



# Influence des essais incendie de l'EDIS49 sur la qualité de l'air

Campagnes des 8 et 28 juin 2023



**air** pays de  
la Loire  
[www.airpl.org](http://www.airpl.org)

# Sommaire

<b>Synthèse</b> .....	<b>4</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>Dispositif de mesure</b> .....	<b>6</b>
Sites de mesure .....	6
Matériel et polluants mesurés .....	7
Périodes de mesure .....	8
Conditions météorologiques .....	8
<b>Résultats pour les composés organiques volatils</b> .....	<b>9</b>
Evolution des concentrations avec la distance.....	9
Comparaison des concentrations selon le type de combustible .....	15
Comparaison des concentrations vis-à-vis des valeurs de référence.....	17
<b>Conclusions</b> .....	<b>18</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>19</b>

## Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Kristan Cuny-Guirriec et Eneour Le Guiban  
Mise en page : Bérangère Poussin,  
Exploitation du matériel de mesure : Kristan Cuny-Guirriec  
Validation : François Ducroz, Céline Puente Lelièvre

## Conditions de diffusion

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

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

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

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

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

## Remerciements

Air Pays de la Loire remercie l'EDIS 49 et le SDIS 49 pour son accompagnement lors du déploiement du matériel de mesure.

# Synthèse

## Contexte

L'école des sapeurs-pompiers de Maine-et-Loire (EDIS 49) a pour projet de monter un nouveau plateau pédagogique incendie dans le cadre de ses exercices incendies. Lors des brûlages, les fumées peuvent générer des gênes olfactives du personnel administratif situé à 130 mètres des essais. L'EDIS 49 s'interroge sur la manière de minimiser l'impact environnemental de ces brûlages effectués lors d'exercices. Elle a ainsi sollicité Air Pays de la Loire afin d'effectuer un premier état des lieux de l'incidence de ces brûlages sur la qualité de l'air relevée à proximité.

## Objectifs

L'objectif de l'étude est double :

- Évaluer la contribution de ces essais incendie dans l'exposition aux polluants atmosphériques, notamment les composés organiques volatils (COV), les particules PM10 et PM2.5, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, ces composés étant particulièrement émis lors de processus de combustion ;
- Estimer l'exposition du personnel administratif situé à proximité des essais incendie en comparant les concentrations mesurées aux valeurs toxicologiques de référence (VTR) en vigueur.

## Moyens

Afin de mesurer les COV, des canisters ont été déployés sous le panache de fumée issue de l'incendie à des distances comprises de l'environnement immédiat (10 mètres de la source) à 100 mètres puis 200 mètres de la source. La mesure des autres polluants s'est effectuée par des mesures en continu à l'aide de ministations, positionnées selon cette même méthodologie.

## Résultats

Il apparaît que :

- Sur 50 COV mesurés, 30 ont pu être identifiés dont 25 ont pu être quantifiés. Le site à la source est le plus impacté par les essais incendie. Les concentrations y sont jusqu'à 29 fois plus élevées que sur le site à 100 mètres ;
- Le benzène, le propène et le toluène sont les trois composés relevés en plus grande quantité, avec des concentrations respectives de 145 µg/m<sup>3</sup>, 36 µg/m<sup>3</sup> et 31 µg/m<sup>3</sup> relevées sur le site à la source. Ces niveaux sont cohérents avec la gamme de concentrations mesurées habituellement par canisters lors d'incendie en situation accidentelle ;
- Sur les COV, l'influence des incendies est nulle à partir de 200 mètres de la source ;
- Sur les particules PM10 et PM2.5 ainsi que sur le monoxyde de carbone, l'influence semble négligeable dès 100 mètres, et nulle à 200 mètres de la source, quelle que soit la nature du composé brûlé. Le vent non-établi le jour des prélèvements a toutefois limité l'exposition des stations de mesure aux émissions de l'incendie ;
- Les concentrations enregistrées sur l'ensemble des composés faisant l'objet d'une valeur toxicologique de référence sont nettement inférieures à ces seuils (représentent entre 0 % et 2,6 % des VTR en situation accidentelle).

Sur la nature des composés brûlés, les résultats montrent que :

- Sur 21 COV parmi les 30 identifiés, les niveaux de concentrations sont similaires quel que soit le combustible utilisé, avec un écart-type moyen des concentrations de  $\pm 1,1$  µg/m<sup>3</sup> entre les 2 brûlages ;
- Les 9 composés suivants : p-cymène, 2-methylbutane, 3-methylbutene, 2-methylpentane, methyl methacrylate, disulfure de diméthyle, décane, limonène et undécane, sont toutefois mesurés exclusivement lors du brûlage d'agglomérés, et ne sont pas mesurés lors du brûlage palettes ;
- Les particules PM10 ne semblent pas être influencées par le type de brûlage, les concentrations étant proches entre les 2 essais. Toutefois, les PM2.5 sont en moyenne 15 % plus élevées lors du brûlage palettes. À l'inverse, le monoxyde de carbone est plus élevé lors du brûlage d'agglomérés (6 mg/m<sup>3</sup>) que lors du brûlage palettes (4 mg/m<sup>3</sup>).

# Introduction

Dans le cadre de la formation de ses apprenants, le SDIS 49 effectue des exercices incendies sur le site de son Ecole Départementale des Sapeurs-Pompiers de Maine-et-Loire (l'EDIS49), à Feneu. Ces outils pédagogiques consistent en des brûlages de palettes et d'agglomérés, qui sont émetteurs de composés organiques volatils (COV), de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), de monoxyde de carbone (CO) et de particules fines (PM10 et PM2.5).

En partenariat avec l'Université de Poitiers et avec la Société Duo-Risk, le SDIS49 s'interroge sur l'optimisation de ses méthodes de brûlage afin d'en limiter l'impact sur la qualité de l'air à proximité.

L'objectif de l'étude est double :

- Évaluer la contribution de ces essais incendie dans l'exposition aux polluants atmosphériques, notamment les composés organiques volatils, les particules PM10 et PM2.5, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, ces composés étant particulièrement émis lors de processus de combustion ;
- Estimer l'exposition du personnel administratif situé à proximité des essais incendie.

Pour cela, une première série de mesure à l'aide de canisters, lors des essais incendie du 8 juin 2023, ont permis d'estimer l'évolution des concentrations en COV, et plus particulièrement du benzène, toluène, éthylbenzène et xylène (BTEX).

Une seconde série de mesure, lors des essais incendie du 28 juin 2023, a impliqué le déploiement de ministations de mesure afin de mesurer l'évolution des particules PM10 et PM2.5, du NO<sub>2</sub> et du CO. L'utilisation de ces ministations est utilisée à titre indicatif et expérimental, leur sensibilité pouvant être limitée selon le polluant mesuré<sup>1</sup>.

Au sein de ces deux séries de mesure, une comparaison entre les essais de brûlage palettes et les essais de brûlage agglomérés est effectuée afin de confronter l'impact de la combustion de ces deux matériaux sur la qualité de l'air à proximité.

---

<sup>1</sup> Air Pays de la Loire, *Microcapteurs qualité de l'air, vision et positionnement d'Air Pays de la Loire*, Août 2023 (<https://www.airpl.org/rapport/microcapteurs-qualite-de-l-air-vision-et-positionnement-d-air-pays-de-la-loire>)

# Dispositif de mesure

## Sites de mesure

Pour chacun des essais, 3 sites ont été déployés dans la direction du panache de fumée. Un site témoin a été déployé en supplément lors des mesures par canister.

**Site témoin** : situé hors-vent (pour les mesures par canister uniquement)

**Site 1** : site foyer, situé à une dizaine de mètres du foyer de l'incendie et sous le panache. Un canister et un microcapteur y sont déployés.

**Site 2** : situé à 100 mètres du foyer dans la direction des vents de l'incendie. Un canister et un microcapteur y sont déployés.

**Site 3** : situé à 200 mètres du foyer dans la direction des vents de l'incendie. Un canister et un microcapteur y sont déployés.

La carte ci-dessous illustre le dispositif déployé, en fonction de la direction du vent lors des essais, pour les mesures par canister le 8 juin 2023.



Figure 1 : dispositif de mesure déployé lors des essais incendie du 8 juin 2023 (mesures par canisters uniquement)



De la même manière, la carte ci-dessous présente le dispositif déployé, en fonction de la direction du vent lors des essais, pour les mesures par ministations le 28 juin 2023.

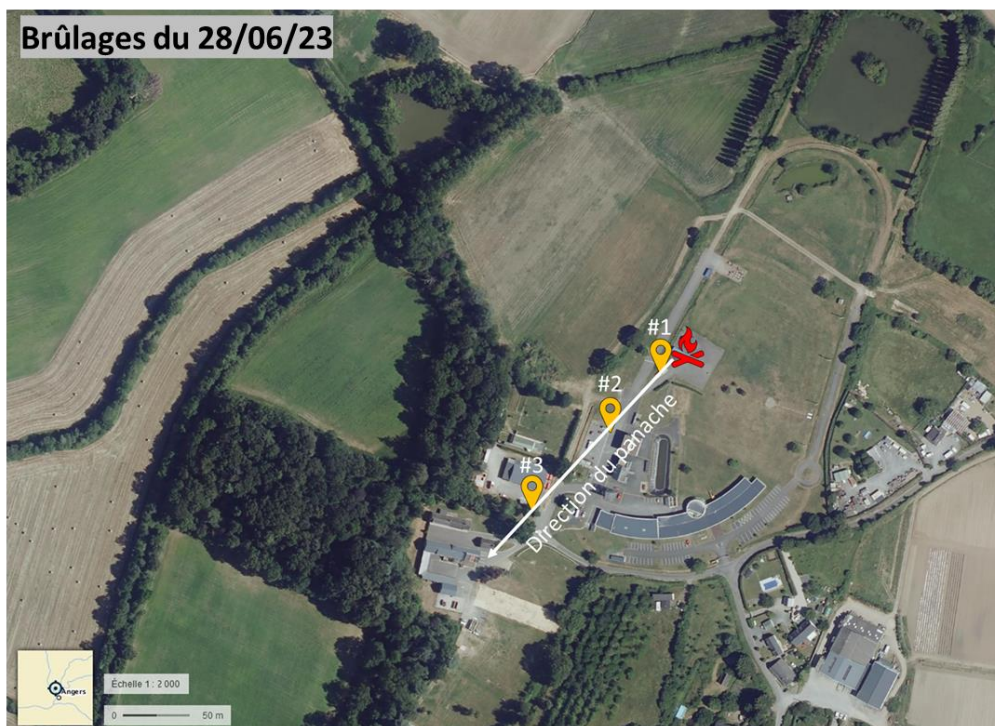


Figure 2 : dispositif de mesure déployé lors des essais incendie du 28 juin 2023 (mesures par ministations uniquement)

## Matériel et polluants mesurés

Les composés organiques volatils, dont la famille des BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène) ont été mesurés à l'aide de canisters. Chaque mesure est une concentration moyenne, sur 45 minutes, lors des brûlages de palettes puis d'agglomérés.

Les particules PM10 et PM2.5, le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et le monoxyde de carbone CO ont été mesurés à l'aide de ministations EcoMesure. Les mesures continues permettent d'avoir une évolution temporelle de ces polluants au cours des brûlages de palettes puis d'agglomérés.



Figure 3 : pose du canister sous le panache sur le site à 100 mètres (à gauche). Pose de la ministation EcoMesure sur le site dans l'environnement immédiat de l'incendie (à droite)

Polluants mesurés	Matériel utilisé	Durée de prélèvement	Sites de mesure
COV dont BTEX	Canister	45 minutes par essai incendie	Sites 1, 2, 3 et témoin
Particules PM10 et PM2.5 Dioxyde d'azote NO <sub>2</sub> Monoxyde de carbone CO	Ministation EcoMesure	Prélèvements continus pendant 4 heures	Sites 1, 2 et 3*.

\* les mesures par ministations se faisant en continu, les périodes de mesure hors-incendie sont considérées comme point témoin

# Périodes de mesure

Les mesures ont eu lieu lors de deux journées :

- Le **8 juin 2023** pour les mesures des COV ;
- Le **28 juin 2023** pour les mesures en continu des particules PM10 et PM2.5, du dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et du monoxyde de carbone CO.

2 brûlages ont eu lieu successivement sur chacune de ces journées :

- 1 brûlage de palettes (durée de l'évènement : environ 40 minutes) ;
- 1 brûlage d'agglomérés (durée de l'évènement : environ 40 minutes).

## Conditions météorologiques

Un manche à air disposé à l'endroit des essais incendie permettait en temps réel de connaître la direction locale du vent et d'anticiper la direction du panache de fumée. Les directions de vent locales sont cohérentes avec celles enregistrées au même moment par la station Météo-France la plus proche, à Beaucouzé.

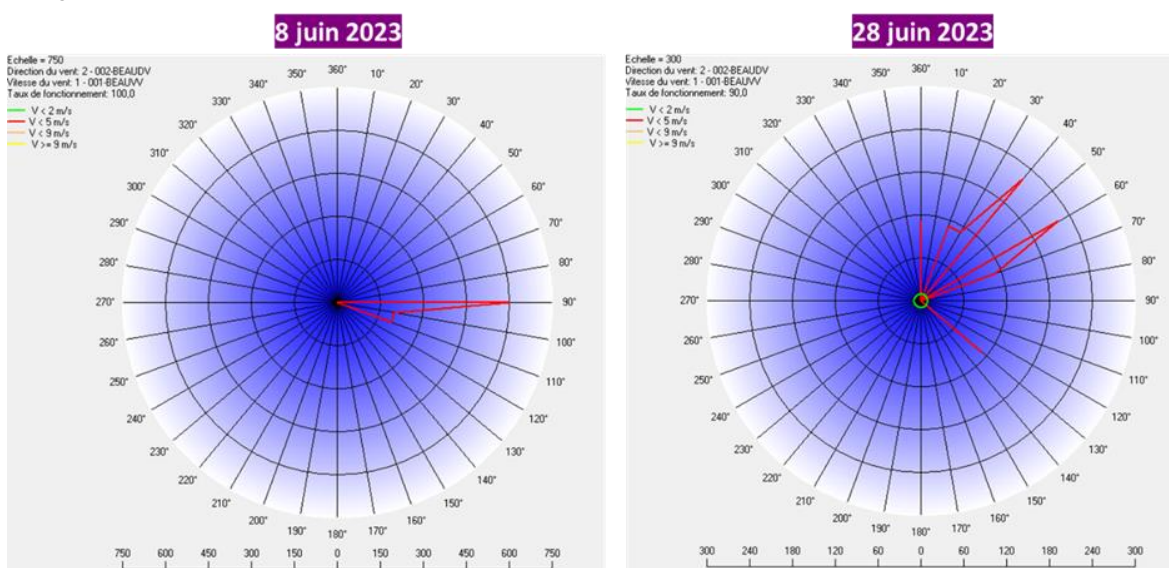


Figure 4 : rose des vents enregistrée à la station Météo-France de Beaucouzé pour la journée du 8 juin 2023 (à gauche) et du 28 juin 2023 (à droite)

Lors des essais du 8 juin 2023, les vents étaient compris entre 90°N et 110°N. Sur le site de l'EDIS49, les vents étaient assez établis pour donner un axe directionnel du panache. Les canisters étaient donc exposés tout au long des exercices.

Lors des essais du 28 juin 2023, les vents étaient compris entre 20°N et 70°N. Sur le site de l'EDIS49, les vents étaient peu établis, engendrant des changements de direction du panache au cours des essais incendie. Les ministations n'ont donc pas été exposées tout au long des exercices.

## Limites de l'étude

1. Lors des essais incendie du 28 juin 2023, un autre essai incendie a eu lieu dans un bâtiment à proximité du site 2, pouvant influencer les données sur ce point de mesure (voir annexe 1).
2. Les microcapteurs sont des instruments de mesure qui ne sont pas soumis à des procédures de contrôle, de maintenance et d'étalonnages réguliers comme le sont les analyseurs de référence. Il n'existe, par ailleurs, aucun critère de performance réglementaire défini pour ces instruments. Par conséquent, une vigilance est de rigueur quant à l'interprétation des résultats de mesure, qui doivent être considérés à titre indicatifs. Par ailleurs, les résultats issus d'une campagne de mesure de courte durée, ici quelques heures, sont particulièrement dépendantes des conditions météorologiques. Cette influence des conditions atmosphériques sur les mesures est d'autant plus prépondérante que l'on s'éloigne de la source.



# Résultats

## Évolution des concentrations avec la distance

### Composés organiques volatils (COV)

Afin d'étudier la dispersion des polluants avec la distance, les figures ci-dessous montrent les concentrations en benzène, toluène, éthylbenzène et xylène pour chacun des sites (environnement immédiat à 10 m, 100 m, 200 m et témoin).

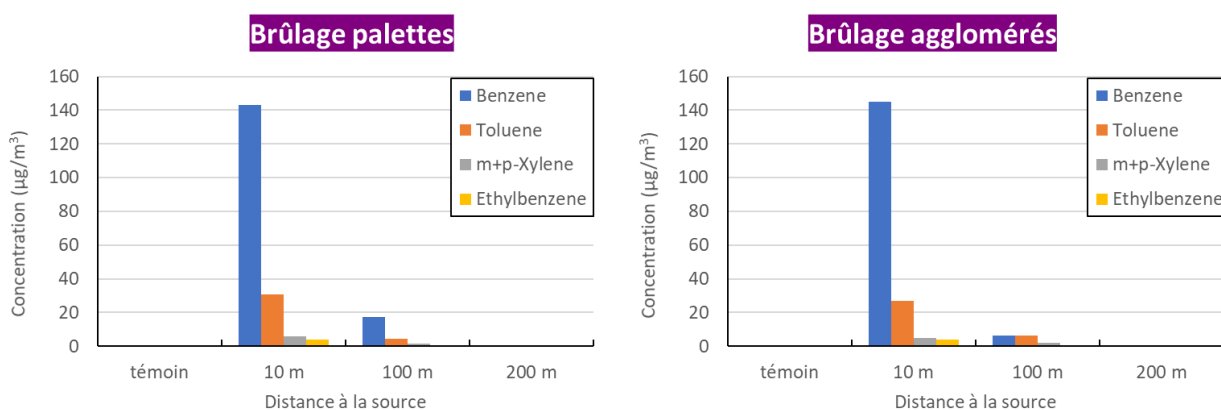


Figure 5 : concentrations des BTEX sur le site témoin, le site proche de la source (10 mètres), le site à 100 mètres et le site à 200 mètres lors du brûlage palettes (à gauche) et du brûlage d'agglomérés (à droite)

Ces résultats montrent que :

- Le site dans l'environnement immédiat de la source (10 mètres) est celui qui enregistre les concentrations les plus élevées en BTEX. Le benzène y atteint  $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , quelle que soit la nature du brûlage. Le toluène y est compris entre 27 et  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le brûlage d'agglomérés et le brûlage palettes, respectivement. L'éthylbenzène est de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  quelle que soit la nature du brûlage et le xylène est compris entre 5 et  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le brûlage d'agglomérés et le brûlage palettes respectivement ;
- Ces concentrations sont dans la gamme des concentrations classiquement mesurées en situation d'incendie accidentel qui ont fait l'objet de déploiement de canisters<sup>2,3,4</sup>. Les concentrations de benzène y sont généralement comprises entre 132 et  $181 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , entre 14 et  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le toluène, entre 2 et  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'éthylbenzène, et entre 1,5 et  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le xylène ;
- À 100 mètres, les concentrations en benzène diminuent d'un facteur 8 à 20 par rapport aux concentrations mesurées proche de la source. Les concentrations en toluène sont divisées par 4 à 7, et par 3 pour les teneurs en xylène. Les concentrations en éthylbenzène sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil ;
- À 200 mètres, l'ensemble des concentrations en BTEX est inférieur à la limite de quantification, les niveaux de polluants sont similaires à ceux observés sur le site témoin. Cela suggère une absence d'influence des feux au-delà de 200 mètres, dans les conditions météorologiques effectives lors du prélèvement.

<sup>2</sup> Air Pays de la Loire, *Qualité de l'air liée à l'incendie au sein de la zone industrielle de Montaigu-Vendée le 8 août 2022*, août 2022

<sup>3</sup> Air Pays de la Loire, *Qualité de l'air liée à l'incendie dans la blanchisserie industrielle Kalhyge à Pouzauges*, septembre 2023

<sup>4</sup> Air Pays de la Loire, *Concentrations en composés organiques volatils liés à l'incendie de la société Bergue JLC à La Chapelle-au-Riboul*, octobre 2023

## Particules PM10 et PM2.5

La figure suivante présente l'évolution des concentrations en PM10 pour les trois sites de mesure (environnement immédiat, 100 m et 200 m). Les surfaces jaunes et grises représentent respectivement les périodes de brûlage d'agglomérés et de palettes.

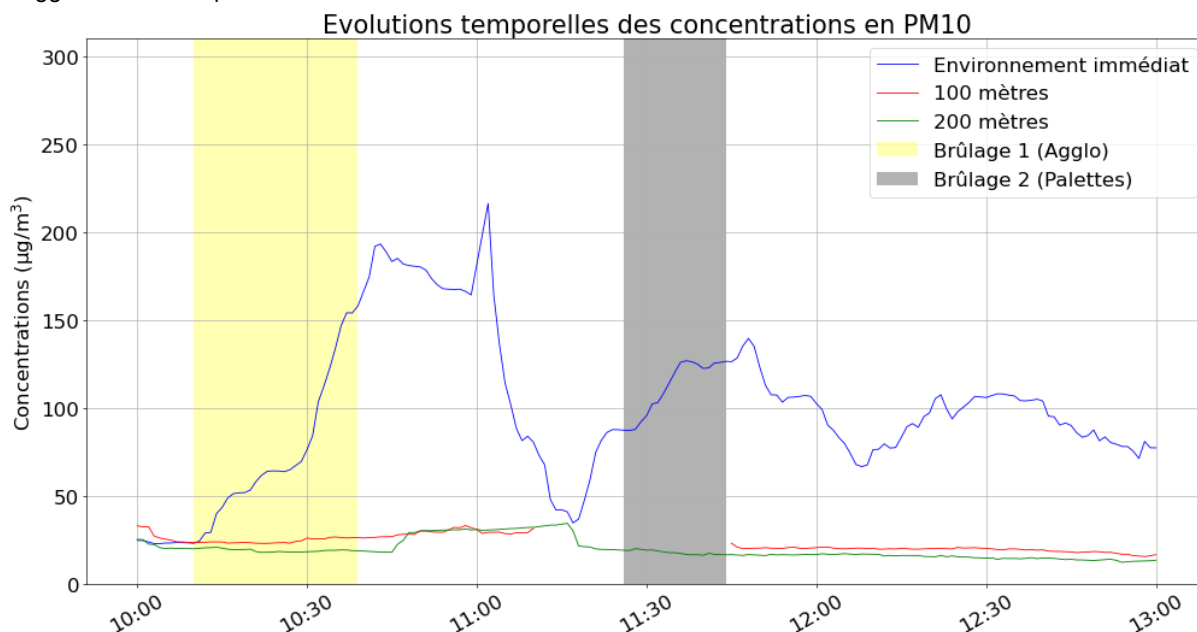


Figure 6 : évolution des concentrations en PM10 dans l'environnement immédiat de la source (en bleu), à 100 m (en rouge) et à 200 m (en vert)

Ces résultats montrent que :

- Sur le site dans l'environnement immédiat :
  - les concentrations atteignent  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage d'agglomérés, puis dépassent les  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  une demi-heure après ce 1<sup>er</sup> brûlage, probablement en lien avec des émissions de fumées rémanentes provenant de la benne dans laquelle étaient entreposés les restes du brûlage. Elles atteignent  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage de palettes, avec à nouveau un maintien de ces concentrations après l'extinction du feu et probablement en lien avec des émanations rémanentes.
  - une hausse des concentrations en PM10 a été détectée à partir de 11h15, avant le brûlage palettes. Cette hausse peut également être attribuée à des émissions rémanentes, de même que celle mesurée à partir de 12h10, soit près d'une demi-heure après la fin du second brûlage.
- Les sites situés à 100 mètres et à 200 mètres de la source n'ont pas été impactés par les brûlages d'agglomérés et de palettes, du fait des vents non-établis qui ont limité l'exposition de ces sites au panache.
- Des concentrations métrologiquement aberrantes ont été mesurées entre 11h10 et 11h45 sur le site situé à 100 mètres de la source, et ont de fait été invalidées.<sup>5</sup>
- La période après 12h10 n'a pas été considérée dans l'étude, l'augmentation des particules pouvant être liée aux émissions rémanentes de la benne, sans lien avec l'essai incendie initial.

<sup>5</sup> Il semblerait que cela corresponde à de la fumée expulsée d'un bâtiment proche du site situé à 100 mètres de la source et dont les fumées ont atteint le capteur, le faisant saturer à des niveaux de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre 11h10 et 11h45 (cf. photo en annexe 1).

Les deux figures suivantes présentent les boxplots (cf définition d'un boxplot en annexe 2) des concentrations en PM10 mesurées par les capteurs des trois sites durant les élévations des concentrations enregistrées à la suite des deux brûlages palettes et agglomérés. Les premiers boxplots ont été tracés entre 10h10 (début du brûlage agglo) et 11h17 (fin de l'élévation des concentrations liée au 1<sup>er</sup> brûlage) tandis que les seconds boxplots ont été tracés entre 11h26 (début du brûlage palettes) et 12h08 (fin de l'élévation des concentrations liée au 2<sup>nd</sup> brûlage).

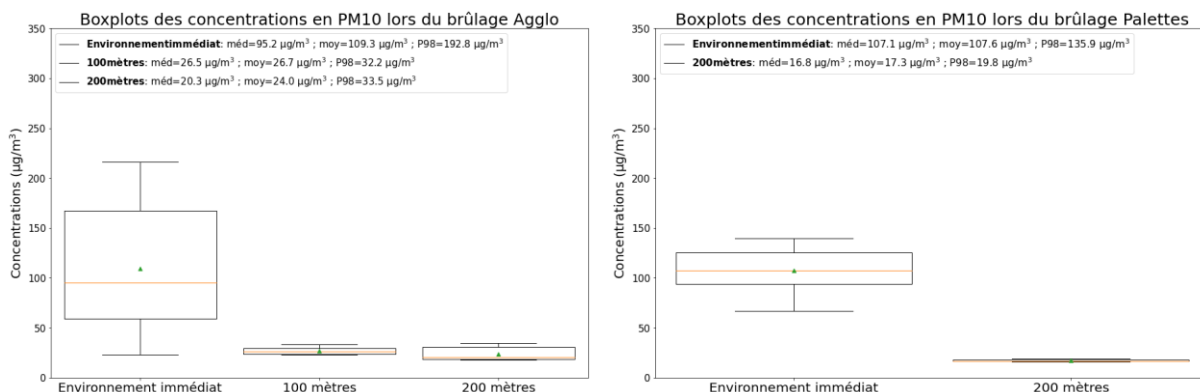


Figure 7 : boxplots des concentrations en PM10 lors du brûlage d'agglomérés (gauche) et du brûlage de palettes (droite)

Ces résultats montrent que :

- Sur le site dans l'environnement immédiat, les concentrations en PM10 ont atteint  $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne lors du brûlage d'agglomérés, et  $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage palettes ;
- Sur le site à 100 mètres, les concentrations moyennes en PM10 sont de  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage d'agglomérés (données inexploitable sur ce site lors du brûlage palettes) ;
- Sur le site à 200 mètres, les concentrations moyennes en PM10 sont de  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage d'agglomérés, et de  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage palettes ;
- Les concentrations des sites situés à 100 mètres et 200 mètres de la source sont proches entre elles et proches des concentrations de fond enregistrées ce jour-là dans le Maine-et-Loire (entre  $17$  et  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  enregistrées sur les stations Roi-René et Beaux-Arts, à Angers). Les vents non-établis impliquant une variabilité dans la direction du panache au moment des mesures peuvent expliquer une moindre exposition des capteurs à ces distances. De fait, l'influence des essais incendie n'est pas significative à partir de 100 mètres de la source dans ces conditions ;
- **L'absence d'influence des feux sur les deux sites situés à 100 mètres et 200 mètres de la source implique qu'il n'est pas possible d'évaluer l'impact de l'augmentation de la distance sur les niveaux de concentrations issues des brûlages d'agglomérés et de palettes.**

L'évolution des concentrations en PM2.5 possède les mêmes variations que celles observées sur les PM10 (figure ci-dessous). À noter, de même que pour les PM10, une absence de réponse des PM2.5 sur les sites situés à 100 mètres et à 200 mètres de la source.

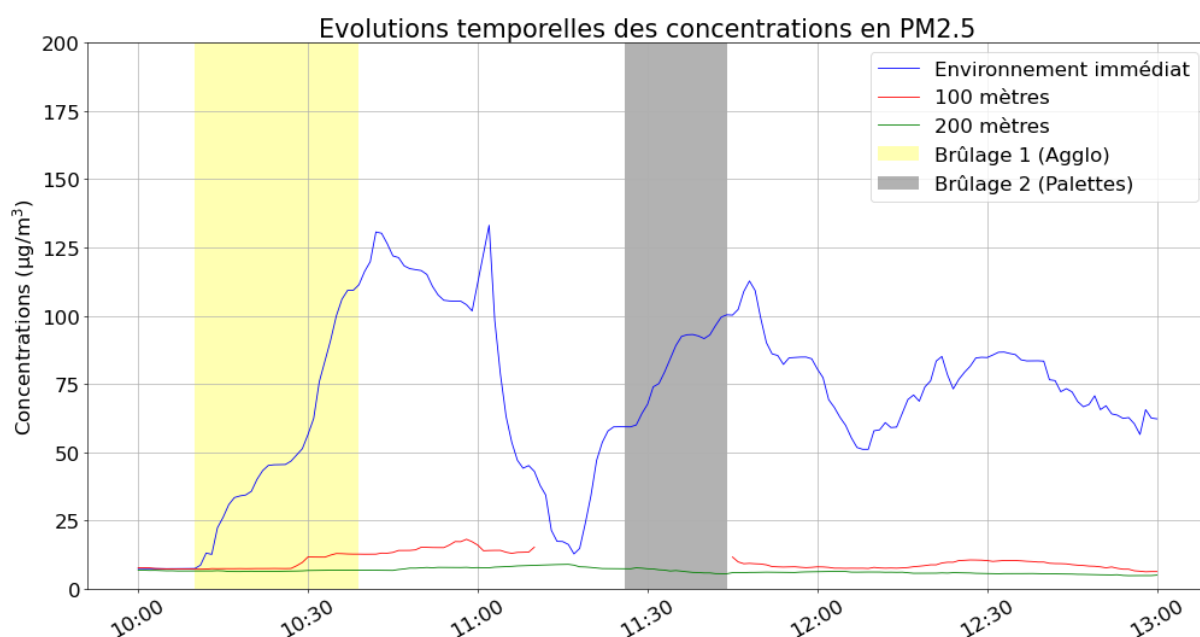


Figure 8 : évolutions des concentrations en PM2.5 sur le site dans l'environnement immédiat (en bleu), à 100 mètres (en rouge) et à 200 mètres (en vert) de la source

Les boxplots ci-dessous montrent la dispersion statistique des mesures en PM2.5 sur les 3 sites de mesure. Les constats sont similaires à ceux observés sur les mesures en PM10.

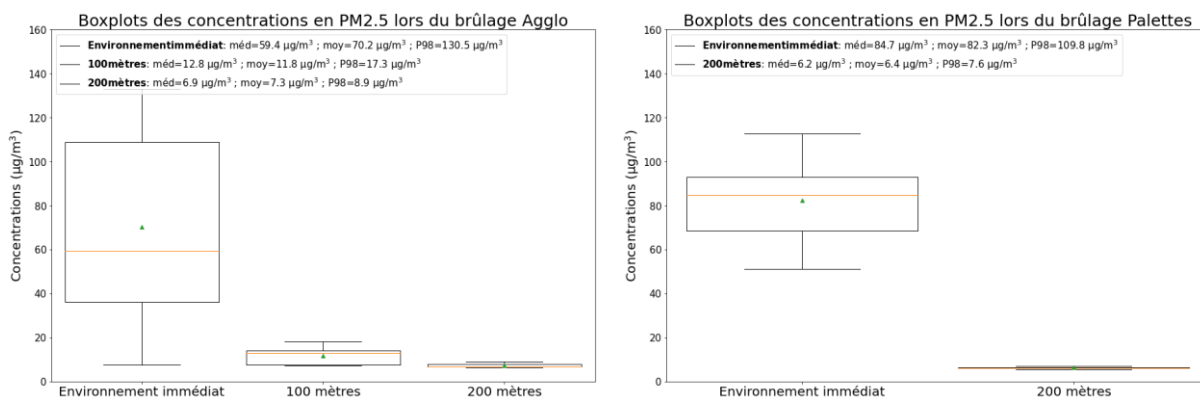


Figure 9 : boxplots des concentrations en PM2.5 lors du brûlage d'agglomérés (gauche) et du brûlage de palettes (droite)

Ces résultats montrent que :

- Sur le site dans l'environnement immédiat, les niveaux moyens en PM2.5 sont de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage d'agglomérés et de 82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du brûlage palettes ;
- Sur le site à 100 mètres, la concentration moyenne est de 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , contre 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur le site à 200 mètres lors du brûlage d'agglomérés ;
- Les niveaux enregistrés sur le site à 200 mètres, quel que soit le composant brûlé considéré, sont proches du niveau de fond (8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  enregistré à la station Beaux-Arts à Angers au même moment), indiquant une influence négligeable des brûlages à partir de 200 mètres de la source, du fait des directions de vents qui ne portaient pas le panache dans la direction du capteur situés à 200 mètres.



# Résultats pour le monoxyde de carbone CO

L'évolution des concentrations en CO montre un impact des brûlages uniquement sur le site situé dans l'environnement immédiat de la source, avec des concentrations atteignant 12 mg/m<sup>3</sup> lors du premier brûlage (agglomérés), et près de 6 mg/m<sup>3</sup> lors du second brûlage (palettes), soit deux fois moins que lors du brûlage d'agglomérés.

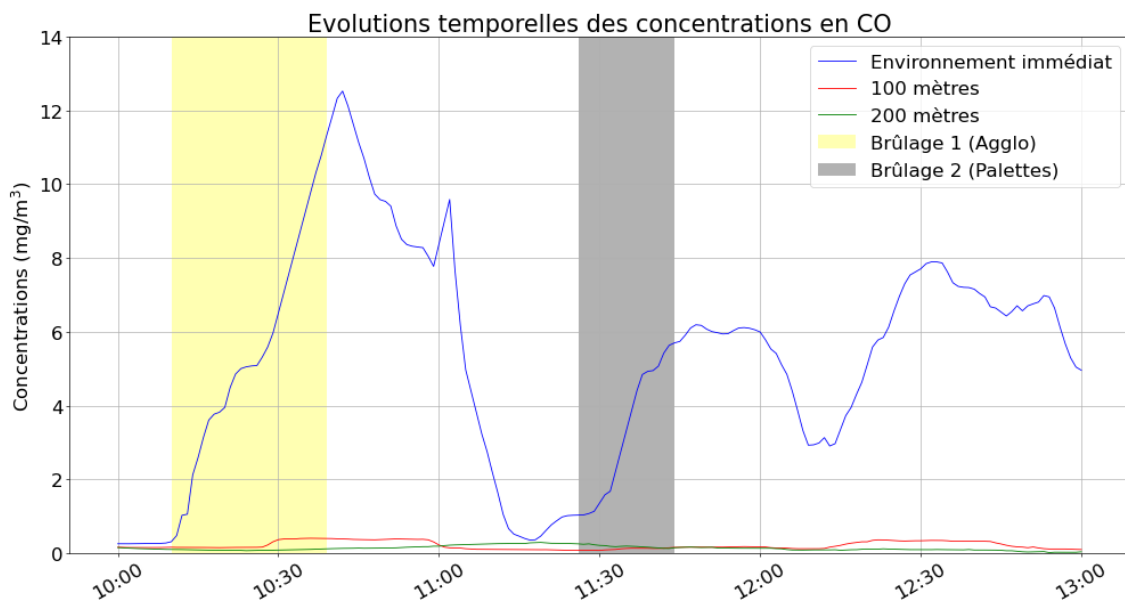


Figure 10 : évolution des concentrations en CO dans l'environnement immédiat de la source (en bleu), à 100 m (en rouge) et à 200 m (en vert)

La dispersion statistique des mesures en CO est présentée par les boxplots ci-dessous :

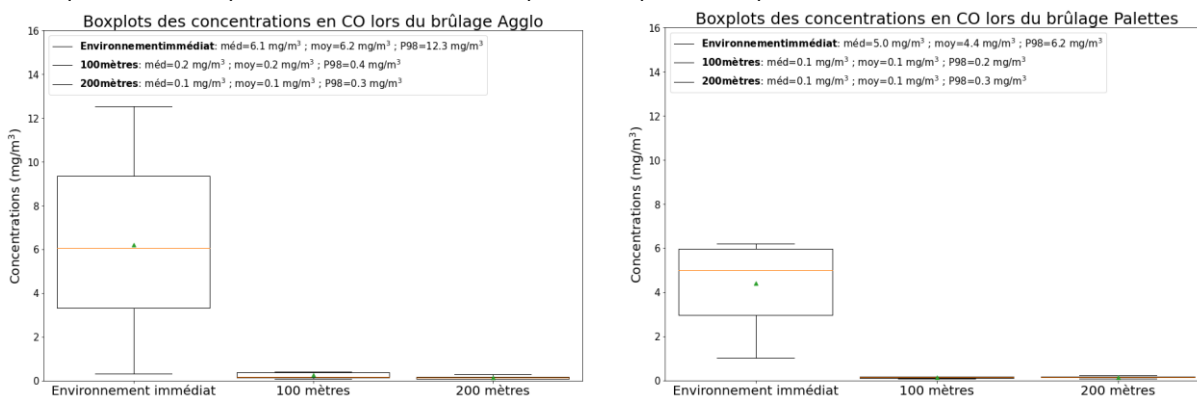


Figure 11 : boxplots des concentrations en CO lors du brûlage d'agglomérés (gauche) et lors du brûlage de palettes (droite)

Les résultats montrent :

- Une absence de réponse du CO sur les sites situés à 100 mètres et à 200 mètres de la source qui confirme le constat effectué sur les PM10 et PM2.5, à savoir que le vent non-établi a limité l'exposition de ces sites de mesure au panache émis par l'incendie ;
- Une latence dans la réponse des capteurs aux brûlages, avec des concentrations qui restent élevées après la fin des différents brûlages. Cette constatation avait également été faite sur les PM10 et PM2.5 et suggère des émissions rémanentes à la suite des brûlages.

## Résultats pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

La figure ci-dessous montre l'évolution temporelle des concentrations en dioxyde d'azote sur les 3 sites de mesure.

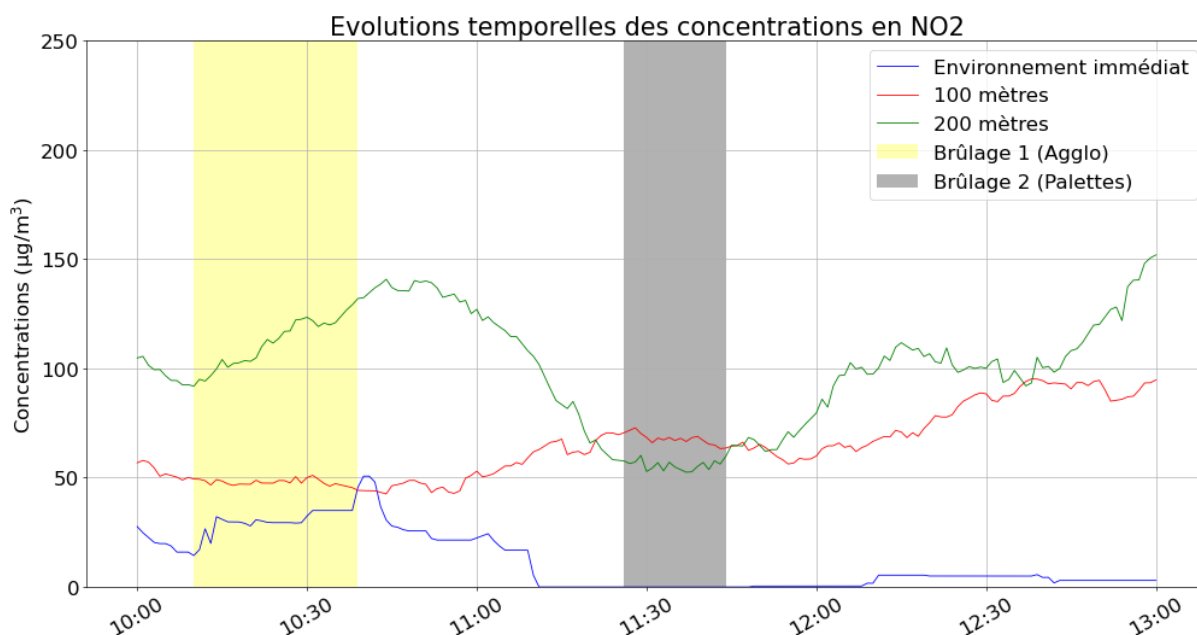


Figure 12 : évolution des concentrations en NO<sub>2</sub> dans l'environnement immédiat de la source (en bleu), à 100 m (en rouge) et à 200 m (en vert)

Les résultats enregistrés par les trois capteurs sont incohérents : les concentrations enregistrées sont minimums et nulles durant la moitié de la campagne sur le site à proximité de la source tandis qu'elles sont les plus élevées sur les sites les plus éloignés. Les performances des microcapteurs n'ont pas été satisfaisantes pour la mesure du NO<sub>2</sub> durant la campagne. Les données ne sont donc pas exploitables pour ce polluant.

# Comparaison des concentrations selon le type de combustible

## Composés organiques volatils

Afin de comparer l'influence du type de combustible, seul le site situé le plus proche de la source est considéré dans la mesure où l'influence des paramètres extérieurs (dispersion, météorologie) est la plus faible.

Le graphique ci-dessous montre les comparaisons des teneurs en COV sur ce site lors du feu de palettes et du feu d'agglomérés. Les mesures sur l'ensemble des sites sont présentées en annexe.

Un total de 30 composés organiques volatils gazeux a pu être identifié sur le site source, parmi lesquels 25 composés ont pu être quantifiés (concentrations au-dessus de la limite de détection de l'appareil).

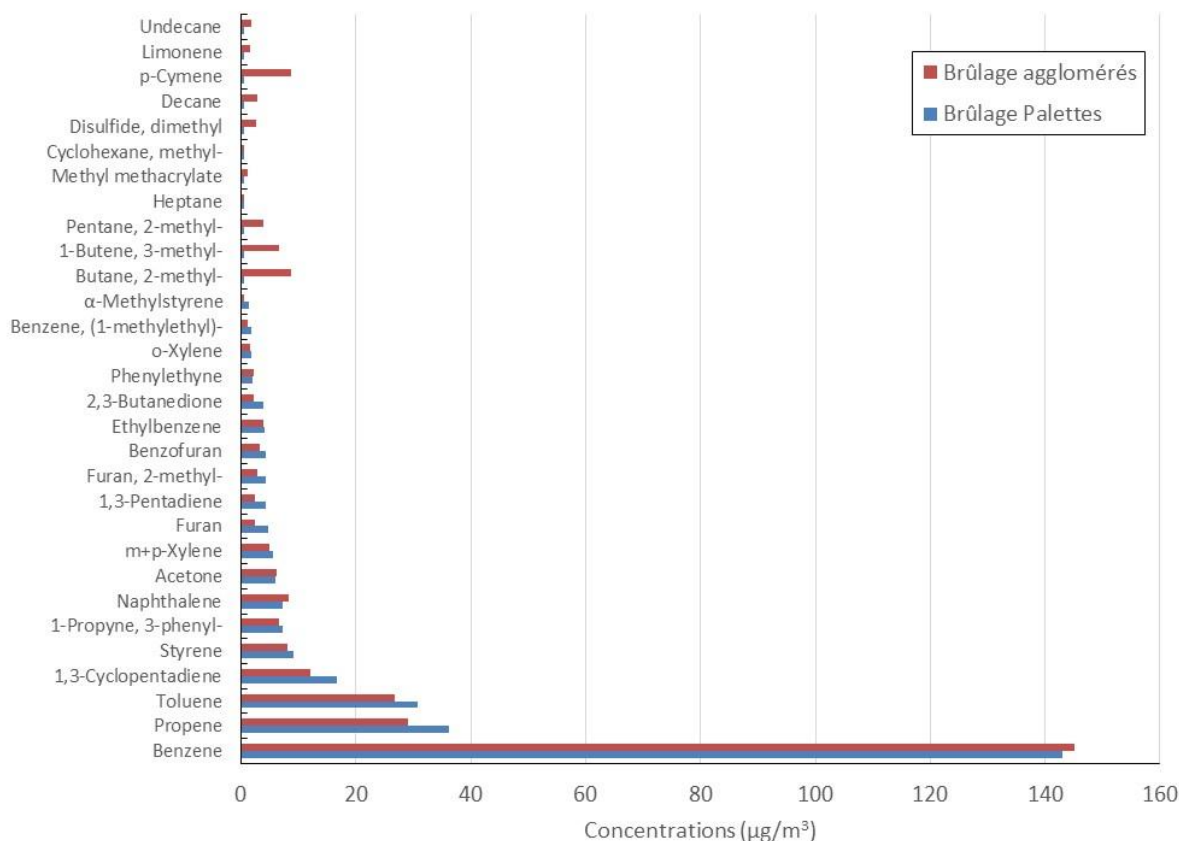


Figure 13 : concentrations des COV mesurés par canister sur le site proche de la source lors du brûlage d'agglomérés (en rouge) et lors du brûlage de palettes (en bleu)

Cette analyse montre que :

- Sur l'ensemble des polluants mesurés, les niveaux de concentrations sont similaires quel que soit le combustible utilisé : l'écart-type des concentrations entre les 2 brûlages pour chaque composé considéré est en moyenne de  $\pm 1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hormis pour les 9 composés suivants : p-cymène, 2-methylbutane, 3-methylbutene, 2-methylpentane, methyl methacrylate, disulfure de diméthyle, décane, limonène et undécane ;
- Ces composés sont mesurés exclusivement lors du brûlage d'agglomérés, et ne sont pas mesurés lors du brûlage palettes.

# Particules PM10 et PM2.5

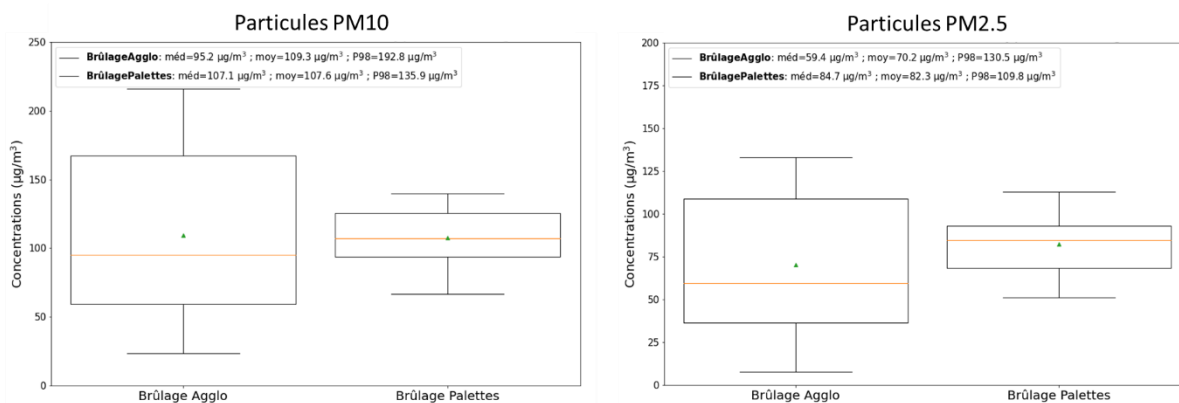


Figure 14 : comparaison des boxplots des concentrations en PM10 (à gauche) et en PM2.5 (à droite) mesurées dans l'environnement immédiat de la source selon le type de brûlage

Les résultats montrent que pour les PM10 :

- Les moyennes de concentrations sont de même ordre, avec 109 µg/m<sup>3</sup> lors du brûlage d'agglomérés et 107 µg/m<sup>3</sup> lors du brûlage de palettes ;
- Une variabilité des concentrations plus élevée lors du brûlage d'agglomérés, avec des concentrations atteignant les 200 µg/m<sup>3</sup> contre 150 µg/m<sup>3</sup> lors du brûlage de palettes. Cela peut s'expliquer par la variabilité des directions de vents entre les deux brûlages.

Concernant les PM2.5, les résultats montrent :

- Une moyenne des concentrations en PM2.5 qui est 15 % plus élevée durant le brûlage de palettes par rapport à celle mesurée durant le brûlage d'agglomérés ;
- De même que pour les PM10, la variabilité des concentrations est plus élevée durant le brûlage d'agglomérés et peut s'expliquer par la variabilité des directions de vents entre les deux brûlages.

# Monoxyde de carbone CO

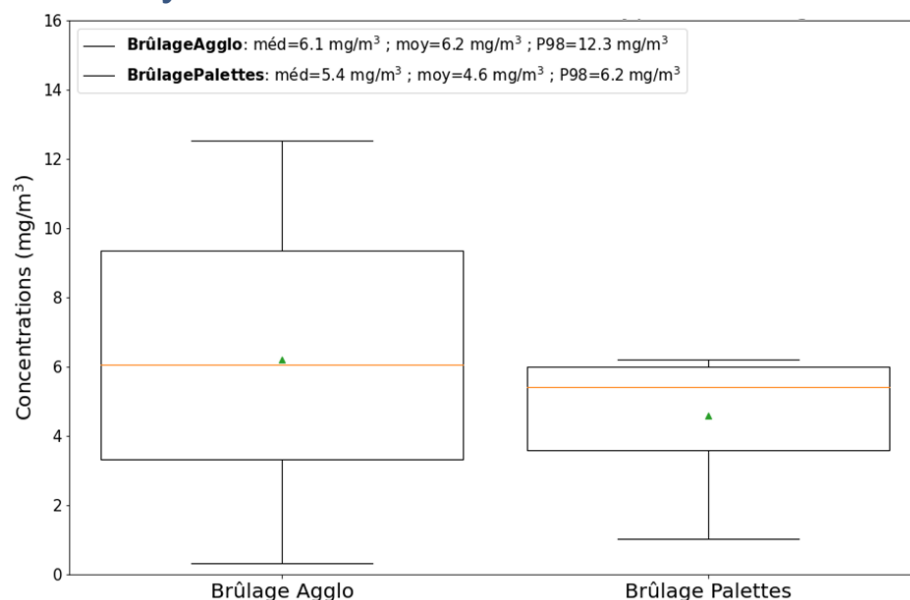


Figure 15 : comparaison des boxplots de concentrations en CO mesurées dans l'environnement immédiat de la source selon le type de brûlage

Pour le CO, les résultats montrent :

- Une concentration moyenne en CO plus élevée de 1,6 mg/m<sup>3</sup> durant le brûlage d'agglomérés par comparaison au brûlage de palettes ;
- De même que pour les autres polluants, une variabilité des concentrations plus élevée suite au brûlage d'agglomérés, avec des concentrations atteignant les 12 mg/m<sup>3</sup> contre 6 mg/m<sup>3</sup> à la suite du brûlage de palettes. Cela peut s'expliquer par la variabilité des directions de vents entre les deux brûlages.



# Comparaison des concentrations vis-à-vis des valeurs de référence

## Sélection des seuils

Les valeurs repères toxicologiques de référence (VTR) sont de 2 natures :

- Celles destinées à une exposition aiguë, sub-aiguë ou chronique ;
- Celles destinées à la gestion de situation accidentelles, type incendie, et souvent définies sur une exposition de 1 heure à 8 heures.

Dans le cas présent, les VTR sont choisies dans le cadre de situation accidentelles<sup>6</sup>.

Ces valeurs sont déterminées pour 3 niveaux d'effets : létaux, irréversibles et réversibles. Les seuils retenus sont ceux pour lesquels le niveau de protection est le plus important pour la santé humaine, c'est-à-dire les concentrations les plus basses. Afin d'identifier les valeurs repères à jour, le portail *Portail Substances Chimiques (PSC)* de l'INERIS est exploité<sup>7</sup>. Les composés mesurés et faisant l'objet de valeur repère sont précisés en annexe.

Afin d'évaluer l'exposition du personnel administratif situé à une centaine de mètre des essais incendie, les concentrations maximales enregistrées sur les sites à 100 et 200 mètres sont considérées.

Les concentrations maximales mesurées sur l'ensemble des composés faisant l'objet d'une VTR représentent de 0 % à 2,6 % de ces valeurs (cf. annexe). Plus particulièrement :

- les BTEX sont inférieurs à 1 % des VTR,
- le diméthylsulfide enregistre une concentration qui représente 2,6 % de sa VTR,
- l'ensemble des autres composés ont des concentrations inférieures à 0,1 % de leur VTR respectives.

Le monoxyde de carbone fait l'objet d'une valeur guide de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) définie à 35 mg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire. Les concentrations mesurées lors de ces exercices sont en-dessous de cette valeur.

Les particules PM10 et PM2.5 sont réglementés uniquement dans le cas d'exposition chronique (concentrations moyennes sur 1 journée et sur 1 année), et ne font pas l'objet de valeur de référence dans le cadre de situation accidentelle.

---

<sup>6</sup> Pour les seuils en situation accidentelles, ce sont prioritairement les valeurs AEGL sur 8 heures d'exposition qui ont été choisies quand elles existent. A défaut, les valeurs IDLH sont utilisées, ou les valeurs PAC sur 1h d'exposition.

<sup>7</sup> <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

# Conclusions et perspectives

Dans le cadre de son programme d'apprentissage, l'EDIS 49 organise des essais incendie impliquant du brûlage de palettes et d'agglomérés. L'École s'interroge sur la manière de minimiser l'impact environnemental de ces brûlages, et sur l'exposition du personnel administratif de l'École lors de ces brûlages. Elle a sollicité Air Pays de la Loire afin d'effectuer un état des lieux des mesures de qualité de l'air effectuées dans le cadre de ces exercices.

Pour cela, les COV ont été mesurés par canisters sur des prélèvements de 45 minutes, et les particules PM10 et PM2.5, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> ont été mesurés en continu par ministations.

Les résultats montrent que :

- Les COV sont jusqu'à 29 fois plus élevés sur le site proche de la source que sur le site à 100 mètres. Le site à 200 mètres ne semble pas être influencé par les fumées issues des incendies, dans les conditions météorologiques effectives lors du prélèvement ;
- Le benzène, le propène et le toluène sont les trois composés relevés en plus grande quantité, avec des concentrations respectives de 145 µg/m<sup>3</sup>, 36 µg/m<sup>3</sup> et 31 µg/m<sup>3</sup> relevées sur le site à la source. Ces niveaux sont cohérents avec la gamme de concentrations usuellement mesurée par canisters lors d'incendie en situation accidentelle ;
- Les PM10, PM2.5 et le monoxyde de carbone semblent impactés uniquement sur le site proche de la source, aucune élévation significative des concentrations n'ayant été enregistrée sur les sites à 100 mètres et à 200 mètres. Cela s'explique par des vents non-établis, ne portant pas le panache dans la direction de ces capteurs ;
- Sur l'ensemble des composés faisant l'objet d'une valeur repère, les mesures demeurent inférieures aux références toxicologiques en situation accidentelle.

Selon la nature du composé brûlé (palettes ou agglomérés) :

- Sur l'ensemble des composés organiques volatils mesurés, les niveaux de concentrations sont similaires quel que soit le combustible utilisé : l'écart-type des concentrations entre les 2 brûlages pour chaque composé considéré est en moyenne de  $\pm 1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hormis pour les 9 composés suivants : p-cymène, 2-methylbutane, 3-methylbutene, 2-methylpentane, methyl methacrylate, disulfure de diméthyle, décane, limonène et undécane ;
- Ces composés sont mesurés exclusivement lors du brûlage d'agglomérés, et ne sont pas mesurés lors du brûlage palettes ;
- Les particules PM10 ne semblent pas être influencées par le type de brûlage, les concentrations étant proches entre les 2 essais. Toutefois, les PM2.5 sont en moyenne 15 % plus élevées lors du brûlage palettes. À l'inverse, le monoxyde de carbone est plus élevé lors du brûlage d'agglomérés (6 mg/m<sup>3</sup>) que lors du brûlage palettes (4 mg/m<sup>3</sup>). La vitesse et la direction des vents entre les deux brûlages et la qualité de la combustion peuvent influencer de manière importante ces résultats.

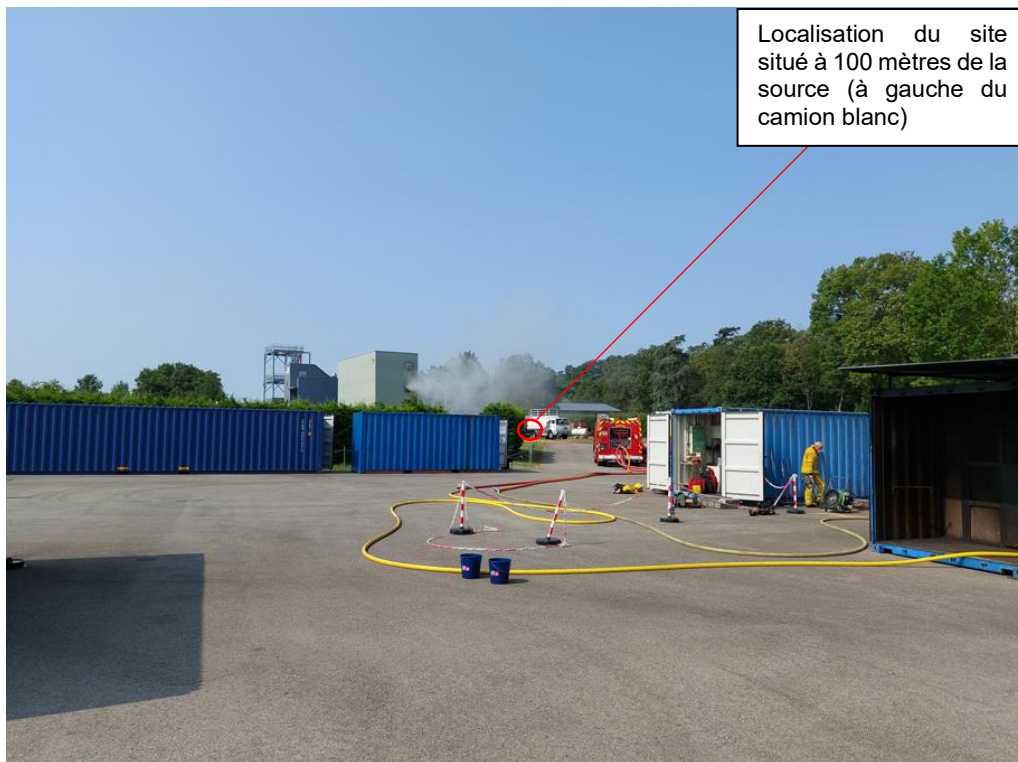
Afin de s'affranchir de l'influence des conditions atmosphériques lors des mesures, il pourrait être judicieux d'effectuer des mesures à l'émission, en chambre fermée, *in fine* directement dans l'enclos des essais incendie. Ces mesures ne viseraient plus à évaluer l'*exposition* de la population, mais donneraient une indication sur les rejets de polluants atmosphériques à la source.

# Annexes

- Annexe 1 : activité parasite à proximité du site situé à 100 mètres de la source
- Annexe 2 : définition d'un boxplot
- Annexe 3 : concentrations des COV par sites et par type de brûlage
- Annexe 4 : valeurs toxicologiques de référence en situation accidentelle
- Annexe 5 : Air Pays de la Loire
- Annexe 6 : polluants

# Annexe 1 : activité parasite à proximité du site situé à 100 mètres de la source

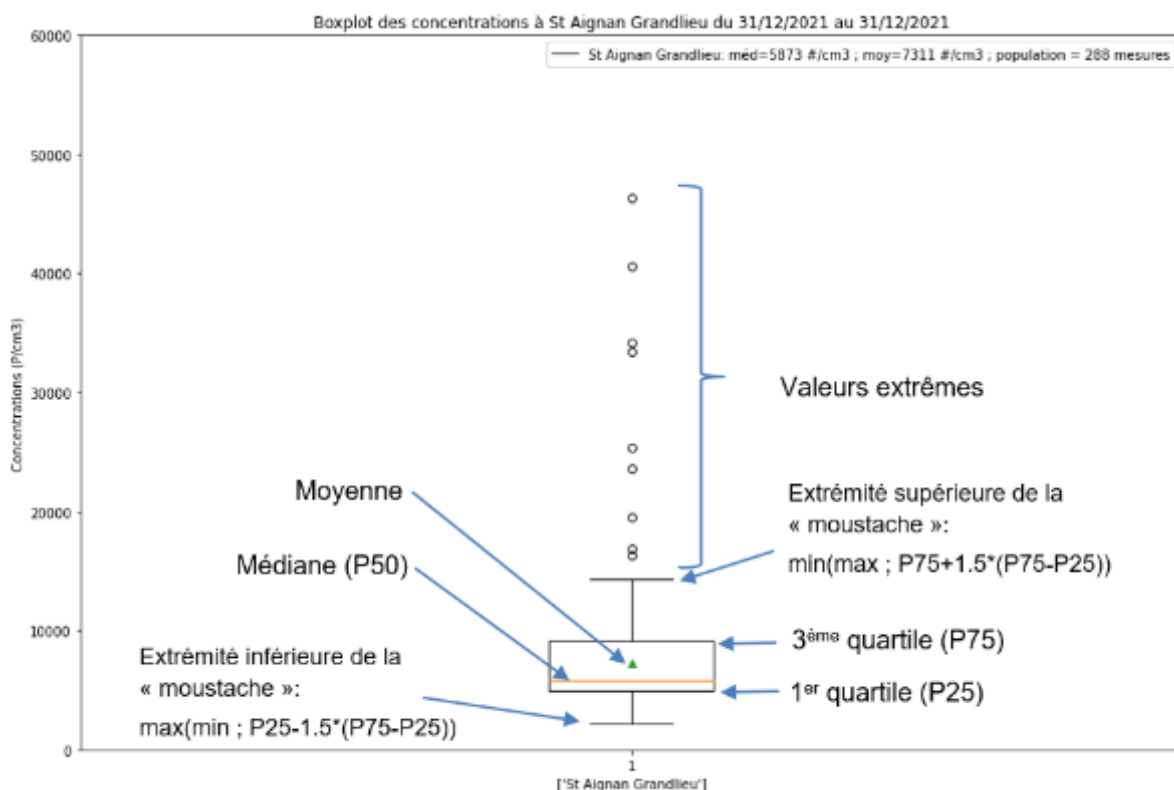
Expulsion de fumée lors des essais incendie du 28 juin 2023, à partir de 11h10, d'un bâtiment à proximité du site de mesure situé à 100 mètres de la source et ayant influencé ces mesures.





## Annexe 2 : définition d'un boxplot

Le Boxplot, appelé également « Boîte à moustaches », permet d'étudier la distribution des concentrations. Il représente d'une manière simple la répartition d'un groupe d'observations et synthétise une série de statistiques descriptives tels que la médiane, le 1<sup>er</sup> et 3<sup>e</sup> quartile ainsi que les observations qui s'écartent fortement de la population étudiée dites valeurs extrêmes.



## Annexe 3 : concentrations des COV par site et par type de brûlage (résultats en ppb)

Composés	N°CAS	Brûlage palettes				Brûlage agglomérés				VTR (en ppm)
		S2706 N°15	S2786 N°9	S2788 N°10	S1754 N°3	S2787 N°17	S2789 N°11	S1761 N°4	S2807 N°25	
		P- témoin	P- 0m	P- 100m	P- 200m	A- témoin	A- 0m	A- 100m	A- 200m	
Benzene	71-43-2	<0.31	44.1	5.3	<0.31	<0.31	44.5	1.9	<0.31	9
Propene	115-07-1	<0.57	20.6	2.3	<0.57	<0.57	16.6	0.57	<0.57	1500
Toluene	108-88-3	<0.26	8.0	1.1	<0.26	<0.26	7.0	1.6	<0.26	67
1,3-Cyclopentadiene	542-92-7	<0.36	6.0	0.68	<0.36	<0.36	4.4	<0.36	<0.36	
Styrene	100-42-5	<0.23	2.1	<0.23	<0.23	<0.23	1.9	<0.23	<0.23	20
1-Propyne, 3-phenyl-	10147-11-2	<0.21	1.5	<0.21	<0.21	<0.21	1.4	<0.21	<0.21	
Naphthalene	91-20-3	1.0	1.4	<0.19	<0.19	0.40	1.6	0.55	<0.19	15
Acetone	67-64-1	0.87	2.5	0.72	<0.41	1.1	2.6	1.01	<0.41	200
m+p-Xylene	106-42-3	<0.23	1.3	0.37	<0.23	<0.23	1.1	0.44	<0.23	130
Furan	110-00-9	<0.35	1.7	<0.35	<0.35	<0.35	0.88	<0.35	<0.35	1
1,3-Pentadiene	504-60-9	<0.35	1.6	<0.35	<0.35	<0.35	0.88	<0.35	<0.35	
Furan, 2-methyl-	534-22-5	<0.29	1.3	<0.29	<0.29	<0.29	0.81	<0.29	<0.29	0
Benzofuran	271-89-6	<0.20	0.87	<0.20	<0.20	<0.20	0.66	<0.20	<0.20	
Ethylbenzene	100-41-4	<0.23	0.91	<0.23	<0.23	<0.23	0.89	<0.23	<0.23	33
2,3-Butanedione	431-03-8	<0.28	1.1	<0.28	<0.28	<0.28	0.61	<0.28	<0.28	0
Phenylethyne	536-74-3	<0.24	0.46	<0.24	<0.24	<0.24	0.55	<0.24	<0.24	7
o-Xylene	95-47-6	<0.23	0.42	<0.23	<0.23	<0.23	0.37	<0.23	<0.23	
Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	<0.20	0.36	<0.20	<0.20	<0.20	0.24	7.1	<0.20	50
α-Methylstyrene	98-83-9	<0.20	0.26	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	3.7	<0.20	100
Butane, 2-methyl-	78-78-4	2.4	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	2.9	<0.33	<0.33	3000
1-Butene, 3-methyl-	563-45-1	1.6	<0.34	<0.34	<0.34	<0.34	2.3	<0.34	<0.34	
Pentane, 2-methyl-	107-83-5	1.1	<0.28	<0.28	<0.28	0.49	1.1	<0.28	<0.28	1000
Heptane	142-82-5	<0.24	<0.24	<0.24	<0.24	0.59	<0.24	<0.24	<0.24	500
Methyl methacrylate	80-62-6	<0.24	<0.24	0.26	<0.24	<0.24	0.27	3.0	<0.24	17
Cyclohexane, methyl-	108-87-2	<0.24	<0.24	<0.24	<0.24	1.6	<0.24	<0.24	<0.24	1200
Disulfide, dimethyl	624-92-0	<0.24	<0.24	0.26	<0.24	<0.24	0.63	<0.24	<0.24	0
Decane	124-18-5	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	0.47	0.39	<0.17	7
p-Cymene	99-87-6	0.19	<0.18	1.1	<0.18	<0.18	1.6	0.32	<0.18	22
Limonene	138-86-3	<0.18	<0.18	0.19	<0.18	<0.18	0.26	<0.18	<0.18	
Undecane	1120-21-4	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	0.27	0.31	<0.15	2

## Annexe 4 : valeurs toxicologiques de référence en situation accidentelle

La concentration maximale est définie sur la concentration maximale enregistrée sur les sites à 100 mètres et 200 mètres, quel que soit le brûlage ; l'exposition du personnel administratif étant situé à 130 mètres de la source des essais incendie.

Le site dans l'environnement immédiat de la source n'est pas considéré dans l'évaluation de la concentration maximale dans la mesure où seul le personnel habilité, avec des EPR spécifiques, est exposé. Aucune exposition de tierce-personne n'est effective sur ce site.

Les concentrations sont exprimées en ppb lorsque la VTR est exprimée en ppm.

Composés	N°CAS	VTR (en ppm)	Type de VTR (source)	Durée d'exposition	Concentration max (en ppb)	Site concerné	% de dépassement
Benzene	<b>71-43-2</b>	9	AEGL-1	8h	5,3	100 m	0,06
Propene	115-07-1	1 500	PAC-1	1h	2,3	100 m	0,00
Toluene	<b>108-88-3</b>	67	AEGL-1	8h	1,6	100 m	0,00
Styrene	<b>100-42-5</b>	20	AEGL-1	8h	0	-	0,00
Naphthalene	<b>91-20-3</b>	15	PAC-1	1h	0,55	100 m	0,00
Acetone	<b>67-64-1</b>	200	AEGL-1	8h	1,01	100 m	0,00
m+p-Xylene	106-42-3	130	PAC-1	1h	0,44	100 m	0,00
Furan	110-00-9	0,6	PAC-1	1h	0	-	0,00
Furan, 2-methyl-	534-22-5	0,3	PAC-1	1h	0	-	0,00
Ethylbenzene	<b>100-41-4</b>	33	AEGL-1	8h	0	-	0,00
2,3-Butanedione	431-03-8	0,01	PAC-1	1h	0	-	0,00
Phenylethyne	536-74-3	6,6	PAC-1	1h	0	-	0,00
Cumène	<b>98-82-8</b>	50	AEGL-1	8h	7,1	100 m	0,01
α-Methylstyrene	<b>98-83-9</b>	100	PAC-1	1h	3,7	100 m	0,00
Butane, 2-methyl-	78-78-4	3 000	PAC-1	1h	0	-	0,00
Pentane, 2-methyl-	107-83-5	1 000	PAC-1	1h	0	-	0,00
Heptane	<b>142-82-5</b>	500	PAC-1	1h	0	-	0,00
Methyl methacrylate	<b>80-62-6</b>	17	AEGL-1	8h	3	100 m	0,02
Cyclohexane, methyl-	<b>108-87-2</b>	1 200	PAC-1	1h	0	-	0,00
Disulfide, dimethyl	624-92-0	0,01	PAC-1	1h	0,26	100 m	2,60
Decane	124-18-5	6,6	PAC-1	1h	0,39	100 m	0,01
p-Cymene	99-87-6	21,5	PAC-1	1h	1,1	100 m	0,01
Undecane	1120-21-4	2,3	PAC-1	1h	0,31	100 m	0,01

# Annexe 5 : Air Pays de la Loire

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé par le Ministère de l'Environnement pour assurer la **surveillance de la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire** 24h/24 et 7j/7.

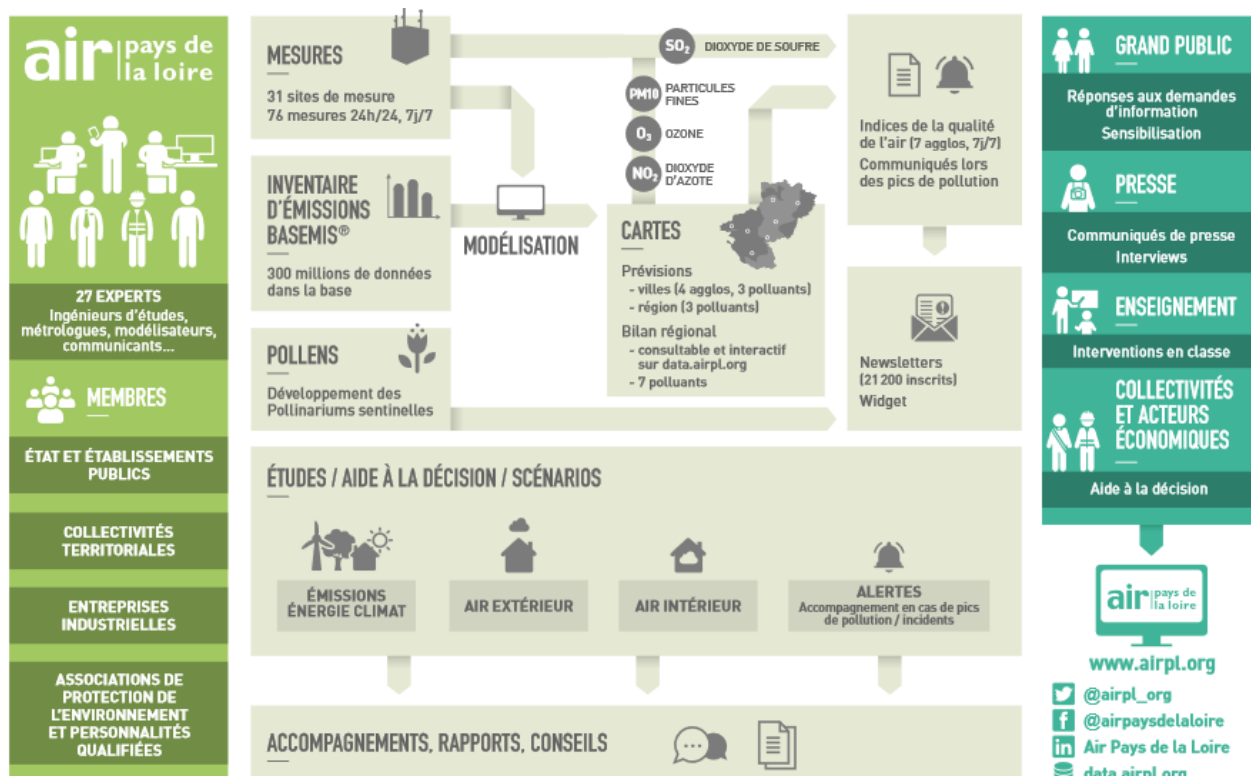
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- sur [www.airpl.org](http://www.airpl.org) : mesures en temps réel, prévisions régionales et urbaines, rapports d'études, actualités...
- via des newsletters gratuites : indices de qualité de l'air du jour et du lendemain, alertes pollution et alertes pollens ;
- sur Twitter (@airpl\_org) et Facebook (Air Pays de la Loire)

Ses domaines d'expertise portent sur :

- **qualité de l'air extérieur** : mesures en temps réel, prévisions de qualité de l'air, cartographies, études autour d'industries, dans des zones agricoles...
- **qualité de l'air intérieur** : mesures dans des établissements recevant du public, appui aux collectivités dans les constructions de bâtiments, études spécifiques...
- **émissions, énergie, climat** : inventaire régional des émissions de polluants, gaz à effet de serre et des données énergétiques (BASEMIS®), aide à la décision pour les collectivités (plans climat air énergie territoriaux)...
- **pollens** : diffusion en temps réel des résultats sur la région.

Organisé sous forme pluri-partenaire, Air Pays de la Loire réunit quatre groupes de partenaires : l'Etat, des collectivités territoriales, des industriels et des associations de protection de l'environnement et de défense des consommateurs.



# Annexe 6 : polluants

## Les oxydes d'azote (NOx)

Les NOx comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (53 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

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

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

## Les particules

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

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

## Le monoxyde de carbone (CO)

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (60 %) par le chauffage urbain, collectif ou individuel. Le trafic routier, vient en deuxième position avec 31 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

Le CO est dangereux car non décelable. Son effet toxique se manifeste à de très faibles concentrations en exposition prolongée. Le CO est principalement un poison sanguin. Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les premiers symptômes de l'intoxication sont les seuls signaux d'alarme : maux de tête, une vision floue, des malaises légers, des palpitations. Si les concentrations de CO sont élevées, l'intoxication se traduit par des nausées, des vomissements, des vertiges ou, plus grave, un évanouissement puis la mort. La gravité de l'intoxication dépend de la quantité de CO fixé par l'hémoglobine. Elle est donc liée à plusieurs facteurs : la concentration de CO dans l'air, la durée d'exposition et le volume respiré.

## Les BTEX

Le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène sont des composés organiques volatils (COV) de la famille des hydrocarbures aromatiques monocycliques. Le benzène est principalement émis lors de la combustion de carburants (notamment dans les gaz d'échappement), ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. La combustion du bois et la fumée de cigarette sont également des sources de benzène. Le toluène, l'éthylbenzène et le xylène sont principalement émis par la fabrication et l'utilisation de solvants dans l'industrie des peintures et revêtements, par l'utilisation de colle, et par l'utilisation de produits nettoyants et dégraissants.

Le benzène est classé comme cancérigène de catégorie 1 (cancérigène avérés pour l'Homme) par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC).



## **AIR PAYS DE LA LOIRE**

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

**air** | pays de  
la Loire  
[www.airpl.org](http://www.airpl.org)