

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

ETUDE

Etat initial de la qualité de l’air avant installation d’une chaufferie biomasse

Commune de Trévou-Tréguinec (22)

Campagnes de mesure décembre 2019/Janvier 2020

Version du 25 novembre 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

À la demande de Lannion-Trégor Communauté



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.

À 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)	Validation
O. Cesbron (Ingénieur chargé d'études)	O. Le Bihan (Responsable service études) G. Lefeuvre (Directeur)

Relecture externe

Relecteur

Cécile Daguerre et Florent Boudin
(Lannion Trégor Communauté)

Sommaire

I. Contexte de l'étude	5
II. Description de la zone d'étude	6
III. Caractéristiques de la chaufferie bois.....	7
IV. Le dispositif de mesure mis en œuvre	8
IV.1. Polluants étudiés	8
IV.1.1 Choix des polluants mesurés – recherche des composés traceurs de l'activité	8
IV.1.2 Les particules fines PM10 et PM2.5	9
IV.1.3 Les oxydes d'azote	10
IV.1.4 Variabilité temporelle des concentrations dans l'air	11
IV.1.5 Les sources d'émission	11
IV.1.6 Réglementation dans l'air	12
IV.2. Matériel et méthode de mesure.....	13
IV.2.1 Techniques de mesure	13
IV.2.2 Choix du site de mesure.....	14
IV.2.3 Dates des campagnes de mesure.....	15
V. Résultats et interprétation.....	16
V.1. Contrôle de la qualité des mesures.....	16
V.1.1 Les analyseurs automatiques.....	16
V.1.2 Les prélèvements journaliers.....	16
V.2. Conditions météorologiques	16
V.2.1 La température et la pluviométrie.....	16
V.2.2 Direction et vitesse des vents durant les périodes de mesure	18
V.3. Evolution des niveaux de fond urbain pendant les campagnes - Episode de pollution.....	18
V.4. Résultats des mesures automatiques	20
V.4.1 Le dioxyde d'azote.....	20
V.4.2 Les particules fines PM10	21
V.4.3 Les particules PM2.5.....	22
V.5. Résultats de la caractérisation chimique des particules PM10	24
V.5.1 Caractérisation chimique des particules PM10 : détermination des influences globales	25
V.5.2 Impact de la combustion biomasse dans les particules PM10.....	29
VI. Conclusion.....	32
Annexe I : Présentation d'Air Breizh	34
Annexe II : Normales de rose des vents Ploumana'ch 1998-2010	37
Annexe III : Analyses chimiques – Analyse détaillée de la part non-déterminée des particules	40

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (open street map).....	6
Figure 2 : Zone d'implantation de la chaufferie – habitation sur la gauche, en contre-haut.....	6
Figure 3 : Vue de l'intégration du projet [Lannion Trégor Communauté].....	7
Figure 4 : Fractions chimiques des particules.....	9
Figure 5 : Concentrations mensuelles en NO ₂ et PM10 (en µg/m ³) à la station urbaine de fond Balzac de Saint-Brieuc.....	11
Figure 6 : Répartition des émissions dans l'air pour les oxydes d'azote et les particules fines [source : inventaire des émissions d'Air Breizh – V3 année 2016].....	12
Figure 7 : Camion accueillant les appareils de mesure.....	13
Figure 8 (ci-contre) : Filtre quartz après une période de prélèvement de 24h.....	14
Figure 9 : localisation du point de prélèvement pendant la campagne.....	15
Figure 10 : Evolution des précipitations durant la campagne [Source Station Météo France Ploumana'ch].....	17
Figure 11 : Evolution des températures moyennes journalières durant la campagne (en °C).....	17
Figure 12 : Rose des vents durant la campagne de mesure comparée aux normales [Source : Météo France, station Ploumana'ch].....	18
Figure 13 : Evolution des niveaux de fond urbain à Saint-Brieuc des hivers 2015/2016 à 2019/2020.....	19
Figure 14 : Distribution statistique des données horaires en NO ₂ durant la campagne (en µg/m ³) – comparaison à d'autres stations bretonnes sur la même période.....	20
Figure 15 : Evolution des valeurs horaires en NO ₂ durant la campagne (en µg/m ³).....	21
Figure 16 : Distribution statistique des données horaires en PM10 durant la campagne (en µg/m ³) – comparaison à d'autres stations bretonnes sur la même période.....	21
Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM10 (en µg/m ³).....	22
Figure 18 : Distribution statistique des données horaires en PM2.5 durant la campagne (en µg/m ³) – comparaison à la station rurale de fond sur la même période.....	23
Figure 19 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM2.5 (en µg/m ³).....	23
Figure 20 : Composition chimique moyenne des PM10 pour l'ensemble des échantillons collectés.....	27
Figure 21 : Evolution temporelle de la composition chimique des PM10 fonction des conditions de vents.....	28
Figure 22 : Evolution de la contribution des particules issues de la combustion biomasse au sein des PM10 selon la direction des vents.....	30
Figure 23 : Contribution des PM10 issues de la biomasse par vents en provenance du site d'implantation de la future chaufferie biomasse.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote (article R221-1 du code de l'environnement).....	12
Tableau 2 : Caractéristiques principales des analyseurs utilisés.....	13
Tableau 3 : Caractéristiques des filtres retenus pour analyses de composition chimique et conditions météorologiques pendant les prélèvements (Source : Météo France station Ploumana'ch).....	24
Tableau 4 : Résultats des estimations de la contribution des PM10 issues de la biomasse.....	30

I. Contexte de l'étude

Lannion-Trégor Communauté a pour projet d'installer une **chaufferie bois** afin d'alimenter en énergie le Centre de Réadaptation et de Rééducation Fonctionnelles (CRRF) de Trestel en Trévou-Tréguinec (22).

Dans ce cadre, Air Breizh a été sollicité pour réaliser un **état initial de la qualité de l'air** avant le lancement des travaux et la mise en fonctionnement de la chaufferie.

L'objectif de cette étude est de dresser un état de la qualité de l'air dans les environs du site d'implantation de la future chaufferie en se focalisant sur les composés traceurs de l'activité de combustion biomasse.

Les résultats de mesures réalisées après la mise en fonctionnement de la chaufferie pourront être comparés à ceux de la présente campagne, afin d'apprécier l'évolution de la qualité de l'air en lien avec la création de cette installation.

Le présent rapport porte sur les résultats obtenus lors de la campagne qui s'est tenue du 23/12/19 au 03/02/20 sur un point de mesure situé à 120 mètres de la future implantation.

II. Description de la zone d'étude

La commune de Trévou-Tréguinec (22), située sur le littoral Nord de la Bretagne, compte près de 1400 habitants (INSEE 2017).

Le centre de Réadaptation et de Rééducation Fonctionnelles devant accueillir la chaufferie se trouve au niveau du lieu-dit Trestel, au Nord-Ouest du centre bourg.

Comme visible sur la figure ci-après, son environnement proche est le suivant :

- A l'Ouest et au Nord : le littoral, la plage de Trestel, la maison de l'estran ;
- A l'Est : des habitations de part et d'autre de la rue du Poulpry menant à la mer ;
- Au Sud, des habitations au Sud de la rue de Trestel.

Les habitations les plus proches du lieu d'implantation de la chaufferie se trouvent à une vingtaine de mètres en contre-haut du projet.

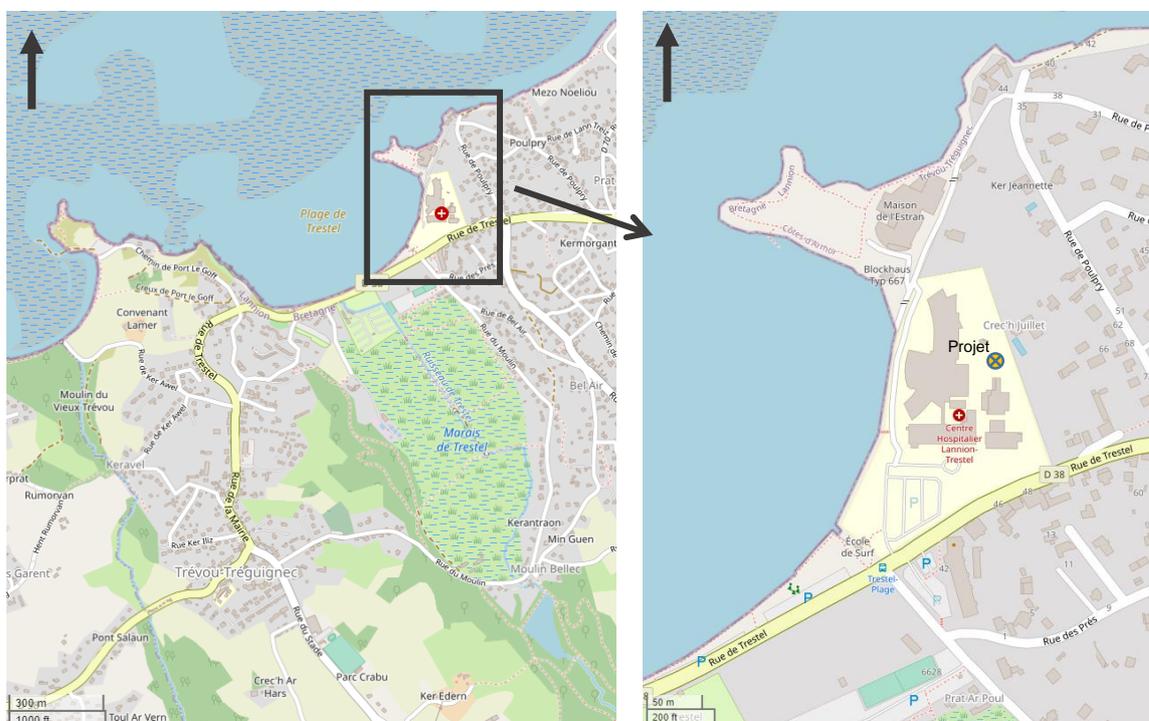


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (open street map)



Figure 2 : Zone d'implantation de la chaufferie – habitation sur la gauche, en contre-haut

III. Caractéristiques de la chaufferie bois

Les informations de ce chapitre ont été fournies par Lannion Trégor Communauté.

Le Trégor étant l'un des territoires où la densité de bocage est la plus importante en Bretagne, le bocage constitue une ressource très intéressante d'énergie renouvelable sur le territoire de Lannion-Trégor Communauté.

Depuis plusieurs années, la filière bois énergie se construit et Lannion-Trégor Communauté y participe sous plusieurs volets complémentaires :

- la préservation et la gestion de la ressource (reconstitution, préservation et gestion des haies),
- par le développement de chaufferies bois,
- par l'organisation de la filière (approvisionnement, stockage, vente).

La création de la chaufferie bois de Trestel entre donc dans cette démarche.

Celle-ci comprendra **deux chaudières bois d'une puissance de 325 Kw** (650 Kw au total) et alimentera un réseau de chaleur d'une distance de 420 mètres linéaires. Les surfaces utiles des bâtiments qui accueilleront la chaufferie et le silo seront respectivement de 140 m² et 130 m².

La consommation annuelle de bois plaquette est estimée à 852 T/an.

Deux électrofiltres seront installés en sortie des chaudières. La hauteur de la cheminée sera de 8 mètres.

Les installations de combustion alimentées avec des déchets forestiers et végétaux appartiennent à la rubrique 2910A du régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). En revanche, seules les installations dont la puissance est supérieure à 1 MW font l'objet d'une déclaration et sont donc soumises à des contrôles périodiques.

Au vu de sa puissance, la chaufferie de Trestel ne sera pas classée au titre des ICPE.



Figure 3 : Vue de l'intégration du projet [Lannion Trégor Communauté]

IV. Le dispositif de mesure mis en œuvre

IV.1. Polluants étudiés

IV.1.1 Choix des polluants mesurés – recherche des composés traceurs de l'activité

La combustion biomasse est considérée comme une énergie limitant la production de Gaz à Effet de Serre (GES). En effet, en prenant en considération les émissions en CO₂, la quantité libérée lors de la combustion de biomasse correspond à celle absorbée par les végétaux lors de leur croissance (à l'inverse des combustibles fossiles qui n'absorbent pas de CO₂).

En revanche, d'autres composés sont également émis lors de la combustion du bois tels que les oxydes d'azote, les oxydes de soufre, le monoxyde de carbone, les particules, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, ...). La production de ces composés provient de la combustion incomplète du bois, dépendante de la qualité (humidité notamment) et de la composition du combustible, et du bon réglage des installations¹.

Des recherches ont été menées en 2008 par l'INERIS, pour rechercher un traceur spécifique de la combustion biomasse parmi ces composés². D'autres études ont été réalisées par la suite par le LCSQA notamment dans le cadre du programme CARA (2015)³.

Les recherches ont été menées sur les particules fines dont l'analyse de la composition chimique constitue un outil reconnu pour la recherche des sources d'émission.

Il n'existe pas de méthodologie permettant de mesurer directement les concentrations de particules provenant de la combustion biomasse. Néanmoins la présence de ce type de particules peut être identifiée via l'analyse chimique de marqueurs organiques spécifiques.

En période hivernale, la fraction organique des particules peut augmenter jusqu'à représenter plus de la moitié de la masse des PM₁₀ en raison des émissions liées au chauffage⁴.

Au sein de la fraction organique des particules, **le Lévo-glucosan** (provenant de la pyrolyse de la cellulose) **et ses deux isomères (Galactosan et Mannosan) constituent des traceurs non ambigus** de la combustion de biomasse et sont très largement utilisés dans la recherche pour étudier l'influence de cette source, en raison notamment de facteurs d'émission relativement importants et de leur stabilité atmosphérique.

Il est à noter que d'autres composés sont également spécifiques des émissions de biomasse tels que les méthoxyphénols ; cependant leurs facteurs d'émission sont beaucoup plus faibles que ceux du Lévo-glucosan.

Par ailleurs, d'autres composés, dit non sources spécifiques, sont émis par la combustion biomasse comme par exemple les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) formés lors de la combustion incomplète ou lors de processus pyrolytiques à haute température mettant en œuvre des combustibles fossiles. Compte-tenu des nombreuses sources de HAP, leur utilisation seule en tant que traceur est difficile.

¹ Evaluation de l'impact de la combustion biomasse sur la qualité de l'air campagne 2013-2014 (Air Pays de la Loire – août 2014)

² Evaluation de l'impact des appareils de chauffage domestique à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur (DRC-08-70801-15219A – 2008) – Etude exploratoire sur la présence des traceurs spécifiques de la source « combustion du bois » dans les grandes agglomérations françaises (INERIS 2007)

³ Impact de la combustion biomasse sur les concentrations de PM₁₀ dans 10 agglomérations du programme CARA au cours de l'hiver 2014/2015 (LCSQA 2015)

⁴ Etude des traceurs de combustion de la biomasse dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes (Atmo Auvergne Rhône-Alpes - juillet 2010)

Sur la base de ces éléments, **les composés suivants ont été retenus** dans le cadre de cette campagne :

- Les particules PM10 et PM2.5
 - o Mesure en continu des niveaux de concentration dans l'air ;
 - o Analyse de la composition chimique des PM10 et notamment du Lévo-glucosan au sein de matière organique ;
- Les oxydes d'azote émis lors de tout processus de combustion.

IV.1.2 Les particules fines PM10 et PM2.5

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. 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.

a) 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 alors d'aérosols **primaires** ;
- Ils peuvent d'autre part résulter de transformations chimiques à partir des polluants gazeux présents dans l'atmosphère : ce sont les 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.

La figure 2 synthétise les différentes fractions chimiques des particules.

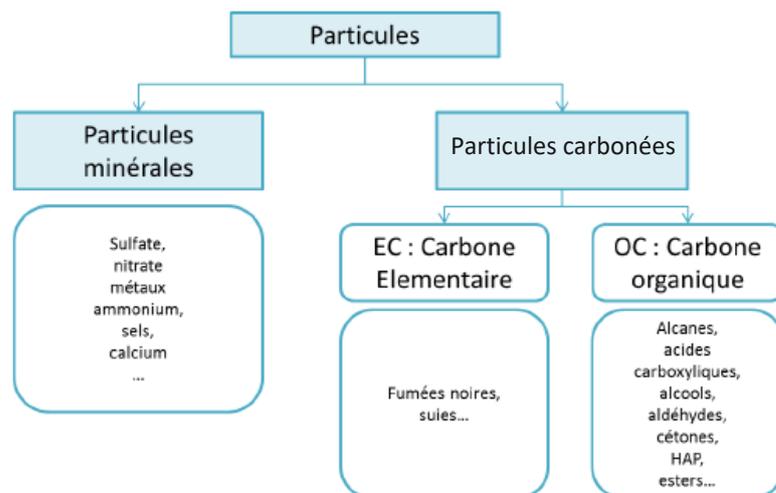


Figure 4 : Fractions chimiques des particules

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'émission 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 ordres de grandeur pour la répartition des espèces majoritaires pour un site urbain de fond sont les suivants⁵ : carbone élémentaire (10%), le carbone organique (21%), les nitrates (12%), les sulfates (15%), les sels de mer (2%), les poussières minérales (12%) et l'eau.

Cette répartition peut varier considérablement suivant les saisons et les influences à proximité.

b) 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 : PM10, PM2.5 et PM1 ;
- Les particules sédimentables.

Le terme de particules ultrafines désigne l'ensemble des particules de diamètre inférieur à 0.1 µm, aussi appelées nanoparticules. On distingue les nanoparticules intentionnelles (nanomatériaux) des non-intentionnelles (PUF). 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 médian 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 (cf. tableau 1 de la page suivante), 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 évolutions temporelles des niveaux de particules PM10 et PM2.5 faisant également l'objet d'une surveillance réglementaire dans l'air ambiant via le dispositif régional d'Air Breizh.

IV.1.3 Les oxydes d'azote

Les oxydes d'azote (NOx), dont la principale source est le trafic routier, sont également émis par tout processus de combustion à haute température (installations de combustion industrielle, le chauffage résidentiel, etc.).

Les NOx sont définis sous deux formes chimiques, que sont le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Le monoxyde d'azote est un polluant primaire, émis directement par les sources

⁵ Données moyennes mesurées sur les sites urbains de l'Europe de l'Ouest – Rapport sur la caractérisation chimique des particules (INERIS Décembre 2010)

d'émission. Quant au NO₂, il est en partie émis de manière directe, et provient également de l'oxydation du monoxyde d'azote dans l'air ambiant.

En présence de certains constituants atmosphériques et sous l'effet du rayonnement solaire, les NOx sont également, en tant que précurseurs, une source importante de pollution photochimique.

IV.1.4 Variabilité temporelle des concentrations dans l'air

Comme la majorité des polluants atmosphériques, les oxydes d'azote et les particules fines présentent des concentrations hivernales plus importantes qu'en été, en raison notamment des conditions atmosphériques plus stables et d'émissions plus importantes (le chauffage notamment).

Le graphique ci-après (figure 5) illustre cette **variabilité temporelle des niveaux de NO₂ et PM10** mesurés au niveau de la station urbaine de fond Balzac à Saint-Brieuc, de janvier 2019 à mars 2020.

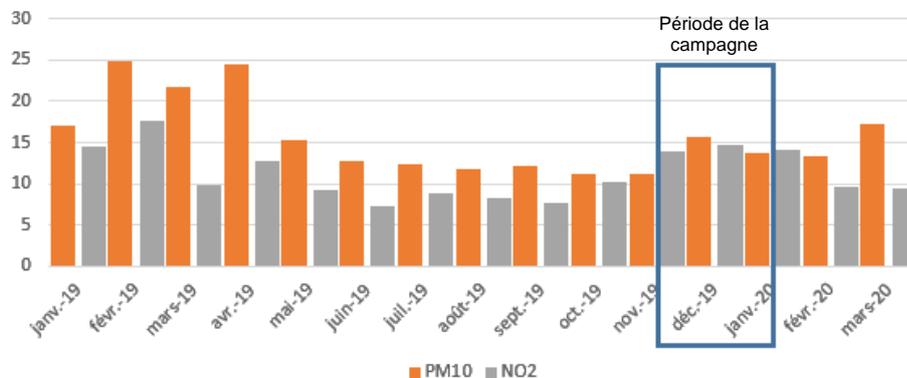


Figure 5 : Concentrations mensuelles en NO₂ et PM10 (en µg/m³) à la station urbaine de fond Balzac de Saint-Brieuc

Volontairement, la campagne de mesure a été réalisée en hiver soit en période de fonctionnement projetée de la chaufferie.

Ce graphique illustre également les variations interannuelles des niveaux entre saison identique. Ainsi, les moyennes mensuelles de l'hiver 2020 ont par exemple été plus faibles que celles de l'hiver 2019, en lien possible avec les conditions météorologiques (températures plus clémentes, meilleure dispersion, ...). La comparaison des résultats de la campagne sera réalisée en tenant compte de ce point.

IV.1.5 Les sources d'émission

Parallèlement aux mesures des concentrations dans l'air, Air Breizh travaille sur une approche complémentaire basée sur les inventaires des émissions atmosphériques. Cette méthode, reposant sur des facteurs d'émission, permet d'estimer la répartition des émissions par secteur pour chacun des polluants réglementés.

Pour les polluants ciblés dans le cadre de cette étude, la répartition des émissions sur le territoire de Lannion-Trégor Communauté est présentée sur la figure 6.

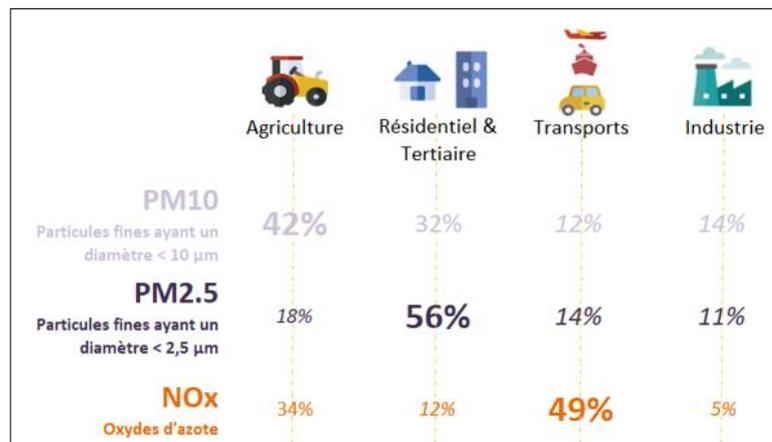


Figure 6 : Répartition des émissions dans l'air pour les oxydes d'azote et les particules fines [source : inventaire des émissions d'Air Breizh – V3 année 2016]

IV.1.6 Réglementation dans l'air

Le dioxyde d'azote et les particules fines font partie de la liste des polluants réglementés dans l'air ambiant [source : article R221-1 du code de l'environnement]. Ils disposent de seuils exprimés sur des pas de temps horaire et annuel.

Tableau 1 : Valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote (article R221-1 du code de l'environnement)

Composés	Valeurs limites	Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
Dioxyde d'azote (NO₂)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ En moyenne horaire : 200 µg/ m ³ à ne pas dépasser plus de 18 fois/an	En moyenne horaire : 200 µg/m ³	En moyenne horaire : 400 µg/m ³
Particules fines PM10	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ En moyenne journalière : 50 µg/ m ³ à ne pas dépasser plus de 35fois/an	En moyenne journalière : 50 µg/m ³	En moyenne journalière : 80 µg/m ³
Particules fines PM2.5	En moyenne annuelle : 25 µg/m ³	X	X

En complément de ces valeurs réglementaires, l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande des niveaux d'exposition au-dessous desquels il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation.

Les valeurs recommandées par l'OMS pour le dioxyde d'azote sont identiques aux normes réglementaires françaises.

En revanche, pour les particules, les recommandations sont les suivantes :

- PM10 : moyenne journalière de 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 fois par an
- PM2.5 :
 - o Moyenne annuelle de 10 µg/m³
 - o Moyenne journalière de 25µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 fois par an

Une révision des normes européennes (qui seront transposées en droit français) est en projet. Celles-ci pourraient s'approcher des recommandations de l'OMS et donc introduire une valeur limite journalière pour les PM2.5.

IV.2. Matériel et méthode de mesure

Au vu des polluants ciblés, différentes techniques ont été déployées permettant la mesure en continu des oxydes d'azote et des particules fines, ainsi que les prélèvements de particules en vue d'analyser leur composition chimique.

Les équipements ont été installés dans le camion laboratoire d'Air Breizh (figure 7).

IV.2.1 Techniques de mesure

a) *Analyseurs automatiques d'oxydes d'azote et de particules fines (mesures en continu)*

L'analyseur mesurant les concentrations d'oxydes d'azote utilise la chimiluminescence. Il s'agit de la méthode utilisée pour la surveillance réglementaire de ces composés dans l'air ambiant.

Pour les particules fines, différents principes de mesure sont à ce jour approuvés par le LCSQA⁶ pour la mesure réglementaire : le comptage optique, l'absorption d'un rayonnement radioactif (jauge Beta) ou encore la pesée (méthodes équivalentes à la méthode de référence).

Ces trois techniques sont utilisées par Air Breizh dans le cadre de la surveillance régionale. Pour cette étude, nous avons utilisé un appareil de comptage optique.

Ces techniques de mesure en continu permettent de suivre l'évolution temporelle des niveaux (pas de temps ¼ horaire).



Figure 7 : Camion accueillant les appareils de mesure

Les caractéristiques des analyseurs utilisés lors de la campagne sont reprises dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques principales des analyseurs utilisés

Modèle	AC32e	Fidas 200
Polluants	NOx	PM
Gamme de mesure	0 à 1 880 µg/m ³	0 à 10 000 µg/m ³
Limite de détection	0,75 µg/m ³	1 µg/m ³

⁶ Liste des appareils conformes pour la mesure réglementaire de la qualité de l'air (version de mai 2020)

b) Prélèvements journaliers de particules sur filtre (analyses différées)

Les prélèvements journaliers sur filtre quartz ont été effectués via un préleveur DA80 haut débit (30 m³/h) sur la fraction PM10 des particules (figure 8).

Il s'agit de la méthode de prélèvement recommandée par le LCSQA pour la caractérisation chimique des particules (également utilisée dans le cadre du programme de caractérisation des particules CARA⁷).

Les analyses de composition chimique ont été **réalisées par le laboratoire LSCE⁸** qui réalise également les analyses du dispositif CARA.



Figure 8 (ci-contre) : Filtre quartz après une période de prélèvement de 24h

Les espèces majoritaires dans les particules ont été quantifiées à savoir :

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 | |

IV.2.2 Choix du site de mesure

Le choix de l'implantation du camion laboratoire a été effectué tenant compte de la configuration des lieux (et notamment de la situation des habitations les plus proches), de la zone projetée pour la chaufferie et de la direction des vents dominants.

Pour ce qui est de l'environnement du site, les habitations les plus proches se trouvent à l'Est de la zone projetée pour la construction de la chaufferie. La plus proche se trouvera à une vingtaine de mètres de l'installation, en contre-haut.

En période hivernale, les vents dominants proviennent du secteur Sud-Ouest (annexe II).

En tenant compte de ces éléments, une implantation dans le secteur Nord-Est de l'installation a été recherchée. Elle correspond aux zones d'habitations les plus proches, qui se trouveront sous les vents dominants de la chaufferie.

⁷ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>

⁸ LSCE : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

Campagne de mesure de la qualité de l'air – Trévou-Tréguinec (22)

Le camion laboratoire a été installé rue de Poulpry (à proximité du n°58), à environ 120 mètres du lieu envisagé pour la construction de la future chaufferie.

Les coordonnées géographiques du point de prélèvement sont les suivantes :

- Latitude : 48°49'23.33"N
- Longitude : 3°20'52.80"O

Cet emplacement pourra être conservé lors des campagnes postérieures à la mise en fonctionnement de la chaufferie.

Le site de mesure sera dénommé 'Trestel' dans la suite de l'étude.



Figure 9 : localisation du point de prélèvement pendant la campagne

IV.2.3 Dates des campagnes de mesure

La campagne de mesure a été réalisée lors de la saison hivernale, soit lors de la période de fonctionnement projetée de la chaufferie.

Les mesures ont été réalisées du 23/12/19 au 03/02/20 soit une période de 42 jours.

V. Résultats et interprétation

Ce chapitre est réservé à la présentation des résultats et leur interprétation. Une analyse de la représentativité des mesures et des conditions météorologiques est réalisée en préambule.

V.1. Contrôle de la qualité des mesures

V.1.1 *Les analyseurs automatiques*

Les analyseurs en continu ont fait l'objet d'opérations de maintenance, de vérification et d'étalonnage à fréquence régulière durant la campagne afin de garantir la qualité des mesures effectuées.

Dans la nuit qui a suivi l'installation du camion laboratoire, une coupure de courant a entraîné l'arrêt des appareils de mesure automatiques du 24/12 3h TU au 26/12 14hTU.

En dehors de cette période, aucun dysfonctionnement n'a été relevé.

Les trois appareils ont présenté un même taux de fonctionnement à savoir 94% sur la période de la campagne, ce qui est jugé suffisant pour assurer une bonne représentativité des mesures sur la période investiguée.

Notons que sur un site de mesure fixe, la Directive 2008/50/CE prescrit une saisie minimale des données de 90% sur la période de mesure afin d'assurer une bonne représentativité des données.

V.1.2 *Les prélèvements journaliers*

Sur la période de la campagne, **31 filtres journaliers ont été prélevés.**

Suite à la coupure de courant observée le 24/12 (cf. ci-dessus) qui a duré quelques minutes, le préleveur a redémarré contrairement aux analyseurs.

Ces prélèvements nécessitent une intervention régulière du service technique pour recharger l'appareil en filtres vierges et retirer les filtres exposés. Du fait des contraintes de planning, un arrêt des prélèvements a été effectué du 16/01 au 22/01. La campagne a alors été prolongée de quelques jours pour assurer un minimum de 30 prélèvements comme convenu.

V.2. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques peuvent avoir un impact sur la dispersion de la pollution atmosphérique. Certains paramètres favorisent la dispersion et/ou le lessivage des polluants (par exemple la pluie). D'autres, au contraire, favorisent l'accumulation des polluants (comme les hautes pressions), ou leur formation (comme l'ensoleillement).

Afin de mieux interpréter les résultats des mesures, différents paramètres météorologiques ont fait l'objet d'un suivi pendant les deux campagnes. Ils sont issus de la station Météo France de Ploumanac'h situées à une dizaine de kilomètres de la zone d'étude. Ces données sont comparées aux normales saisonnières enregistrées sur la même station, ou à défaut de données, sur la station de Lannion.

V.2.1 *La température et la pluviométrie*

La **température** est un paramètre influant sur les teneurs en polluants atmosphériques. Un écart thermique important entre la nuit et le jour, associé à des températures froides, favorise les phénomènes d'inversion thermique qui contribuent à l'accumulation des polluants (phénomène couramment rencontré au printemps).

Quant aux **précipitations**, elles sont favorables à un lessivage de l'atmosphère, permettant une diminution des concentrations en polluants.

La figure 10 présente le cumul des précipitations journalières enregistrées durant la campagne. Au total, 82 mm de pluie ont été observées sur les 42 jours que comptait la campagne.

Ces **précipitations sont inférieures aux normales saisonnières** observées sur la station Météo France de l'aéroport de Lannion (normales 1981-2010) : 119 mm pour un mois de décembre et 95 mm pour janvier.

Les précipitations enregistrées en janvier 2020 sont par exemple de 55 mm.

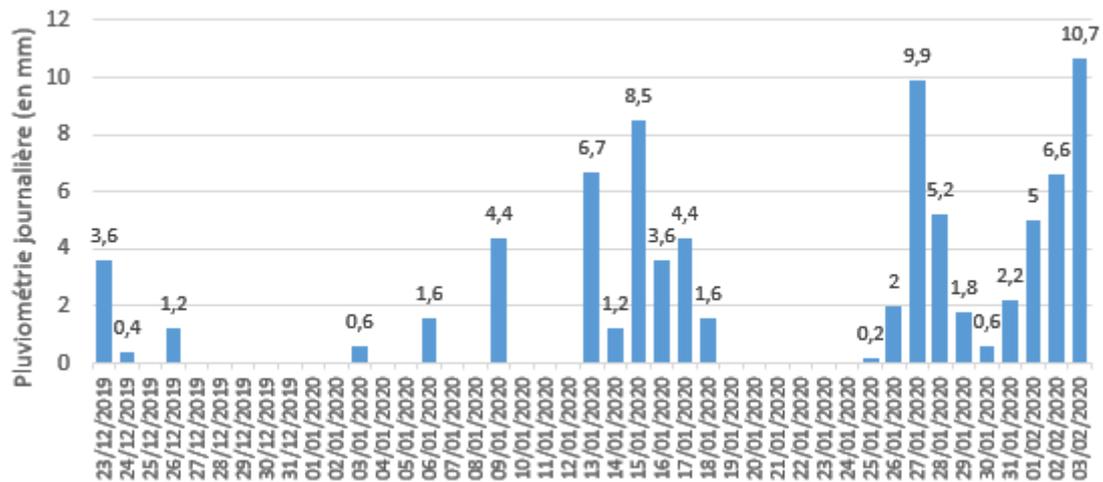


Figure 10 : Evolution des précipitations durant la campagne [Source Station Météo France Ploumana'ch]

Deux périodes rassemblent 85% des précipitations :

- Du 13/01 au 18/01/20 : 26 mm
- Du 26/01 au 03/02/20 : 44 mm

Concernant les **températures**, la figure 11 présente l'évolution des moyennes journalières durant la campagne.

En moyenne sur la campagne, les températures relevées sont restées supérieures aux normales saisonnières. La température minimale a été enregistrée le 24/01 : 5.1 °C en moyenne sur la journée. Les deux périodes de précipitations abondantes précédemment identifiées présentent les températures les plus élevées.

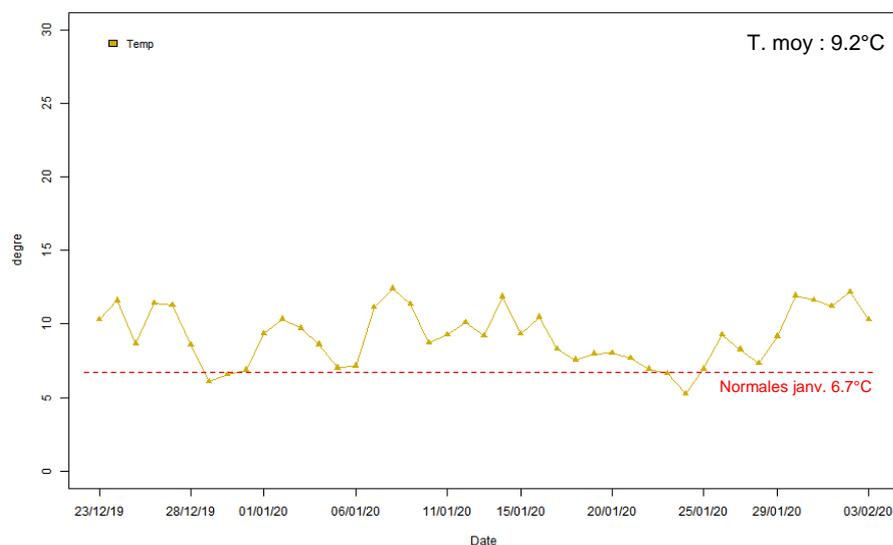


Figure 11 : Evolution des températures moyennes journalières durant la campagne (en °C) [Source : Météo France, station Ploumana'ch]

V.2.2 Direction et vitesse des vents durant les périodes de mesure

La direction et la vitesse du vent sont le plus souvent représentées par une rose des vents qui exprime :

- le pourcentage de vent pour chaque direction : plus la pâle est de grande taille, plus les vents venant de cette direction ont été nombreux pendant la période ;
- les vitesses des vents venant de chaque direction et leur occurrence : la couleur de chaque pale indique la classe de vitesse et sa grandeur, le pourcentage de vent avec cette vitesse.

La rose des vents de la campagne a été réalisée à partir des données Météo France de la station de Ploumana'ch. Elle est comparée ci-après à la normale de rose de vent de décembre constituées à partir des données enregistrées de 1998 à 2010.

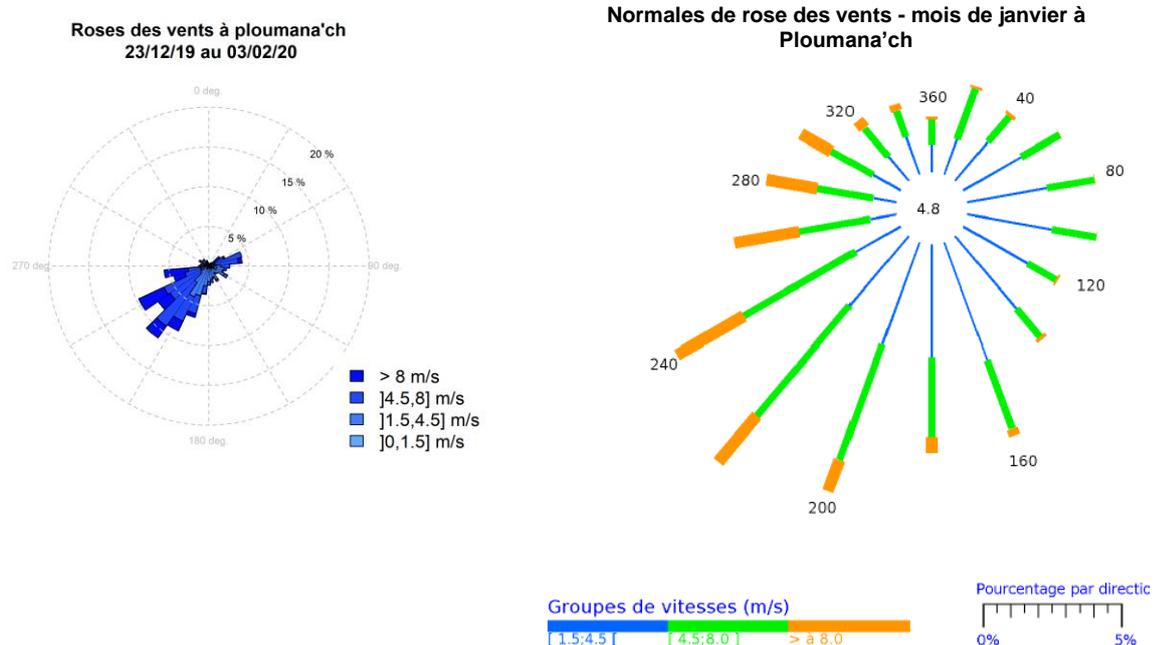


Figure 12 : Rose des vents durant la campagne de mesure comparée aux normales [Source : Météo France, station Ploumana'ch]

La campagne a été dominée par des **vents soutenus** (moyenne 5,4 m/s) en provenance majoritaire du Sud-Ouest à l'image des conditions normales rencontrées à cette période.

En synthèse, quelques différences des conditions météorologiques rencontrées pendant la campagne de mesure ont été observées par rapport aux normales : cumul de précipitations moins important et des températures plus élevées.

En revanche, les conditions de vents ont été conformes aux normales saisonnières : vents de Sud-Ouest majoritaires avec des vitesses élevées. Ces conditions sont favorables à la formation d'embruns marins.

V.3. Evolution des niveaux de fond urbain pendant les campagnes - Episode de pollution

Aucun épisode de pollution n'a été enregistré durant la campagne de mesure au niveau régional.

Nous nous intéressons ci-après à l'évolution des niveaux de fond pendant la campagne, comparés aux niveaux moyens enregistrés durant les cinq dernières années. Pour ce faire, nous avons retenu

l'une des stations de fond du réseau de mesure d'air Breizh à savoir celle de Saint-Brieuc Balzac dont les concentrations sont représentatives des niveaux de fond en milieu urbain (2016-2020).

En complément de l'analyse météorologique précédente, cette approche permet de situer, sur la même période, les concentrations mesurées lors de cette campagne par rapport à celles des années précédentes.

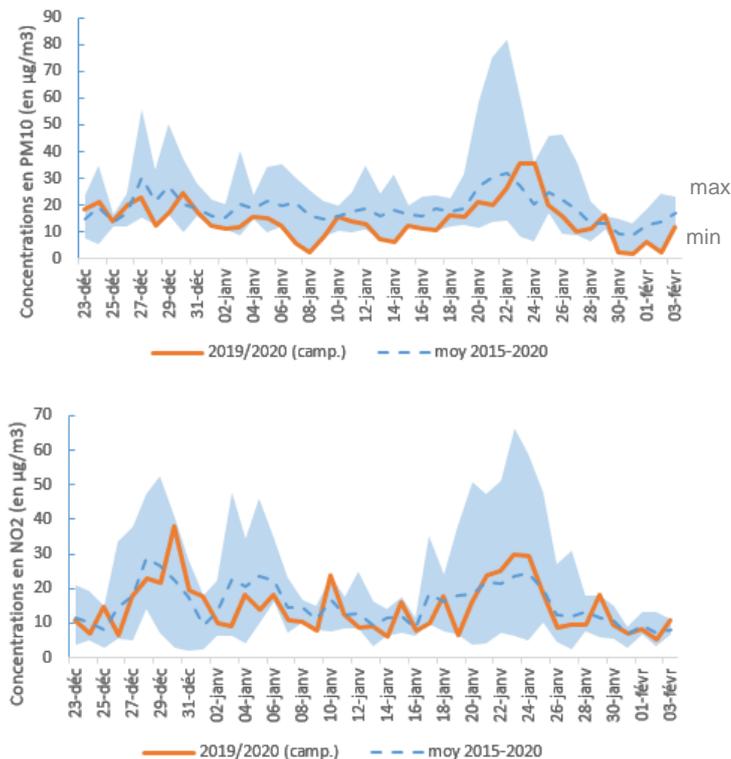


Figure 13 : Evolution des niveaux de fond urbain à Saint-Brieuc des hivers 2015/2016 à 2019/2020

NOTA : la zone colorée en bleu est encadrée par les valeurs journalières minimales et maximales mesurées durant les 5 années.

Bien que ces niveaux soient tirés d'une station de fond urbain ce qui diffère de notre zone d'étude située en milieu peu urbanisé, cela permet toutefois de dégager une tendance sur la représentativité de la période 2019/2020 par rapport aux années précédentes.

Pour ce qui est des particules fines PM10, les niveaux enregistrés à Saint Brieuc durant la campagne sont majoritairement inférieurs à ceux de la moyenne des cinq dernières années. La concentration moyenne sur la période 2019/2020 est 30% inférieure à celles des 5 dernières années.

Pour le dioxyde d'azote, les valeurs relevées durant la campagne 2019/2020 sont très proches des celles des cinq dernières années : -6% par rapport à la moyenne 2015-2020.

La période retenue pour cette étude présente des niveaux inférieurs à ceux des précédentes années : ce constat est plus marqué pour les PM10 que pour le NO₂.

Nous tiendrons compte de ces observations dans le cadre de l'interprétation des résultats réalisée dans les chapitres suivants.

Les résultats sont présentés dans les chapitres suivants successivement pour les mesures en continu puis les analyses de composition chimique des particules PM10.

V.4. Résultats des mesures automatiques

Les résultats des mesures du dioxyde d'azote et des particules fines sont présentés dans ce chapitre. Ils sont comparés à ceux d'autres stations du réseau de mesure régionale d'Air Breizh à savoir :

- La station urbaine de fond (UF) Balzac à Saint Briec (22) ;
- La station rurale de fond (RF) de Kergoff, située sur la commune de Merléac (22). Cette station a été mise en service courant décembre 2019.

Pour chaque paramètre, sont présentés successivement la distribution statistique des données de mesure du site de Trestel par rapport aux autres sites bretons, puis l'évolution temporelle des niveaux selon le pas de temps sur lequel la valeur réglementaire (ou recommandée) est définie : horaire pour le dioxyde d'azote et journalier pour les particules fines PM10.

V.4.1 Le dioxyde d'azote

La distribution statistique des concentrations horaires en dioxyde d'azote mesurées lors de la campagne est présentée sur la figure 14.

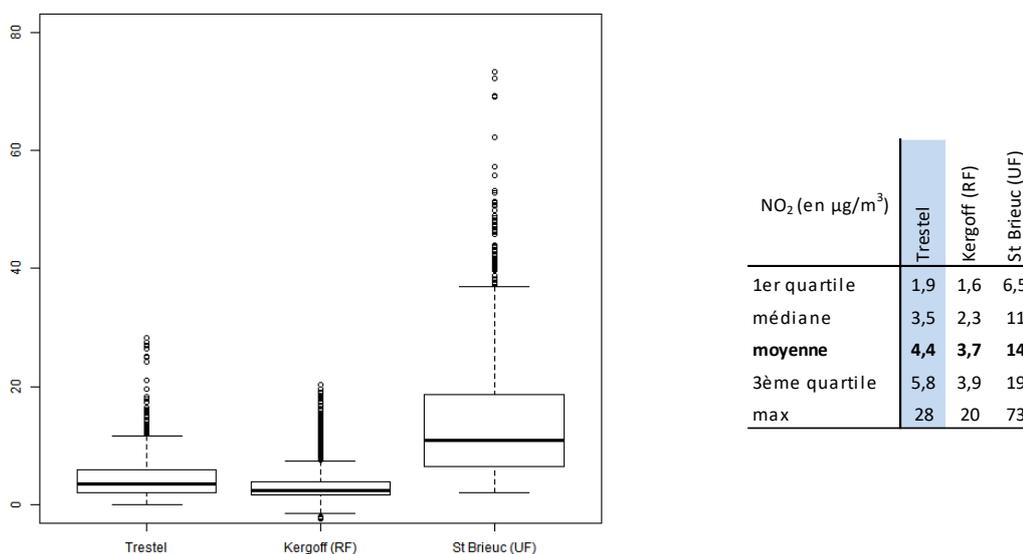


Figure 14 : Distribution statistique des données horaires en NO₂ durant la campagne (en µg/m³) – comparaison à d'autres stations bretonnes sur la même période

Les niveaux mesurés sur la zone d'étude sont très proches de ceux du site rural de fond de Kergoff. Le dioxyde d'azote est émis par les sources de combustion dont le trafic routier reste majoritaire (cf. chapitre IV.1.5).

Le point de mesure retenue 'trestel' se trouve éloigné des voies de circulation ce qui justifie les niveaux mesurés.

Les niveaux de fond mesurés à Saint Briec sont logiquement supérieurs (facteur 3) du fait de l'influence des émissions combinées du trafic routier et du chauffage résidentiel dans le centre urbain.

La valeur limite horaire de 200 µg/m³ est logiquement respectée sur le point de mesure de la zone d'étude (valeur maximale 28 µg/m³).

En complément, la figure de la page suivante présente l'évolution des valeurs horaires relevées sur le site d'étude comparées à celles de la station rurale de fond de Kergoff.

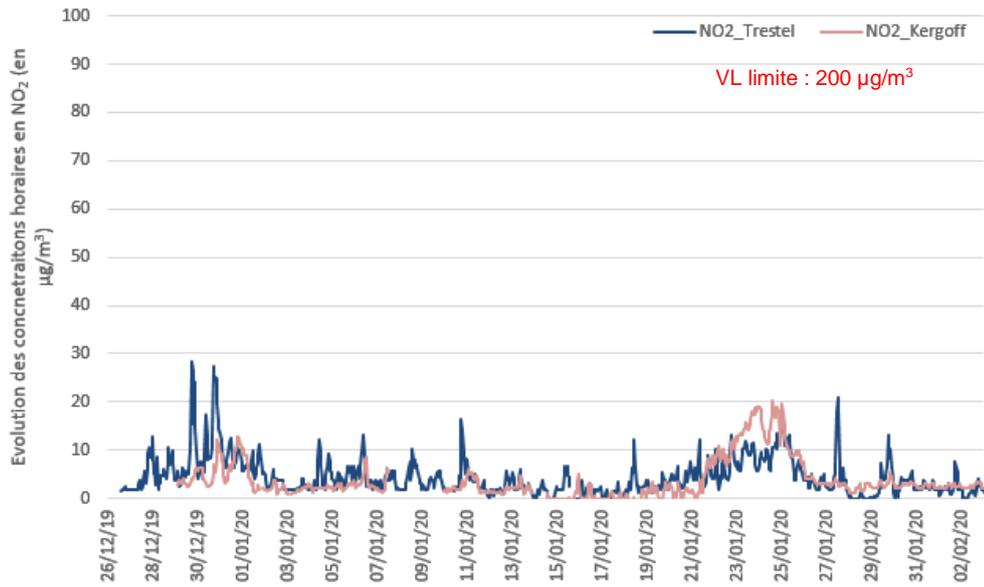


Figure 15 : Evolution des valeurs horaires en NO₂ durant la campagne (en µg/m³)

Les données des deux sites de mesures sont proches. On note la présence de léger pic en dioxyde d'azote sur le site de Trestel (amplitude 10 à 20 µg/m³) qui peuvent s'expliquer par une légère augmentation du niveau de trafic dans le secteur notamment lors des trajets domicile-travail.

Sur la période investiguée, le site de Trestel présente des niveaux en dioxyde d'azote très faibles sur la période qui témoignent d'une influence réduite des émissions du trafic routier et du chauffage dans le secteur.

V.4.2 Les particules fines PM10

La distribution statistique des concentrations horaires en particules PM10 mesurées lors de la campagne est présentée sur la figure 16.

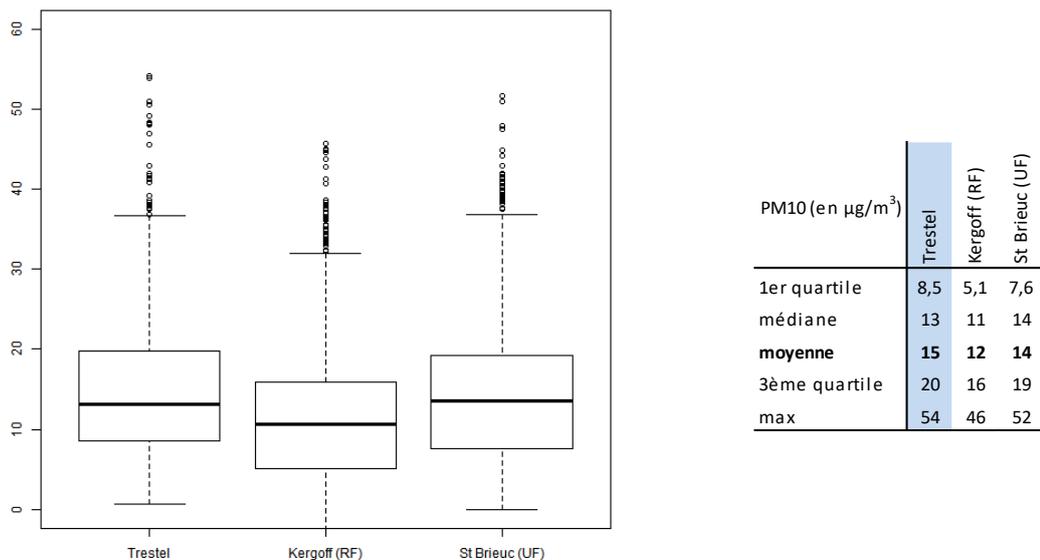


Figure 16 : Distribution statistique des données horaires en PM10 durant la campagne (en µg/m³) – comparaison à d'autres stations bretonnes sur la même période

Les niveaux de particules fines PM10 mesurées à Trestel sont légèrement supérieurs à ceux enregistrés sur le site rural de Kergoff (+25%) et proches de ceux de la station de fond urbain Balzac.

Le site de Trestel se trouve à quelques centaines de mètres du littoral. Il est donc très exposé aux vents en provenance de la mer (vent de secteur Sud-Ouest à Nord-Est).

Nous verrons dans la suite du rapport (chapitre V.5.2), que la composition chimique des particules est très liée à la provenance des vents. Ainsi lorsque les vents proviennent du littoral, la part des sels de mer dans les particules devient majoritaire et s'ajoute au niveau de fond ce qui pourrait expliquer en partie l'écart observé entre le niveau de la station rurale de Kergoff et celui de Trestel.

La figure 17 présente l'évolution des moyennes journalières durant la campagne. Rappelons l'existence d'un seuil réglementaire sur ce pas de temps fixé à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

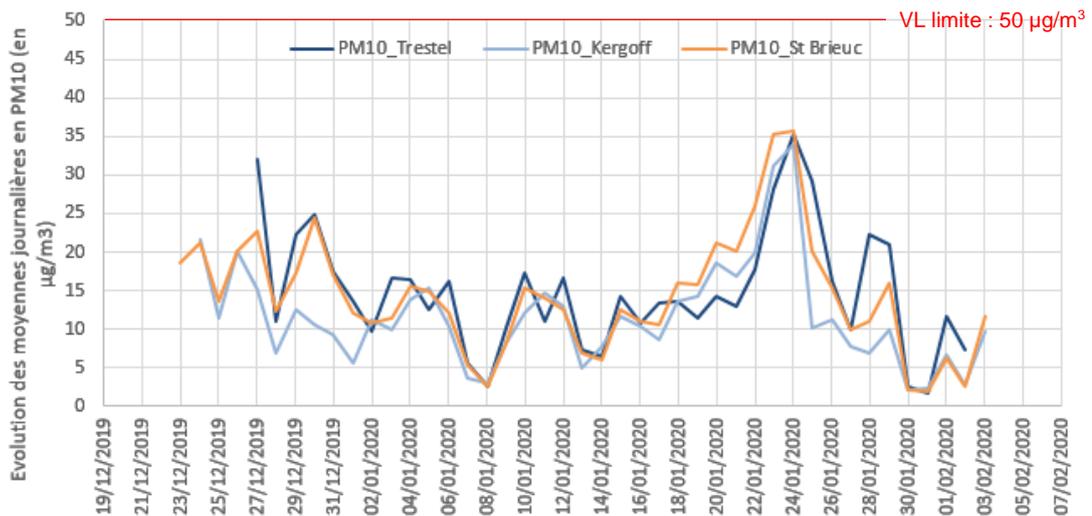


Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Les profils des concentrations mesurées sur les trois sites sont assez proches.

Les mesures des particules PM10 effectuées à Trestel sont caractéristiques d'une influence de fond et sont comparables à ceux des stations les plus proches du réseau de mesure d'Air Breizh.

V.4.3 Les particules PM2.5

La distribution statistique des concentrations horaires en particules PM2.5 mesurées lors de la campagne est présentée sur la figure 18. Elle est comparée à celle de la station rurale de Kergoff (les PM2.5 ne sont pas mesurées sur le site de Saint Brieuc).

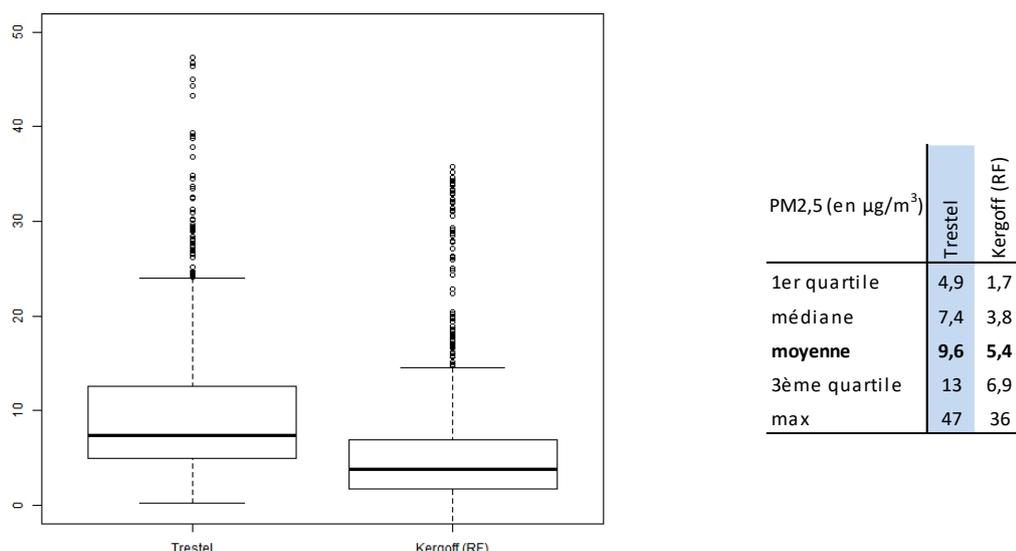


Figure 18 : Distribution statistique des données horaires en PM2.5 durant la campagne (en µg/m³) – comparaison à la station rurale de fond sur la même période

Les niveaux de PM2.5 enregistrés sur la période sur le site de Trestel sont supérieurs à ceux de la station rurale de fond de Kergoff.

Ce constat peut s'expliquer par la densité du bâti autour du site de Trestel et l'influence des émissions liées au chauffage résidentiel qui représente le secteur d'émissions majoritaire pour ce polluant sur le territoire de Lannion (cf. chapitre IV.1.5).

Contrairement aux PM10, les PM2.5 sont moins influencées par les sels de mer liés aux embruns marins qui se trouvent majoritairement dans la fraction comprise entre 2.5 à 10 µm.

La figure 19 présente l'évolution des moyennes journalières sur les deux sites pendant la campagne. Elles sont comparées à titre indicatif à la moyenne journalière recommandée par l'OMS.

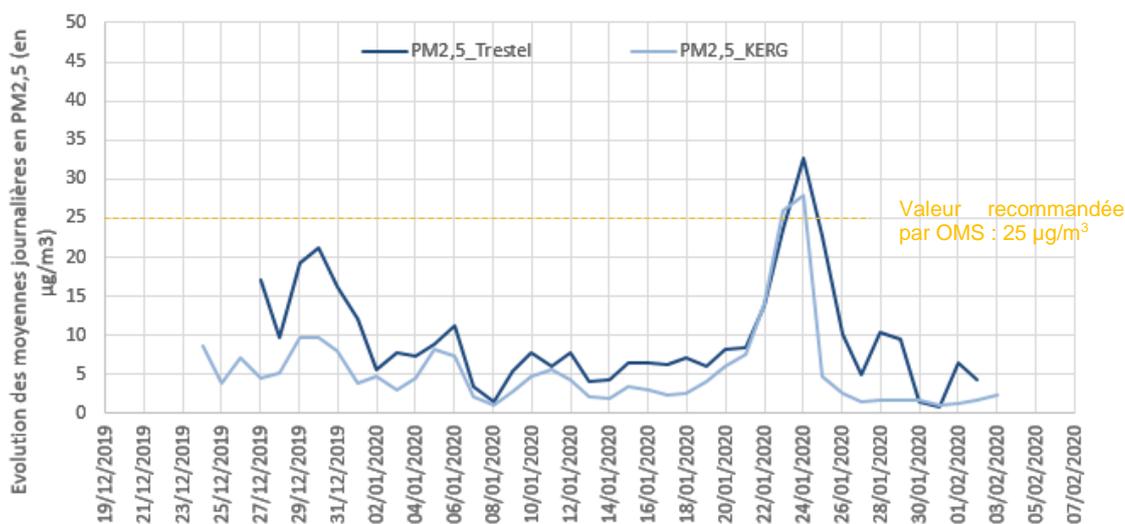


Figure 19 : Evolution des concentrations moyennes journalières en PM2.5 (en µg/m³)

L'évolution des niveaux sur les deux sites est assez proche même si le site de Trestel présente des niveaux constamment supérieurs à ceux du site rural. Pour les deux sites, le seuil de l'OMS a été dépassé le 23 et 24/01/20.

A titre de comparaison, le niveau enregistré sur le site Trestel pendant la campagne reste inférieur à ceux enregistrés sur la même période sur des sites urbains du réseau de surveillance régionale à savoir Lorient, Vannes ou encore Rennes (-10 à -15%).

Concernant les PM2.5, les niveaux mesurés sur le site de Trestel sont bien corrélés à ceux d'autres stations de fond du réseau de surveillance régionale.

Ils sont légèrement supérieurs à ceux de la station de fond régionale ce qui pourrait s'expliquer par la contribution plus importante du chauffage dans le secteur dont le bâti est plus dense.

V.5. Résultats de la caractérisation chimique des particules PM10

Au total 31 filtres ont été collectés sur la campagne de 42 jours. Au regard de l'objectif de cette campagne constituant un état initial, l'analyse de 15 filtres a été jugée suffisante pour dresser un état de la composition chimique des particules dans la zone d'étude.

Le choix de ces 15 filtres a été réalisé en tenant compte des niveaux de PM10 mesurés avec l'analyseur automatique. Les niveaux les plus élevés ont été retenus rassemblant différentes conditions d'exposition du point de mesure :

- des vents des secteurs Sud au Nord-Est provenant des terres pour 7 échantillons,
- des vents de Sud-Ouest à Nord-Ouest provenant de la mer pour 8 échantillons.

Les filtres retenus ainsi que les conditions météorologiques observées pendant les prélèvements journaliers sont synthétisés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des filtres retenus pour analyses de composition chimique et conditions météorologiques pendant les prélèvements (Source : Météo France station Ploumana'ch)

N° filtre	Date début	Date fin	Analysé	PM10 (en µg/m3)	Vitesse vents (m/s)	Direction vents (°/N)	pluie (en mm)	Temp. (en°C)	Hum. (en %)
filtre 1	24/12/2019 00:00	25/12/2019 00:00	non	x					
filtre 2	25/12/2019 00:00	26/12/2019 00:00	non	x					
filtre 3	26/12/2019 00:00	27/12/2019 00:00	non	x					
filtre 4	27/12/2019 00:00	28/12/2019 00:00	oui	32,0	4,0	230	abs.	11,3	92,8
filtre 5	28/12/2019 00:00	29/12/2019 00:00	non	11,1					
filtre 6	29/12/2019 00:00	30/12/2019 00:00	oui	22,3	1,7	122	abs.	6,1	84,9
filtre 7	30/12/2019 00:00	31/12/2019 00:00	oui	24,8	1,9	178	abs.	6,6	77,7
filtre 8	31/12/2019 00:00	01/01/2020 00:00	oui	17,6	2,6	154	abs.	6,9	94,4
filtre 9	01/01/2020 00:00	02/01/2020 00:00	non	13,7					
filtre 10	02/01/2020 00:00	03/01/2020 00:00	non	9,8					
filtre 11	03/01/2020 00:00	04/01/2020 00:00	oui	16,7	6,1	295	0,6	9,7	81,4
filtre 12	04/01/2020 00:00	05/01/2020 00:00	oui	16,4	2,5	258	abs.	8,6	73,2
filtre 13	05/01/2020 00:00	06/01/2020 00:00	non	12,5					
filtre 14	06/01/2020 00:00	07/01/2020 00:00	oui	16,3	4,1	190	1,6	7,1	90,6
filtre 15	07/01/2020 00:00	08/01/2020 00:00	non	5,6					
filtre 16	08/01/2020 00:00	09/01/2020 00:00	non	2,6					
filtre 17	09/01/2020 00:00	10/01/2020 00:00	non	10,1					
filtre 18	10/01/2020 00:00	11/01/2020 00:00	oui	17,3	4,8	276	abs.	8,7	72,3
filtre 19	11/01/2020 00:00	12/01/2020 00:00	non	11,0					
filtre 20	12/01/2020 00:00	13/01/2020 00:00	oui	16,6	6,2	226	abs.	10,1	83,6
filtre 21	13/01/2020 00:00	14/01/2020 00:00	non	7,4					
filtre 22	14/01/2020 00:00	15/01/2020 00:00	non	6,5					
filtre 23	15/01/2020 00:00	15/01/2020 14:45	oui	14,2	6,0	242	8,5	10,1	89,7
filtre 24	23/01/2020 12:00	24/01/2020 12:00	oui	29,8	6,0	80	abs.	6,3	85,2
filtre 25	24/01/2020 12:00	25/01/2020 12:00	oui	38,3	4,0	100	abs.	4,9	93,6
filtre 26	25/01/2020 12:00	26/01/2020 12:00	oui	21,0	3,8	189	0,2	8,6	89,1
filtre 27	26/01/2020 12:00	27/01/2020 12:00	non	10,2					
filtre 28	27/01/2020 12:00	28/01/2020 12:00	oui	16,0	9,2	241	8,5	7,2	81,2
filtre 29	28/01/2020 12:00	29/01/2020 12:00	oui	25,8	8,1	260	4,8	8,3	81,9
filtre 30	29/01/2020 12:00	30/01/2020 12:00	non	7,9					
filtre 31	30/01/2020 12:00	31/01/2020 12:00	non	2,7					

Deux objectifs ont été fixés pour le traitement des données d'analyses chimiques de cette campagne.

Le premier consiste à identifier les **influences globales sur les niveaux** en lien notamment avec la proximité du littoral. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode du **bilan des masses** permettant de reconstruire la composition des PM10 à partir des analyses chimiques et la mesure avec l'analyseur.

Le second objectif concerne le lévoglucosan, traceur des émissions biomasse, dont les niveaux mesurés nous ont permis d'estimer **la part des PM10 issue de ce secteur** à partir de facteurs tirés de la bibliographie.

Cet indicateur pourra être réutilisé lors d'une campagne postérieure à la mise en fonctionnement de l'installation pour voir si des changements significatifs de la contribution des émissions du chauffage dans les PM10 sont observés.

V.5.1 Caractérisation chimique des particules PM10 : détermination des influences globales

a) Principe du bilan des masses :

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. Ils se décomposent en matière carbonée, inorganique, poussières minérales et sels marins.

Des facteurs de conversion sont utilisés pour estimer les proportions de certaines espèces majoritaires. Ils sont repris dans les paragraphes suivants.

- 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 retenu⁹.

- Les espèces inorganiques secondaires :

Trois espèces sont majoritaires : les ions ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-) et sulfates non-marins (SO_4^{2-}).

⁹ Thèse de Diogo Miguel BARROS de OLIVEIRA, Lille 1, 2017

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 associés¹⁰.
 $\text{nss SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - (0.251 \times \text{Na}^+)$

- 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 suit¹¹ :
 $\text{dust} = (\text{Ca}^{2+} - 0.039 \times \text{Na}^+) \times 8$

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

b) Commentaire sur la part non déterminée des particules :

L'exercice du bilan des masses fait systématiquement apparaître une part de particules non déterminée ('nd') liée à la différence entre la somme des masses des différentes composantes chimiques prises en compte et la masse totale de particules mesurées avec l'appareil de mesures automatiques.

La part non déterminée de particules est généralement de l'ordre de 10 à 20% de la masse totale en situation de fond.

Elle peut être supérieure en cas d'influence maritime comme mis en évidence dans le cadre d'une étude sur la composition des PM10 à Saint Malo menée par Air Breizh en 2019¹². La part non déterminée des PM10 était de 24% en moyenne sur les 56 échantillons.

Dans le cas de la présente étude, la part non déterminée représentait en première approche 60% de la masse des PM10 en moyenne sur les 15 échantillons.

Une analyse détaillée de cet écart et de son évolution en fonction des influences (cf. annexe III) nous a conduit à corriger ce dernier en introduisant une autre espèce correspondante aux sels de mer hydratée (notée ss H_2O pour sea salt H_2O) non pris en compte via l'analyse chimique. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur une étude réalisée par le LCSQA sur le littoral réunionnais. Les explications figurent dans l'annexe III.

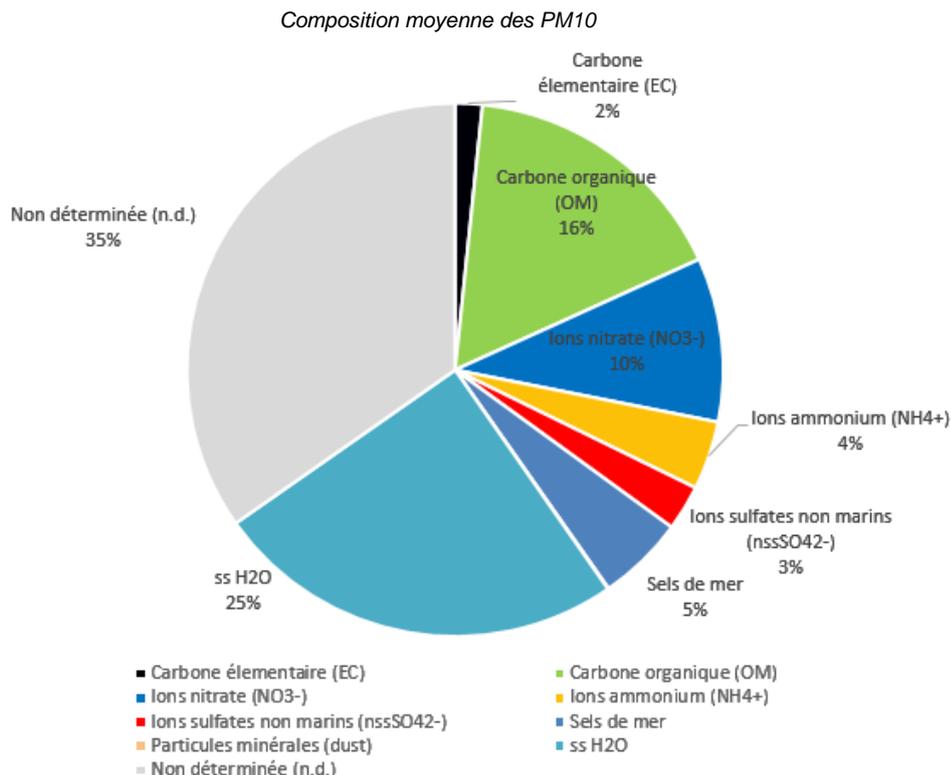
c) Résultats de la composition moyenne des PM10 :

La figure 20 présente la composition moyenne des particules PM10 pour les 15 échantillons collectés de fin décembre 2019 à fin janvier 2020.

¹⁰ Turpin et Lim 2001, Caractérisation chimique des particules LCSQA juin 2009

¹¹ Méthode retenue par l'IMT de Douai pour le suivi de la caractérisation des particules des sites MERA

¹² Niveaux de concentrations et composition des particules PM10 à Saint-Malo (Air Breizh avril 2020)



en µg/m ³	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	21,7	x	38,3	x		
Carbone élémentaire (EC)	0,4	2%	1,0	22,3	5%	29/12/2019
Carbone organique (OM)	3,6	17%	9,1	22,3	41%	29/12/2019
Ions Nitrate (NO₃-)	2,2	10%	8,4	38,3	22%	24/01/2020
Ions Ammonium (NH₄+) 	0,9	4%	3,5	38,3	9%	24/01/2020
Ions Sulfates non-marins (nssSO₄2-)	0,6	3%	2,4	29,8	8%	23/01/2020
Sels de mer	1,1	5%	2,9	25,8	11%	28/01/2020
sea salt H₂O (ss H₂O)	5,4	25%	15,2	32,0	48%	27/12/2019
Particules minérales (dust)	0,0	0%	0,2	21,0	1%	25/01/2020
non déterminée (n.d.)	7,5	35%	11,8	21,0	56%	27/12/2019

Figure 20 : Composition chimique moyenne des PM10 pour l'ensemble des échantillons collectés

La **matière carbonée** (EC+OM) représente 19% des échantillons en moyenne dont : 17% de carbone organique OM et 2% de carbone élémentaire.

La variabilité de cette espèce durant la campagne est importante atteignant jusqu'à 46% de l'échantillon le 29/12/19 (dont 41% de carbone organique).

Le carbone élémentaire, ou carbone suie, émis exclusivement par les sources anthropiques liées à la combustion varie très légèrement pendant la campagne (max 1 µg/m³).

A cette période de l'année, la forte contribution de la matière organique dans la masse des PM10 indique l'influence des émissions de chauffage. Sa corrélation avec le Lévoglucosan (traceur des émissions biomasse) le justifie : R² = 0.96.

Les **ions inorganiques secondaires** représentent près 20% de l'échantillon. Ils sont dominés par les ions nitrates (NO₃⁻). La contribution majoritaire des ions secondaires dans les PM10 a été mesurée le 23/01 représentant 45% de la masse de l'échantillon.

Les **sels de mer** occupent 5% en moyenne de l'échantillon auxquels il convient d'ajouter la partie hydratée (ss H₂O), non analysée chimiquement, ce qui revient à une moyenne de 30% dans les

échantillons. Cette part augmente nettement lorsque les vents proviennent de la mer (max 55% de la masse totale des particules le 27/12/19).

Enfin, les **poussières minérales** (dust) occupent une part insignifiante dans l'échantillon (<1% de la masse totale).

d) Evolution temporelle de la composition chimique des PM10

La composition chimique des 15 échantillons analysés a été corrélée aux conditions de vents pour mettre en évidence leur influence sur la nature des particules collectées (figure 21).

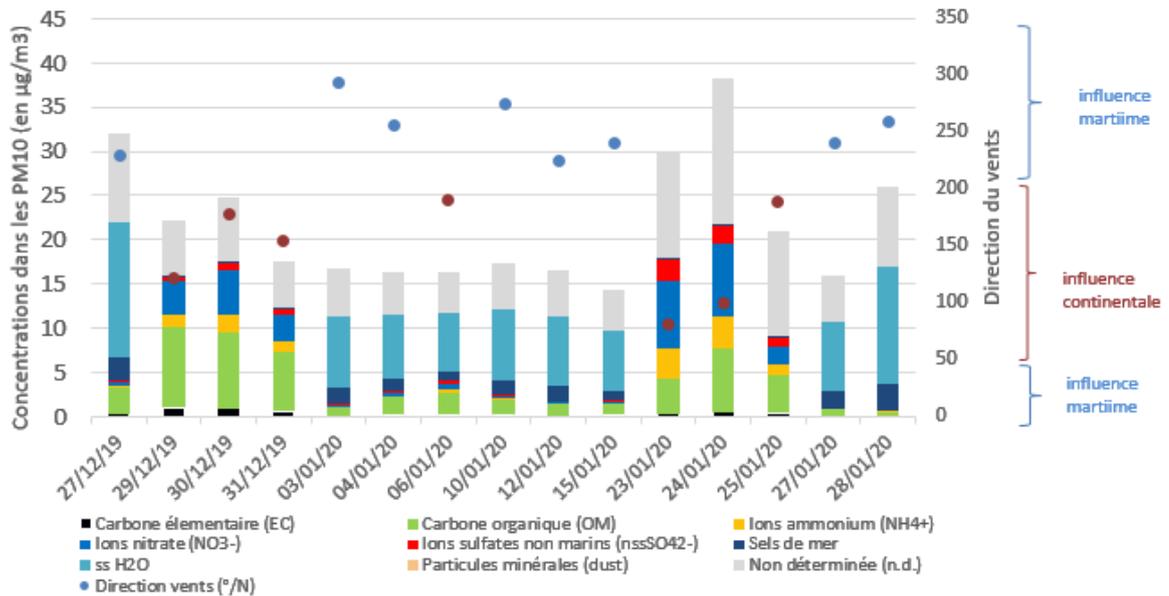


Figure 21 : Evolution temporelle de la composition chimique des PM10 fonction des conditions de vents

Ce travail a permis de dégager **deux types d'influences** en fonction de la direction des vents sur la composition des particules :

- Une influence maritime :

Les 8 échantillons prélevés par vent en provenance du littoral (210° à 50° soit Sud-Ouest à Nord-Est) présentent une composition semblable à savoir : une contribution majoritaire des sels de mer au sein de la fraction PM10 et à contrario une faible contribution des ions inorganiques.

- Une influence continentale :

Pour les 7 échantillons restant, prélevés par vent en provenance des terres (50° à 210° soit Est à Sud-Ouest), la part de la matière organique et des ions secondaires est très significative : elle représente en moyenne 54% de la masse totale des PM10 composée de 26% par la matière organique et 28% par les ions.

Ces deux types d'influence selon la direction des vents avaient également été observées dans le cadre de l'étude sur la composition des particules menée à Saint Malo par Air Breizh en 2019.

Dans le cadre d'un suivi postérieur à la mise en fonctionnement de la chaufferie, ces résultats pourront être réutilisés pour qualifier l'impact de la chaufferie biomasse.

V.5.2 Impact de la combustion biomasse dans les particules PM10

Ce travail d'estimation de la contribution des PM10 émises par la biomasse dans le secteur au regard des concentrations totales mesurées a été réalisé en suivant la méthode de traitement proposée par le LCSQA et mise en œuvre notamment dans le cadre d'une étude menée sur 10 agglomérations suivies par le dispositif CARA en 2015¹³.

Le principe de traitement des données est présenté ci-après.

a) Principe :

Les concentrations en carbone organique (OC) liées à la biomasse sont d'abord estimées à partir des teneurs en Lévo-glucosan, reconnu comme traceur de ces émissions, et d'un facteur multiplicatif tiré de la bibliographie.

$$OC_{\text{biomasse}} = f \times \text{Levoglucosan}$$

Pour ce facteur f, d'après l'étude du LCSQA, les données bibliographiques sur le sujet proposent des valeurs comprises entre 0 et 15 ; le LCSQA quant à lui recommande une valeur de 7 utilisée dans l'une des publications [Puxbaum et al. 2007] tout en veillant à ce que ce facteur n'excède pas la moyenne des 3 ratios journaliers (OC/levoglucosan) les plus faibles. Un facteur de 5.4 a été retenu pour cette étude qui est très proche de ceux calculés par le LCSQA pour les 10 agglomérations du groupe CARA.

La concentration en PM_{biomasse} a ensuite été estimée par application successive de deux nouveaux facteurs multiplicatifs, permettant de convertir OC_{biomasse} en OM_{biomasse} puis OM_{biomasse} en PM_{biomasse} .

Le LCSQA propose les facteurs suivants également tirés de la littérature :

$$PM_{\text{biomasse}} = (f \times \text{levoglucosan}) \times 1.8 \times 1.1$$

Ces concentrations peuvent ensuite être rapportées aux concentrations totales de PM10 mesurées par l'appareil pour calculer la contribution des particules émises par la biomasse dans les particules totales.

C'est ce ratio $PM_{\text{biomasse}}/PM_{\text{totales}}$ qui pourra être utilisé comme indicateur lors d'une étude postérieure à la mise en fonctionnement de la chaufferie.

b) Estimation des PM10 issues de la biomasse : PM_{biomasse}

Le tableau 4 présente les résultats des estimations de la contribution des particules PM10 issues de la combustion biomasse sur l'ensemble des particules mesurées.

La concentration moyenne de PM10 issues de la combustion biomasse est de $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période avec un maximum atteignant $12.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Rapportées à la mesure totale des PM10, la contribution moyenne des PM10 issues de la biomasse serait de 16% sur la campagne de mesure avec une valeur maximale de 55% le 29/12/19.

Dans le cas de l'étude du LCSQA précédemment citée qui avait porté sur une période plus importante (mi-novembre à mi-avril), la contribution moyenne globale était comprise entre 15 et 25% pour la majorité des sites, ce qui correspond aux résultats obtenus dans cette étude. Trois agglomérations présentaient des taux plus élevés : Poitiers (30%), Grenoble et Bordeaux (35%).

En suivant la même méthodologie, la contribution moyenne des particules issues de la biomasse pour les échantillons de l'étude effectuée à Saint Malo en 2019 était également de 16% avec une valeur maximale de 70% pour une des journées.

¹³ Impact de la combustion de biomasse sur les concentrations de PM10 dans 10 agglomérations du programme CARA au cours de l'hiver 2014-2015 (LCSQA 2015)

Tableau 4 : Résultats des estimations de la contribution des PM10 issues de la biomasse

	PM10	PM10 _{biomasse}	Contribution PM10 _{biomasse}	Direction vents (°N)	Température (°C)
	µg/m3	µg/m3	%	°N	°C
27/12/19	32,0	3,2	10%	230	11
29/12/19	22,3	12,3	55%	122	6
30/12/19	24,8	9,0	36%	178	7
31/12/19	17,6	6,9	39%	154	7
03/01/20	16,7	0,4	2%	295	10
04/01/20	16,4	1,8	11%	258	9
06/01/20	16,3	2,4	14%	190	7
10/01/20	17,3	1,2	7%	276	9
12/01/20	16,6	0,8	5%	226	10
15/01/20	14,2	0,4	3%	242	10
23/01/20	29,8			80	6
24/01/20	38,3	6,9	18%	100	5
25/01/20	21,0	3,1	15%	189	9
27/01/20	16,0	0,4	3%	241	7
28/01/20	25,8	0,1	1%	260	8
moyenne		3,5	16%		

La figure 22 illustre la variabilité de la contribution des PM10 issues de la biomasse sur la zone d'étude en fonction de la direction des vents.

Les contributions les plus importantes ont été observées lorsque les vents provenaient des secteurs Est (90°) à Sud (180°) soit lors d'une influence continentale. Ces conditions étaient par ailleurs associées aux températures les plus faibles (inférieures à 6°C).

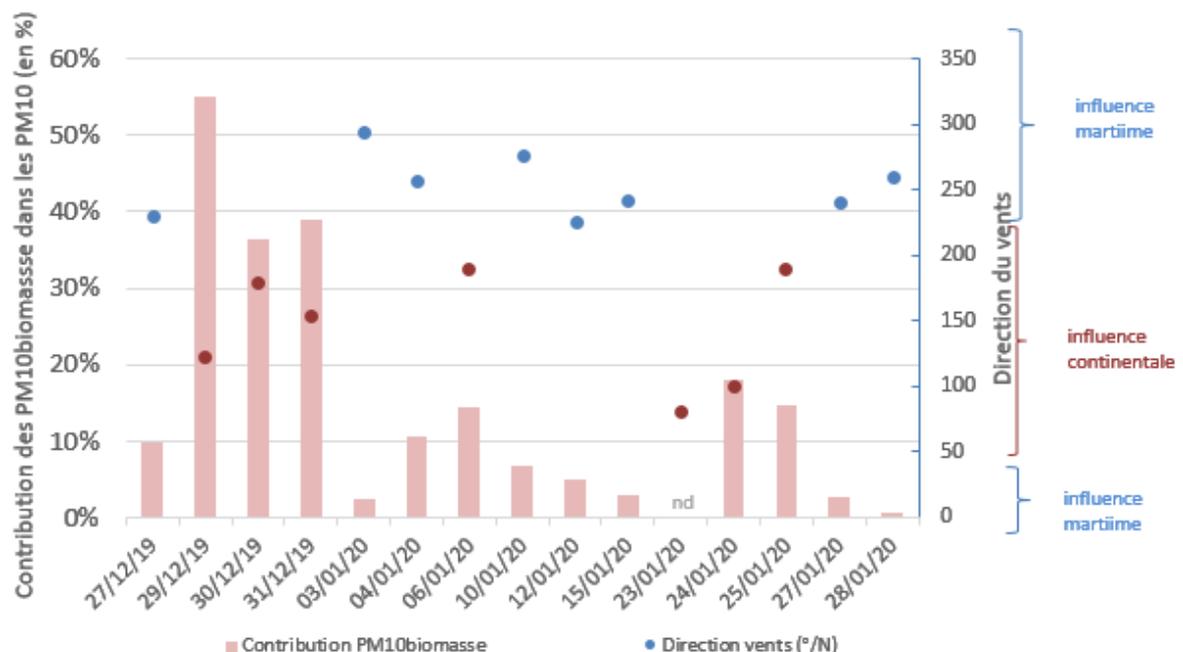


Figure 22 : Evolution de la contribution des particules issues de la combustion biomasse au sein des PM10 selon la direction des vents

Les vents en provenance de la zone d'implantation de la future chaufferie par rapport au point de mesure se trouve entre 190 et 240°. Sur les 15 échantillons collectés, 6 ont présentés des vents moyens compris dans ce secteur (cf. figure 23).

Campagne de mesure de la qualité de l'air – Trévou-Tréguinec (22)

Dans ces conditions, la contribution des PM10 issues de la biomasse au sein des PM10 totales était comprise entre 3 et 15% (moyenne 8%).

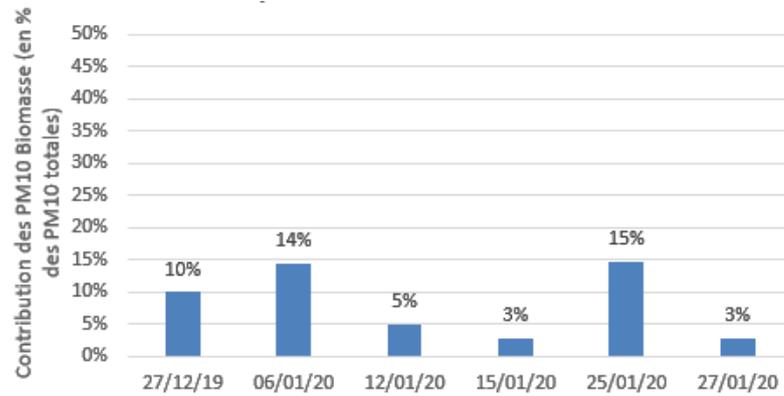


Figure 23 : Contribution des PM10 issues de la biomasse par vents en provenance du site d'implantation de la future chaufferie biomasse

Ces résultats pourront être comparés à d'autres prélèvements réalisés dans des conditions similaires après la mise en fonctionnement de la chaufferie.

VI. Conclusion

Dans le cadre d'un projet d'installation d'une chaufferie biomasse au lieu-dit Trestel sur la commune de Trévou-Tréguinec, Lannion Trégor Communauté a demandé à Air Breizh de mener une campagne initiale de la qualité de l'air.

Une campagne basée sur un protocole identique pourra être réalisée après la mise en fonctionnement de la chaufferie. Les résultats seront alors comparés à la présente étude pour appréhender l'impact de la mise en fonctionnement de la nouvelle installation.

▪ **Protocole retenu**

Les investigations ont été menées en période hivernale, de fin décembre 2019 à début février 2020 sur un point de mesure située au Nord-Est de l'installation. Cet emplacement a été retenu tenant compte de la localisation des habitations les plus proches et des vents dominants issus du Sud-Ouest plaçant ce site sous les vents en provenance de la future installation.

Les paramètres mesurés sont ceux notamment émis par une installation de combustion biomasse : il s'agit des oxydes d'azote et des particules fines (PM10 et PM2.5) également réglementés dans l'air ambiant. Par ailleurs, des analyses de composition chimique des PM10 ont été réalisées afin d'estimer la part des émissions biomasse au sein des PM10 totales. Ce ratio pourra être utilisé comme indicateur dans le cadre d'une prochaine campagne.

▪ **Représentativité de la campagne**

Une période d'un mois a été retenue durant l'hiver 2019/2020. L'analyse des niveaux mesurés sur d'autres stations à cette période de l'année, comparés à ceux des 5 dernières années sur la même période, a montré un risque de sous-estimation possible des niveaux de la période 2019/2020 par rapport aux autres années (de l'ordre de 30% pour les particules). Cela signifie que des niveaux supérieurs auraient pu être mesurés lors de la même période les années antérieures. Les conditions hivernales peu rigoureuses lors de l'hiver 2019/2020 expliquent en partie ce constat.

▪ **Résultats des mesures en continu : dioxyde d'azote et particules fines**

Les niveaux de dioxyde d'azote enregistrés sur la zone d'étude sont faibles et du même ordre de grandeur que ceux observés sur notre site rural régional. Ce constat témoigne de l'influence réduite du trafic routier et des installations de combustion dans le secteur.

Pour les particules fines, les niveaux en PM10 sont proches de ceux des stations réglementaires les plus proches. Les niveaux légèrement supérieurs à Trestel ont été mis en relation avec les apports complémentaires liés aux embruns marins du fait du positionnement du site. Les niveaux restent toutefois peu élevés.

Pour les particules PM2.5, les niveaux sont supérieurs à ceux de la station rurale régionale mais légèrement inférieurs à ceux d'autres agglomérations suivis par Air Breizh.

Pour les trois polluants mesurés, **les niveaux moyens enregistrés témoignent d'une situation de fond non influencée par une source significative**. Il conviendra de réutiliser ces résultats en les comparant aux suivis postérieurs à la mise en fonctionnement de la chaufferie.

▪ **Analyse de la composition chimique des particules fines PM10**

Les 15 échantillons journaliers analysés montrent que la composition des particules est très marquée par la provenance des vents.

Deux types d'influence ont ainsi été mis en évidence :

- une influence continentale pour laquelle les particules sont dominées par les espèces inorganiques secondaires (sulfates, nitrates, ammonium) et les matières organiques majoritairement émis par des sources anthropiques à cette période de l'année,
- une influence maritime, pour laquelle les particules sont dominées par les sels de mer.

Par ailleurs, la recherche spécifique d'un traceur reconnu des émissions biomasse (à savoir le Lévo-glucosan) dans les échantillons a permis d'estimer la **contribution des particules issues de la biomasse** par rapport aux particules totales.

En moyenne sur la campagne, ce ratio a été de 16% avec une valeur maximale de 55% (observé par vent de Sud-Est).

Sous le secteur de vent balayant la zone d'implantation de la future chaufferie (vent de Sud-Ouest), **la contribution des particules issues de la biomasse était comprise entre 3 et 15%** pour les 6 échantillons prélevés dans ces conditions.

Cet indicateur pourra être réutilisé comme référence dans le cadre de suivi postérieur.

▪ Perspectives :

La réalisation d'une nouvelle campagne après la mise en fonctionnement de la chaufferie dont les résultats pourront être comparés à ceux de cet état initial, permettra d'appréhender l'impact des émissions de cette nouvelle installation sur son environnement.

Outre le choix d'un protocole identique, il conviendra par ailleurs de s'assurer que les conditions durant les mesures sont identiques (notamment la situation météorologique). Certaines journées de configurations proches pourraient alors être retenues pour cette analyse.



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 :

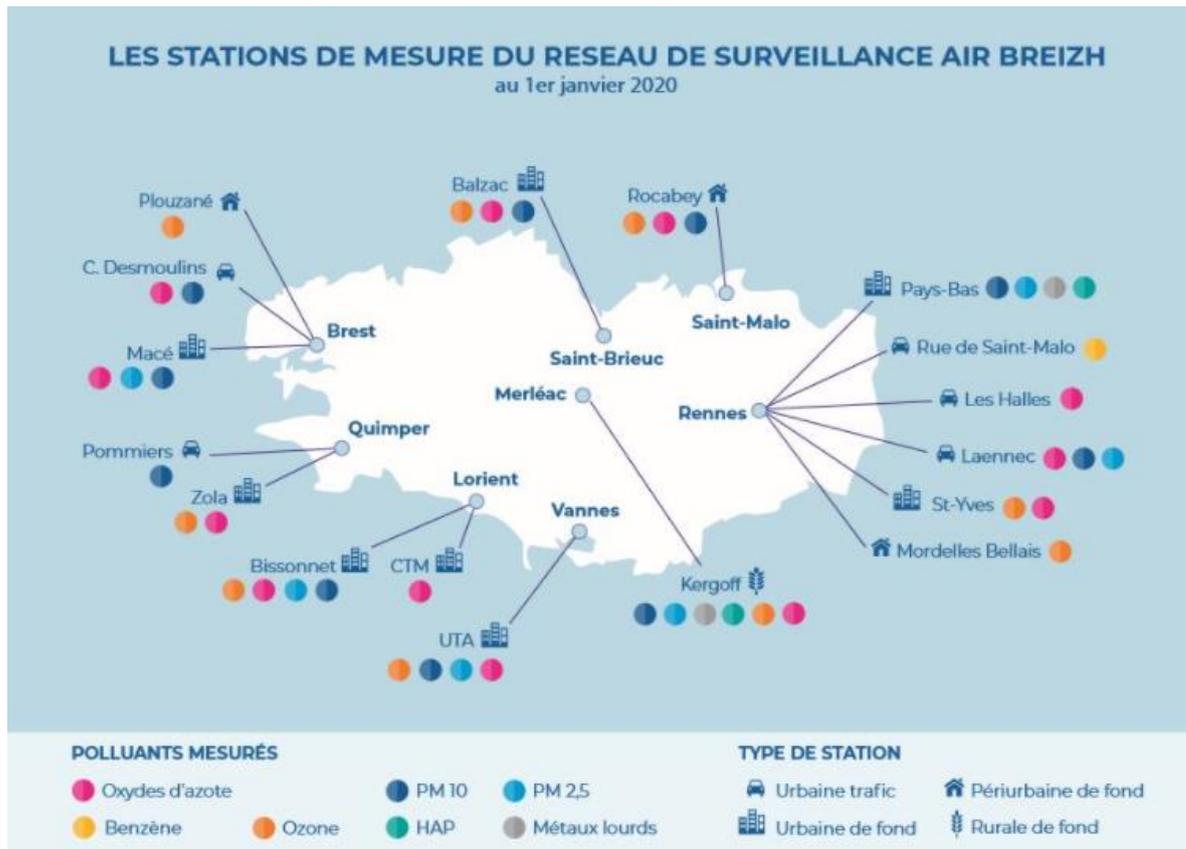
- Collège 1 : services de l'Etat,
- Collège 2 : collectivités territoriales,
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

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.



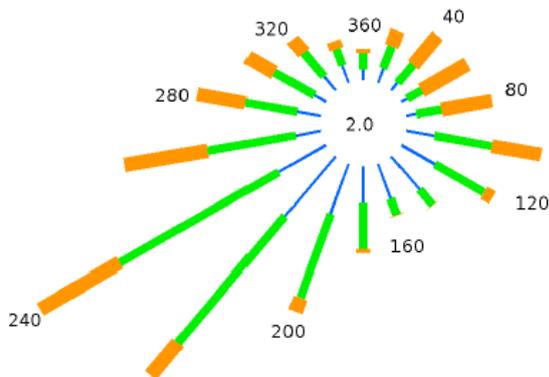
Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/20)

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 : Normales de rose des vents Ploumana'ch
1998-2010

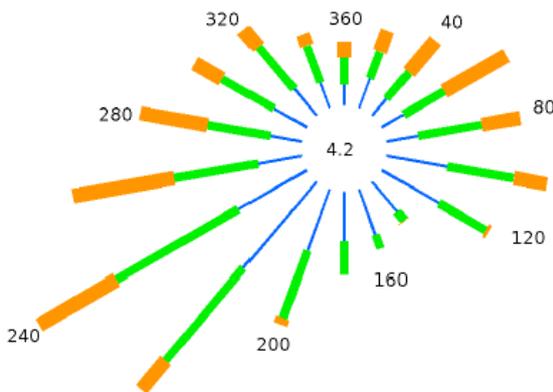
Normales de rose des vents Ploumana'ch (1998-2010) – mois de **janvier**



Dir.	[1.5;4.5 [	[ 4.5;8.0]	> 8.0 m/s	Total
20	0.7	1.1	0.8	2.7
40	0.5	1.1	1.8	3.4
60	0.3	0.8	2.5	3.6
80	0.5	1.2	2.5	4.1
100	1.4	2.8	2.4	6.5
120	1.9	2.7	0.5	5.0
140	2.0	1.0	+	3.0
160	1.8	0.9	+	2.6
180	1.7	2.2	0.2	4.1
200	2.5	4.2	0.7	7.4
220	3.7	7.8	2.0	13.5
240	2.6	8.6	4.4	15.6
260	1.2	4.2	4.0	9.4
280	1.1	2.4	2.3	5.9
300	0.6	2.2	1.5	4.3
320	0.9	1.5	0.8	3.2
340	0.9	0.8	0.4	2.1
360	0.5	0.8	0.2	1.5
Total	24.8	46.2	27.0	98.0
[0;1.5 [				2.0



Normales de rose des vents Ploumana'ch (1998-2010) – mois de **février**

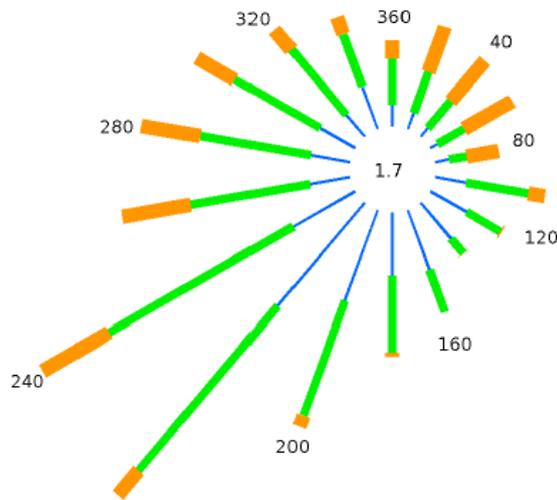


Dir.	[1.5;4.5 [	[ 4.5;8.0]	> 8.0 m/s	Total
20	1.2	1.1	0.9	3.3
40	0.9	1.4	1.6	3.9
60	1.0	1.8	2.8	5.7
80	1.2	2.5	1.5	5.3
100	2.4	2.6	1.3	6.4
120	2.6	2.1	0.2	4.9
140	1.5	0.4	+	2.0
160	1.9	0.6	0.0	2.5
180	1.9	1.3	0.0	3.3
200	2.5	2.8	0.3	5.6
220	4.4	4.7	1.5	10.6
240	3.0	5.5	3.5	12.1
260	1.7	3.3	4.0	9.1
280	1.2	2.5	2.7	6.4
300	1.5	2.3	1.3	5.1
320	1.4	2.2	0.9	4.4
340	1.1	1.5	0.5	3.1
360	0.8	1.1	0.6	2.5
Total	32.3	39.9	23.6	95.8
[0;1.5 [				4.2



Source : Météo France

Normales de rose des vents Ploumana'ch (1998-2010) – mois de **novembre**

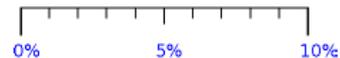


Dir.	[1.5;4.5 [	[ 4.5;8.0 [	> 8.0 m/s	Total
20	0.6	1.5	1.7	3.8
40	0.4	1.2	1.9	3.5
60	0.3	1.1	1.9	3.3
80	0.5	0.6	1.1	2.3
100	1.1	2.2	0.6	3.9
120	1.5	1.4	+	2.9
140	1.6	0.7	+	2.3
160	2.2	1.6	+	3.8
180	2.2	2.7	0.1	5.0
200	3.4	4.2	0.4	8.0
220	4.7	7.5	1.1	13.3
240	2.5	7.4	2.7	12.5
260	1.4	4.2	2.4	8.0
280	1.4	3.8	2.1	7.3
300	1.4	3.4	1.5	6.3
320	1.0	3.0	0.9	4.9
340	1.6	2.0	0.6	4.2
360	0.7	1.6	0.6	3.0
Total	28.5	50.0	19.8	98.3
[0;1.5 [				1.7

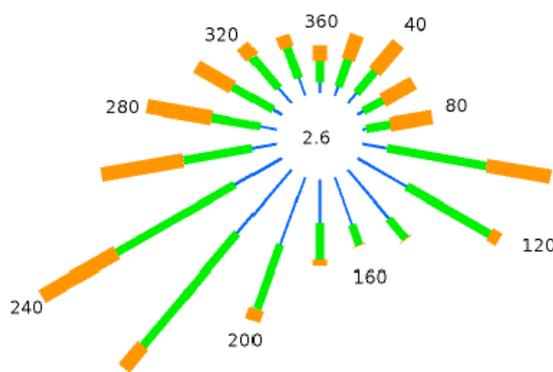
Groupes de vitesses (m/s)



Pourcentage par direction

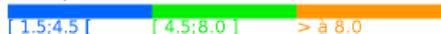


Normales de rose des vents Ploumana'ch (1998-2010) – mois de **Décembre**

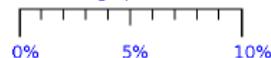


Dir.	[1.5;4.5 [	[ 4.5;8.0 [	> 8.0 m/s	Total
20	0.4	1.3	1.2	3.0
40	0.6	1.3	1.7	3.6
60	0.3	1.0	1.6	2.9
80	0.2	1.1	1.9	3.2
100	1.1	4.5	2.9	8.6
120	2.6	4.3	0.5	7.4
140	2.9	1.2	+	4.1
160	2.3	1.0	+	3.3
180	1.9	1.7	0.3	3.9
200	3.2	3.0	0.6	6.8
220	3.7	6.6	1.4	11.7
240	2.4	6.1	3.9	12.4
260	1.1	3.1	3.8	8.0
280	0.8	2.2	2.9	5.9
300	0.5	2.1	1.9	4.4
320	0.9	1.8	0.7	3.4
340	0.9	1.5	0.6	2.9
360	0.5	1.0	0.7	2.2
Total	26.2	44.7	26.5	97.4
[0;1.5 [				2.6

Groupes de vitesses (m/s)



Pourcentage par direction



Source : Météo France

Annexe III : Analyses chimiques – Analyse détaillée de la
part non-déterminée des particules

Dans le cadre d'un bilan de masse, la somme des espèces majoritaires mesurées par l'analyse chimique, comparées à la masse totale de particules mesurées par l'analyseur fait systématiquement apparaître une **part non déterminée de particules ('nd')**¹⁴.

Dans le cas de la présente étude, la part non déterminée représentait initialement 60% de la masse des PM10 en moyenne sur les 15 échantillons atteignant jusqu'à 80% pour certains échantillons ce qui est relativement élevé au regard de la pratique habituelle.

L'analyse de cet écart en fonction des conditions de vent a montré que la part non déterminée de particules était systématiquement plus importante par influence maritime (70 à 80%) contre 30 à 40% lors d'une influence continentale.

Différentes origines possibles ont été investiguées pour expliquer ces écarts. Elles sont détaillées ci-après.

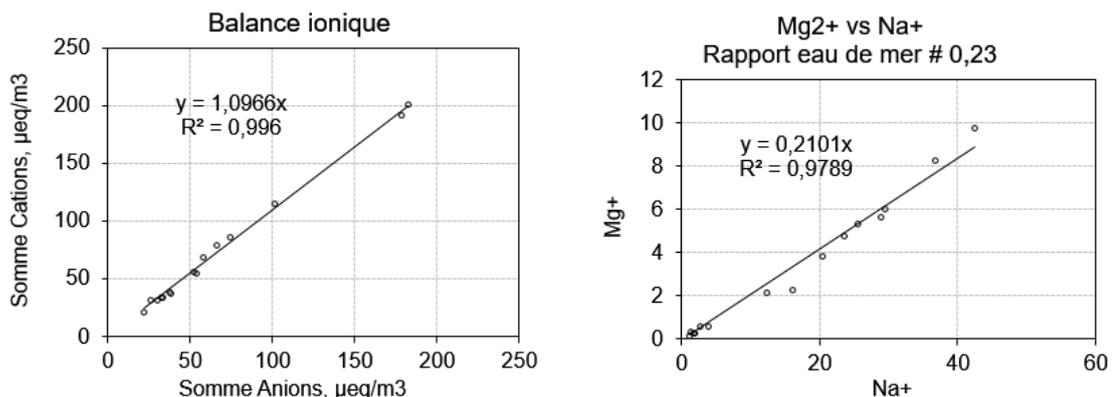
a) Problème analytique concernant les espèces inorganiques

Le fait que la part non déterminée de particules soit plus importante lors d'influence d'origine maritime pourrait éventuellement s'expliquer par un problème analytique sur les ions et notamment l'ion sodium utilisé pour estimer la part des sels de mer dans les échantillons (cf. principe bilan des masses V.5.2.b).

Les résultats des analyses chimiques, dont les ions, ont fait l'objet d'une validation préalable avant traitement¹⁵. Cette vérification pour les ions a été effectuée en deux temps.

L'équilibre chimique des espèces majeurs a d'abord été vérifié (balance ionique). Le traitement de l'ensemble des échantillons a mis en évidence une bonne corrélation entre cations et anions ($R^2 = 0.996$). Ces résultats révèlent un bon état d'équilibre électrique et la fiabilité des analyses réalisées.

D'autre part, la contribution majoritaire des ions sodium dans les sels de mer a été vérifiée par corrélation des ions sodium et magnésium (Mg^{2+}), eux aussi présents dans les sels de mer. La corrélation est proche de 1 : $R^2 = 0.98$ (figure de gauche ci-dessous). Par ailleurs, le rapport Mg^{2+}/Na^+ doit être de l'ordre de celui de l'eau de mer à savoir 0,23. C'est également le cas pour les échantillons traités : 0.21 (figure de droite ci-dessous)



Vérification des analyses chimiques : balance ionique (à gauche) et contribution majoritaire des ions sodium dans les sels de mer (à droite)

Ces différentes étapes permettent de valider les analyses des ions réalisées. Cette source d'erreur est donc écartée.

¹⁴ Caractérisation chimique des particules – bilan des campagnes de janvier 208 à janvier 2009 (LCSQA juin 2009)

¹⁵ Procédure de validation des données d'analyse chimique des particules atmosphériques (anions/cations et EC/OC) (LCSQA – GT sites ruraux CS du 21/06/12)

b) Une sous-estimation des sels de mer

L'analyse des résultats montre que la part non-déterminée dans les PM10 augmente de manière corrélée avec celle des sels de mer (chapitre V.5.1.d figure 21).

Ce constat a déjà été observé dans le cadre d'une étude réalisée en bordure littorale à la Réunion ayant pour objectif d'évaluer la contribution des embruns marins dans les dépassements des valeurs limites pour les PM10¹⁶.

Cette étude avait conclu sur la présence d'eau liquide sur les aérosols marins (nommée « sea salt H₂O »), qui n'est pas prise en compte dans l'analyse chimique contrairement à la mesure avec l'appareil automatique. Les sels de mer sont très hydrophiles et sont en réalité présents dans l'atmosphère sous forme de solutions salines en suspension.

La validité de cette hypothèse avait été confirmée par la corrélation des concentrations en sels de mer et les espèces autre que les anions/cations et espèces carbonées {EC + OM + NH₄⁺ + NO₃⁻ + nssSO₄²⁻}.

La valeur de la pente obtenue suggérait que la contribution des embruns marins dans les PM10 mesurées par l'analyseur était en réalité 1.34 fois plus importante que ne laissait penser la seule estimation des concentrations de sels de mer sous forme solide non-hydratée (via l'analyse chimique).

Cet ordre de grandeur a également été observé dans le cadre d'une étude menée par Air Breizh sur la composition chimique des particules PM10 à Saint-Malo en 2019¹⁷.

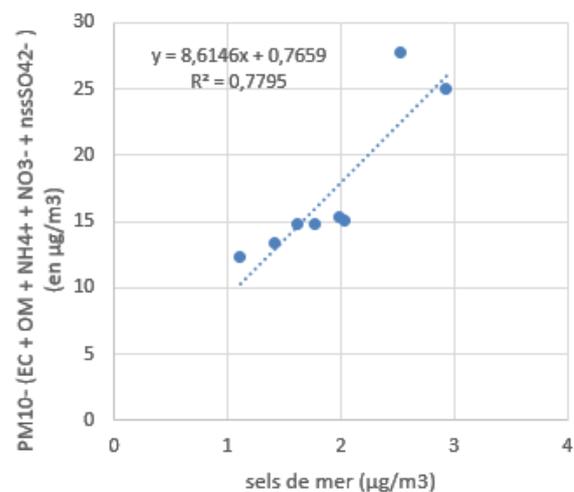
Cette étude, qui portait sur près de 60 échantillons collectés en période hivernale, avait mis en évidence une contribution 1.30 fois plus importante pour les sels de mer ce qui correspond à la valeur obtenue lors de l'étude menée à la Réunion.

Le même raisonnement a été appliqué pour les échantillons prélevés par influence maritime dans le cadre de cette étude (8 échantillons).

La corrélation est plutôt satisfaisante (R² = 0.8) et indiquerait que la contribution des embruns marins dans les PM10 mesurées par l'analyseur est en réalité 8 fois plus importante que celle mesurée par l'analyse chimique.

Ce ratio est bien supérieur à celui observé pour les deux autres études citées précédemment.

Il pourrait néanmoins s'expliquer par les conditions particulières rencontrées durant l'étude : vents forts provenant majoritairement du littoral, distance à la mer réduite, ...



corrélation entre les concentrations en sels de mer et une fraction autre que EC, OM, NH₄⁺, NO₃⁻ et nss SO₄²⁻

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

¹⁶ Evaluation de la contribution des embruns marins aux dépassements des valeurs limites fixées pour les PM10 à Saint-Pierre de la Réunion (LCSQA 2012)

¹⁷ Niveaux de concentrations et composition des particules PM10 à Saint-Malo (Air Breizh avril 2020)

c) *Autres explications : des incertitudes liées à la mesure, aux facteurs utilisés pour l'estimation d'espèces, à des espèces non mesurées*

Lors d'une influence continentale, la part non déterminée des particules est de l'ordre de 30 à 40% (cf. chapitre V.5.1.d) ; or les concentrations en sels de mer sont insignifiantes dans ces échantillons ce qui montre que d'autres facteurs expliquent cet écart.

Différentes origines sont avancées dont certaines sont inhérentes à la méthode du bilan de masse.

D'une part, le bilan de masse est basé sur l'analyse chimique des espèces majoritaires. **D'autres espèces, tels que les métaux, sont également présentes dans les particules mais non quantifiées.**

Par ailleurs, des facteurs tirés de la bibliographie sont utilisés pour **estimer la contribution de certaines espèces non analysables**. C'est le cas par exemple de la matière organique (OM) estimée à partir du carbone organique à l'aide d'un facteur de conversion de 1,8 recommandée par le LCSQA¹⁸. Or les études sur le sujet montrent que ce rapport peut varier de 1 à 5 selon la source et le vieillissement du carbone organique ce qui peut influencer nettement la répartition des espèces au sein des PM10.

Enfin, les mesures ont été réalisées avec un analyseur, basée sur une lecture optique, qui fait partie des appareils approuvés par le LCSQA pour la mesure des PM10 en situation de fond. Malgré cela, **l'incertitude liée à la mesure** peut augmenter en fonction de facteurs extérieurs tels que ceux rencontrés pendant la campagne : humidité importante, changement de la nature des particules, ... Une incertitude de 25% est tolérée par la réglementation pour la mesure des PM10 (Directive 2008/50/CE).

d) *Synthèse*

Selon cette analyse, la part non déterminée des particules identifiée par différence entre la somme des espèces analysées chimiquement et la mesure via l'analyseur, serait liée aux origines suivantes :

- Pour l'ensemble des échantillons, une part non déterminée de l'ordre de 30 à 40% de la masse totale des PM10 peut être attribuée à la combinaison de plusieurs origines à savoir :
 - o L'incertitude de mesure de l'appareil dans les conditions du site d'étude conduisant à une surestimation de la mesure,
 - o La présence d'espèces non mesurées (les métaux par exemple),
 - o L'utilisation de facteurs tirés de la bibliographie pour estimer certaines espèces tels que les sels de mer, la matière organique, etc.

Ces deux dernières origines conduisent habituellement à une part de non-déterminée de l'ordre de 10 à 20%.

Reste donc 10 à 20% que l'on pourrait éventuellement attribuer à l'incertitude sur la mesure ce qui reste cohérent avec l'incertitude maximale tolérée par la réglementation (25%).

Ces explications justifieraient la totalité de la part non-déterminée des particules observées lors d'une influence continentale.

- Pour les échantillons collectés par influence maritime majoritaire, la part des particules non-déterminées atteint 80%.

Après retranchement des 30 à 40% évoqués ci-dessus, le restant, soit 40 à 50% de la masse totale, pourrait être attribué aux sels de mer pour lesquels l'analyse chimique est limitée à la forme solide non-hydratée.

¹⁸ En référence à la Thèse de Diogo Miguel BARROS de OLIVEIRA, Lille 1, 2017

Une correction de la part non déterminée des particules en influence maritime a donc été réalisée par soustraction de la contribution des sels de mer hydratée (noté ss H₂O) à la part non déterminée totale (cf. chapitre V.5.1 c).