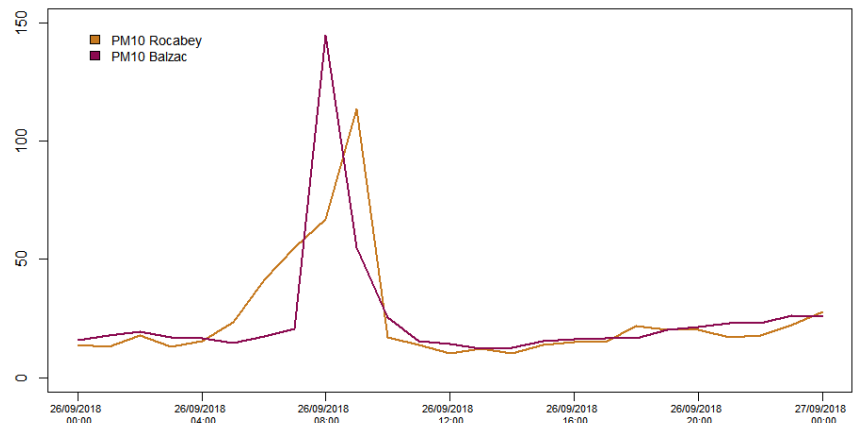


Figure 49 : Evolution des concentrations horaires en PM10 le 26/09/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ces épisodes ponctuels et rares affectent très peu la moyenne annuelle (+0.5%).

VII.3.2 Les épisodes d'origine locale

Lors de ces épisodes, deux types d'origine ont été identifiées :

- Une origine anthropique qui concerne 7 jours (soit 17% des jours concernés par un épisode) ;
- Une origine maritime qui concerne 3 jours (soit 7%).

a) Les épisodes locaux d'origine anthropique

Sept épisodes ont été enregistrés d'août à octobre 2018 et de juillet à septembre 2019. Ils sont regroupés sur la période estivale et concernent préférentiellement des jours en semaine.

- Le vendredi 31/08/18 *;
- Le mercredi 17/10/18 *;
- Le mardi 23/07/19 *;
- Le jeudi 22/08/19 *;
- Le samedi 24/08/19 *;
- Le vendredi 30/08/19 *;
- Le mercredi 12/09/19.

Six d'entre eux ont été observés la nuit (symbole * ci-dessus).

L'analyse des profils horaires permet de les différencier entre eux et notamment quatre épisodes intervenus à la même période en 2018 et 2019.

- **Les quatre épisodes de fin août 2018 et 2019 :**

Les **quatre épisodes constatés à la fin du mois d'août en 2018 et 2019** présentent des profils de concentrations très proches à savoir une augmentation des niveaux de PM10 à partir du milieu de la nuit puis une diminution entre 7 et 8h locale pour atteindre des niveaux de l'ordre du bruit de fond en fin de matinée (figure 50).

Pour ces cas de figures, les augmentations des niveaux de concentrations sont majoritairement observées par vents de Sud-Est (figure 51)

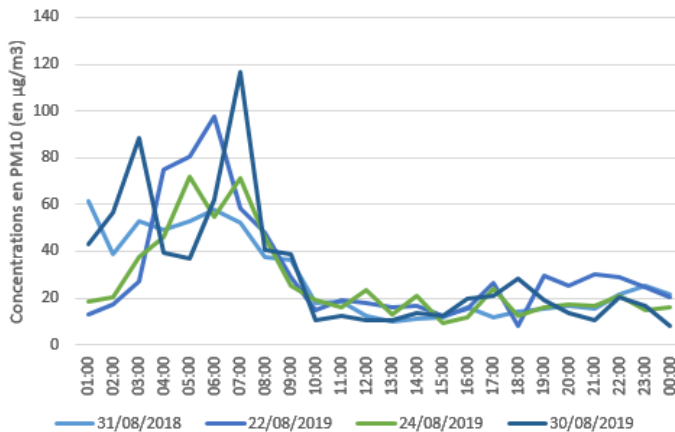


Figure 50 : Profils horaires des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU)

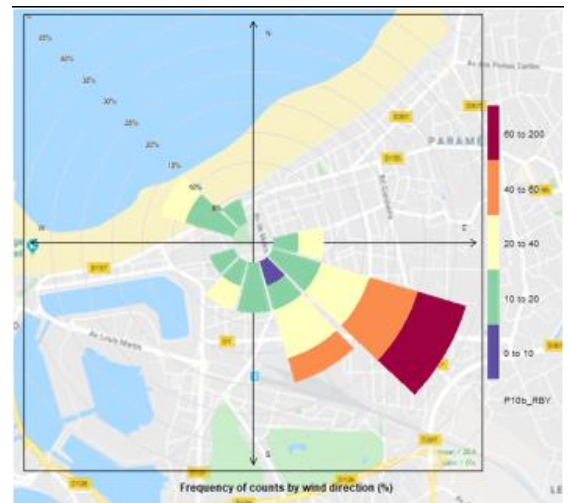


Figure 51 : Rose des pollutions en PM10 du 24/08/19 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Des mesures des particules PM2.5 sur le site Rocabey ont été réalisées lors de 3 de ces 4 épisodes. Le ratio PM2.5/PM10 peut ainsi renseigner sur la répartition granulométrique des particules pendant ces épisodes.

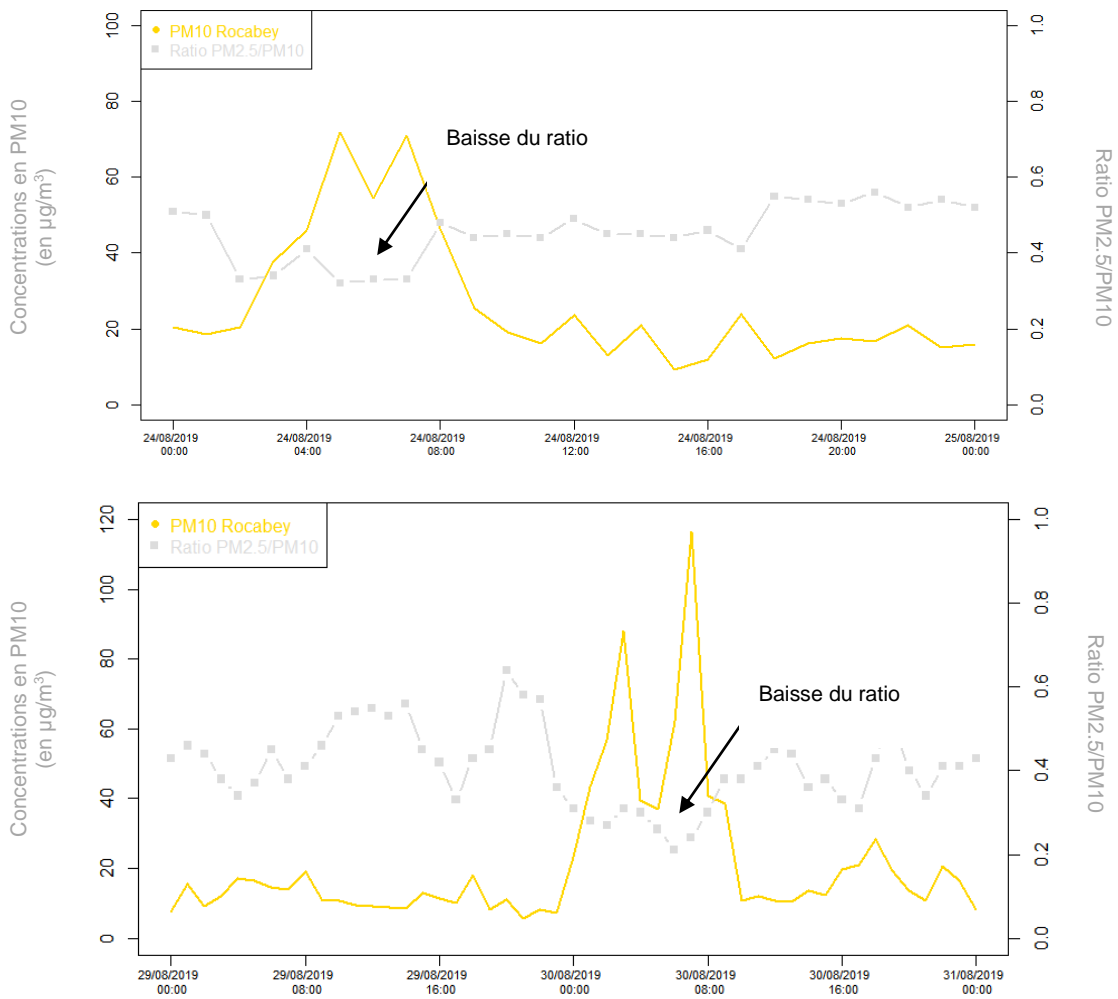


Figure 52 : Evolution des ratios PM2.5/PM10 lors de deux épisodes : le 24/08/19 (en haut) et le 30/08/19 (en bas)

Une diminution du ratio PM2.5/PM10 est observée lors de ces épisodes, indiquant que **les particules mesurées sont majoritairement de taille comprise entre 2.5 et 10 µm (fraction grossière)**.

Seule une analyse de la composition chimique des particules permettrait d'en préciser la source.

- **Les trois autres épisodes :**

Les trois autres épisodes présentent des profils horaires différents :

- **Le mercredi 12/09/18 :**

Un pic d'une forte intensité (max 260 µg/m³ en moyenne horaire) d'une durée de 3 à 4 heures a été mesuré dans la nuit par vents de Sud-Ouest soit en provenance des installations portuaires (figures 53 et 54). L'amplitude et la brièveté de l'augmentation des niveaux confirment le caractère local de la source.

Ce pic en particules PM10 n'est pas associé à un pic de dioxyde d'azote. Nous ne disposons pas de mesures PM2.5 pour cette journée.

Une confrontation de ces données de mesures avec les activités exercées sur le port serait intéressante pour confirmer ou non l'origine de ce pic.

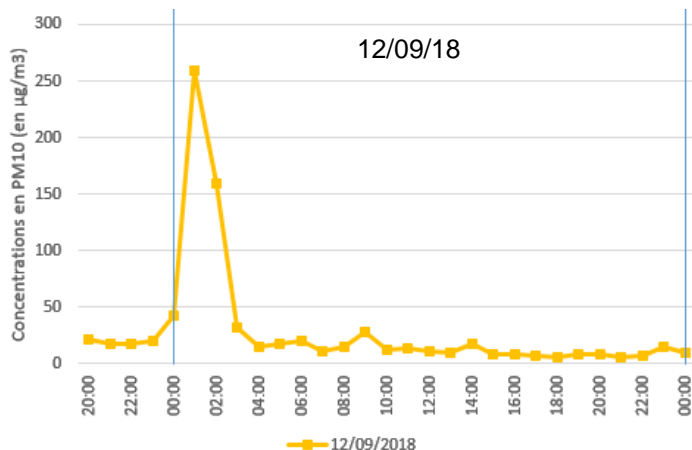


Figure 53 : Profil horaire des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU) pour le 12/09/18

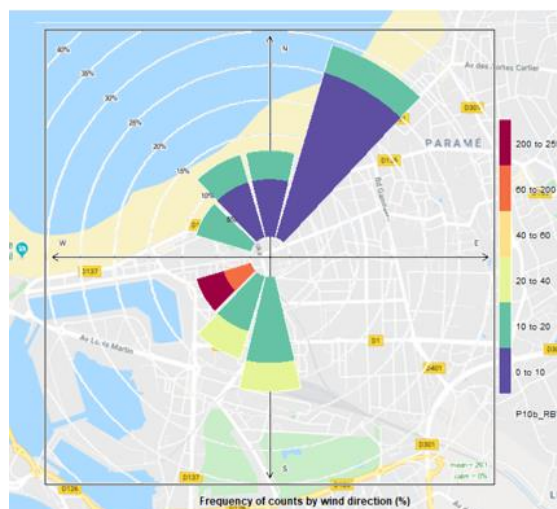


Figure 54 : Rose des pollutions du 12/09/18 pour les PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Le mercredi 17/10/18

Contrairement à l'épisode précédent, le mercredi 17/10/18 est concerné par un 1^{er} pic à 11h locale (max 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) suivi de deux autres pics à 17h et 22h d'amplitudes moins importantes (figure 55).

Le pic principal a été mesuré par vents de Sud (figure 56).

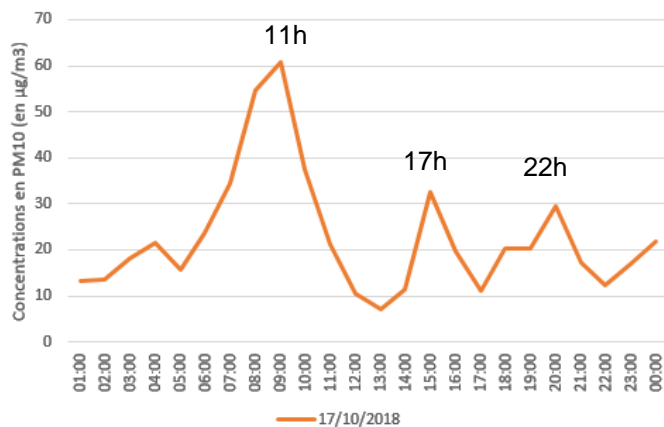


Figure 55 : Profil horaire des concentrations en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU) pour le 17/10/18

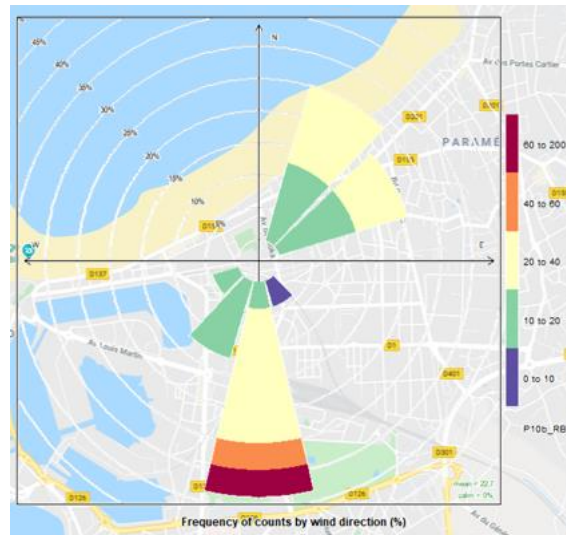


Figure 56 : Rose des pollutions du 17/10/18 pour les PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Le mardi 23/07/19

Pour la journée du 23/07/19, les profils des mesures aux stations Saint-Malo Rocabey et Saint-Brieuc Balzac sont proches.

Toutefois en soirée, un pic est observé à Saint-Malo Rocabey (max 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 21 heures locales) contrairement à la station de Balzac (figure 57).

Ce pic est intervenu par vents forts de Sud-Ouest soit en provenance des installations portuaires. Il est associé à un pic de dioxyde d'azote mesuré également à Rocabey (figure 58).

Le ratio $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ calculé à partir des mesures $\text{PM}_{2.5}$ réalisées en parallèle à Rocabey, est stable pendant le pic. Les particules mesurées pendant le pic semblent donc avoir une répartition granulométrique proche des conditions sur le reste de la journée.

Au vu du profil des mesures sur le reste de la journée, de leur corrélation avec celles de Saint-Brieuc Balzac et de la stabilité de la granulométrie des particules mesurées, il est possible que cet épisode soit plutôt régional et que le pic en soirée soit plus accentué qu'à Saint-Brieuc.

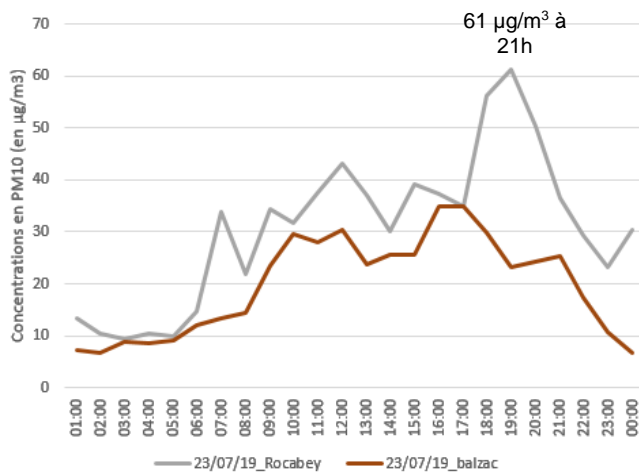


Figure 57 : Profil horaire des concentrations en PM_{10} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - heure TU) pour le 23/07/19

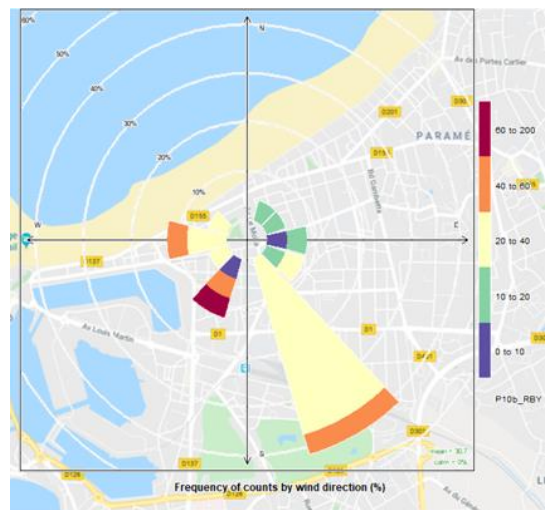


Figure 58 : Rose des pollutions du 23/07/19 pour les PM_{10} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

b) Les épisodes locaux d'origine maritime

Ces épisodes sous influence naturelle de type maritime concernent trois journées : le vendredi 30/11/18, le dimanche 11/02/19 et le lundi 2/09/19.

Ils sont généralement associés à des vents de vitesse élevée, de Nord ou de Sud-Ouest soit en provenance du littoral ou du port. Leur durée est de l'ordre de 2 à 3 heures. Ils coïncident également avec une période de marée haute. L'amplitude des pics peut être importante atteignant $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire.

Les données de composition chimique pendant l'un des trois épisodes révèlent la présence majoritaire des sels de mer dans les PM_{10} .

Par ailleurs, les mesures de granulométrie rendent compte d'un changement de la distribution des particules lors des pics avec une augmentation de la concentration des particules comprises entre 2.5 et $10 \mu\text{m}$ (figure 59).

Ces investigations confirment l'origine maritime de ces épisodes.

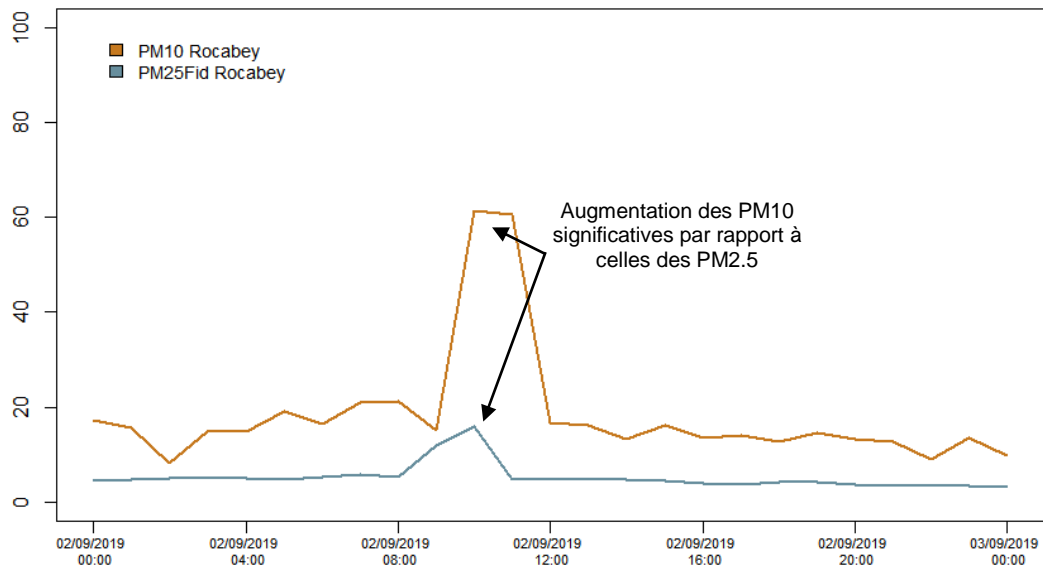


Figure 59 : Evolution des mesures à Saint-Malo Rocabey (PM2.5 et PM10) et Saint-Brieuc Balzac (PM10) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

VII.3.3 Episodes d'origine microlocale

On considère une origine microlocale lorsqu'une activité est exercée à proximité immédiate de la station de mesures entraînant une augmentation des niveaux. On juge dans ce cas précis que ces derniers ne sont pas représentatifs de l'exposition moyenne de la population au niveau de fond. Ils doivent donc être invalidés.

Un seul épisode est concerné par cette typologie. Il correspond au mardi 04/09/18 pendant lequel des travaux de débroussaillage ont été effectués dans le cimetière par la collectivité.

VII.4. Synthèse de l'analyse des mesures PM10 lors des journées atypiques relevées à Rocabey

✓ Principe et objectifs :
<p>Ce chapitre était réservé à l'analyse des pics PM10 mis en évidence depuis le début des mesures à Rocabey.</p> <p>L'objectif était de déterminer les origines possibles de ces pics en distinguant les influences régionales et locales.</p>
✓ Données utilisées :
<p>Au total, 24 épisodes ont été retenus du 01/07/18 au 05/09/19, regroupant chacun 1 ou plusieurs pics. Ces épisodes jugés atypiques concernent au total 42 jours.</p>
✓ Enseignements :
<p>→L'analyse des épisodes montre que la plupart d'entre eux sont liées à des influences régionales (74% des cas). Pour ces épisodes, les concentrations sont systématiquement supérieures à Saint-Malo à celles de Saint-Brieuc ou Rennes.</p> <p>Différentes explications ont été avancées pour les épisodes régionaux liés à des activités anthropiques qui sont majoritaires : émissions liées au chauffage plus importantes, contexte particulier du fait de la présence d'installations industrielles et portuaires dans la ville.</p> <p>→Par ailleurs, 24% des épisodes sont liés à une influence locale.</p> <p>D'après notre analyse, ils seraient majoritairement liés à une origine anthropique (17%). Notons par exemple la survenue de 4 épisodes présentant des profils horaires des concentrations identiques (pic nocturne) et ont été constatés à la fin du mois d'août en 2018 et 2019 par vents de Sud-Est.</p> <p>Les épisodes locaux naturels concernent seulement 7% des épisodes.</p>
✓ Perspectives :
<p>Des recherches complémentaires auprès des industriels pourraient être réalisées pour tenter d'expliquer les 4 épisodes d'influence locale intervenus à la fin du mois d'août en 2018 et 2019.</p> <p>Pour expliquer les niveaux systématiquement plus élevés à Saint-Malo par rapport aux autres agglomérations pendant les épisodes d'origine régionale, des mesures complémentaires de PM2.5 et PM10 sur plusieurs points à l'échelle de l'agglomération pourraient être effectuées.</p> <p>Elles permettraient de mettre en évidence ou non des variations spatiales des niveaux et donc de préciser la ou les sources concernées. Ces mesures pourraient être couplées à des analyses de composition chimique.</p> <p>Lors de la campagne fin 2018, des mesures ont été réalisées sur un autre site durant quelques jours. Les résultats sont présentés dans le chapitre suivant.</p>

VIII. Mesures complémentaires des particules dans le quartier Découverte à Saint-Malo

Durant la campagne de mesures complémentaires réalisée en fin d'année 2018, des mesures de particules PM10 ont été effectuées dans le quartier « Découverte » du 22/11/18 au 11/12/18. Rappelons que des mesures des particules PM10 avait notamment été effectuées dans ce quartier lors de l'étude réalisée par Air Breizh en 2017. En revanche, il s'agissait de mesures 'indicatives' car réalisées avec des capteurs non approuvés pour la surveillance réglementaire, contrairement à ce qui a été effectué lors de cette campagne.

Les résultats de ces mesures, comparées à celles réalisées sur la même période sur le site de mesures réglementaires « Rocabey », sont présentés dans ce chapitre.

VIII.1. Données utilisées

Des mesures complémentaires de concentrations horaires en particules PM10 ont été réalisées dans le quartier Découverte avec le camion laboratoire équipé d'un appareil type TEOM-FDMS. Ces données sont comparées aux mesures PM10 de la station urbaine de fond Rocabey, équipée d'un appareil de type BAM.

Comme observé dans le chapitre IV.2, les différences de méthode de mesures entre ces deux appareils peuvent conduire à des écarts des niveaux mesurés. Les essais des deux méthodes sur le site Rocabey avait mis en évidence une différence de -8% entre la concentration moyenne mesurée sur la période avec le BAM et celle du TEOM-fdms.

Tableau 8 : Données utilisées pour l'interprétation des données de mesures à Découverte

Lieu	Station	Paramètre	Analyseur	juil.-18	août-18	sept.-18	oct.-18	nov.-18	déc.-18	janv.-19	févr.-19	mars-19	avr.-19	mai-19	juin-19	juil.-19	août-19	sept.-19
Saint-Malo	Rocabey (périurbaine de fond)	PM10	BAM	mesures en continu 1/7 -----> 30/6														
	Découverte (périurbaine de Fond)	PM10	Teom-Fdms	22/11 --> 11/12														

Le site « Découverte » avait déjà fait l'objet de mesures dans le cadre de l'étude réalisée par Air Breizh au sujet des particules sédimentables et la recherche de sources en 2017 (rapport en ligne sur le site internet d'Air Breizh). Il se trouve au sein de l'école du même nom (Rue Gentil à Saint-Malo).

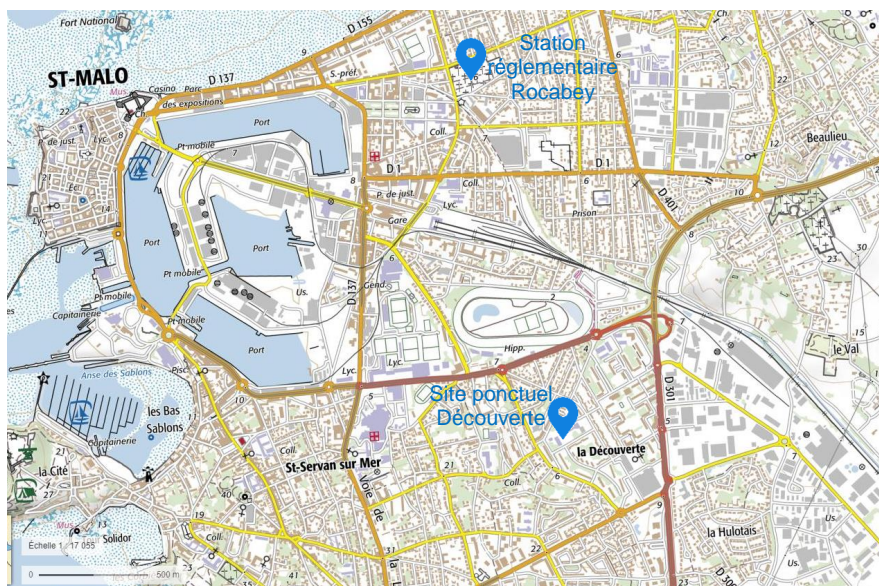


Figure 60 : Localisation du point de mesures complémentaire 'Découverte' à Saint-Malo

Le site Découverte se trouve dans un quartier résidentiel (site de fond périurbain) composé majoritairement d'habitats collectifs. Il se trouve à l'Ouest de la zone industrielle Sud (figure 59). Les deux sites, Rocabey et Découverte, sont distants de 1700 mètres environs.

Si l'on se réfère au chapitre relatif à l'analyse des conditions météorologiques pendant la campagne de mesures complémentaires (chapitre V2), ces mesures ont été réalisées lors d'une période dépressionnaire, avec des pluies récurrentes et des vents de Sud-Ouest majoritaires.

VIII.2. Comparaison des données horaires des deux sites à Saint-Malo

Les relevés horaires des concentrations en PM10 sur les deux sites suivent les mêmes tendances même si le site Rocabey présente des concentrations le plus souvent supérieures à celles du site Découverte (figure 61).

Durant ces mesures complémentaires, des pics de concentrations ont été détectés pendant 5 jours à Rocabey et ont donc fait l'objet d'une recherche des sources d'influence lors du chapitre précédent.

Ils sont repris ci-dessous :

- Le pic du 30/11/18, observé à Rocabey, n'est pas visible sur le site Découverte. Il serait lié à une influence maritime supposée (en provenance du Sud-Ouest). Le site Découverte est plus éloigné du littoral et il ne se trouve pas sous les vents du port par vents de Sud-Ouest.
- Les pics du 23-24/11 puis 8-9/12 seraient liés à des influences régionales respectivement anthropique (en provenance du Sud-Sud-Est) puis maritime (en provenance de l'Ouest).

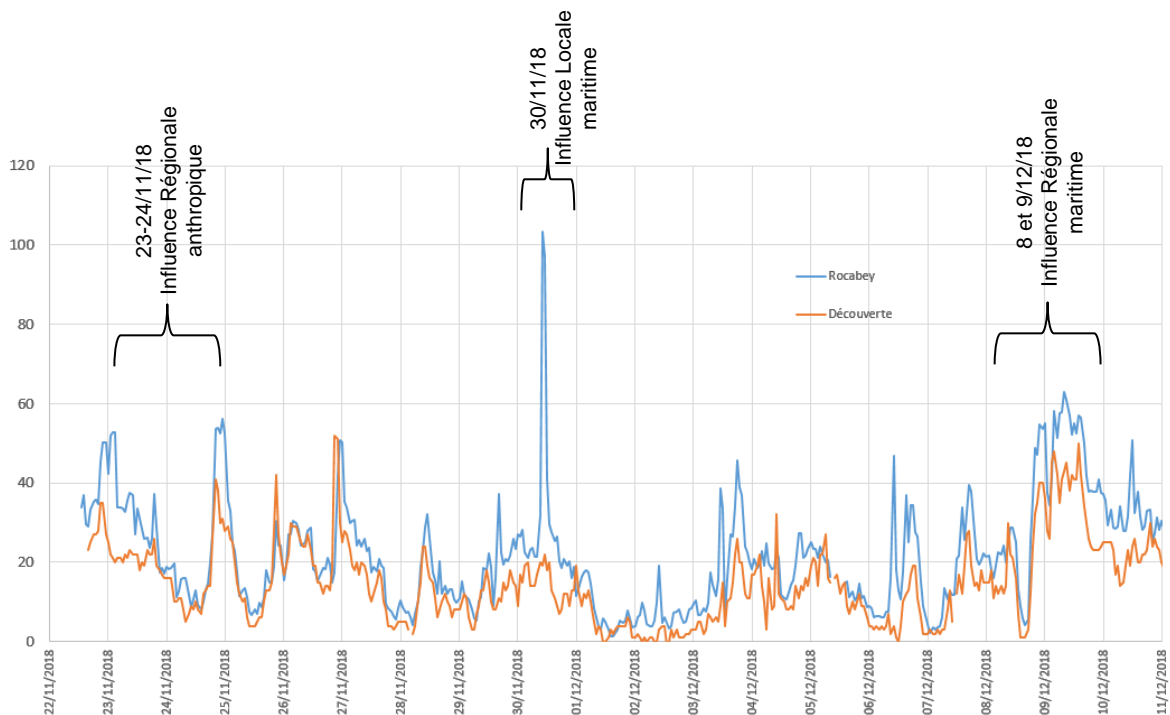


Figure 61 : Evolution des concentrations horaires en PM10 sur les sites Rocabey et Découverte à Saint-Malo (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

En dehors de ces périodes, les concentrations relevées sur les deux sites sont assez proches.

VIII.3. Comparaison des données journalières des deux sites à Saint-Malo

Sur la période des mesures, la moyenne en PM10 a été de 22 µg/m³ à Rocabey contre 15 µg/m³ à Découverte.

Les concentrations moyennes journalières mesurées à Saint-Malo Découverte sont comparées aux données de Saint-Malo Rocabey et Saint-Brieuc Balzac (figure 62).

Pour mieux appréhender les différences observées entre les sites, les incertitudes liées à la mesure sont présentées (l'incertitude maximale tolérée a été retenue à savoir 25%).

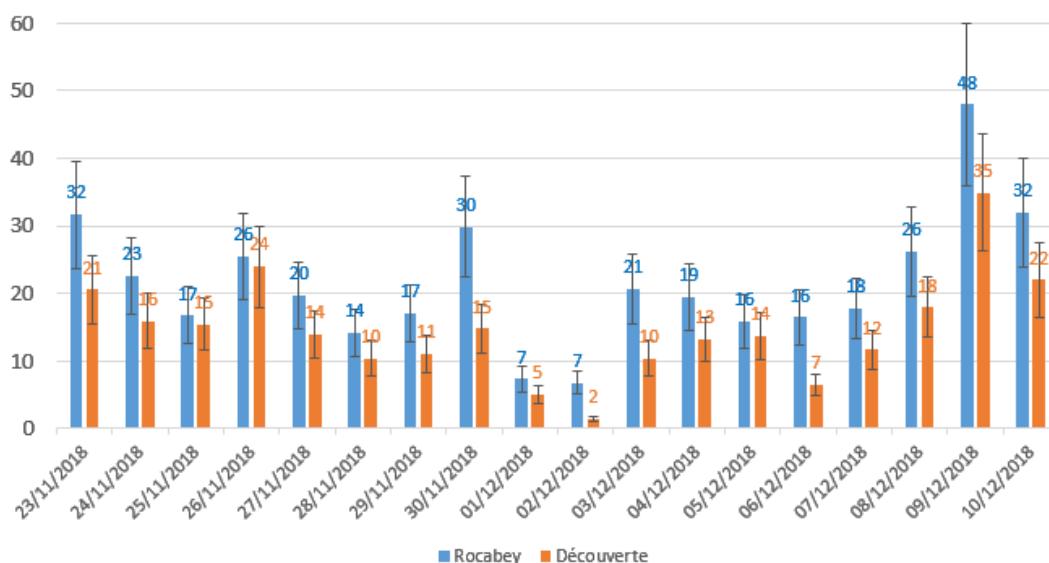


Figure 62 : Comparaison des concentrations moyennes journalières en PM10 (en µg/m³)

Les différences entre les moyennes journalières des deux sites se situent souvent dans la marge d'incertitude liée à la mesure. Pour autant, les moyennes journalières relevées à Rocabey sont le plus souvent supérieures à celles de Découverte.

En valeur absolue, les écarts sont compris entre -1 et -15 µg/m³ (cf. figure 63).

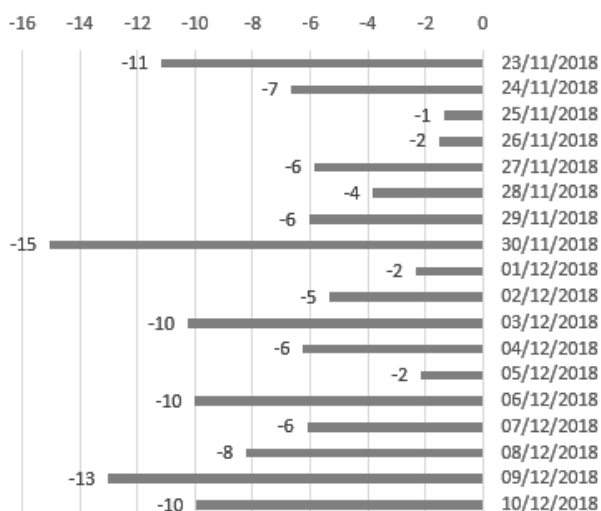


Figure 63 : Ecart des concentrations en PM10 entre les sites Découverte et Rocabey à Saint-Malo (en µg/m³)

VIII.4. Comparaison des roses de pollutions des deux sites à Saint-Malo

En situation moyenne sur la campagne de mesures complémentaires, les concentrations en PM10 sont plus élevées par vents de Sud-Ouest sur le site Rocabey par rapport au site Découverte. La proximité des installations portuaires pourrait expliquer ce constat.

Par vents de Sud à Sud-Est, les concentrations en PM10 sont également plus élevées à Rocabey par rapport à Découverte. Ces conditions contribuent à exposer le site Rocabey aux émissions de la ville et de la zone industrielle contrairement au site Découverte situé dans la moitié Sud de la ville (figure 64).

Contrairement à ce qui avait été observé durant l'étude 2017, le site Découverte ne semble pas présenter des concentrations plus importantes lorsque les vents proviennent du Nord-Est (soit de la zone industrielle et de l'avenue du Général De Gaulle). Toutefois les vents en provenance de cette direction ont été quasi inexistant durant cette courte période de mesures.

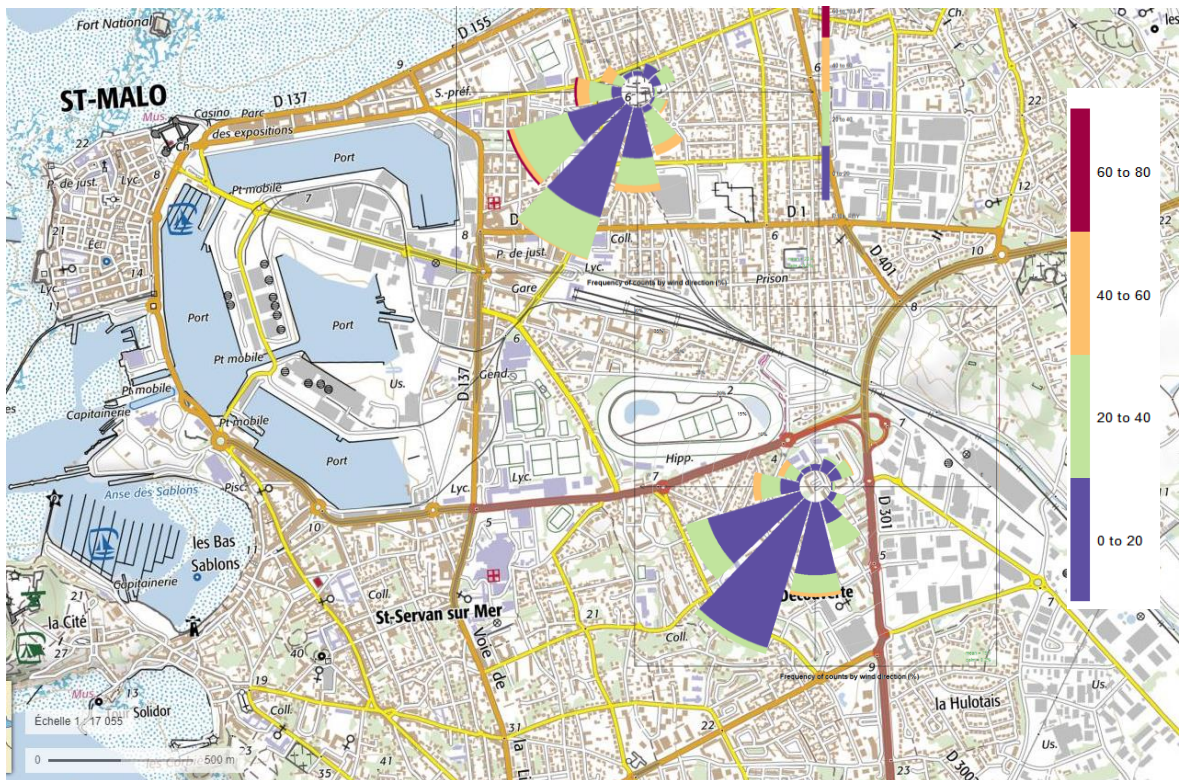


Figure 64 : Roses des pollutions PM10 des sites Découverte et Rocabey pendant la campagne du 22/11 au 11/12/18

Nous revenons dans les figures suivantes sur trois situations d'expositions différentes des sites en fonction de la direction des vents.

→ Dans le cas du 23/11/18 (figure 65), les concentrations horaires relevées par vents de Sud-Est sur le site Rocabey sont plus élevées ($> 40\mu\text{g}/\text{m}^3$) que sur le site Découverte.

→ Le 30/11/18 (figure 66), par vents de Sud-Ouest, les concentrations en PM10 sont également plus élevées sur le point Rocabey par rapport au site Découverte.

→ Enfin le 09/12/18 (figure 67), par vents d'Ouest, les concentrations sur le site Rocabey sont supérieures à celles de Découverte.

Ainsi, selon trois directions différentes des vents, le site Rocabey semble subir des influences locales plus marquées que le site Découverte au regard des niveaux de PM10 mesurés.

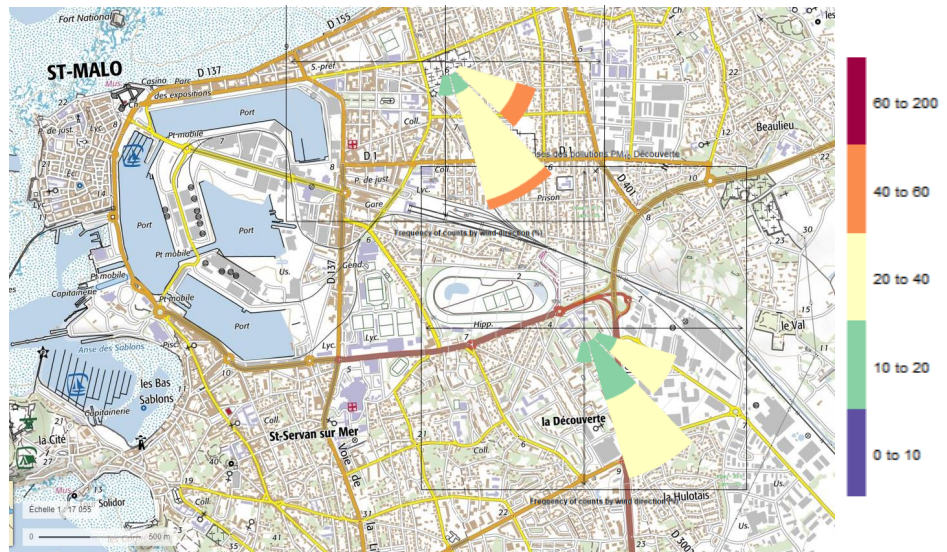


Figure 65 : Rose des pollutions PM10 du 23/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

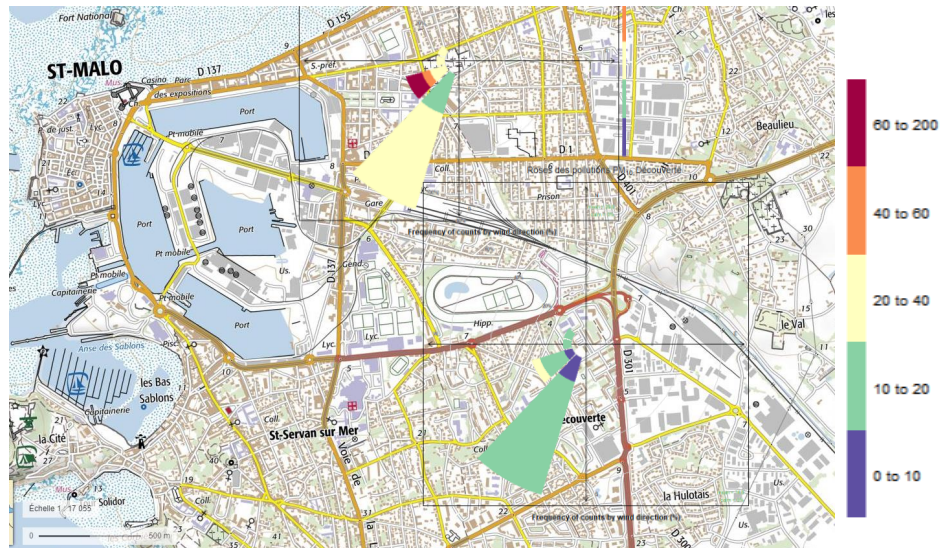


Figure 66 : Rose des pollutions PM10 du 30/11/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

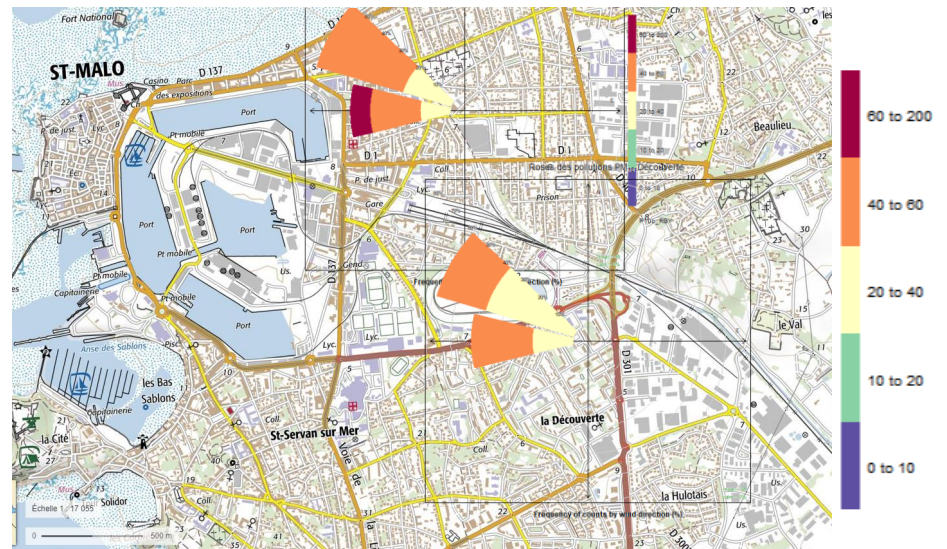


Figure 67 : Rose des pollutions PM10 du 9/12/18 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VIII.5. Synthèse de la comparaison des données de mesures des particules sur deux sites à Saint-Malo

✓ Principe et objectifs :
<p>Ce chapitre était réservé à l'analyse des mesures réalisées sur un deuxième point à Saint-Malo : Découverte.</p> <p>L'objectif était de voir si les niveaux mesurés en PM10 sur un autre site dans Saint-Malo étaient comparables à ceux du site de mesures réglementaires Rocabey.</p>
✓ Données utilisées :
<p>Les mesures PM10 sur le site Découverte ont été réalisées du 22/11 au 11/12/18.</p>
✓ Enseignements :
<p>La comparaison des données de mesures PM10 entre les sites Découverte et Rocabey effectuées sur une vingtaine de jours fin 2018 révèle la présence de variations spatiales des niveaux sur le territoire.</p> <p>Le point Rocabey semble subir des influences locales plus marquées que le point Découverte. Les influences locales pourraient être liées d'un part aux émissions anthropiques du port et de la zone industrielle et d'autre part aux émissions naturelles du fait de la proximité du littoral.</p> <p>Le positionnement géographique du site Rocabey explique ce constat : il se trouve sous les vents des installations portuaires par vents de Sud-Ouest (vents majoritaires) et sous les vents de la ville et de la zone industrielle Sud par vents de Sud/Sud-Est.</p> <p>Malgré cela, les valeurs mesurées sont bien représentatives des niveaux de fond auxquels les habitants sont exposés.</p>
✓ Perspectives :
<p>Ces mesures pourraient être reconduites sur une durée plus importante pour vérifier ce constat notamment par vents de Nord-Est (conditions non rencontrées).</p>

IX. Conclusion générale

Après un an de mesures des particules PM10 à Saint Malo et en raison d'augmentations ponctuelles et répétitives des niveaux par rapport aux autres stations du réseau, Air Breizh a souhaité réaliser un bilan des mesures et conduire des prélèvements complémentaires afin d'apporter quelques éléments explicatifs aux phénomènes observés.

Ces mesures complémentaires ont été réalisées durant l'hiver 2018/2019.

Les principaux enseignements tirés de ce rapport sont les suivants.

1. Bilan de la première année de mesures PM10 :

La moyenne annuelle en PM10 calculée du 01/07/18 au 30/06/19 à Saint-Malo Rocabey est respectivement 10 et 30% supérieure à celles des stations Saint-Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas. Ces écarts sont jugés significatifs.

Les seuils réglementaires annuels ont été respectés sur cette année glissante. En revanche, le niveau recommandé par l'OMS a été atteint.

L'analyse des données suivants les jours de la semaine ne permet pas de mettre en évidence de profil atypique sur les mesures de la station Saint-Malo Rocabey.

2. Quelles sont les influences sur les niveaux de fond à la station Rocabey ?

L'analyse de la composition chimique des particules PM10 durant l'hiver 2018/2019 a permis de mettre en évidence deux types d'influence sur les niveaux de particules :

- Une **influence maritime** justifiée par la présence majoritaire de sels de mer dans les particules ;
- Une **influence anthropique** caractérisée par la présence majoritaire de matière organique (considérée comme émise majoritairement par les sources anthropiques notamment à cette période la combustion de biomasse) et des ions inorganiques (nitrate et ammonium).

Il serait intéressant de compléter cette première approche sur la composition chimique des particules, par des prélèvements sur d'autres périodes de l'année, ainsi que par des mesures des gaz précurseurs de particules fines pour permettre un diagnostic complet du territoire.

Les mesures des concentrations selon les fractions granulométriques des particules confirment la corrélation entre source d'influence et distribution granulométrique.

Ainsi, la fraction grossière est plus importante lorsque l'influence maritime devient majoritaire. Par ailleurs, la fraction fine augmente lorsque l'influence anthropique devient majoritaire. Ce constat est en accord avec la bibliographie sur ce sujet.

A partir de l'été 2020, l'installation d'un analyseur PM2.5 en continu sur le site Rocabey (en complément de la mesure PM10) permettra d'aider à l'identification des pics constatés. L'ajout de cette mesure sera rendu possible grâce à une subvention d'investissement de Saint-Malo Agglomération.

3. Quelles sont les influences sur les niveaux de PM10 lors des pics ?

Bien que n'ayant pas fait l'objet d'un dépassement du seuil réglementaire, certains jours ont été jugés atypiques au vu des concentrations mesurées en PM10.

La majorité de ces journées ayant présenté un ou des pic(s) de concentrations en PM10 serait liée à une influence régionale (75%).

L'autre partie étant liée à des épisodes jugés locaux (près de 25%).

Lors des **épisodes régionaux**, les concentrations relevées à Saint Malo sont systématiquement supérieures à celles observées sur les autres stations (+10% en moyenne sur la moyenne journalière). Ces épisodes ont été constatés le plus souvent lors des conditions anticycloniques en hiver, par températures froides et lors de faibles conditions de dispersion.

Il est fort probable que dans ces conditions particulières, les émissions locales des installations portuaires et des zones industrielles ajoutées aux émissions urbaines (chauffage et transport) contribuent à augmenter les concentrations de manière amplifiée à Saint-Malo.

D'autres particularités locales pourraient également expliquer ces différences et notamment une répartition différente des modes de chauffage à Saint-Malo par rapport à Saint-Brieuc ou Rennes.

Par ailleurs, au sein des **épisodes d'influence locale**, la majorité serait liée à une source anthropique. La survenue de pics récurrents par vents de Sud-Est à la fin du mois d'août en 2018 et 2019, mérite des recherches complémentaires.

Dans tous les cas, ces épisodes n'affectent pas de manière significative la moyenne annuelle. **En revanche, ils pourraient contribuer à augmenter le nombre de dépassement du seuil d'informations sur le département d'Ille-et-Vilaine.** Sur l'année glissante de juillet 2018 à juin 2019, le nombre maximal de jours de dépassement du seuil journalier de 50 µg/m³ recommandé par l'OMS a d'ailleurs été atteint.

4. Existe-t-il des différences de niveaux de concentrations en PM10 à Saint-Malo ?

Des mesures de PM10 ont été réalisées simultanément sur deux sites à Saint-Malo durant une vingtaine de jours en fin d'année 2018 : le site réglementaire Rocabey et un autre point de mesures ponctuelles dans le quartier Découverte.

Le site Rocabey présente les concentrations plus élevées quelles que soient les directions de vents.

Son positionnement au regard des sources d'émissions de l'agglomération justifie ce constat.

Les enseignements de cette étude confirment la particularité du secteur en raison de sa configuration : proximité du littoral, installations industrielles et portuaires dans l'agglomération.

Les différentes approches utilisées confirment que le site Rocabey, avec des niveaux en particules plus élevés, est malgré cela représentatif des niveaux de fond auxquels la population est exposée. Pour cette raison, son emplacement ne doit pas être remis en cause.

En revanche, des recherches complémentaires sont encore nécessaires pour affiner la compréhension des sources d'émissions.

La mise en place d'un analyseur de PM2.5 en continu durant l'été 2020 et la réalisation d'analyses de composition chimique couplées à la mesure de gaz précurseurs (comme l'ammoniac) sur d'autres périodes de l'année, seraient des atouts complémentaires pour approfondir la compréhension des sources locales.



Annexe I : Présentation d'Air Breizh

Présentation d'Air Breizh

La surveillance de la qualité de l'air est assurée en France par des associations régionales, constituant le dispositif national représenté par la Fédération ATMO France.

Ces organismes, agréés par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, ont pour missions de base, la mise en œuvre de la surveillance et de l'information sur la qualité de l'air, la diffusion des résultats et des prévisions, et la transmission immédiate au Préfet et au public, des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassements des seuils de recommandation et d'information du public et des seuils d'alerte.

En Bretagne, cette surveillance est assurée par Air Breizh depuis 1986.

Le réseau de mesure s'est régulièrement développé et dispose en 2017, de 18 stations de mesure, réparties sur le territoire breton, ainsi que d'un laboratoire mobile, de cabines et de différents préleveurs, pour la réalisation de campagnes de mesure ponctuelles.

L'impartialité de ses actions est assurée par la composition quadripartite de son Assemblée Générale regroupant quatre collèges :

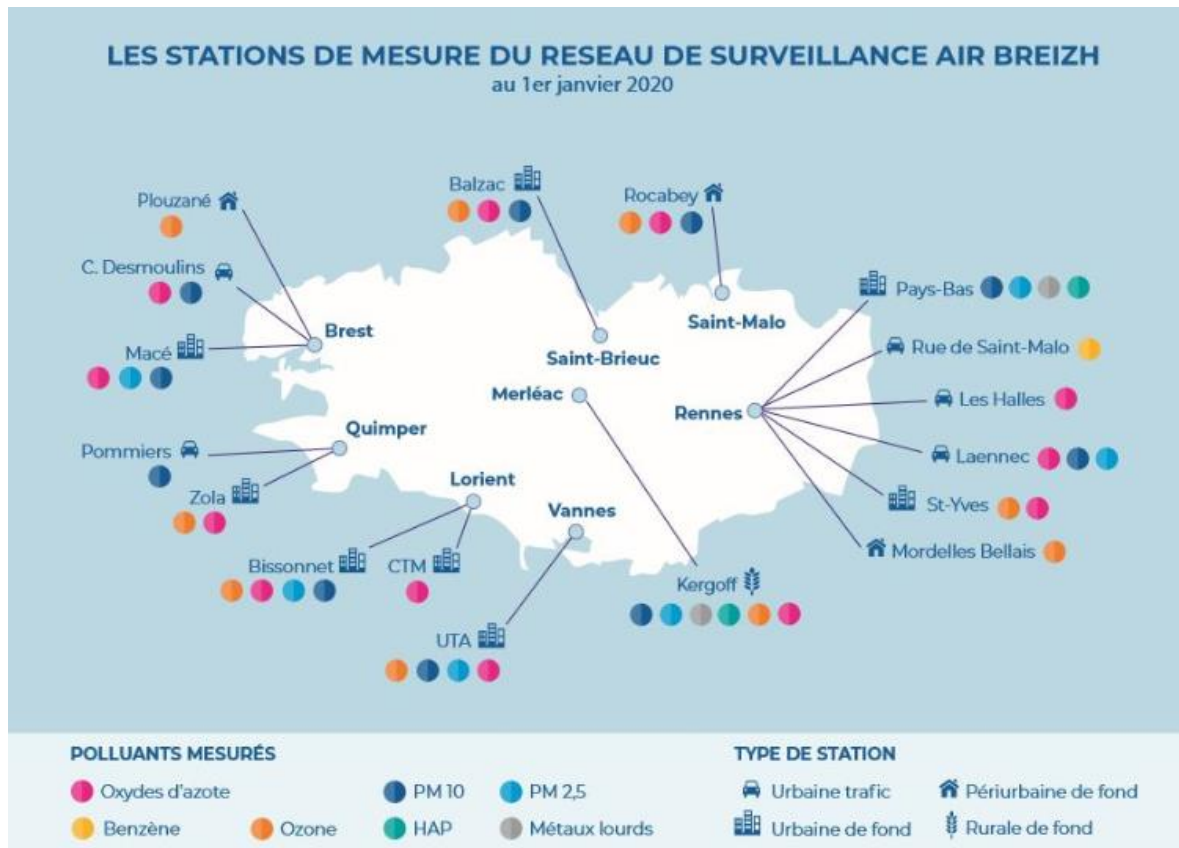
- Collège 1 : services de l'Etat,
- Collège 2 : collectivités territoriales,
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

Missions d'Air Breizh

- Surveiller les polluants urbains nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM10 et PM2.5) dans l'air ambiant,
- Informer la population, les services de l'Etat, les élus, les industriels..., notamment en cas de pic de pollution. Diffuser quotidiennement l'indice ATMO, sensibiliser et éditer des supports d'information : plaquettes, site web...,
- Etudier l'évolution de la qualité de l'air au fil des ans, et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation.
- Apporter son expertise sur des problèmes de pollutions spécifiques et réaliser des campagnes de mesure à l'aide de moyens mobiles (laboratoire mobile, tubes à diffusion, préleveurs, jauges OWEN...) dans l'air ambiant extérieur et intérieur.

Réseau de surveillance en continu

La surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés est assurée via des d'analyseurs répartis au niveau des grandes agglomérations bretonnes. Ce dispositif est complété par d'autres outils comme l'inventaire et la modélisation, qui permettent d'assurer une meilleure couverture de notre région.



Implantation des stations de mesures d'Air Breizh (au 01/01/20)

Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte onze salariés, et dispose d'un budget annuel de l'ordre d'1,4 million d'euros, financé par l'Etat, les collectivités locales, les émetteurs de substances polluantes, et des prestations d'intérêt général et produits divers.

Annexe II : Méthode du bilan des masses

Synthèse des coefficients de conversion utilisés

L'exploitation des données d'analyses a consisté à réaliser un bilan des masses des composés analysés, en utilisant pour certaines catégories de composés (sels marins, poussières minérales, OM) des facteurs de conversion issus de la littérature. Ils sont repris ci-après.

a) Aérosol carboné : EC et OM

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression
EC	EC	1
OC	OM	OM = 1.75 x OC (*)

* Thèse de Diogo Miguel BARROS de OLIVEIRA, Lille1, 2017

b) Espèces inorganiques secondaires

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression
NH ⁴⁺	NH ⁴⁺	1
NO ³⁻	NO ³⁻	1
SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	1 ss SO ₄ ²⁻ = 0.251 x Na ⁺ (*) nss SO ₄ ²⁻ = SO ₄ ²⁻ - 0.251 x Na ⁺ (*)

*Turpin et Lim 2001, Caractérisation chimique des particules LCSQA juin 2009

c) Poussières minérales et sels marins

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression
Na ⁺	Sels marins	Sels marins = 3 x [Na ⁺] (*) = Na ⁺ + Cl ⁻ + Mg ²⁺ + ssK ⁺ + ssCa ²⁺ + ssSO ₄ ²⁻
Na ⁺ , Ca ²⁺	Poussières crustales (ou minérales)	Poussières crustales = = (Ca ²⁺ - 0.039 x Na ⁺) x 8 (**)

ss : sea salt

nss : non sea salt

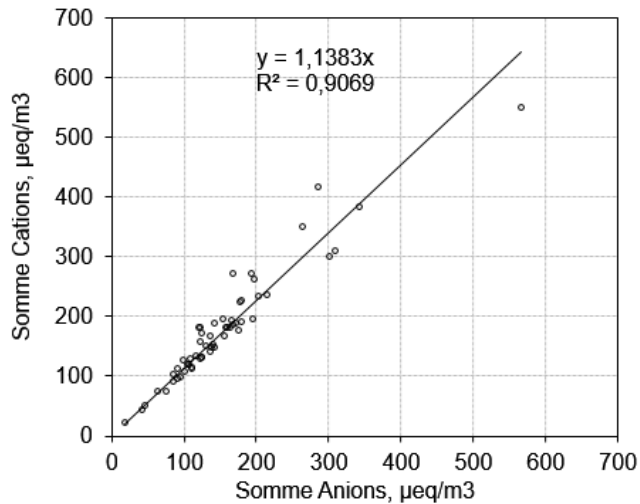
*Turpin et Lim 2001, Caractérisation chimique des particules LCSQA juin 2009

**IMT Douai – Méthode suivi caractérisation particules sites MERA

Validation préalable des résultats d'analyses chimiques

a) La balance ionique

En situation de fond, loin des sources, les particules atmosphériques sont globalement en situation d'équilibre électrique. L'exercice de la balance ionique, correspondant au bilan des charges électriques des anions et des cations analysés. Il permet de détecter d'éventuels problèmes de prélèvement ou d'analyses chimiques.



Balance ionique pour chacun des échantillons analysés

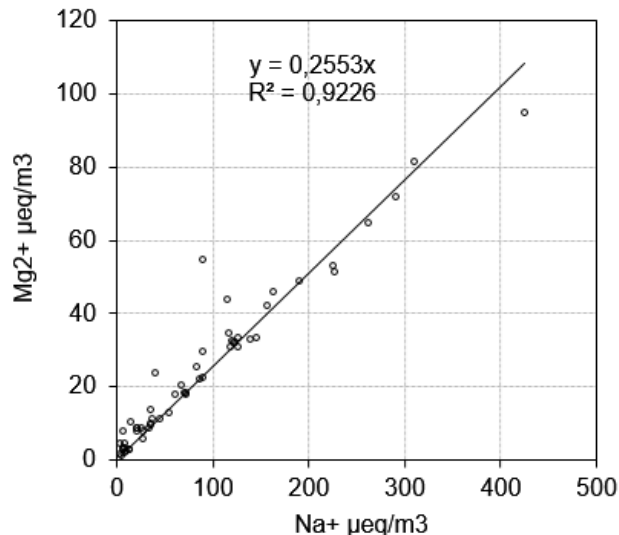
Le traitement de l'ensemble des échantillons met en évidence une bonne corrélation entre cations et anions ($R^2 = 0.91$).

Ces résultats révèlent un bon état d'équilibre électrique et la fiabilité des analyses réalisées.

b) Choix du sodium Na^+ comme traceur des sels de mer

Comme détaillé précédemment, les ions sodium sont généralement utilisés comme traceur des sels de mer. Cependant d'autres sources sont possibles pour ce composé.

Pour vérifier que la majorité des ions sodium est maritime et assurer une bonne estimation des sels de mer, nous vérifions la corrélation entre les ions sodium et magnésium (Mg^{2+}), eux aussi présents dans les sels de mer, et que le rapport Mg^{2+}/Na^+ est bien de l'ordre de celui de l'eau de mer à savoir 0,23.



Corrélation Mg^{2+} et Na^+ pour chacun des échantillons

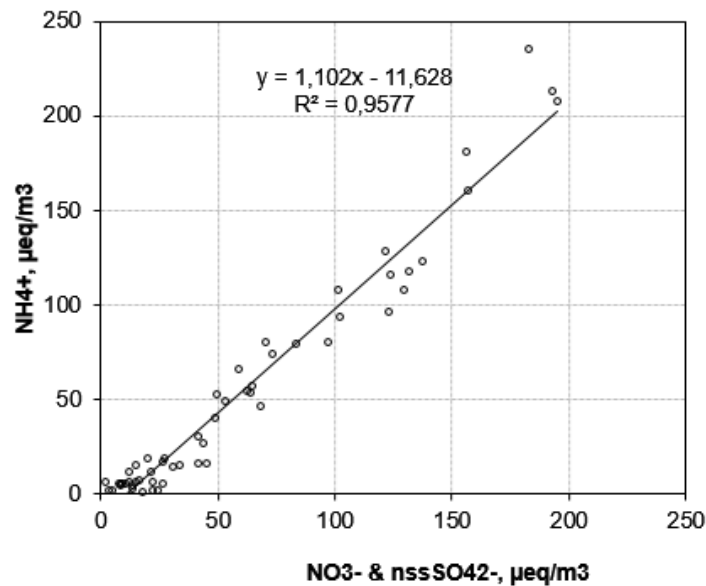
Les concentrations des espèces Mg^{2+} et Na^+ dans les échantillons de l'étude sont bien corrélées ($R^2=0.92$). Le rapport entre les deux espèces est de 0.25 soit proche du 0.23 attendu.

Ces éléments permettent de confirmer l'utilisation du sodium comme traceur des sels de mer.

c) *Neutralisation de l'ammonium*

Dans l'atmosphère, les ions ammonium (NH_4^+) sont très majoritairement associés aux ions nitrate (NO_3^-) et sulfate non-marin ($nssSO_4^{2-}$).

Il s'agit ci-après de corréliser les concentrations en ions ammonium à la somme des concentrations en ions nitrate et sulfate (non marin).

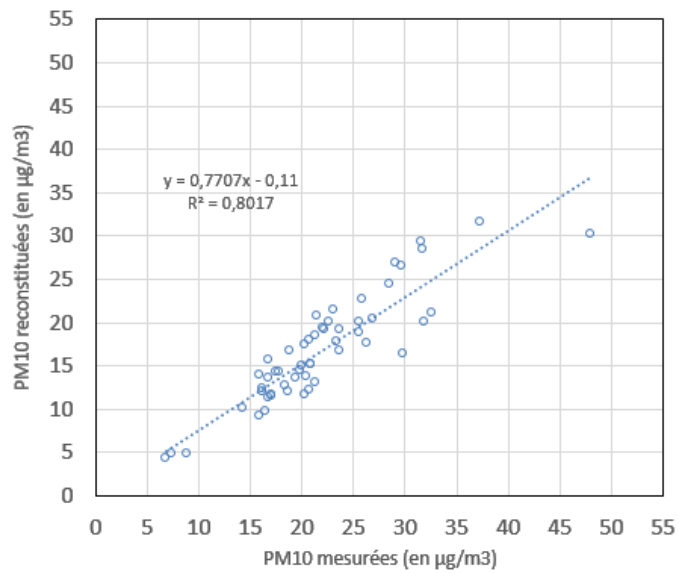


Corrélation des ions ammonium et nitrate/sulfate (non marins) pour chacun des échantillons

La corrélation entre les ions ammonium et la somme des ions nitrate et sulfate est très satisfaisante ($R^2=0.97$). Cela confirme la fiabilité des résultats des analyses pour ces trois espèces et l'association majoritaire des ions ammonium avec les ions nitrate et sulfate.

d) *Fermeture chimique*

Après mesure ou estimation des espèces majoritaires dans les particules, la fermeture chimique consiste à comparer la somme des espèces reconstituées au sein des PM_{10} et la mesure de PM_{10} effectuée avec l'analyseur automatique. La différence correspond alors à la partie des particules 'non déterminées'.



Vérification de la fermeture chimique pour chacun des échantillons

La corrélation entre les PM10 mesurées et PM10 reconstituées est satisfaisante ($R^2=0.8$). La part des PM10 non déterminées est de l'ordre de 25% à 30%.

Annexe III : Paramètres pris en compte pour l'analyse des mesures PM10 lors des épisodes jugés atypiques

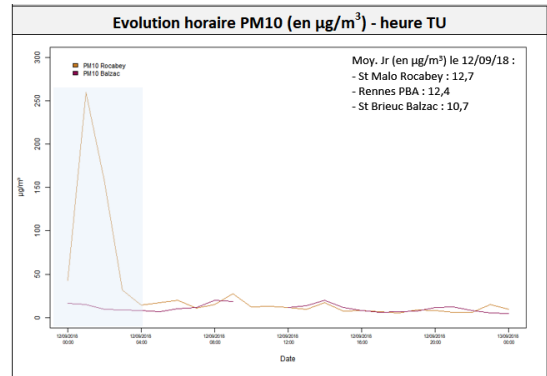
a) Concentrations horaires en particules

Les données de mesures horaires en PM10 de la station Saint-Malo Rocabey ont été comparées à celles de la station urbaine de fond Balzac à Saint-Brieuc.

D'autres mesures ont été ajoutées si disponibles : PM2.5 à Rocabey, PM10 à Découverte.

Sur chaque graphique, les zones colorées en arrière-plan représentent la durée du (ou des) pic(s) identifiés durant l'épisode.

Les moyennes journalières à trois stations sont également données (Rocabey, Saint Brieuc Balzac et Rennes Pays-Bas).

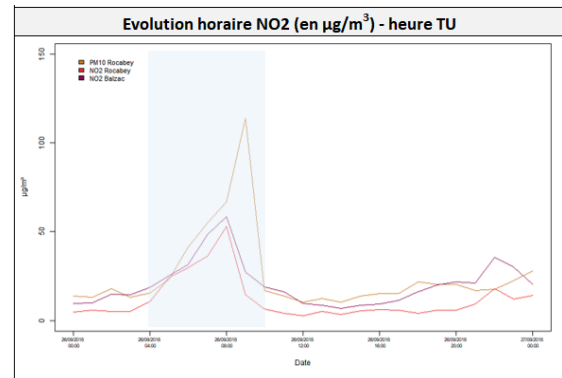


Exemple de graphique des données horaires PM10 durant l'épisode du 12/09/18

b) Concentrations horaires en dioxyde d'azote

Les données horaires de dioxyde d'azote de la station Saint-Malo Rocabey sont comparées à celles de la station St-Brieuc Balzac.

Pour faciliter la comparaison des profils PM10 et NO₂ à Rocabey, les données PM10 ont été ajoutées sur le même graphique.



Exemple de graphique des données horaires NO₂ durant l'épisode du 26/09/18

c) Direction et vitesse du vent à Dinard

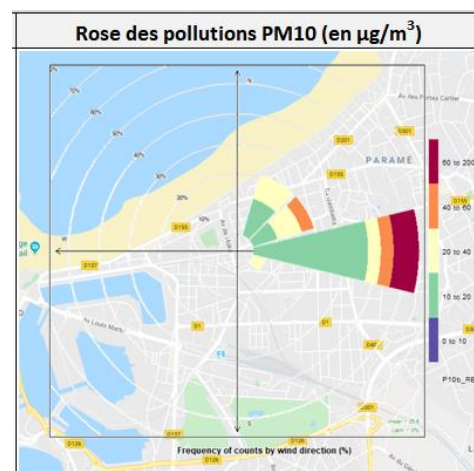
Les direction et vitesse du vent issues de la station MétéoFrance de Dinard sont présentées sous la forme d'un graphique.

d) Rose des pollutions PM10

La rose des pollutions en PM10 est présentée pour chaque jour comportant un épisode.

Elle a été réalisée à partir des données horaires PM10 et des données MétéoFrance de la station de Dinard (direction et vitesse du vent).

Elle permet d'aider à l'identification de l'origine des particules mesurées lors de l'épisode.



Rose des pollutions en PM10 pour l'épisode du 26/09/18

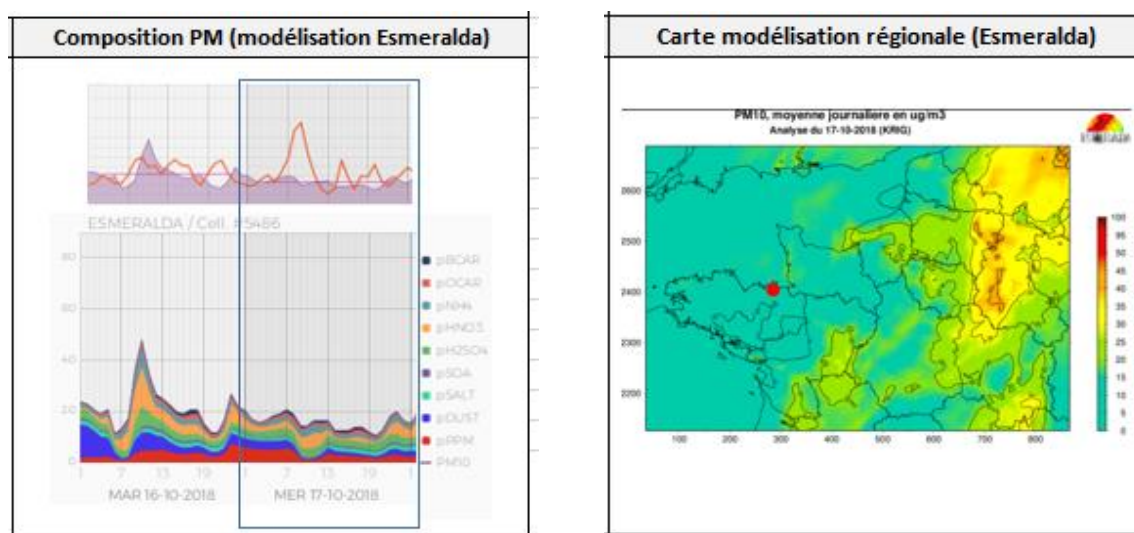
e) Carte de dispersion et composition chimique des particules issues de la plateforme de modélisation inter-régionale Esmeralda

Pour chaque journée avec un épisode, la fiche comprend un graphique avec l'évolution de la composition chimique des particules et une cartographie des concentrations modélisées pour les PM10.

Ces données proviennent de plate-forme inter-régionale ESMERALDA¹⁴ (EtudeS Multi RégionALes De l'Atmosphère) qui résulte de la collaboration de six Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air dont Air Breizh.

Le modèle de qualité de l'air fonctionne à partir des données d'émissions transmises par les AASQA, des données météorologiques et les données de pollution importée sur la zone modélisée.

Concernant les cartes de modélisation, il s'agit des cartes ajustées le lendemain de la date retenue (J+1), sur la base des mesures de qualité de l'air disponibles.



Données de composition des PM10 (à gauche) et de modélisation (à droite) issues de la plateforme Esmeralda pour l'épisode du 17/10/18

Concernant les données de composition (à gauche), le graphique supérieur présente les concentrations modélisées (fond gris) ainsi que les valeurs mesurées sur la station Rocabey (courbe orange). Le graphique inférieur présente la composition chimique des particules selon le modèle de prévision.

f) Composition chimique des particules issue de la mesure

La composition chimique tirée de la plateforme de modélisation Esmeralda donnée par défaut est remplacée par celle issue des prélèvements lorsqu'elle est disponible.

g) Données de houle

Lorsque l'influence maritime est suspectée, l'évolution de la hauteur de la houle lors de l'épisode est présentée. Ces données, fournies par le CEREMA, proviennent du houlographe situé au large de l'île de Bréhat.

Malgré l'éloignement du point de mesures par rapport à Saint-Malo, ces mesures sont jugées représentatives de notre zone d'étude.

¹⁴ <http://www.esmeralda-web.fr/>

Annexe IV : Fiche d'analyse détaillée des épisodes atypiques