

# Mesures du 1.3-butadiène, du benzène et de l'acrylonitrile dans l'air ambiant au niveau des zones industrielles du Havre et de Port-Jérôme

---

Campagnes mutualisées 2021-2022

**Référence : 1140-013**

Date de diffusion : Septembre 2023

---

**Atmo Normandie**

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

[contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)

## Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (<http://www.atmonormandie.fr/>), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faite sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n° 1140-013

Le 13 septembre 2023,

La rédactrice,  
Ingénieure d'études, Marjolaine Ney

La vérificatrice,  
Directrice, Véronique Delmas

Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN

Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : [contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)

<http://www.atmonormandie.fr/>

# Résumé

En France le benzène est un polluant réglementé dans l'air ambiant, ce qui n'est pas le cas du 1,3-butadiène, uniquement cité dans la Directive Européenne 2008/50/CE comme un composé précurseur de l'ozone. Néanmoins dans un rapport publié en juin 2018, l'Anses a classé le 1,3-butadiène ainsi que l'acrylonitrile, 2 composés émis par certaines industries présentes sur les zones industrielles du Havre et de Port-Jérôme, parmi 13 polluants jugés prioritaires pour une future surveillance réglementaire dans l'air ambiant.

En 2021-2022, suite aux études de 2019 et 2020-2021, Atmo Normandie a mené avec ses partenaires industriels du Havre et de Port-Jérôme, émetteurs de ces composés (TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique, Synthomer, ExxonMobil Chemical France et Arlanxeo Elastomères France SAS) une étude exploratoire de mesure du 1,3-butadiène et du benzène par tubes actifs et de l'acrylonitrile par tubes passifs, afin d'aboutir à des moyennes annuelles comparables aux valeurs de référence existantes. La mise en œuvre de cette campagne a également permis de valider les solutions techniques et logistiques apportées en 2020-2021 et d'ajouter des critères qualité pour la validation des prélèvements et des résultats d'analyse.

Concernant les résultats de 2021-2022 et l'exposition de la population générale, la moyenne annuelle des sites situés en dehors des zones industrielles ne révèle aucun dépassement des valeurs de référence. Les concentrations de ces sites sont légèrement supérieures ou du même ordre de grandeur que le témoin rural. L'impact sur les concentrations moyennes de 1,3-butadiène, benzène et acrylonitrile dans l'air ambiant autour des ZI du Havre et de Port-Jérôme apparaît donc limité sur les périodes concernées. Pour l'exposition de la population des travailleurs tiers, la moyenne annuelle de 1,3-butadiène et d'acrylonitrile des sites en zones industrielles, ne montre aucun dépassement de la valeur de référence. En revanche, sur certains sites industriels la moyenne annuelle de benzène dépasse la valeur de référence. Les résultats sont synthétisés à la page suivante.

**Synthèse des résultats de mesures du 1.3-butadiène, du benzène et de l'acrylonitrile dans l'air ambiant au niveau des zones industrielles du Havre et de Port-Jérôme lors des campagnes mutualisées 2021 – 2022 (réf : 1140-013).**

Polluant d'intérêt	Zone	n° de site(s)	Moyennes annuelles pendant l'étude en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Seuil réglementaire	Dépassement - localisation	Raison supposée du dépassement
1.3-butadiène	Hors ZI et témoin	1-3, 9-10, 16	0.13 - 0.36	VTR chronique à seuil par inhalation Anses 2021 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Non	
	ZI Le Havre et Port-Jérôme	4-8, 11-15	0.19 - 6.08	VTR cancérogène sans seuil Anses 2022 $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Non	
benzène	Hors ZI et témoin	1-3, 9-10, 16	0.47 - 0.92	Objectif de qualité $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Non	
	ZI Le Havre et Port-Jérôme	4-8, 11-15	0.61 – 11.31	VTR cancérogène sans seuil Anses 2014 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Oui - site 7 (ZI le Havre) et site 13 (ZI Port-Jérôme)	Site 7 le plus exposé aux vents en provenance des sources de benzène de l'entreprise TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique. Fortes concentrations pendant la campagne de décembre 2022, liées à un dysfonctionnement lors du redémarrage du vapocraqueur pendant la campagne.  Site 13, pas de cohérence avec la provenance des vents balayant les sources déclarées par les industriels participant à l'étude. Hypothèse d'une source extérieure, non située chez les industriels participant à l'étude.
acrylonitrile	Hors ZI et témoin	3, 16	< LQ	VTR chronique à seuil US EPA 1991 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Non	
	ZI Le Havre	4	6.3	VTR chronique à seuil US EPA 1991 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Non	

# Sommaire

<b>1. Introduction</b>	<b>7</b>
<b>2. Éléments nécessaires à la compréhension du document</b>	<b>8</b>
2.1. Contexte	8
2.2. Approche choisie	9
2.3. Matériels	13
2.4. Méthodes	15
2.5. Origine des données	16
2.6. Limites	16
<b>3. Déroulement</b>	<b>16</b>
<b>4. Résultats</b>	<b>18</b>
4.1. Conditions environnementales pendant les campagnes	18
4.2. Résultats de 1,3-butadiène	21
4.2.2. Concentrations par campagne	23
4.2.3. Concentrations annuelles et comparaison aux valeurs de références	26
4.3. Résultats de benzène	27
4.3.1. Fréquence d'exposition des échantillons aux vents	28
4.3.2. Concentrations par campagne	29
4.3.3. Concentrations annuelles et comparaison aux valeurs de référence	32
4.4. Résultats d'acrylonitrile	33
4.4.1. Fréquence d'exposition des échantillons aux vents	33
4.4.2. Concentrations par campagne	34
4.4.3. Concentrations annuelles et comparaison aux valeurs de référence	34
<b>5. Interprétation des résultats et discussion</b>	<b>35</b>
<b>6. Conclusion et perspectives</b>	<b>36</b>
<b>7. Bibliographie</b>	<b>37</b>



## Sigles, abréviations et définition

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CLP : Classification, Labelling, Packaging désigne le règlement CE n° 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges

COV : Composés Organiques Volatils

Directions de vents : N : Nord, NNE : Nord Nord Est, NE : Nord Est, ENE : Est Nord Est, E : Est, ESE : Est Sud Est, SE : Sud Est, SSE : Sud Sud Est, S : Sud, SSO : Sud Sud Ouest, SO : Sud Ouest, OSO : Ouest Sud Ouest, O : Ouest, ONO : Ouest Nord Ouest, NO : Nord Ouest, NNO : Nord Nord Ouest.

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

ECHA : European Chemical Agency

FID : Flamme Ionisation Detector (détecteur à ionisation de flamme)

GC : Gas Chromatography (chromatographie en phase gazeuse)

IMT Nord Europe : Institut Mines-Télécom Nord Europe

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

LCSQA : Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air

LH : Le Havre

MS : Spectrométrie de Masse

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (USA)

PJ : Port-Jérôme

PRSQA : Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air

Travailleurs tiers : dans le cadre de ce rapport, travailleurs des entreprises voisines de celles concernées par la surveillance et susceptibles d'être exposés à leurs émissions dans l'air

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

ZI : Zone Industrielle

# 1. Introduction

Depuis 2013 Atmo Normandie a mis en place une surveillance de plusieurs composés organiques volatils dans l'air ambiant, dont le benzène et le 1,3-butadiène, à proximité des zones industrielles du Havre et de Port-Jérôme [1]. En France le benzène est un polluant réglementé dans l'air ambiant, ce qui n'est pas le cas du 1,3-butadiène, uniquement cité dans la Directive Européenne 2008/50/CE [1] comme un composé précurseur de l'ozone. Néanmoins dans un rapport publié en juin 2018 [2], l'Anses a classé le 1,3-butadiène ainsi que l'acrylonitrile, 2 composés émis par certaines industries présentes sur les zones industrielles du Havre et de Port-Jérôme, parmi 13 polluants jugés prioritaires pour une future surveillance réglementaire dans l'air ambiant.

En 2019 Atmo Normandie a mené avec ses partenaires industriels du Havre et de Port-Jérôme, émetteurs de 1,3-butadiène, de benzène et d'acrylonitrile (TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique, Synthomer, ExxonMobil Chemical France et Arlanxeo Elastomères France SAS), une étude préparatoire afin d'identifier la solution la plus adaptée, qui permette de garantir des résultats de mesure susceptibles d'être comparés aux valeurs de référence sanitaires pour le 1,3-butadiène. En 2020-2021, dans la continuité de cette étude, Atmo Normandie, en partenariat avec les 4 industriels concernés, a testé un déploiement opérationnel, sur plusieurs sites de la solution retenue à savoir le tube actif carbopack x. Le déploiement a été concluant mais la solution nécessitait encore de gagner en robustesse et en critères qualités de validation des prélèvements et des résultats. C'est ainsi qu'en 2021-2022 une nouvelle étude exploratoire a été réalisée

Ce rapport présente l'approche choisie pour la réalisation de la campagne de mesures 2021-2022, la méthodologie, le déroulement de la campagne ainsi que les résultats obtenus. Les objectifs à partir des résultats d'analyses obtenus sont :

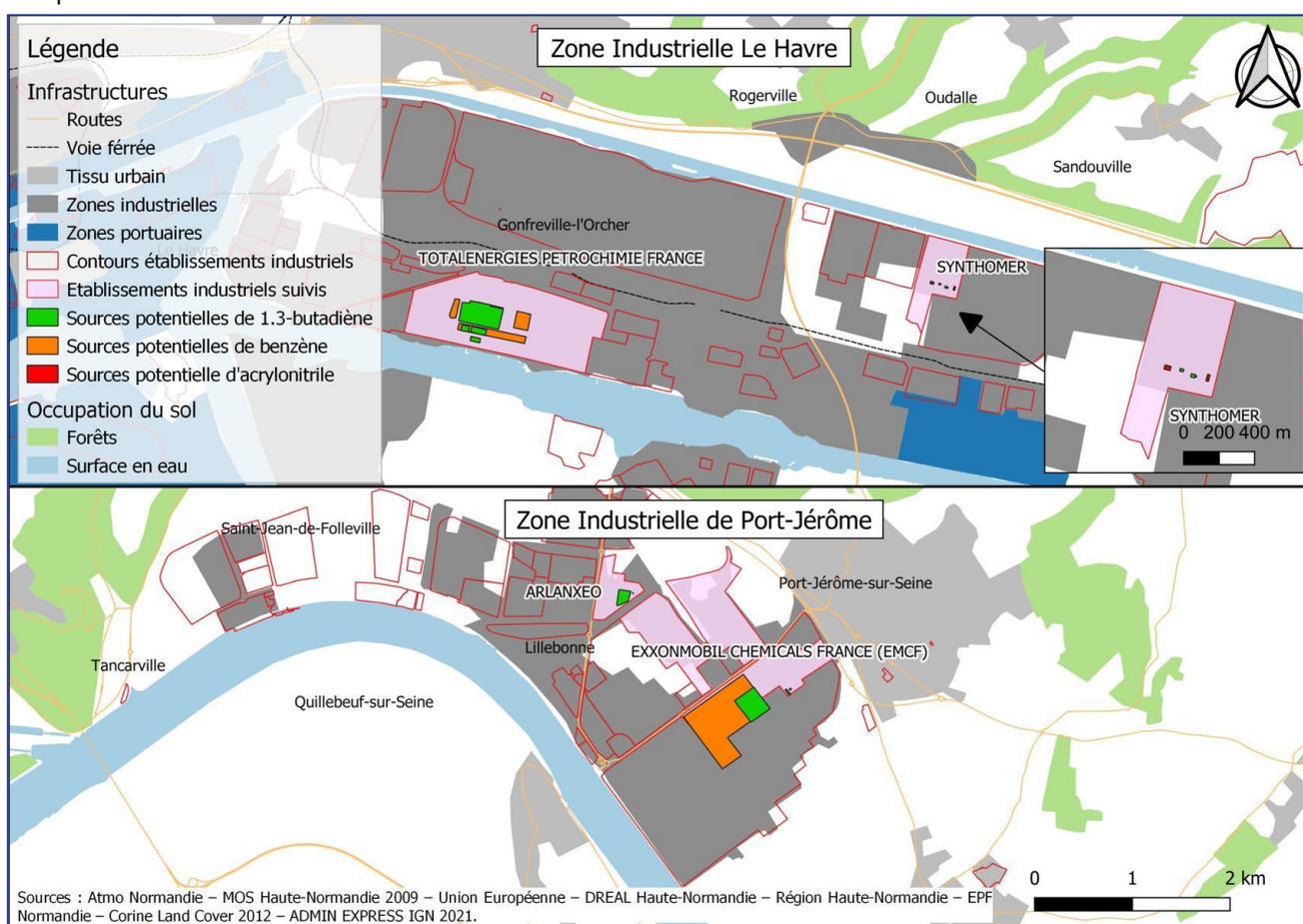
- o Comparer les moyennes annuelles pour les polluants recherchés (1,3 butadiène, benzène et acrylonitrile), sur chacun des sites aux valeurs de référence disponibles au regard de l'exposition de la population générale et de celle des travailleurs des entreprises voisines de celles concernées par la surveillance (travailleurs tiers) ;
- o Etudier la représentativité annuelle de l'échantillonnage (5 x 14 jours dans l'année) ;
- o Analyser les résultats en lien avec les conditions météorologiques (direction et vitesse du vent en particulier), la localisation des points de mesure par rapport aux sources des substances recherchées;
- o Réaliser un retour d'expérience scientifique et technique de la campagne et le cas échéant faire des propositions d'évolution ou d'ajustement pour la suite de la surveillance.

Le présent rapport s'adresse en premier lieu aux membres d'Atmo Normandie et en particulier aux industriels concernés, l'ARS et la DREAL. Il est également téléchargeable depuis le site internet <http://www.atmonormandie.fr/>, rubrique 'Publications' pour tout public intéressé.

## 2. Éléments nécessaires à la compréhension du document

### 2.1. Contexte

En juin 2018, l'Anses publiait un rapport sur les polluants « émergents » dans l'air ambiant [2] et identifiait le 1,3-butadiène et l'acrylonitrile parmi une liste de 13 polluants jugés prioritaires pour une surveillance réglementaire future. Peu de temps après la publication de ce rapport, la DREAL Normandie demandait par arrêté préfectoral à certains industriels de la région émetteurs de 1,3-butadiène, de benzène et d'acrylonitrile (Figure 1) de mesurer le niveau d'exposition des populations riveraines et celle des travailleurs tiers dans l'air ambiant, en les comparant à des valeurs de référence sanitaires.



**Figure 1 : Localisation des sources déclarées de 1,3-butadiène, benzène et acrylonitrile.**

En raison de sa connaissance du sujet, Atmo Normandie a soulevé plusieurs points de vigilance concernant la mise en place de la surveillance. Ainsi dans le cadre de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017 -2021 (programme 3-1 action 2), l'Association a proposé aux industriels concernés d'organiser une étude comparative de différentes solutions disponibles pour la mesure 1,3-butadiène dans l'air ambiant afin d'améliorer les connaissances sur le sujet. Les industriels ont répondu favorablement à cette initiative et ont permis l'organisation de deux campagnes de mesure, sur la zone de Port-Jérôme puis sur celle du Havre, entre mars et juin 2019 [3]. Dans le cadre de cette étude préparatoire sur la mesure du 1,3-butadiène, Atmo Normandie a par ailleurs pu bénéficier du soutien logistique et technique de ses homologues d'ATMO Grand Est [5] ainsi que du laboratoire d'analyse TERA Environnement. De nombreux échanges ont également eu lieu

avec IMT Nord Europe qui a mené, dans le cadre de ses missions pour le LCSQA, une étude similaire à proximité de l'étang de Berre avec Atmo Sud [6] ainsi que des essais en laboratoire en 2020.

Les résultats de cette comparaison de 4 méthodes de mesure du 1,3-butadiène dans l'air ambiant (canisters, tubes actifs, tubes passifs, analyseurs automatiques<sup>1</sup>) ont montré un bon accord entre l'analyseur automatique, les canisters et tubes actifs prélevés sur 24 heures et sur 3 jours pour les tubes actifs. A l'inverse les mesures effectuées par tubes passifs sur 7 jours se sont avérées systématiquement inférieures à celles obtenues avec les autres méthodes, confirmant ainsi les doutes sur l'utilisation du tube passif évoqués dans certaines études, notamment dans un contexte de proximité à des sources de 1,3-butadiène.

Ainsi, dans la perspective d'un déploiement opérationnel, les tubes actifs ont été privilégiés par rapport aux canisters car ils permettent de réaliser des prélèvements plus longs (3 jours vs 24h) et ainsi de limiter le nombre d'interventions sur site (ainsi que le nombre d'analyses).

En 2020-2021 une étude exploratoire de surveillance du 1,3-butadiène, du benzène et de l'acrylonitrile dans l'air ambiant a été effectuée sur 4 campagnes de 14 jours afin de tester le déploiement opérationnel de la mesure du 1.3-butadiène par tubes actifs et aboutir à des moyennes annuelles de 1.3-butadiène, benzène et acrylonitrile comparables aux valeurs de références. Comme en 2019, cette étude exploratoire a été menée avec certains industriels émetteurs de ces polluants sur les zones du Havre et de Port-Jérôme, avec le soutien méthodologique et logistique du laboratoire TERA Environnement et de IMT Nord Europe.

La mise en œuvre grande échelle a été concluante dans le sens où elle a permis aux industriels de répondre à la demande réglementaire. Néanmoins une démarche d'amélioration continue a été menée au cours de l'étude, des solutions ont ainsi été apportées pour améliorer les conditions de déploiement de la campagne et limiter le nombre de prélèvements invalides.

A la fin de l'étude il a été décidé avec les industriels de prolonger la période d'expérimentation en 2021-2022 afin d'ajouter des critères de validation des prélèvements pour aller plus loin dans la maîtrise de la méthode. De plus, des changements et des améliorations étaient encore nécessaires. Atmo Normandie s'est équipée de pompes neuves afin de disposer d'un délai moins contraint pour vérifier leur bon fonctionnement avant chaque campagne (par rapport à la location), du matériel de secours a été prévu pour chaque zone, le nombre de personnes habilité à mener la campagne au sein d'Atmo Normandie a été augmenté.

## 2.2. Approche choisie

Cette étude a été menée avec les industriels émetteurs de 1,3-butadiène, benzène et acrylonitrile à savoir ExxonMobil Chemical France et Arlanxeo Elastomères France SAS sur la ZI de Port-Jérôme et TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique (site pétrochimique) et Synthomer pour ZI du Havre. Atmo Normandie a également pu bénéficier du soutien méthodologique et logistique du laboratoire TERA Environnement (Crolles, 38).

---

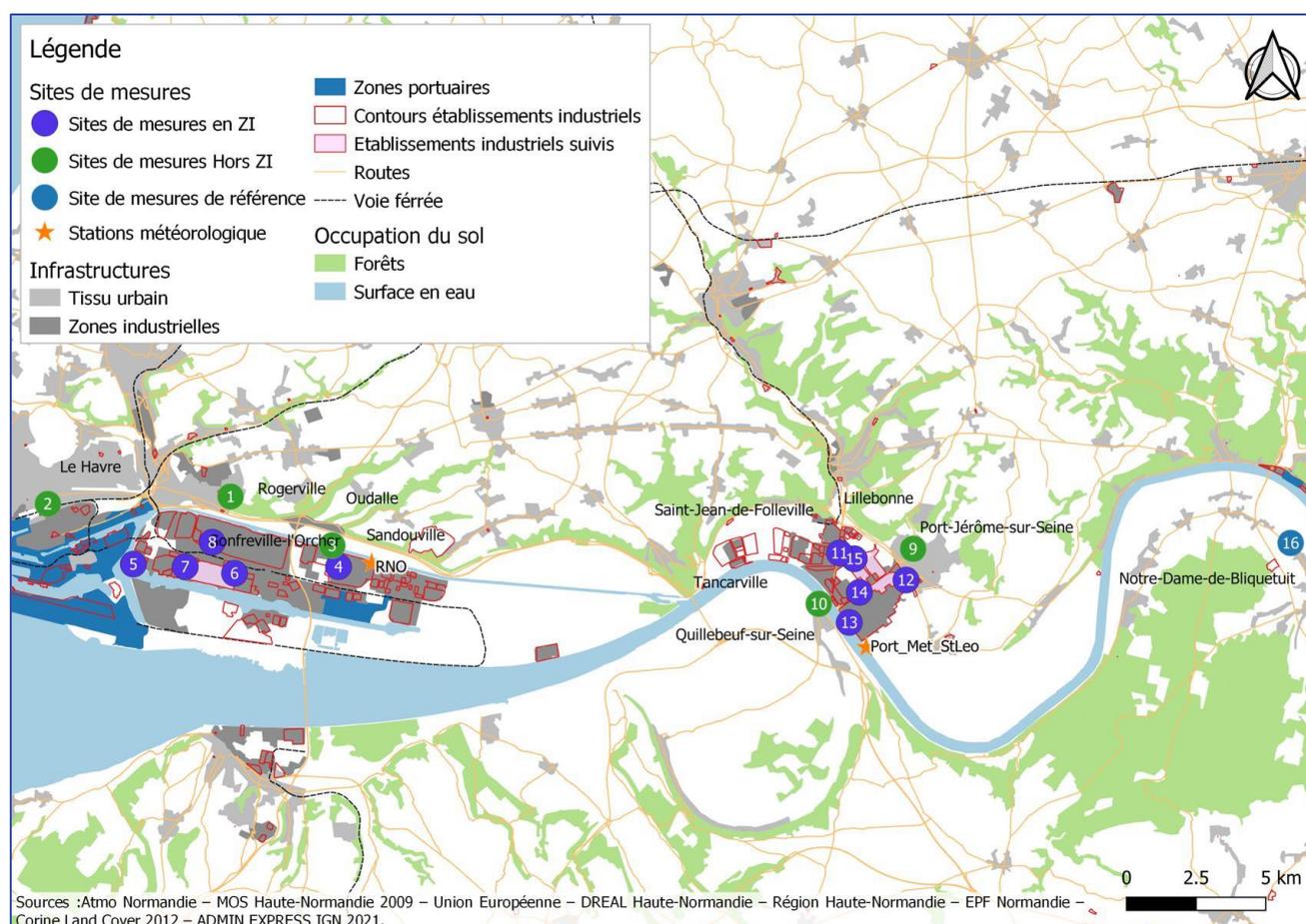
<sup>1</sup> Fonctionnant sur le principe de la chromatographie en phase gazeuse

**Tableau 1 : Substances potentiellement émises par les industriels collaborateurs de l'étude (V = Oui, X = Non)**

Entreprise	1.3-butadiène	Benzène	Acrylonitrile
ExxonMobil Chemical France	V	V	X
Arlanxeo Elastomères France SAS	V	X	X
TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique	V	V	X
Synthomer	V	X	V

### Sites de mesures

A partir de l'analyse des modélisations des concentrations présentées par chaque industriel, 16 points de prélèvements ont été retenus (Figure 2). 10 de ces points se situent dans l'enceinte des sites industriels (5 sur Port-Jérôme et 5 sur Le Havre) pour estimer l'exposition de la population des travailleurs des entreprises voisines localisées à proximité des émetteurs, 5 points en zone habitée pour estimer l'exposition de la population générale environnante et 1 site témoin en zone rurale en dehors de l'influence des zones industrielles pour évaluer les concentrations de fond (liées à d'autres sources) pour les polluants recherchés.



**Figure 2 : Localisation et typologie des sites de mesures de la campagne 2021-2022.**

Les 10 points de mesures localisés en zone industrielle ont été installés au sein des entreprises de l'étude en limite de propriété afin de suivre l'exposition des salariés des entreprises voisines aux émissions de 1,3 butadiène, benzène et acrylonitrile selon les cas. Ce choix, qui facilite les interventions, a sans doute eu pour effet de maximiser l'évaluation des expositions réelles des salariés des entreprises voisines.

Concernant les points de mesures localisés en zone habitée, quatre sur cinq ainsi que le site témoin ont été choisis au niveau des stations de mesure d'Atmo Normandie et donc installés à l'intérieur de cabines climatisées. Il s'agit des stations Massillon (rue Massilon au Havre), Port-Jérôme-sur-Seine (rue Maridor), Quillebeuf-sur-Seine (phare), Gonfreville-l'Orcher (mairie) et de la Maison du Parc des Boucles de la Seine Normande (Notre-Dame-de-Bliquetuit).

Le site témoin a été choisi à distance (respectivement 15 et 35 km) des zones industrielles de Port-Jérôme et du Havre pour être le moins possible influencé par les émissions de ces zones.

### Périodes de mesures

Afin d'estimer une moyenne annuelle pour les polluants recherchés la plus représentative possible, un échantillonnage de 14% des jours d'une année est préconisé (52 jours) [8]. Par ailleurs les périodes d'échantillonnages doivent être réparties tout au long de l'année et couvrir l'ensemble des jours de la semaine, pour notamment prendre en compte les différences d'activité entre les jours ouvrés et le week-end et/ou d'un mois à l'autre ainsi que la variabilité météorologique.

### Polluants mesurés, toxicité et valeurs de référence sanitaires

**Tableau 2 : Description des paramètres chimiques mesures et de leur toxicité.**

Paramètres chimiques mesurés	Toxicité
Le 1,3-butadiène est émis lors des processus de combustion. Le chauffage résidentiel et le trafic automobile sont ainsi des sources identifiées, tout comme la combustion des plastiques et du caoutchouc ou encore la fumée de cigarette. Il faut également citer les sources issues de l'industrie pétrochimique qui utilise ou fabrique le 1,3-butadiène avec pour grande partie des émissions de nature fugitive. Les émissions accidentelles liées à l'industrie pétrochimiques sont par ailleurs documentées comme pouvant être à l'origine localement de pics de concentrations de l'ordre de 100 à 1000 µg/m <sup>3</sup> [9]	Classé comme agent « cancérigène pour l'Homme » (catégorie 1) par le CIRC, comme agent « cancérigène pour l'Homme » par l'US EPA (classification de 1999) et comme agent « cancérigène avéré pour l'Homme » (catégorie 1A) par l'ECHA dans le cadre du règlement CLP. Il est également classé comme agent « mutagène présumé pour l'Homme » (catégorie 1B) par l'ECHA

Le benzène est un hydrocarbure aromatique monocyclique présent dans les carburants. Il peut être émis lors de la synthèse d'hydrocarbures substitués. Ce composé est aussi présent dans la fumée de cigarette, la combustion du bois et d'énergies fossiles. [10]	Classé comme agent « cancérigène pour l'Homme » (catégorie 1) par le CIRC, comme agent « cancérigène pour l'Homme » par l'US EPA (classification de 2003) et comme agent « cancérigène et mutagène avéré pour l'Homme » (catégorie 1A) par l'ECHA.
L'acrylonitrile est une amine utilisée dans l'industrie textile notamment pour la fabrication de fibres acryliques, d'encollages et d'apprêts. Il intervient dans la fabrication de certaines matières plastiques, caoutchouc et sert d'intermédiaire lors de synthèses. Les sources de contamination de l'atmosphère sont exclusivement anthropiques. [11]	Classé comme agent « possiblement cancérigène pour l'Homme » (catégorie 2B) par le CIRC, comme agent « probablement cancérigène pour l'Homme » par l'US EPA (classification de 2005) et comme agent « cancérigène suspecté » (catégorie 2) par l'ECHA dans le cadre du règlement CLP.

Le Tableau 3 résume les valeurs de référence sanitaires utilisées pour la comparaison des résultats. Il s'agit des valeurs retenues par la DREAL dans les arrêtés préfectoraux envoyés aux industriels pour la mise en place d'une surveillance du benzène, du 1.3-butadiène et de l'acrylonitrile. Ces valeurs concernent l'exposition de la population générale et la population de travailleurs tiers. Elles s'apprécient sur une période d'exposition de 24h/24 pendant 30 ans pour la population générale et de 218 j/an, 8h/jour pendant 30 ans pour la population de travailleurs tiers. Dans le cadre de l'étude, une comparaison aux valeurs mesurées est réalisée pour une année complète. Il faut signaler qu'en 2021 et 2022, deux avis de l'Anses sur les valeurs toxicologiques de référence du 1.3-butadiène ont été publiés [12], modifiant les valeurs de référence pour l'exposition de la population générale et des travailleurs tiers.

**Tableau 3 : Valeurs de référence sanitaire des polluants d'intérêt pour l'étude (source : DREAL Normandie)**

valeurs de référence	1.3-butadiène	benzène	acrylonitrile
exposition population générale	VTR chronique à seuil par inhalation Anses 2021 <b>2 µg/m<sup>3</sup></b>	Objectif de qualité <sup>2</sup> <b>2 µg/m<sup>3</sup></b>	VTR chronique à seuil US EPA 1991 <b>2 µg/m<sup>3</sup></b>
exposition population travailleurs tiers 218 j/an, 8 h/j pendant 30 ans	VTR cancérigène sans seuil Anses 2022 <b>41 µg/m<sup>3</sup></b>	VTR cancérigène sans seuil Anses 2014 <b>4.5 µg/m<sup>3</sup></b>	VTR chronique à seuil US EPA 1991 <b>10 µg/m<sup>3</sup></b>

### Les méthodes de prélèvement et d'analyse

Il existe plusieurs méthodes de mesures pour l'acrylonitrile (tubes actifs, tube passifs). Mais aucune d'entre elle n'est normalisée pour la mesure des concentrations d'acrylonitrile dans l'air ambiant en France. La DREAL a proposé de mesurer par diffusion passive et c'est la solution qui a été retenue pour cette étude.

<sup>2</sup> Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air

De même, il n'existe pas de méthode de mesure normalisée pour la mesure des concentrations de 1,3-butadiène dans l'air ambiant en France. De nombreuses méthodes sont néanmoins documentées [4]. Le choix de la méthode de mesure pour la campagne 2021-2022 est la même qu'en 2020 – 2021, elle s'appuie sur les conclusions de l'étude préliminaire menée par Atmo Normandie en 2019 [3].

Comme pour le 1,3 butadiène il existe également plusieurs méthodes de mesures pour le benzène qui ont déjà été comparées et dont la fiabilité est équivalente (analyseur automatique, canister, tubes actifs) [13]. La méthode de mesure retenue pour cette étude est la même que pour le 1,3-butadiène à savoir les tubes actifs afin d'optimiser le dispositif de prélèvement. Ainsi l'analyse du benzène et du 1,3-butadiène a été effectuée sur le même échantillon (même tube).

Pour chaque méthode, afin de s'assurer que les échantillonneurs n'ont pas été contaminés avant leur utilisation, des blancs (tubes de piégeage non exposés à l'air) ont également été envoyés aux laboratoires pour analyse. Les tubes actifs ont été analysés par le laboratoire TERA Environnement. Les tubes ont été désorbés thermiquement<sup>3</sup> puis le 1,3-butadiène et le benzène ont été dosés par chromatographie gazeuse avec détection FID (GC-FID). Les résultats d'analyses sont fournis avec une incertitude maximale de 30%.

Les tubes passifs ont quant à eux été analysés par l'Instituti Clinici Scientifici Maugeri (ICSM, Padoue, Italie) qui, après désorption chimique<sup>4</sup> des tubes, a analysé les échantillons par chromatographie gazeuse couplée à de la spectrométrie de masse (GC-MS).

A noter que par convention, toutes les valeurs de concentration mesurées inférieures à la limite de quantification (LQ) sont conservées en base de données comme étant égales à LQ/2.

## 2.3. Matériels

### Pour le prélèvement du benzène et du 1.3-butadiène

A la suite des tests des 2019 et de la campagne exploratoire de 2020-2021 menés par Atmo Normandie sur la mesure du 1,3-butadiène et des échanges avec IMT Nord Europe, il a été décidé de retenir la technique des tubes actifs pour effectuer le prélèvement du 1,3 butadiène et du benzène (prélèvement au moyen d'une pompe). Cette technique offre le double avantage de permettre un temps de prélèvement relativement long (3 à 4 jours) et des limites de quantification suffisamment basses pour comparer les résultats aux VTR, à savoir 0.2 µg/m<sup>3</sup> pour le benzène et 0.1 µg/m<sup>3</sup> pour le 1.3-butadiène pour 3,5 jours de prélèvement avec le laboratoire TERA Environnement. 2 tubes actifs (remplis chacun de 350 mg de Carbopack X) sont placés en série pour permettre un prélèvement quantitatif du 1,3-butadiène. Le débit de la pompe est fixé à 10 mL/min. Il est mesuré au début et à la fin de chaque prélèvement.

---

<sup>3</sup> Chauffés fortement afin de libérer les composés piégés

<sup>4</sup> Extraction des composés piégés au moyen d'un solvant



**Figure 3 : Matériel de prélèvement utilisé pour la mesure du 1,3-butadiène et du benzène avec de gauche à droite un tube actif, une pompe et une enceinte de mesure à température régulée installée dans un bâtiment.**

Les équipements ont été installés soit dans une cabine climatisée fournie par Atmo Normandie, soit dans des bâtiments qui ont été choisis dans la mesure du possible pour être peu soumis à des fortes élévations de température en été. Par ailleurs dans ces bâtiments les pompes ont été installées dans des enceintes fermées à température régulée (Figure 3). A noter que les pompes, ainsi que les cabines climatisées et les enceintes à température régulée nécessitent une alimentation électrique qui constitue la principale contrainte de cette méthode de prélèvement. De plus, une mesure de température a été réalisée dans l'enceinte régulée en température pour vérifier le maintien d'une température inférieure à 20°C en cas de forte chaleur (une augmentation de température pouvant diminuer l'efficacité de piégeage du 1,3-butadiène).

### Pour le prélèvement de l'acrylonitrile

Concernant l'acrylonitrile, c'est la technique des tubes passifs Radiello (RAD130) qui a été retenue. Les tubes à diffusion passive sont constitués d'une membrane microporeuse et d'un adsorbant (charbon actif) sur lequel les composés d'intérêt vont venir s'accumuler par diffusion moléculaire. Les échantillonneurs ont été installés dans des abris afin de les protéger de la pluie qui les rendrait inutilisables (Figure 4).

Tube 'Radiello' inséré dans une membrane de diffusion



Montage sur support



Boîte de protection



**Figure 4 : Echantillonneur passif RADIELLO® avec sa membrane blanche sur support prêt à être exposé.**

Le volume de composés adsorbés sur la cartouche n'étant pas mesuré, les concentrations volumiques sont calculées à partir de débits de prélèvement déterminés empiriquement en laboratoire dans des chambres d'exposition. Celui de l'acrylonitrile est de 75 mL/min. Ce débit de prélèvement est néanmoins susceptible de légèrement varier en conditions réelles en fonction de divers facteurs environnementaux (pression, température, humidité, vitesse du vent, molécules en présence et niveaux de concentration), mais aussi de la durée d'exposition. Dans le cas de l'acrylonitrile, il a été décidé de retenir une période d'exposition de 14 jours permettant d'obtenir une limite de quantification de 0,13 µg/m<sup>3</sup> (laboratoire ICSM, Padoue, Italie).

## 2.4. Méthodes

L'étude a été menée sur 4 campagnes de 14 jours à raison d'une campagne par trimestre entre novembre 2021 et décembre 2022 correspondant ainsi autant que possible aux différentes saisons pour prendre en compte l'influence des conditions météorologiques variables au cours de l'année. Les tubes actifs ne permettant pas d'effectuer un seul prélèvement sur 14 jours, les campagnes ont été scindées en quatre périodes (deux de 3 jours et 2 de quatre jours). Pour déterminer la concentration en 1,3-butadiène pour une période donnée on somme la concentration des 2 tubes actifs placés en série (un seul tube ne permettant pas systématiquement de piéger l'intégralité du 1,3 butadiène présent dans l'air). En revanche pour déterminer la concentration en benzène pour une période donnée seule la concentration du 1<sup>er</sup> tube en série est utilisée (un seul tube suffit en effet pour piéger le benzène sur une durée de 3 à 4 jours).

La concentration moyenne de la campagne de 14 jours est obtenue en calculant la moyenne pondérée des concentrations des quatre périodes (celles-ci n'ayant pas exactement la même durée) selon la formule suivante :

$$C_{14j} = \frac{C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3 + C_4V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

Avec C1 à C4, les concentrations obtenues pour chacune des 4 périodes de prélèvement

Et V1 à V4, les volumes prélevés pour chacune des 4 périodes de prélèvement

Pour l'acrylonitrile les tubes ont été exposés 14 jours, le résultat d'analyses correspond donc à la concentration moyenne sur la durée de la campagne.

## 2.5. Origine des données

Les concentrations de COV présentées dans ce rapport proviennent :

- pour l'acrylonitrile des analyses réalisées par l'Istituto Clinici Scientifici Maugeri (Padoue, Italie).
- pour le benzène et le 1.3-butadiène des analyses réalisées par le laboratoire TERA Environnement (Crolles, Isère).

Les analyses sont réalisées à partir des prélèvements effectués par Atmo Normandie.

Les données météorologiques proviennent des stations météorologiques les plus proches des sites de mesure de l'étude situés en ZI (Figure 2). Ainsi la station météorologique RNO d'Atmo Normandie située dans l'enceinte de l'usine Renault Sandouville est retenue pour les sites de la zone du Havre. Pour le secteur de Port-Jérôme la station utilisée est celle de Saint Léonard, gérée par HAROPA.

Les valeurs de référence sanitaire du Tableau 3 proviennent des arrêtés préfectoraux envoyés par la DREAL aux industriels.

## 2.6. Limites

Cinq campagnes de mesures de 14 jours ont eu lieu sur la période 2021-2022. Or, le niveau de pollution fluctue pendant l'année notamment du fait de l'activité des entreprises et de la température qui influe sur la volatilité des composés. Cependant, la répartition des campagnes (une par saison et couvrant tous les jours de la semaine) permet d'avoir une estimation de la moyenne annuelle.

Par ailleurs, il faut signaler comme limite à l'interprétation, le fait que les émissions de benzène et de 1.3-butadiène sur les ZI du Havre et Port-Jérôme peuvent être liées à d'autres émetteurs. Les roses des vents établies pour chaque période de mesures permettent de mieux comprendre la localisation des zones impactées par les émissions potentielles des entreprises suivies. Il peut tout de même parfois être délicat de faire la part des choses avec les autres émetteurs de la zone industrielle.

Les sites en zone industrielle sont généralement situés dans l'enceinte des entreprises suivies et non chez leurs voisins, il est donc possible que les concentrations mesurées, donc l'exposition de la population de travailleurs tiers, soient majorées.

## 3. Déroulement

Ont été organisées cinq campagnes de mesure de 14 jours au sein de plusieurs entreprises et autour des zones industrielles de Port-Jérôme et du Havre entre novembre 2021 et décembre 2022.

Le plan d'expérimentation est détaillé dans le Tableau 4.

**Tableau 4 : Plan d'expérimentation de l'étude 2021-2022.**

Date de début et fin des campagnes	du 15 au 29/11/2021	du 28/02 au 14/03/2022	du 31/05 au 14/06/2022	du 30/08 au 13/09/2022	du 28/11 au 12/12/2022
Durée des prélèvements par campagne	4 périodes de 3 à 4 jours			14 jours	
Sites de mesures	5 ZI Le Havre, 5 ZI Port-Jérôme, 5 zone habitée Hors ZI, 1 témoin rural Hors ZI			1 ZI Le Havre, 1 zone habitée Hors ZI, 1 témoin rural Hors ZI	
Polluant d'intérêt	1.3-butadiène	benzène		acrylonitrile	
Organisme préleveur et matériel de prélèvement	Atmo Normandie Tube actif			Atmo Normandie Tube passif	
Laboratoire et méthode d'analyse des prélèvements	TERA Environnement chromatographie gazeuse avec détection FID			ICSM chromatographie gazeuse couplée à de la spectrométrie de masse	

A chaque campagne les techniciens d'Atmo Normandie rétablissent l'alimentation électrique des cabines installées sur chaque site et installent le matériel nécessaire aux prélèvements.

Ensuite, lors de chaque période, ils récupèrent le prélèvement terminé et installent le nouveau. A l'installation des échantillons, les techniciens ont vérifié que les conditions nécessaires au bon déroulement du prélèvement étaient réunies (présence de courant, bon fonctionnement des pompes, contrôle et réglage des débits de prélèvements, ...). Lors du retrait des échantillons, ils ont contrôlé à nouveau le débit pour vérifier que sa variation entre le début et la fin du prélèvement était faible (< 10%).

Une fois les échantillons récupérés ils sont stockés dans une glacière jusqu'à leur acheminement dans les locaux d'Atmo Normandie et placement au réfrigérateur. Dans la semaine suivant la fin de chaque campagne les échantillons sont conditionnés et envoyés aux laboratoires pour analyses.

Une fois les analyses terminées les laboratoires envoient les résultats à Atmo Normandie. Ces résultats sont convertis dans une unité permettant l'exploitation des données (détaillée dans le paragraphe 2.4). Les concentrations sont ensuite expertisées aux regards des conditions de prélèvements et d'analyses. Une fois toutes ces étapes réalisées les résultats peuvent être interprétés.

## 4. Résultats

Les résultats bruts des données de mesures de benzène, acrylonitrile et 1.3-butadiène sont disponibles sur demande par mail à [contact@atmonnormandie.fr](mailto:contact@atmonnormandie.fr) ou par courrier à Atmo Normandie – 3 place de la Pomme d'Or – 76 000 Rouen.

### 4.1. Conditions environnementales pendant les campagnes

Menées entre novembre 2021 et décembre 2022, les cinq campagnes ont été réparties sur l'ensemble de la durée d'étude. La variabilité des conditions est illustrée dans le Tableau 5. Pour la zone du Havre, les données de température et d'humidité relative proviennent de la station météorologique d'Atmo Normandie située sur le site de l'entreprise Renault à Sandouville. Pour la zone de Port-Jérôme, les données de température et d'humidité relative proviennent de la station météorologique d'Atmo Normandie située à Port-Jérôme-sur-Seine.

**Tableau 5 : Conditions environnementales (valeur moyenne, minimale, maximale) observées pendant les campagnes de mesures**

Zone	Date de campagne	Température (°C)	Humidité relative (%)
Le Havre	15/11 - 29/11/2021	7 [4.4 ; 11.5]	76 [63 ; 84]
	28/02 - 14/03/2022	9 [3.5 ; 11.8]	66 [54 ; 82]
	31/05 - 14/06/2022	17 [12.7 ; 18.6]	65 [54 ; 80]
	30/08 - 13/09/2022	19 [17.2 ; 22.0]	69 [58 ; 76]
	28/11 - 12/12/2022	3 [-0.1 ; 9.5]	82 [74 ; 89]
Port-Jérôme	15/11 - 29/11/2021	6 [1.8 ; 10.9]	88 [70 ; 97]
	28/02 - 14/03/2022	8 [3.8 ; 11.5]	74 [58 ; 93]
	31/05 - 14/06/2022	17 [11.9 ; 19.4]	73 [61 ; 87]
	30/08 - 13/09/2022	19 [16.7 ; 21.4]	81 [69 ; 89]
	28/11 - 12/12/2022	3 [-0.4 ; 8.5]	92 [83 ; 100]

**Commentaires :** Aucune condition météorologique extrême, susceptible d'affecter la mesure, n'a été observée lors des périodes d'expérimentation.

Les régimes de vents sont illustrés Figure 5 pour la zone du Havre et sur la Figure 6 pour la zone de Port-Jérôme.

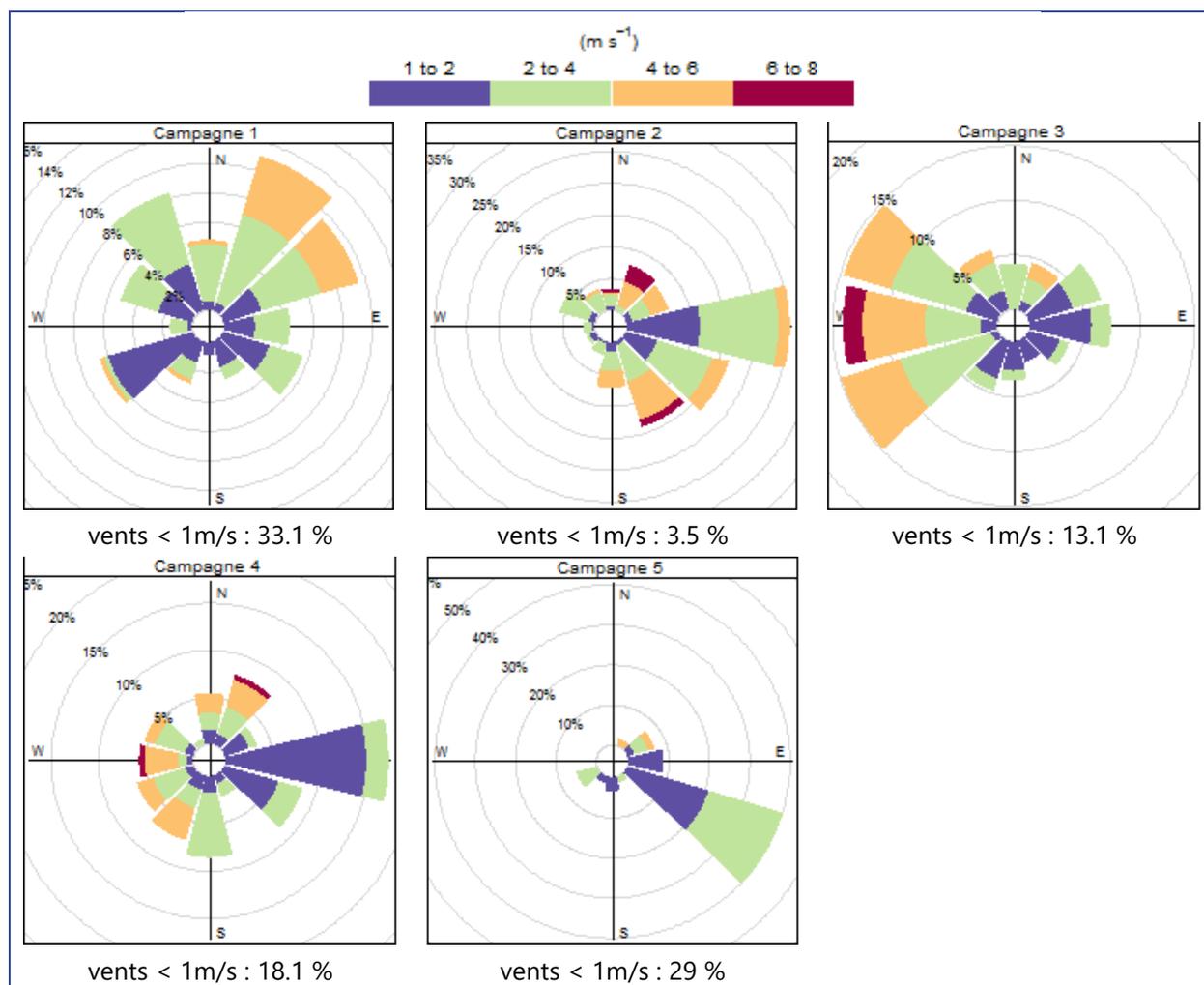
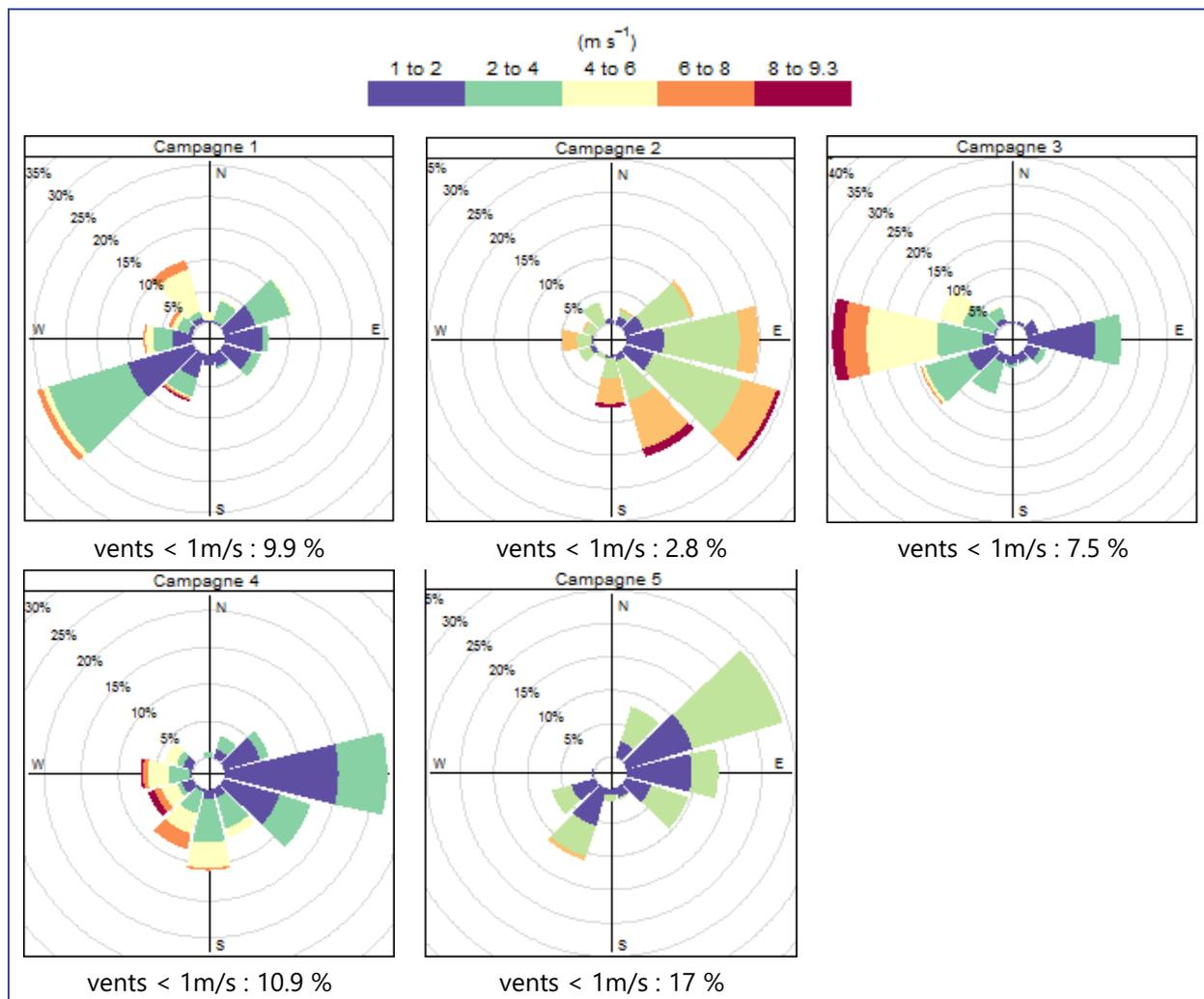


Figure 5 : Roses des vents des campagnes de mesures pour la ZI du Havre à la station Atmo Normandie Renault.

**Commentaires :** Chaque campagne de mesure a été marquée par des directions de vent différentes. Lors de la campagne 1, les vents sont majoritairement faibles et proviennent d'un large secteur Ouest Sud-Ouest à Sud-Est. Les vents de la campagne 2 sont plus soutenus et en provenance d'un secteur Est à Sud Sud-Est. La campagne 3 est contrastée avec des vents plutôt faibles qui balayent l'ensemble des directions, ainsi que des vents plus fréquents et forts de secteur Sud-Ouest à Nord-Ouest. Lors de la campagne 4 les vents d'un large secteur Ouest sont toujours plus forts mais moins fréquents ; en revanche les vents d'Est sont plus fréquents mais faibles. Enfin les vents de la campagne 5 sont faibles et de Sud-Est.



**Figure 6 : Roses des vents des campagnes de mesures pour la ZI de Port-Jérôme à la station HAROPA de St Léonard.**

**Commentaires :** Les directions de vents sont peu dispersées. Les vents de la campagne 1 sont majoritairement faibles et d'Ouest Sud-Ouest. Les vents de la campagne 2 sont plus soutenus et en provenance d'un secteur Est à Sud Sud-Est. La campagne 3 se caractérise par des vents faibles d'Est et des vents forts d'Ouest. Lors de la campagne 4, les vents de Nord-Est à Sud-Est sont faibles avec d'avantage de vents d'Est, tant dis que les vents en provenance d'un large secteur Sud à Ouest sont plus forts mais moins fréquents. Enfin la campagne 5 présente des vents faibles couvrant un large secteur de Nord Nord-Est à Ouest Sud-Ouest.

## 4.2. Résultats de 1.3-butadiène

L'ensemble des industriels ayant participé à l'étude sont concernés par la surveillance du 1.3-butadiène. La Figure 7 localise les sources déclarées au sein de ces entreprises.

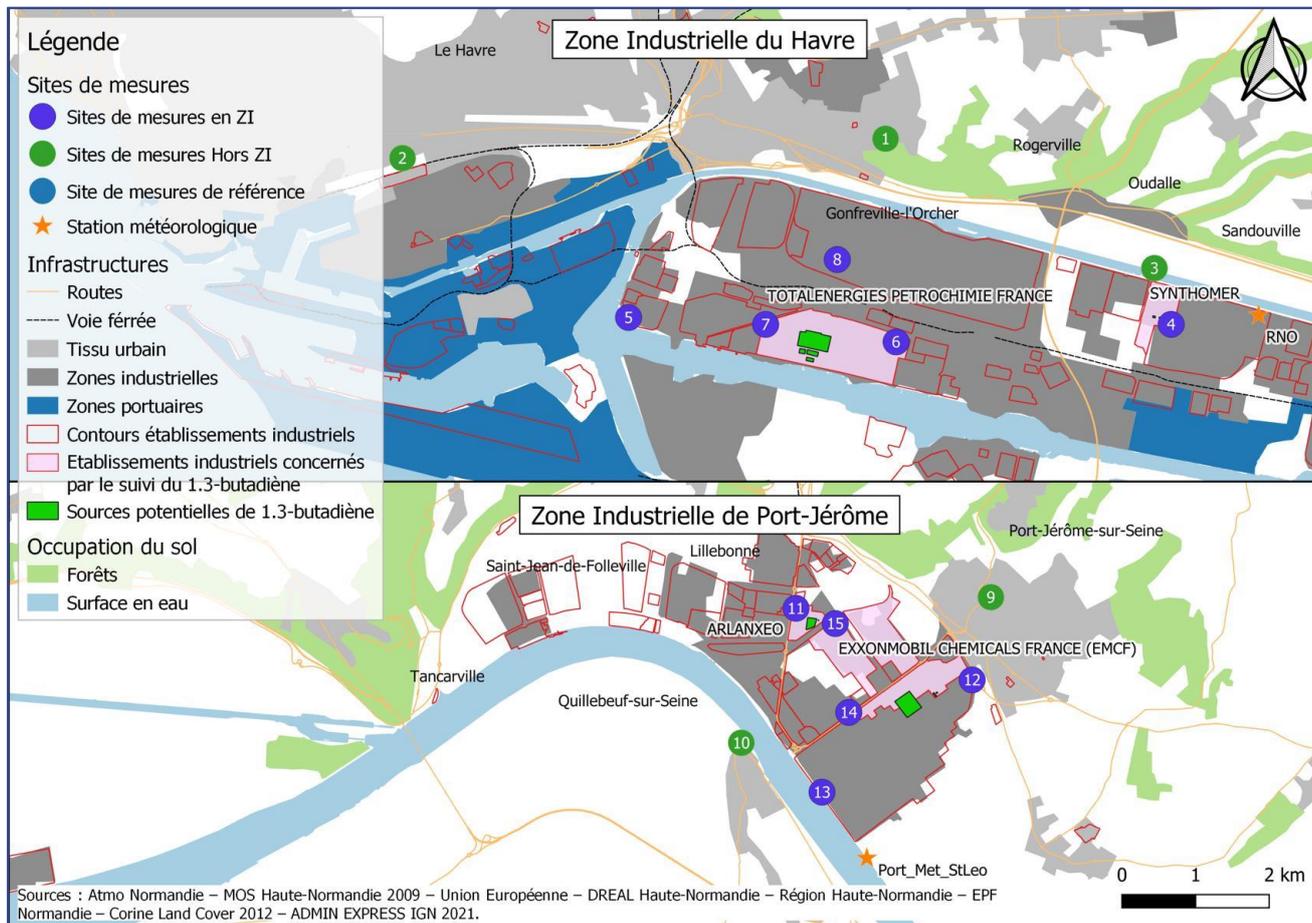


Figure 7 : Localisation des sites de mesures et des sources déclarées de 1.3-butadiène

### 4.2.1. Fréquence d'exposition des échantillons aux vents

A partir des roses des vents de la station Renault (Figure 5) et la station HAROPA St Léonard (Figure 6) il est possible d'estimer un temps d'exposition des échantillons aux vents provenant des émetteurs déclarés de 1.3-butadiène de la ZI du Havre et de Port-Jérôme sur les périodes de mesures (Tableau 6).

**Tableau 6 : Fréquence d'exposition des prélèvements aux vents provenant des sources déclarées de 1.3-butadiène pour les sites de la zone du Havre (LH) et Port-Jérôme (PJ).**

zone	typologie	n° site de mesures	angle des vents en provenance du site d'intérêt	fréquence d'exposition du prélèvement aux vents provenant des sources déclarées de 1.3-butadiène				
				du 15/11 au 29/11/2021	du 28/02 au 14/03/2022	du 31/05 au 14/06/2022	du 30/08 au 13/09/2022	du 28/11 au 12/12/2022
LH	Hors ZI	1	[ ESE ; SSO [	19	38.4	15.3	29.6	44.8
LH	Hors ZI	2	[ E ; SE [	10.4	33.6	9	24.1	40.8
LH	ZI	3	[ SSE ; SSO [	3.7	6	5.1	10.5	8.2
LH	ZI	4	[ ONO ; NNO [	17.9	6.3	19.8	4.5	0
LH	ZI	5	[ ENE ; ESE [	7.8	33.9	12.5	26.8	18.4
LH	ZI	6	[ OSO ; ONO [	3.6	3.9	21.8	11.1	0
LH	ZI	7	[ ENE ; SE [	12.8	46.8	15.4	33.6	51
LH	ZI	8	[ SSE ; SSO [	3.7	6	5.1	10.5	8.2
PJ	Hors ZI	9	[ SSO ; OSO [	33.3	1.8	16.4	7.3	18.4
PJ	Hors ZI	10	[ NNE ; ENE [	12.5	10.7	3.1	8.5	34.7
PJ	ZI	11	[ ESE ; SSE [	8.7	44.1	5.2	20.2	9.2
PJ	ZI	12	[ SO ; OSO [	21	1.2	10.2	3.7	5.8
PJ	ZI	13	[ NNE ; ENE [	12.5	10.7	3.1	8.5	34.7
PJ	ZI	14	[ NE ; E [	14.4	21.5	10.6	20.5	35.3
PJ	ZI	15	[ OSO ; ONO [	11.9	5.4	36.1	11.8	1.3

**Commentaires :**

**Pour la ZI du Havre.** Pour l'ensemble des campagnes, exceptée celle de printemps, le site 7 est le plus exposé aux vents en provenance de la source potentielle de 1.3-butadiène de l'entreprise TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique. Le site 4 est exposé aux vents en provenance des sources d'émissions de 1.3-butadiène de Synthomer. Parmi les sites 1 à 3, situés Hors ZI, ce sont les sites 1 et 2 le plus fréquemment exposés aux vents en provenance de l'ensemble des sources d'émissions de 1.3-butadiène de la ZI du Havre.

**Pour la ZI de Port-Jérôme.** Les sites 12, 13, 14 et 15 sont exposés aux sources de 1.3-butadiène provenant de l'entreprise ExxonMobil Chemical France. Pour ces sites, sur l'ensemble des campagnes, excepté la 3<sup>ème</sup>, le 14 est le plus exposé, parfois avec le site 13. Le site 11 est exposé aux vents en provenance des sources d'émissions de 1.3-butadiène de Arlanxco Elastomères France SAS. Les sites 9 et 10 situés Hors ZI, alternent d'une campagne à l'autre celui le plus fréquemment exposé aux vents en provenance de l'ensemble des sources d'émissions de 1.3-butadiène de la ZI de Port-Jérôme.

## 4.2.2. Concentrations par campagne

Les diagrammes de la Figure 8 illustrent la variation des concentrations moyennes pondérées (cf formule détaillée au chapitre 2.4) de 1.3-butadiène par campagne pour chaque site de la zone du Havre (LH), de Port-Jérôme (PJ) et du site 16, témoin rural.

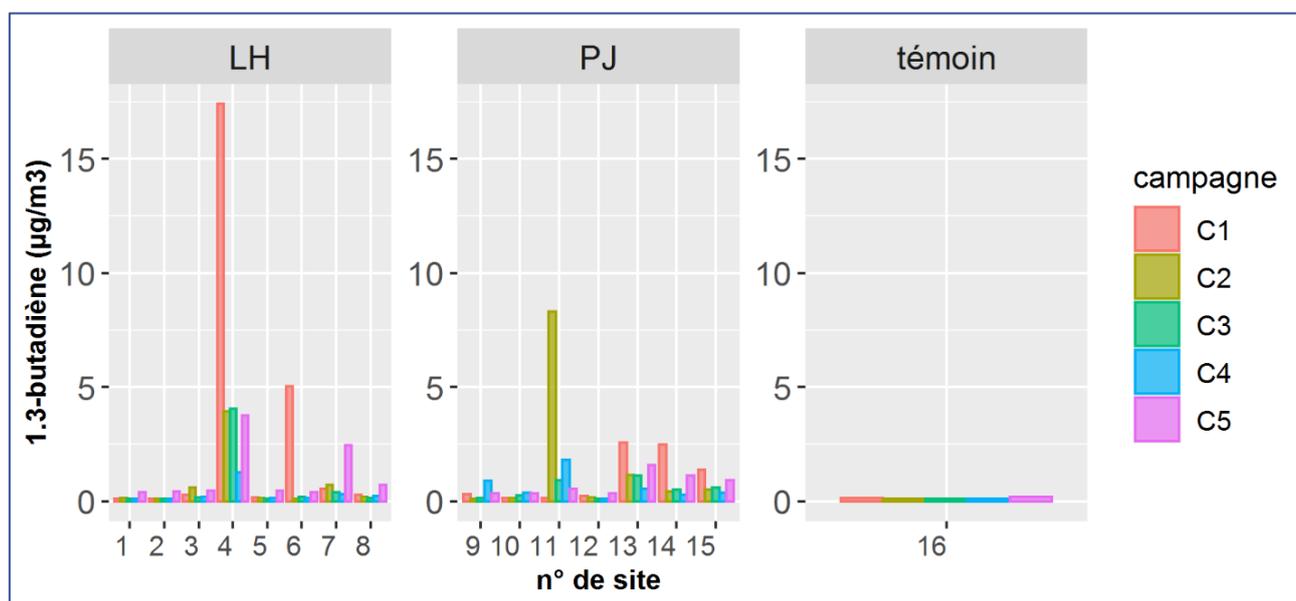
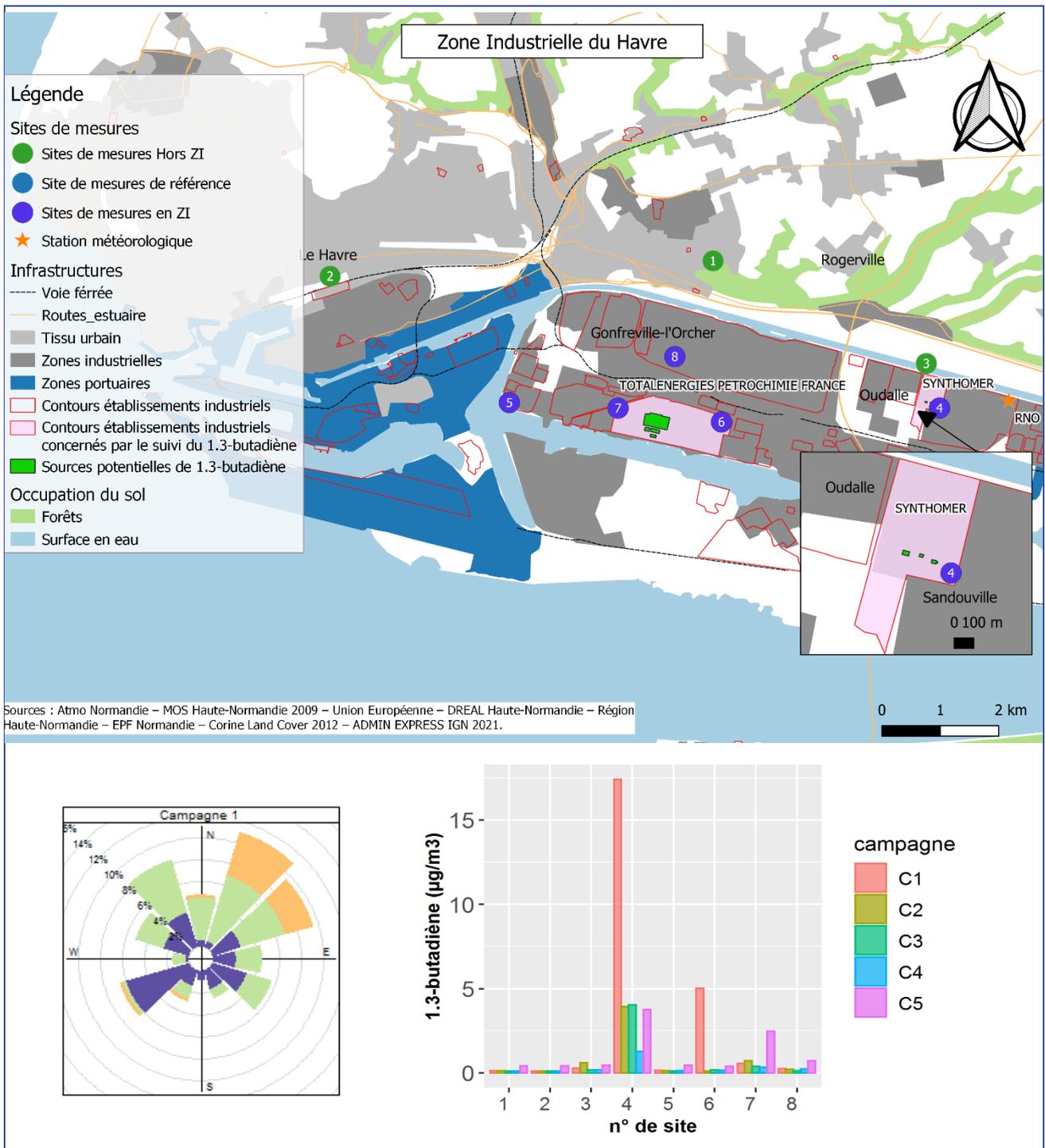


Figure 8 : Moyenne pondérée des concentrations de 1.3-butadiène par campagne pour chaque site de mesures.

### Commentaires :

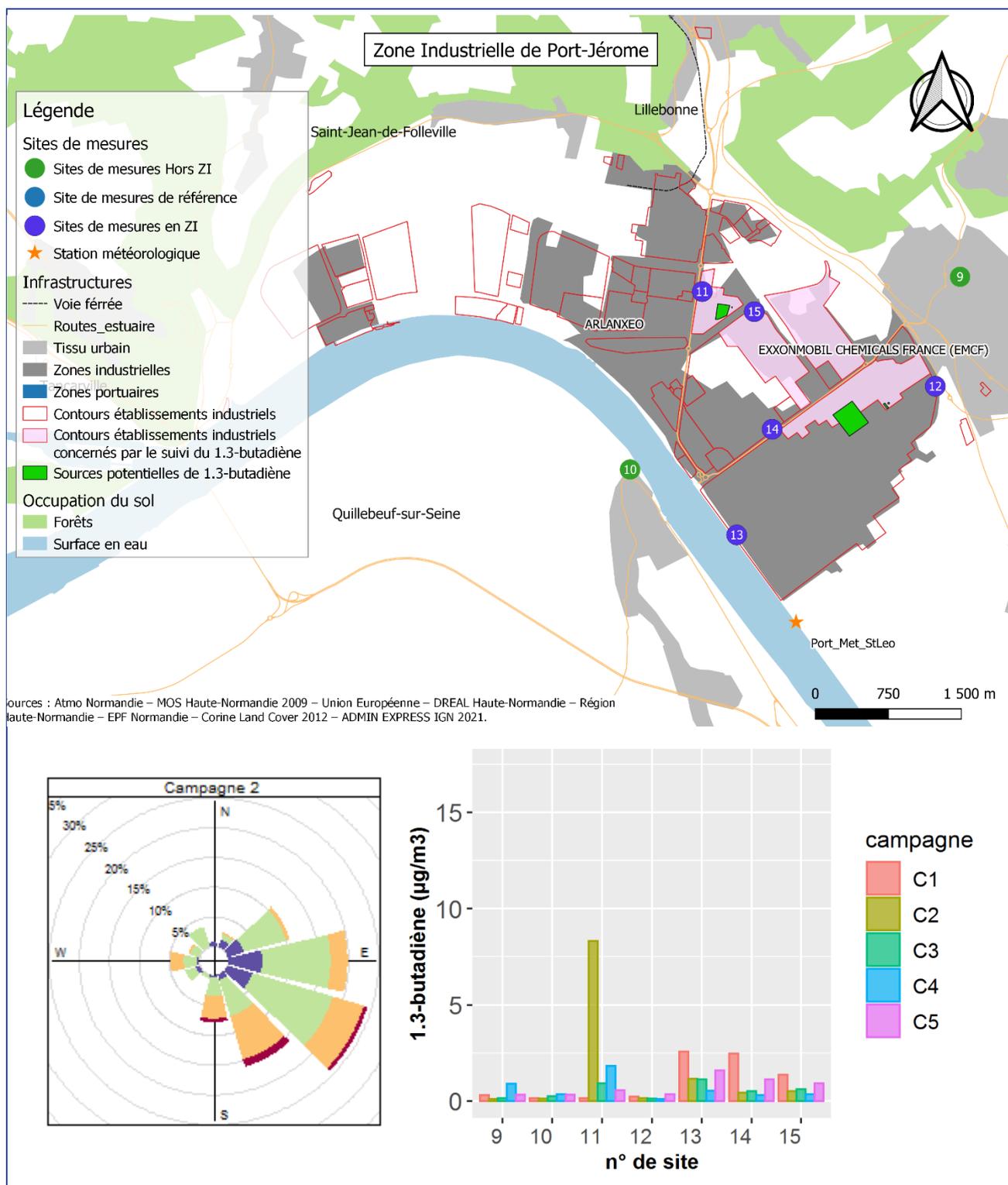
Dans l'ensemble les sites présentent peu de variations de concentrations entre les périodes. Les sites 4, 6 et 11, situés en zone industrielle, présentent ponctuellement des concentrations plus importantes sur une période.

Les Figure 9 et Figure 10 se focalisent sur les faits marquants de chacune des zones industrielles.



**Figure 9 Haut : Localisation des sites de mesures et des sources déclarées de 1.3-butadiène de la ZI du Havre**  
**Bas gauche : Roses des vents de la 1ère campagne de mesures pour la ZI du Havre à la station Renault**  
**Bas droite : Moyennes pondérées de 1.3-butadiène par campagne, des sites de mesures sur la ZI du Havre.**

Pour la zone du Havre les concentrations des sites 1 à 3 situés Hors ZI et du site 16, témoin rural, sont légèrement inférieures ou égales à la plupart des sites situés en ZI. Les concentrations moyennes du site 4, dont la source d'émissions est proche, sont plus importantes que celles de l'ensemble des sites avec néanmoins une valeur plus faible lors de la 4<sup>ème</sup> campagne. Le site 6 présente une forte concentration lors de la 1<sup>ère</sup> campagne, sans être sous les vents des sources de TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique.



**Figure 10 Haut : Localisation des sites de mesures et des sources déclarées de 1.3-butadiène de la ZI Port-Jérôme**  
**Bas gauche : Roses des vents de la 2<sup>ème</sup> campagne de mesures pour la ZI Port-Jérôme à HAROPA de St Léonard**  
**Bas droite : Moyennes pondérées de 1.3-butadiène par campagne, des sites de mesures sur la ZI Port-Jérôme.**

Pour la zone de Port-Jérôme les sites en zone urbaine (9 et 10) présentent peu de variations d'une campagne à l'autre, contrairement aux sites en zone industrielle. Le site 11 lors de la 2<sup>ème</sup> campagne est le plus exposé aux sources de 1.3-butadiène et présente les concentrations les plus élevées. A noter que la source de 1.3-butadiène est proche de ce site de prélèvement.

### 4.2.3. Concentrations annuelles et comparaison aux valeurs de références

L'ensemble des industriels des zones du Havre et de Port-Jérôme ayant participé à l'étude sont concernés par la surveillance du 1.3-butadiène. La moyenne des 5 campagnes permet d'estimer une moyenne annuelle pour chaque site. La moyenne annuelle obtenue peut-être comparée aux moyennes annuelles de l'étude 2020-2021 ainsi qu'aux valeurs de référence sanitaires (Tableau 7).

**Tableau 7 : Comparaison des moyennes annuelles de 1.3-butadiène par site aux valeurs de référence.**

Zone	Typologie	N° de site	Moyenne annuelle de 1.3-butadiène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			2020-2021	2021-2022
LH	Hors ZI	1	0.06	0.17
LH	Hors ZI	2	0.04	0.16
LH	Hors ZI	3	0.18	0.34
LH	ZI	4	4.92	6.08
LH	ZI	5	0.06	0.20
LH	ZI	6	0.11	1.17
LH	ZI	7	0.44	0.89
LH	ZI	8	0.13	0.31
PJ	Hors ZI	9	0.27	0.36
PJ	Hors ZI	10	0.18	0.24
PJ	ZI	11	0.26	2.35
PJ	ZI	12	0.18*	0.19
PJ	ZI	13	0.99	1.39
PJ	ZI	14	0.66	0.97
PJ	ZI	15	1.28	0.75
témoin	Hors ZI	16	0.06	0.13
Valeurs de référence				
exposition population générale sur 30 ans		VTR chronique à seuil par inhalation Anses 2021	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
exposition population travailleurs tiers 218 j/an, 8 h/j pendant 30 ans		VTR cancérogène sans seuil Anses 2022	<b>41 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	

#### Commentaires :

**Pour la zone du Havre.** Les sites 1 à 3, situés Hors ZI, ne dépassent pas les valeurs de référence pour l'exposition de la population générale. Les sites 4 à 8, situés en ZI, ne dépassent pas la valeur de référence pour l'exposition de la population de travailleurs tiers.

Il en est de même **pour la zone de Port-Jérôme.** Les sites 9 et 10, situés Hors ZI et les sites 11 à 15, situés en ZI, ne dépassent pas les valeurs de référence respectivement pour l'exposition de la population générale et l'exposition de la population de travailleurs tiers.

### 4.3. Résultats de benzène

Sur la zone du Havre, parmi les industriels ayant participé à l'étude, seul TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique est soumis à la surveillance du benzène. De même sur la zone de Port-Jérôme, seul ExxonMobil Chemical France est soumis à la surveillance du benzène. La Figure 11 localise les sources déclarées au sein de ces entreprises.

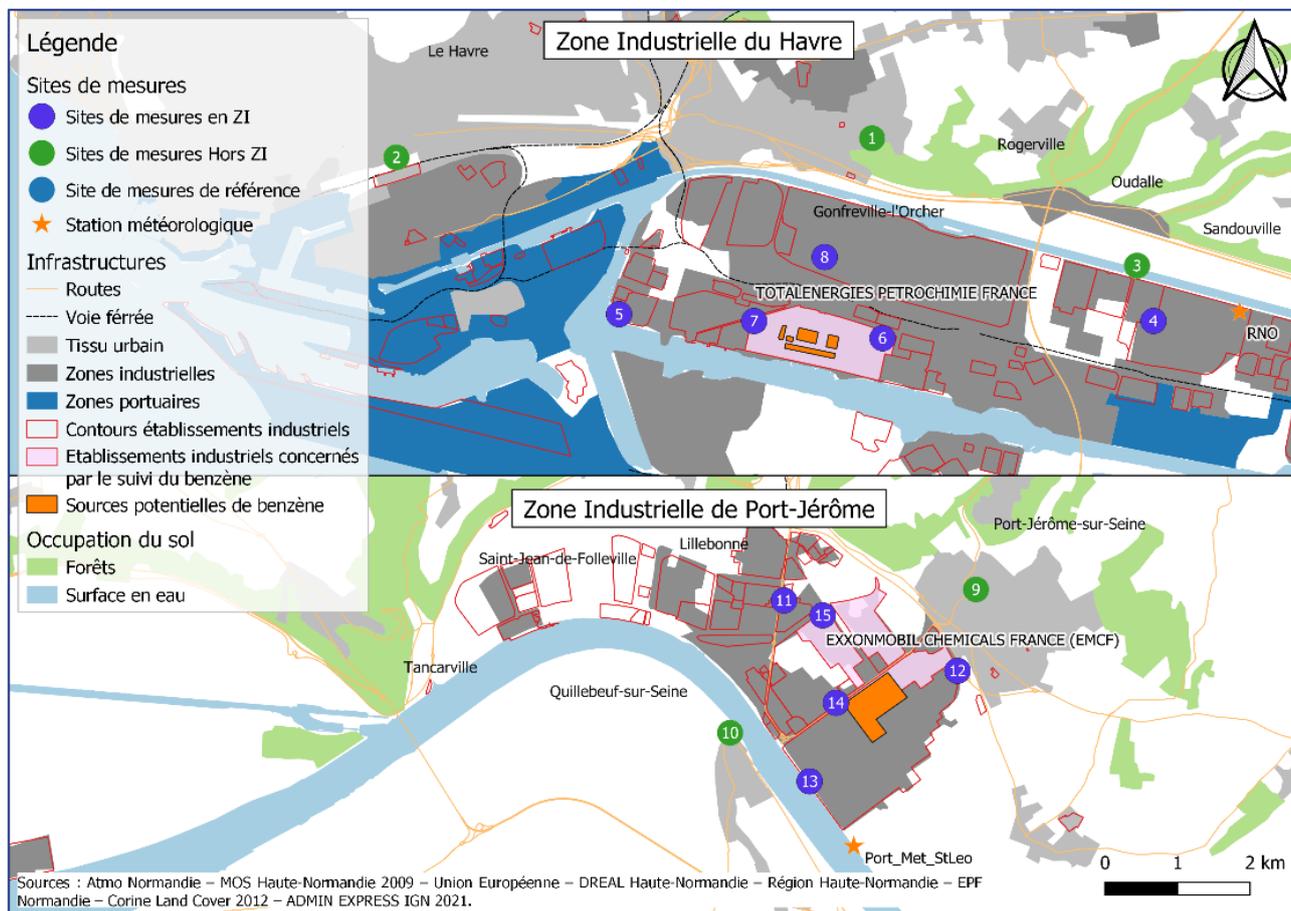


Figure 11 : Localisation des sites de mesures et des sources déclarées de benzène des industriels de l'étude soumis à sa surveillance

### 4.3.1. Fréquence d'exposition des échantillons aux vents

A partir des roses des vents de la station Renault (Figure 5) et la station HAROPA St Léonard (Figure 6) il est possible d'estimer un temps d'exposition des échantillons aux vents provenant des sources d'émissions déclarées de benzène de la ZI du Havre et de Port-Jérôme sur les périodes de mesures (Tableau 8).

**Tableau 8 : Fréquence d'exposition des prélèvements aux vents provenant des sources déclarées de benzène pour les sites de la zone du Havre (LH) et Port-Jérôme (PJ).**

zone	n° site de mesures	station météorologique de référence	angle des vents en provenance du site d'intérêt	fréquence d'exposition du prélèvement aux vents provenant des sources déclarées de benzène				
				du 15/11 au 29/11/2021	du 28/02 au 14/03/2022	du 31/05 au 14/06/2022	du 30/08 au 13/09/2022	du 28/11 au 12/12/2022
LH	1	RNO	[ SSE ; SSO [	3.7	6	5.1	10.5	8.2
LH	2	RNO	[ ESE ; SE [	9.1	20.7	4.5	8.1	44.8
LH	3	RNO	[ SO ; O [	13.2	1.2	26.6	11.8	8.1
LH	4	RNO	[ OSO ; ONO [	3.6	3.9	21.8	11.1	0
LH	5	RNO	[ ENE ; ESE [	7.8	33.9	12.5	26.8	18.4
LH	6	RNO	[ OSO ; ONO [	3.6	3.9	21.8	11.1	0
LH	7	RNO	[ ENE ; SE [	12.8	46.8	15.4	33.6	51
LH	8	RNO	[ SSE ; SSO [	3.7	6	5.1	10.5	8.2
PJ	9	St Leonard	[ SSO ; SO [	13.2	1.5	8.6	11.9	19.1
PJ	10	St Leonard	[ ENE ; E [	12.6	25.4	22	31.8	28.7
PJ	11	St Leonard	[ ESE ; SE [	4.3	26.9	2.1	10.6	3.8
PJ	12	St Leonard	[ SO ; O [	27.3	4.2	27.3	10.5	7.1
PJ	13	St Leonard	[ N ; NE [	13.7	12.2	3.4	8.8	34.7
PJ	14	St Leonard	[ NE ; SE [	25.8	51.2	27	46.3	56.1
PJ	15	St Leonard	[ ESE ; SSE [	8.7	44.1	5.2	20.2	9.2

#### Commentaires :

**Pour la ZI du Havre.** Pour l'ensemble des campagnes, exceptée celle de printemps, le site 7 est le plus exposé aux vents en provenance de la source potentielle de benzène de l'entreprise TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique. Le site 4 est exposé aux vents en provenance des sources d'émissions de benzène de Synthomer. Parmi les sites 1 à 3 situés Hors ZI, ce sont les sites 1 et 2 le plus fréquemment exposés aux vents en provenance de l'ensemble des sources d'émissions de benzène de la ZI du Havre.

**Pour la ZI de Port-Jérôme.** Les sites 12, 13, 14 et 15 sont exposés aux sources de benzène provenant de l'entreprise ExxonMobil Chemical France. Pour la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> campagne, ce sont les sites 12 et 14 les plus exposés. Pour la 2<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> campagne c'est le site 14 le plus exposé. Le site 11 est exposé aux vents en provenance des sources d'émissions de benzène de Arlanxeo Elastomères France SAS. Pour les sites hors ZI c'est le site 10, sauf pour la 1<sup>ère</sup> campagne, le plus fréquemment exposé aux vents en provenance de l'ensemble des sources d'émissions de benzène de la ZI de Port-Jérôme.

### 4.3.2. Concentrations par campagne

La variation des concentrations moyennes pondérées (formule partie 2.4) de benzène par campagne pour l'ensemble des sites est illustrée par les diagrammes de la Figure 12.

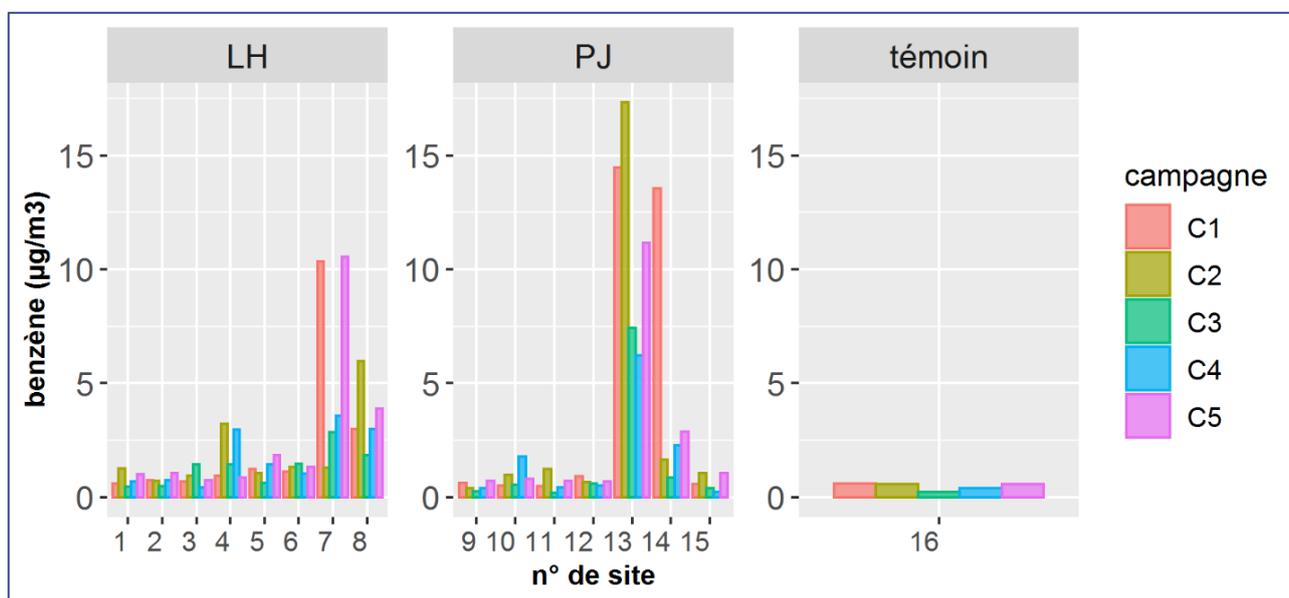


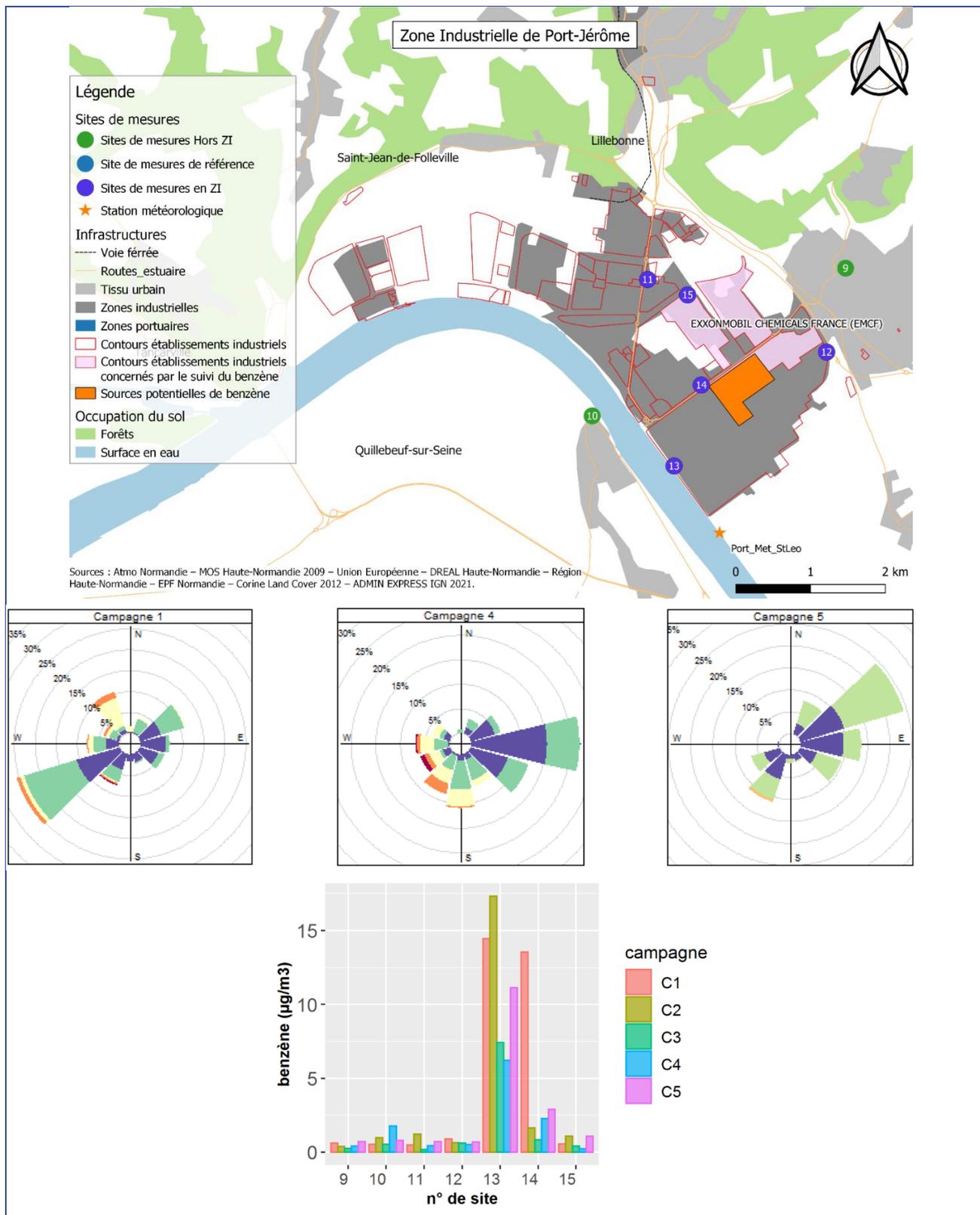
Figure 12 : Moyenne pondérée des concentrations de benzène par campagne pour les sites de la zone du Havre et du site de référence

#### Commentaires :

Les sites 7, 8 et 13, situés en ZI, présentent des variations de concentrations entre les périodes. Les sites 4, 7, 8 et 14, situés en zone industrielle, présentent ponctuellement des concentrations plus importantes sur une période.

Les Figure 13 et Figure 14 se focalisent sur les faits marquants de chacune des zones industrielles.





Pour la zone de Port-Jérôme les sites en zone urbaine (9 et 10), présentent des concentrations inférieures ou égales aux sites situés en ZI. En revanche sur le site 13 on observe de fortes concentrations pour l'ensemble des campagnes, alors que les vents ne proviennent pas des sources déclarées de benzène. Le site 14 présente également une concentration élevée lors de la 1<sup>ère</sup> campagne, ce qui ne s'explique pas par la provenance du vent, et de la 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup>, ce qui est cohérent avec la fréquence d'exposition du site aux sources de benzène et la proximité de la source d'émission.

### 4.3.3. Concentrations annuelles et comparaison aux valeurs de référence

Le Tableau 9 présente la moyenne annuelle de benzène pour chaque site de la zone, permettant la comparaison aux valeurs de référence. Sur la zone du Havre, parmi les industriels ayant participé à l'étude, seul TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique est soumis à la surveillance du benzène. Sur la zone de Port-Jérôme, parmi les industriels ayant participé à l'étude, seul ExxonMobil Chemical France est soumis à la surveillance du benzène. Cela ne signifie pas pour autant qu'ils sont les seuls émetteurs potentiels de leurs zones.

**Tableau 9 : Comparaison des moyennes annuelles de benzène par site aux valeurs de référence**

Zone	Typologie	N° de site	Moyenne annuelle de benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			2020-2021	2021-2022
LH	Hors ZI	1	0.58	0.80
LH	Hors ZI	2	0.43	0.75
LH	Hors ZI	3	0.87	0.84
LH	ZI	4	0.87	1.88
LH	ZI	5	0.79	1.24
LH	ZI	6	1.17	1.25
LH	ZI	7	<b>5.07</b>	<b>5.71</b>
LH	ZI	8	2.70	3.53
PJ	Hors ZI	9	0.68	0.47
PJ	Hors ZI	10	0.62	0.92
PJ	ZI	11	0.62	0.61
PJ	ZI	12	1.01	0.67
PJ	ZI	13	<b>17.47</b>	<b>11.31</b>
PJ	ZI	14	3.01	4.24
PJ	ZI	15	0.67	0.66
témoin	Hors ZI	16	0.43	0.47
Valeurs de référence exposition population générale sur 30 ans		objectif de qualité	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
exposition population travailleurs tiers 218 j/an, 8 h/j pendant 30 ans		VTR cancérogène sans seuil Anses 2014	<b>4.5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	

#### Commentaires :

**Pour la zone du Havre** les sites 1 à 3, situés Hors ZI, ne dépassent pas les valeurs de référence pour l'exposition de la population générale. En revanche le site 7, situé en ZI, dépasse la valeur de référence pour l'exposition des populations de travailleurs tiers. Les autres sites en ZI (4 à 6 et 8) ne dépassent pas cette valeur de référence.

**Pour la zone de Port-Jérôme** les sites 9 et 10, situés Hors ZI, ne dépassent pas les valeurs de référence pour l'exposition de la population générale. En revanche le site 13, situé en ZI, dépasse la valeur de référence pour

l'exposition des populations de travailleurs tiers. Cette valeur est toute fois inférieure à la moyenne de la campagne 2020-2021. Les autres sites en ZI (11, 12, 14 et 15) ne dépassent pas la valeur de référence pour l'exposition des populations de travailleurs tiers.

## 4.4. Résultats d'acrylonitrile

Synthomer est le seul industriel de la ZI du Havre à être soumis à la surveillance de l'acrylonitrile. Les concentrations d'acrylonitrile dans l'air ambiant ont été mesurées sur 4 campagnes de deux semaines, réparties tout au long de l'année 2020-2021, sur trois sites de mesures (Figure 15) : le site 3 Hors ZI sous les vents de Synthomer, le site 4 en ZI et enfin le site 16 comme référence du niveau de fond en acrylonitrile en milieu rural.

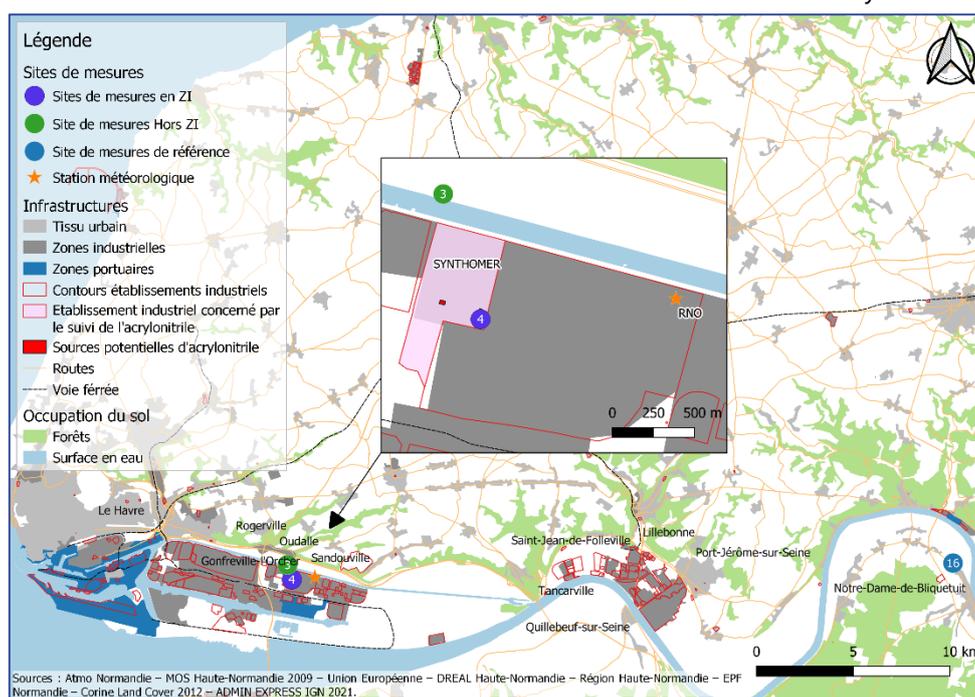


Figure 15 : Localisation des sites de mesures par rapport aux sources déclarées d'acrylonitrile

### 4.4.1. Fréquence d'exposition des échantillons aux vents

A partir des roses des vents de la station Renault (Figure 5) il est possible d'estimer un temps d'exposition des échantillons aux vents provenant des sources d'émissions potentielles d'acrylonitrile de la ZI du Havre sur les périodes de mesures (Tableau 10).

Tableau 10 : Fréquence d'exposition des prélèvements aux vents provenant des sources déclarées d'acrylonitrile.

zone	n° site de mesures	station météorologique de référence	angle des vents en provenance du site d'intérêt	fréquence d'exposition du prélèvement aux vents provenant des sources déclarées de 1.3-butadiène				
				du 15/11 au 29/11/2021	du 28/02 au 14/03/2022	du 31/05 au 14/06/2022	du 30/08 au 13/09/2022	du 28/11 au 12/12/2022
LH	3	RNO	SSE ; S	4.2	14.7	4.1	10.2	6.1
LH	4	RNO	ONO ; NNE	34	34	34	34	34

**Commentaires :** Les site 3 et 4 sont exposés aux vents en provenance de la source potentielle d'acrylonitrile de Synthomer respectivement Hors ZI et en ZI.

#### 4.4.2. Concentrations par campagne

Le Tableau 11 présente les concentrations d'acrylonitrile par campagne pour chaque site.

**Tableau 11 : Concentrations d'acrylonitrile en microgrammes par mètre cube par site pour chaque campagne de l'étude 2021-2022.**

N° de site	Typologie	Campagne 1 du 15/11 au 29/11/2021	Campagne 2 du 28/02 au 14/03/2022	Campagne 3 du 31/05 au 14/06/2022	Campagne 4 du 30/08 au 13/09/2022	Campagne 5 du 28/11 au 12/12/2022
3	Hors ZI	< LQ				
4	ZI	11	2.8	7.4	2.6	7.9
16	témoin	< LQ				

**Commentaires :** Pour l'ensemble des campagnes les concentrations du site 3 sont inférieures à la limite de quantification, tout comme le site témoin. Le site 4 localisé en ZI présente des concentrations variables d'une campagne à l'autre.

#### 4.4.3. Concentrations annuelles et comparaison aux valeurs de référence

Le Tableau 12 présente la moyenne annuelle d'acrylonitrile pour chaque site, permettant la comparaison aux valeurs de l'étude 2020-2021 ainsi qu'aux valeurs de référence.

**Tableau 12 : Comparaison des moyennes 2021-2022 annuelles d'acrylonitrile aux valeurs 2020-2021 et de référence.**

Zone	Typologie	N° de site	Moyenne annuelle de d'acrylonitrile ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			2020-2021	2021-2022
LH	Hors ZI	3	< 0.14	< 0.14
LH	ZI	4	<b>10.2</b>	6.3
témoin	Hors ZI	16	< 0.14	< 0.14
Valeurs de référence				
exposition population générale sur 30 ans		VTR chronique à seuil US EPA 1991	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
exposition population travailleurs tiers 218 j/an, 8 h/j pendant 30 ans		VTR chronique à seuil US EPA 1991	<b>10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	

**Commentaires :** Les sites 3 et 16, situés Hors ZI et le site 4, situé en ZI, ne dépassent pas les valeurs de référence respectivement pour l'exposition de la population générale et l'exposition des populations de travailleurs tiers.

## 5. Interprétation des résultats et discussion

La répartition des 5 campagnes de mesures entre novembre 2021 et décembre 2022 a permis de réaliser les prélèvements sur une période de temps relativement diversifiée en conditions de vents (Figure 5, Figure 6).

**Hors zones industrielles du Havre et de Port-Jérôme** (sites 1, 2, 3, 9 et 10), la comparaison des moyennes annuelles de 1.3-butadiène, de benzène et d'acrylonitrile aux valeurs de référence pour l'exposition de la population générale ne révèle aucun dépassement. De plus les concentrations de ces sites sont légèrement supérieures ou du même ordre de grandeur que le témoin rural. L'impact sur les concentrations moyennes de ces polluants dans l'air ambiant autour des ZI du Havre et de Port-Jérôme apparaît donc limité sur les périodes concernées.

**Pour le 1.3-butadiène en ZI du Havre et de Port-Jérôme** (sites 4 à 8 et 11 à 15), les moyennes annuelles des sites de mesure ne dépassent pas la valeur de référence pour l'exposition des populations de travailleurs tiers (VTR cancérogène sans seuil, Anses 2022 de  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Cependant le diagramme de concentrations par campagne (Figure 8) montre que les concentrations relevées dans l'air ambiant fluctuent d'une campagne à l'autre. Le site 4 notamment présente des concentrations élevées sur l'ensemble des campagnes. Ce site est certainement influencé par sa proximité avec la source d'émission de Synthomer. A noter que le choix de localiser une partie des sites de mesures dans l'enceinte des entreprises suivies (en limite de propriété) plutôt qu'au sein des entreprises voisines a potentiellement pu conduire à majorer l'estimation de l'exposition réelle des populations de travailleurs tiers.

**Pour le benzène en ZI du Havre et de Port-Jérôme** (sites 4 à 8 et 11 à 15), excepté pour les sites 7 et 13, les moyennes annuelles de benzène ne dépassent pas la valeur de référence pour l'exposition des travailleurs tiers (VTR Anses 2014 de  $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Pour le site 7, le dépassement est lié à une forte concentration mesurée lors de la 5<sup>ème</sup> campagne (28/11 – 12/12/2022). Pendant cette campagne, le site 7 était sous les vents en provenance de la source de TotalEnergies Raffinage France - Plateforme Normandie – usine pétrochimique, où une émission importante a eu lieu en lien avec un événement ponctuel et limité. En effet, l'industriel indique : « lors des opérations de redémarrage du vapocraqueur, un dysfonctionnement est survenu le 07/12, générant des effluents contenant du benzène, maintenus dans l'enceinte de l'établissement. Tous les moyens nécessaires à la maîtrise de cet événement ont été rapidement mis en œuvre et les autorités compétentes prévenues. » Pour le site 13, les concentrations sont élevées sur l'ensemble des campagnes, cependant le site n'est pas toujours sous les vents en provenance de la source de ExxonMobil Chemical France. Ces concentrations pourraient dans ce cas être liées à une source potentiellement extérieure à l'entreprise. Cette hypothèse avait déjà été formulée dans le rapport 2020-2021, le site étant proche d'un appontement, où des produits sont chargés et déchargés de péniches.

**Pour l'acrylonitrile** la comparaison des moyennes annuelles d'acrylonitrile du site 4 sur la ZI du Havre ne dépasse pas la valeur de référence (VTR chronique à seuil, US EPA de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour l'exposition des populations de travailleurs tiers.

## 6. Conclusion et perspectives

En 2021-2022, suite aux études de 2019 et 2020-2021, une étude expérimentale de surveillance du 1,3-butadiène, du benzène et de l'acrylonitrile dans l'air ambiant a été menée entre novembre 2021 et décembre 2022 sur 5 campagnes de 14 jours. Les objectifs étaient d'aboutir à des moyennes annuelles de 1,3-butadiène, benzène et acrylonitrile comparables aux valeurs de références, ajouter des critères de validation des prélèvements, pour aller plus loin dans la maîtrise de la méthode. Cette étude exploratoire a été menée avec certains industriels émetteurs de ces polluants sur les zones du Havre et de Port-Jérôme, ainsi qu'avec le soutien méthodologique et logistique du laboratoire TERA Environnement et de IMT Nord Europe.

Pour l'ensemble des polluants mesurés les diagrammes de concentrations par campagne (Figure 8, Figure 12, Tableau 11) montrent que les concentrations relevées dans l'air ambiant fluctuent, parfois de façon importante d'une campagne à l'autre. Cette variabilité peut s'expliquer par la météorologie (direction du vent par rapport à la source), par la proximité du site de prélèvement avec la source d'émissions, qui a potentiellement pu conduire à majorer l'estimation de l'exposition réelle des populations de travailleurs tiers, et enfin par des émissions non constantes entre les périodes de mesures. Néanmoins pour les sites situés en dehors des zones industrielles, les moyennes annuelles de 1,3-butadiène, de benzène et d'acrylonitrile ne présentent aucun dépassement de leur valeur de référence respective pour l'exposition de la population générale. L'impact sur les concentrations moyennes dans l'air ambiant autour des ZI du Havre et de Port-Jérôme apparaît donc limité sur les périodes concernées. De plus, pour l'exposition de la population des travailleurs tiers, les moyennes annuelles de 1,3-butadiène et d'acrylonitrile des sites en zones industrielles, ne montrent aucun dépassement de leur valeur de référence respective. En revanche pour le benzène, si la plupart des moyennes annuelles des sites en zones industrielles ne présentent aucun dépassement la valeur de référence, pour l'exposition de la population des travailleurs tiers, la moyenne annuelle des sites 7 et 13 dépasse cette valeur. Pour le site 7, ce dépassement est lié à une concentration importante lors d'une campagne, en lien avec un événement interne ponctuel identifié. Pour le dépassement du site 13, l'hypothèse d'une source externe, proximité d'un appontement, déjà avancée en 2020-2021, demeure.

Les améliorations apportées à la campagne 2021-2022 dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue au cours de l'étude (achat matériel, augmentation du nombre de personnes habilitées à mener la campagne au sein de l'Association, travail sur la stabilité du débit des pompes de prélèvement) se sont avérées fluidifier la préparation et la mise en œuvre des campagnes et ainsi limiter le nombre de prélèvements invalides. De plus dans la perspective de sortir de la période expérimentale commencée en 2020, afin d'aller vers une étude de surveillance plus robuste, une démarche sur les critères de validation des prélèvements a été menée. Dans les conclusions du rapport 2020-2021, Atmo Normandie mentionnait le travail du LCSQA sur l'utilisation d'un nouvel adsorbant pour effectuer des analyses de 1,3-butadiène avec des tubes actifs prélevés sur 7 jours, ce qui promettait des perspectives intéressantes en termes de déploiement opérationnel, notamment pour limiter le nombre de déplacements et d'analyses. Malheureusement les tests terrains se sont avérés non concluants. Aussi, à ce jour il ne semble pas possible d'améliorer encore la technique de prélèvement. De même, Atmo Normandie avait évoqué l'hypothèse de comparer les résultats d'acrylonitrile obtenus à partir de prélèvements par tubes passifs avec des prélèvements par tubes actifs. Après échange avec le laboratoire d'analyse, il n'est pas possible d'analyser l'acrylonitrile sur tube actif, il n'est donc pas possible d'avoir une seule méthode de prélèvements pour l'ensemble des polluants.

## 7. Bibliographie

[1] Directive n° 2008/50/CE du 21/05/08 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

[2] Anses (2018) - Polluants "émergents" dans l'air ambiant.

Anses (2021) - Valeurs toxicologiques de référence : le 1,3-butadiène – rapport d'expertise collective.

[3] Atmo Normandie (2020) – Etude exploratoire sur la mesure de 1,3-butadiène dans l'air ambiant.

[4] LCSQA (2020) – Note technique - Polluants émergents : 1,3 butadiène - Méthodes disponibles pour la détermination des concentrations et niveaux rencontrés dans l'air ambiant

[5] ATMO Grand Est (2021) Evaluation du 1,3 butadiène sur la région Grand Est, présentation de la campagne de mesures.

[6] Atmo Sud (2020) Programme industriel surveillance des COV prioritaires.

[7] INRS. (2018). Fiche Metropol M-424.

[8] INERIS. (2016) DRC - 16 - 158882 - 12366A, Guide : Surveillance dans l'air autour des installations classées – première édition.

[9] INRS (2019). Fiche Toxicologiques n°241.

[10] INRS (2019). Fiche Toxicologiques n°49.

[11] INRS (2017). Fiche Toxicologiques n°105.

[12] Anses (2021) - Valeurs toxicologiques de référence : le 1,3-butadiène – Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective.

Anses (2022) - Valeurs toxicologiques de référence : le 1,3-butadiène – Avis complété de l'Anses. Rapport complété d'expertise collective.

[13] LCSQA (2014) - Guide méthodologique pour la surveillance du benzène dans l'air ambiant (version de 2014).



RETROUVEZ TOUTES  
NOS **PUBLICATIONS** SUR :  
<http://www.atmonormandie.fr/>

**Atmo Normandie**

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

[contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)

