



# Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts

**Etude de différentes méthodes de ventilation  
dans deux parkings de Lyon.**

*Mesures réalisées en 2010-2011*



Décembre 2011

COPARLY fait partie du dispositif français de surveillance et d'information de la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application notamment le décret 98-361 du 6 mai 1998 relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air.

A ce titre, COPARLY est garant de la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

Condition de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur [www.atmo-rhonealpes.org](http://www.atmo-rhonealpes.org), un mois après validation interne.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'association COPARLY. Elles ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'association en termes de « COPARLY (2011) *Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts – Etude de différentes méthodes de ventilation dans deux parkings de Lyon* ».
- COPARLY n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant des résultats de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Edité le 15/12/2011

Cette étude a été réalisée avec le concours financier et logistique de Lyon Parc Auto.

## Sommaire

1.	Introduction	7
2.	Éléments méthodologiques :	8
2.1.	Choix des parkings :	8
2.2.	Pistes de travail pour les scénarios de ventilation :	8
2.3.	Polluants retenus :	8
2.4.	Résultats attendus :	8
3.	Méthodologie	9
3.1.	Les parkings :	9
3.2.	Scénarios retenus :	9
3.3.	La mesure des polluants :	10
3.4.	Les campagnes de mesures :	11
4.	Résultats	12
4.1.	Bilan des campagnes	12
4.2.	Les mesures	15
4.3.	Les temps de fonctionnement de la ventilation :	20
4.4.	Parking république : piste d'amélioration du scénario n° 3 :	21
4.5.	Le parking Gros caillou – parking de type résidentiel :	22
5.	Conclusion et perspectives	24

## Résumé

COPARLY, en collaboration avec Lyon Parc Auto (LPA), a lancé un programme d'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts de Lyon. Ce programme, prévu sur une durée de 3 ans (2010 - 2012), comporte 4 volets de mesure :

1. Un état des lieux de la qualité de l'air sur 25 parcs<sup>1</sup>.
2. L'étude approfondie d'un parking témoin et de son environnement extérieur<sup>2</sup>.
3. L'étude de différents scénarios de ventilation afin d'améliorer la qualité de l'air dans les parkings.
4. Le suivi de la qualité de l'air dans les locaux d'exploitation des parkings<sup>3</sup>.

Le présent rapport s'intéresse au 3<sup>ème</sup> volet de ce programme.

### Objectifs :

Trois objectifs ont été retenus pour cette étude :

- Comparaison des différentes options de ventilation et de leur efficacité
- Gain obtenu sur les concentrations de polluants, sur le dépassement des valeurs cible préconisées par l'ANSES<sup>1</sup>.
- Estimation si possible de la consommation énergétique (temps de ventilation) des différents scénarios testés.

### Méthode :

Afin d'avoir une vision aussi exhaustive que possible, nous avons réalisé des tests de ventilation sur les 2 principales configurations de parkings de LPA, à savoir :

- Parcs à passage important (parking République).
- Parc de type résidentiel avec peu de passages mais fort taux d'occupation (parking Gros Caillou).

4 scénarios de ventilation différents ont été testés :

- Scénario 2 : Fonctionnement séquentiel de la ventilation. La durée journalière de ventilation était calculée en fonction de la fréquentation journalière moyenne.
- Scénario 3 : Fonctionnement de la ventilation asservie sur les concentrations de NO avec un déclenchement lorsque la concentration moyenne sur la dernière ½ heure atteignait  $800 \mu\text{g.m}^{-3}$  de NO et un arrêt lorsque celle-ci atteignait  $600 \mu\text{g.m}^{-3}$ .
- Scénario 4 : Ventilation automatique avec déclenchement sur seuil de CO instantané avec un déclenchement à 10 ppm et un arrêt à 5 ppm.
- Scénario 5 : Déclenchement manuel de la ventilation le soir et arrêt le matin. Soit environ 17 heures de ventilation / jour (ce scénario n'a été testé qu'en été au parking Gros caillou).

Les améliorations où dégradations de la qualité de l'air à l'intérieur des parkings étaient comparées aux relevés lors du fonctionnement habituel du parking, à savoir déclenchement de la ventilation à 20 ppm de CO et arrêt à 15 ppm (scénario 1).

Les polluants retenus sont ceux faisant l'objet de recommandations de la part de l'ANSES<sup>1</sup>, à savoir, le monoxyde et dioxyde d'azote et le benzène.

Chaque parking a été équipé d'une station de mesure de la pollution en continu installée au niveau -2 des parkings afin d'éviter l'influence directe des entrées et sorties des véhicules au niveau d'accès. Des mesures par tubes à diffusion passive permettant une mesure des concentrations sur les 7 jours correspondants aux différents scénarios de ventilation ont été mises en place à chaque étage des parkings.

---

<sup>1</sup> Agence National de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

## **Résultats :**

### **Parking République :**

Les 3 scénarios testés sur ce parking (2, 3, 4) sont efficaces en hiver pour les 3 polluants concernés (NO, NO<sub>2</sub>, benzène). Le scénario 3 est le plus efficace. Par contre, en été, quelque soit le scénario testé, les concentrations de benzène sont toujours supérieures à celles relevées lors du scénario de référence. Le scénario 2 semble être le plus efficace en ce qui concerne les concentrations de NO et NO<sub>2</sub> tandis que le scénario 3 contribue à une augmentation des concentrations.

### **Parking Gros caillou**

En hiver, le scénario 1 de référence est celui qui présente la meilleure efficacité. Les autres scénarios contribuent à une augmentation des concentrations.

En été, seul le scénario 5, consistant à faire fonctionner la ventilation toute la nuit, contribue fortement à la diminution des concentrations de l'ensemble des polluants (de 50% à 80%). Les deux autres scénarios testés (2 et 4) contribuent de façon moindre à cette diminution.

Les concentrations d'oxyde d'azote dans ce parking sont relativement peu élevées. Par contre, celles de benzène sont plus importantes essentiellement la nuit, lorsque les véhicules sont à l'arrêt (évaporation des réservoirs d'essence). C'est donc durant cette période que la ventilation joue un rôle majeur.

## **Conclusion :**

Les études précédentes ont mis en évidence la complexité des phénomènes intervenant dans la détermination des niveaux de polluants dans le parc. En tout état de cause, une diminution notable des épisodes de dépassement des valeurs seuils préconisées par l'ANSES<sup>1</sup> ne pourra être obtenu qu'en augmentant notablement les temps de ventilation. Toutefois, cette augmentation doit rester raisonnable afin de limiter les coûts de fonctionnement des parkings.

Le scénario n°5, qui n'a été testé que dans le parking Gros caillou (accueillant beaucoup moins de véhicules que le parking République), est de loin celui qui semble le plus efficace pour la réduction des pointes de pollution. Par contre, c'est aussi le plus consommateur en ce qui concerne la durée de ventilation. Sa mise en application dans des parkings de forte fréquentation ne semble donc pas réaliste.

Les scénarios 2 et 4 sont efficaces sur le parking à forte fréquentation (République) pour les oxydes d'azote tant en été qu'en hiver. Ils ne le sont pas, voire contribuent à l'augmentation des concentrations, sur le parking résidentiel (Gros caillou).

Le scénario 3 qui n'a pas pu être testé sur le parking Gros caillou, est très efficace sur le parking République en hiver. Il l'est beaucoup moins en été sur ce même parking. La surconsommation d'énergie liée à l'augmentation des temps de ventilation demeure assez importante. Toutefois, des améliorations importantes peuvent être apportées à ce scénario. En effet, le choix d'un seuil basé sur la concentration moyenne de la dernière ½ heure de mesure ne permet pas de déclencher suffisamment rapidement la ventilation. La concentration de NO est déjà trop élevée et demande donc un temps de ventilation plus important pour atteindre le seuil de 400µg.m<sup>-3</sup>. Il semble donc intéressant de tester à nouveau ce scénario afin de vérifier que les temps de renouvellement d'air peuvent être diminués si l'on asservie directement la ventilation à la mesure du NO.

Ces différents points mettent bien en évidence que les mêmes scénarios ne pourront être appliqués selon le type de parking et la saison.

D'autres paramètres tels que l'aménagement des parkings, permettant une meilleure circulation des courants d'air et de diminuer la distance moyenne parcourue par les véhicules, pourraient contribuer aussi à réduire les concentrations de polluants dans les parkings.

1 - Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts - Etat des lieux dans 25 parcs de l'agglomération lyonnaise - Mesures réalisées en 2008-2009 - Publié en mai 2010.  
2 - Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts - Etude détaillée dans le parc République à Lyon - Mesures réalisées en 2009-2010 - Publié en mars 2011.  
3 - Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts - Etude de la qualité de l'air dans les locaux d'exploitation. - Mesures réalisées en 2010 - 2011 - Publié en novembre 2011.- Mesures réalisées en 2008-2009 - Publié en mai 2010.

## Table des figures

Figure 1 : Analyseurs en continu. _____	10
Figure 2 : Tube à diffusion passive. _____	10
Figure 3 : Fréquentation moyenne dans les parcs _____	12
Figure 4 : Températures extérieures _____	13
Figure 5 : Températures moyennes dans chaque étage des parcs _____	13
Figure 6 : Concentrations en NO <sub>2</sub> , NO et Ozone à l'extérieur des parkings _____	14
Figure 7 : Moyenne des mesures effectuées au niveau -2 en fonction du scénario. ____	15
Figure 8 : Moyenne des mesures hebdomadaires par étage en fonction du scénario. ____	16
Figure 9 : Apports respectifs des scénarios testés sur les concentrations de polluants par rapport au scénario 1. _____	16
Figure 10 : Apports respectifs des scénarios testés sur les concentrations de polluants par étages par rapport au scénario 1. _____	17
Figure 11 : Pourcentage de temps de dépassement des valeurs seuil recommandées par l'ANSES. _____	18
Figure 12 : Cumul de la durée de fonctionnement de la ventilation par parkings. ____	20
Figure 13 : Temps de ventilation selon les différents scénarios par étages. _____	21
Figure 14 : Influence du délai de déclenchement de la ventilation. _____	21
Figure 15: Données du 1er au 8/3/2011 relevées lors des tests du matériel en fonctionnement normal du parking. _____	23
Figure 16 : Nombre de passages moyen, minimum et maximum par jour en 2008 ____	28
Tableau 1 : Description des parkings.....	9
Tableau 2 : Description des scénarios de ventilation. ....	9
Tableau 3 : Déroulement des campagnes de mesures. ....	11
Tableau 4 : Températures dans les parkings et à l'extérieur en fonction de la saison.....	14
Tableau 5 : L'importance de la saison sur les scénarios. ....	19
Tableau 6 : Récapitulatif des résultats des scénarios testés.....	24
Tableau 7 : Calcul théorique des temps de ventilation. ....	31

# 1. Introduction

COPARLY, en collaboration avec Lyon Parc Auto, exploitant de nombreux parcs de stationnement publics de l'agglomération lyonnaise, a lancé un programme d'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts de cette agglomération. Ce programme, prévu sur une durée de 3 ans, comporte 4 volets de mesure :

1. Un état des lieux de la qualité de l'air sur 25 parcs<sup>2</sup>.
2. L'étude approfondie d'un parking témoin et de son environnement extérieur<sup>3</sup>.
3. L'étude de différents scénarios de ventilation afin d'améliorer la qualité de l'air dans les parkings.
4. Le suivi de la qualité de l'air dans les locaux d'exploitation des parkings<sup>4</sup>.

Les résultats des deux premiers volets d'étude ont permis d'améliorer les connaissances sur les niveaux de pollution dans les parcs et de situer la qualité de l'air vis-à-vis des recommandations proposées par l'ANSES<sup>5</sup>.

Les différents points suivants ont été mis en évidence :

- La réalisation de 4 campagnes dans l'année a montré que les concentrations observées sont variables entre les saisons, elles suivent de manière générale la même tendance dans les parcs étudiés.
- Compte tenu du caractère confiné des parcs de stationnement couverts et de leur activité, les concentrations moyennes dans les parcs sont supérieures à celles mesurées par les stations de surveillance de qualité de l'air en bordure de voiries, pour le benzène tout particulièrement.
- Les concentrations de NO<sub>2</sub> dans les parcs souterrains sont en grande partie expliquées par la fréquentation du parc, même si des variations peuvent apparaître en lien avec la température et les apports d'ozone par l'extérieur, ainsi que les différents systèmes de ventilation.
- Les concentrations de benzène semblent surtout influencées par le phénomène d'évaporation depuis les véhicules en stationnement, elles sont en effet nettement corrélées à la température d'une campagne à l'autre.

Ces deux derniers points soulignent qu'une gestion de la qualité de l'air fondée uniquement sur les pics de fréquentation peut se révéler insuffisante pour une gestion complète où des phénomènes d'évaporation des carburants depuis les véhicules en stationnement et des réactions chimiques depuis les polluants primaires interviennent.

Afin de mieux situer ces niveaux dans leur contexte spécifique, celui des parcs de stationnement, une comparaison aux valeurs cibles préconisées par l'ANSES en 2007 a été effectuée. Une seule valeur cible pour l'utilisateur est dépassée dans certains parcs souterrains, il s'agit d'un excès d'exposition pour le NO<sub>2</sub>. En revanche, de nombreux points de mesure dans les niveaux de circulation et les locaux d'exploitation dépassent les différentes valeurs cibles pour le travailleur proposées par l'ANSES.

---

<sup>2</sup> Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts - Etat des lieux dans 25 parcs de l'agglomération lyonnaise - Mesures réalisées en 2008-2009 - Publié en mai 2010.

<sup>3</sup> Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts - Etude détaillée dans le parc République à Lyon - Mesures réalisées en 2009-2010 - Publié en mars 2011.

<sup>4</sup> Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts - Etude de la qualité de l'air dans les locaux d'exploitation. - Mesures réalisées en 2010 - 2011 - Publié en novembre 2011.- Mesures réalisées en 2008-2009 - Publié en mai 2010.

<sup>5</sup> ANSES : Agence National de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'environnement et du Travail.



Suite à ces deux premières phases, Lyon Parc Auto et COPARLY ont décidé de poursuivre leurs investigations en réalisant les deux phases suivantes de leur programme d'action, à savoir :

1. L'étude de différents scénarios de ventilation afin d'estimer l'apport de chacun d'entre eux à une meilleure qualité de l'air dans le parking.
2. Le suivi de la qualité de l'air dans les cabines des parkings.

Le présent rapport présente les résultats et conclusions de l'étude visant à tester les différents scénarios de ventilation. Le dernier volet, suivi de la qualité de l'air dans les cabines, bien que réalisé simultanément à cette étude, fera l'objet d'un autre rapport.

## 2. Eléments méthodologiques :

### 2.1. Choix des parkings :

Afin d'avoir une vision aussi exhaustive que possible, les mesures ont été réalisées sur les 2 principales configurations de parkings :

- Parcs à forte fréquentation (type Gare Part-Dieu ou République).
- Parc à faible fréquentation mais fort taux d'occupation et concentration de benzène élevée (type Gros Caillou).

La problématique concernant les parkings couverts aériens, beaucoup plus ventilés de façon naturelle, est totalement différente et n'est donc pas abordée dans cette étude.

### 2.2. Pistes de travail pour les scénarios de ventilation :

Les différents scénarios testés au cours de cette étude sont basés sur la modification des seuils de déclenchement et d'arrêt de la ventilation des niveaux circulés par les véhicules, tant en terme de durée de ventilation que de polluant "déclencheur".

Les recommandations de l'ANSES préconisent de ne plus utiliser le monoxyde de carbone (CO) comme indicateur pour le déclenchement des systèmes de ventilation. En effet, les émissions de monoxyde de carbone par les véhicules ont largement diminué avec l'évolution du parc automobile français. Actuellement, il n'est plus représentatif de la circulation.

### 2.3. Polluants retenus :

L'ANSES suggère d'utiliser soit le monoxyde d'azote, soit le dioxyde d'azote comme élément indicateur. Les scénarios mis en place devront donc comparer l'efficacité de ces nouveaux indicateurs par rapport au CO.

### 2.4. Résultats attendus :

Trois objectifs sont retenus pour cette étude :

- Comparaison des différentes options de ventilation et de leur efficacité
- Gain obtenu sur les concentrations de polluants (sur les pointes, sur la moyenne), sur le dépassement des valeurs cibles.
- Estimation si possible de la consommation énergétique (temps de ventilation) des différents scénarios testés.

## 3. Méthodologie

### 3.1. Les parkings :

Les parkings retenus sont les suivants :

Parking	République	Gros Caillou
Nombre de places	782	468
Nombre moyen de passages	De 400 à 2500	De 100 à 700
Population concernée	Passage	Résidentielle
Type de stationnement	Circulation interne et rotation des stationnements importantes.	Circulation faible mais temps de stationnement important
Nombre d'étages	7 (souterrains)	4 (souterrains)
Polluant majoritaire	NO <sub>2</sub>	Benzène

**Tableau 1 : Description des parkings.**

### 3.2. Scénarios retenus :

#### Description des scénarios<sup>6</sup> :

<p><b>Scénario 1</b> Ventilation automatique avec déclenchement sur seuil de CO « instantané » : Déclenchement = 20 ppm CO - Arrêt = 15 ppm</p>	<p><b>SCENARIO de REFERENCE</b> Ce scénario correspond à la procédure réglementaire actuellement en vigueur. Il est appliqué actuellement dans tous les parcs de LPA.</p>
<p><b>Scénario 2</b> Fonctionnement séquentiel de la ventilation. journalière (voir annexe 2)</p>	<p>La ventilation fonctionne sur des intervalles de temps réguliers au cours de la journée. La durée théorique totale de fonctionnement est calculée en fonction de la fréquentation du parking.</p>
<p><b>Scénario 3</b> Fonctionnement de la ventilation asservie sur les concentrations de NO. Déclenchement à 800 µg.m<sup>-3</sup> de NO, arrêt à 600 µg.m<sup>-3</sup></p>	<p>Scénario calé sur les valeurs de gestion proposées par l'ANSES.</p>
<p><b>Scénario 4</b> Ventilation automatique avec déclenchement sur seuil de CO « instantané » : Déclenchement = 10 ppm CO – Arrêt = 5 ppm CO</p>	<p>Scénario automatique maximum atteignable avec le système de gestion actuel.</p>
<p><b>Scénario 5</b> Déclenchement manuel de la ventilation le soir et arrêt le matin.</p>	<p>Ce scénario non prévu au départ a été testé sur le parking Gros caillou en été. Il correspond à environ 17 heures de fonctionnement par jour.</p>

**Tableau 2 : Description des scénarios de ventilation.**

<sup>6</sup> Afin de respecter la réglementation actuelle basée sur un déclenchement de la ventilation sur la teneur en CO, pour chaque scénario étudié, la procédure réglementaire a été conservée. On peut toutefois noter qu'elle n'a jamais été à l'origine d'un déclenchement de la ventilation lorsqu'un autre paramètre était testé, ce dernier anticipant le déclenchement.

### 3.3. La mesure des polluants :

Chaque parking a été équipé d'une station de mesure de la pollution en continu permettant d'obtenir des données de concentration quart-horaires pour le NO<sub>2</sub>, le NO, le benzène. Cette installation a été mise en place au niveau -2 des parkings afin d'éviter l'influence directe des entrées et sorties des véhicules au niveau d'accès (niveau -1).



**Figure 1 : Analyseurs en continu.**

Chaque étage des parkings a été équipé d'un point de mesure équipé de tubes à diffusion passive permettant une mesure moyenne des concentrations en dioxyde d'azote et benzène sur les 7 jours correspondants aux différents scénarios de ventilation étudiés.

Cette méthode indicative<sup>7</sup> fournit des concentrations moyennes sur une semaine plutôt que des données horaires mais présente l'avantage d'être moins onéreuse et de pouvoir multiplier les points de mesure.



**Figure 2 : Tube à diffusion passive.**

<sup>7</sup> L'incertitude de mesures est plus importante avec les tubes à diffusion passive comparativement à la méthode de référence que sont les analyseurs automatiques. Une comparaison entre les deux méthodes de mesures a été présentée dans un rapport précédent.

### 3.4. Les campagnes de mesures :

Les tableaux suivants présentent les périodes de mesures pour chaque parking ainsi que les faits marquants relevés lors de ces campagnes. Les couleurs choisies pour les scénarios sont celles qui seront utilisées dans les différents graphiques.

Les faits marquants, susceptible d'influencer la mesure des polluants, sont mentionnés pour chaque campagne de mesures.

Parking République		Parking Gros caillou	
Hiver	Eté	Hiver	Eté
du 31/01/11 au 8/02/11	Du 24/05/11 au 31/05/11	Du 8/03/11 au 15/03/11	Du 28/06/11 au 5/07/11
Scénario 1 de référence	Scénario 1 de référence	Scénario 1 (annulé)	Scénario 1 de référence
Travaux de peinture		Vacances scolaires (fréquentation de -20 à -30%)	
du 8/02/11 au 15/02/11	Du 31/05/11 au 07/06/11	Du 15/03/11 Au 22/03/11	Du 5/07/11 au 12/07/11
Scénario 2	Scénario 2	Scénario 1 de référence	Scénario 2
Travaux de peinture Lundi oubli déclenchement manuel	Ascension		
Du 15/02/11 au 22/02/11	Du 7/06/11 au 14/06/11	Du 22/03/11 au 29/03/11	Du 12/07/11 au 19/07/11
Scénario 3	Scénario 3	Scénario 2	Scénario 4
Panne déclenchement auto le samedi et dimanche - Déclenchement manuel	Pentecôte		
Du 22/02/11 au 1/03/11	Du 16/06/11 au 21/06/11	Du 29/03/11 au 5/04/11	Du 19/07/11 au 26/07/11
Scénario 4	Scénario 4	Scénario 4	Scénario 5
Grande ventilation mise sur plusieurs niveaux le matin à cause du nettoyage.	Début le jeudi seulement	Pic de fréquentation le Samedi 2/4	

**Tableau 3 : Déroulement des campagnes de mesures.**

## 4. Résultats

### 4.1. Bilan des campagnes

#### 1.1.1 Bilan technique

Plusieurs dysfonctionnements sont à relever au cours des différents. Ils sont rappelés en annexe 4.

#### 1.1.2 Contexte des campagnes

Plusieurs éléments peuvent *a priori* avoir une influence sur les niveaux mesurés. La température à l'extérieur et à l'intérieur des parkings, les niveaux de pollution relevés à l'extérieur et la fréquentation des parcs sont les trois facteurs qui semblent les plus influents. Ces trois paramètres sont présentés dans les graphiques suivants.

#### La fréquentation :

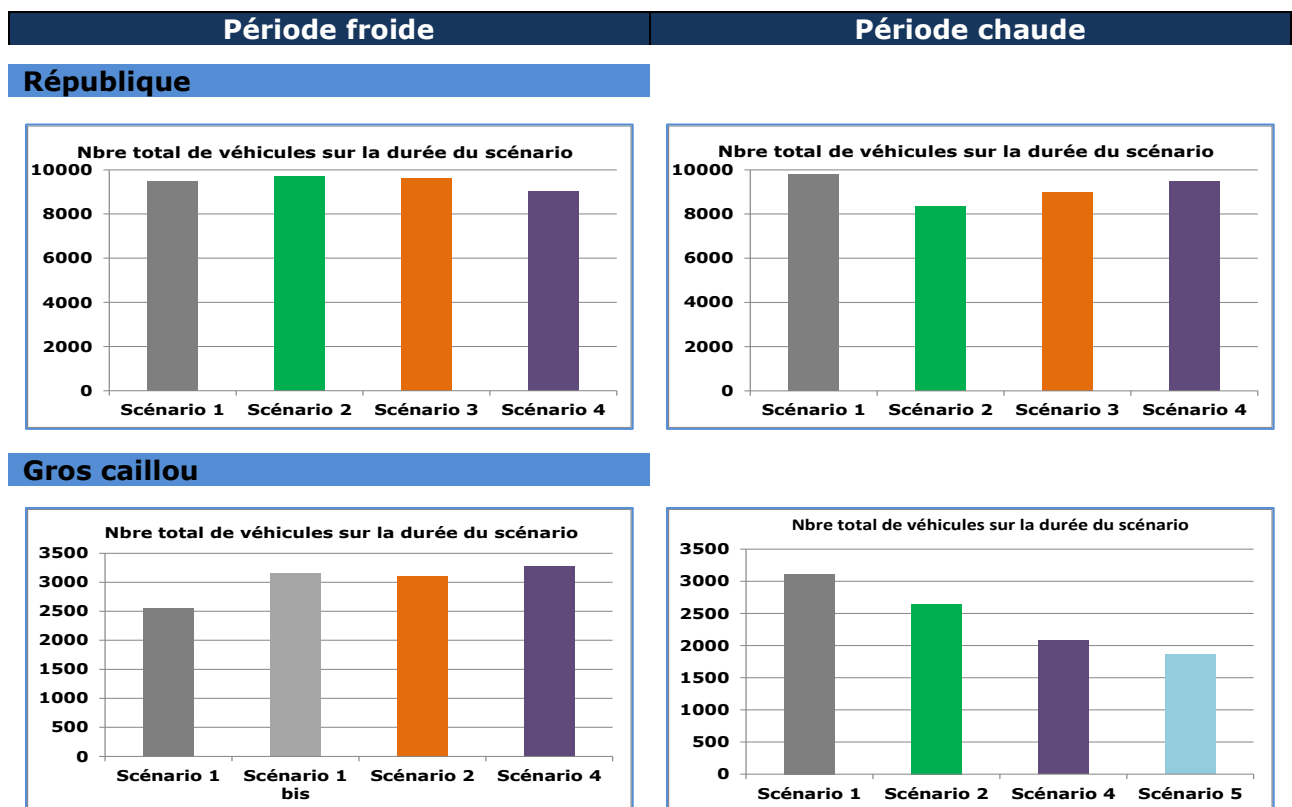


Figure 3 Fréquentation moyenne (en véhicules) dans les parcs lors de chaque campagne

#### Parking République :

En hiver, on observe une variation de fréquentation peu importante (inférieure à 5%) lors des différents scénarios. En été, le scénario n°2 présente une fréquentation moindre (-17%). Une comparaison des différents résultats (avec et sans correction liée à la fréquentation et présentée en annexe 4).

#### Parking Gros caillou :

La fréquentation est assez homogène lors de l'ensemble des scénarios de la phase hivernale (variation inférieure à 5% sauf pour le scénario 1 qui a été remplacé par le 1 bis). Par contre, on observe une décroissance marquée du nombre de passages au cours des campagnes estivales réalisées au mois de

juillet (diminution progressive de près de 40% entre la première semaine et la quatrième semaine). Une comparaison des différents résultats (avec et sans correction liée à la fréquentation et présentée en annexe 4).

### La température extérieures :

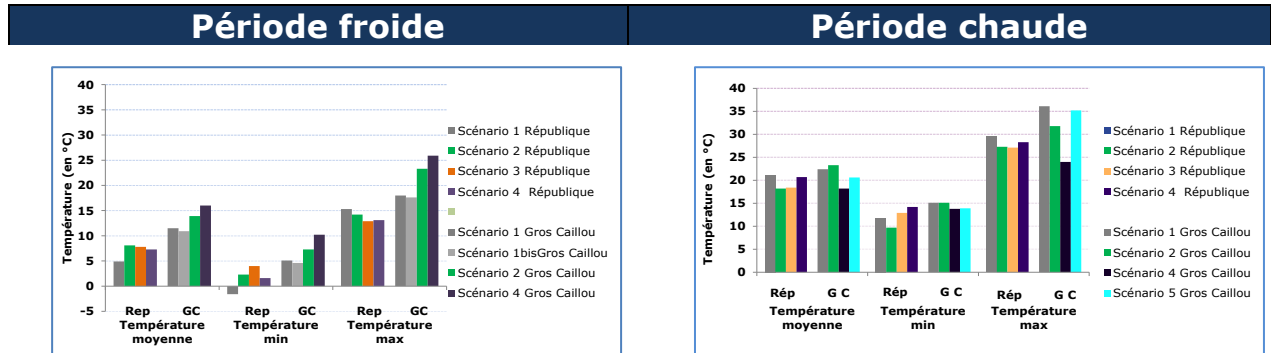


Figure 4 Températures extérieures (°C) lors de chaque campagne

Selon le scénario l'écart des moyennes de températures hiver/été est très variable. On peut noter une période très froide lors du scénario 1 au parking République. Les écarts de température hiver / été sont assez marqués (jusqu'à 16°C), sauf pour le scénario 3 du parking gros caillou où l'écart est seulement de 4°C.

### La température dans les parkings :

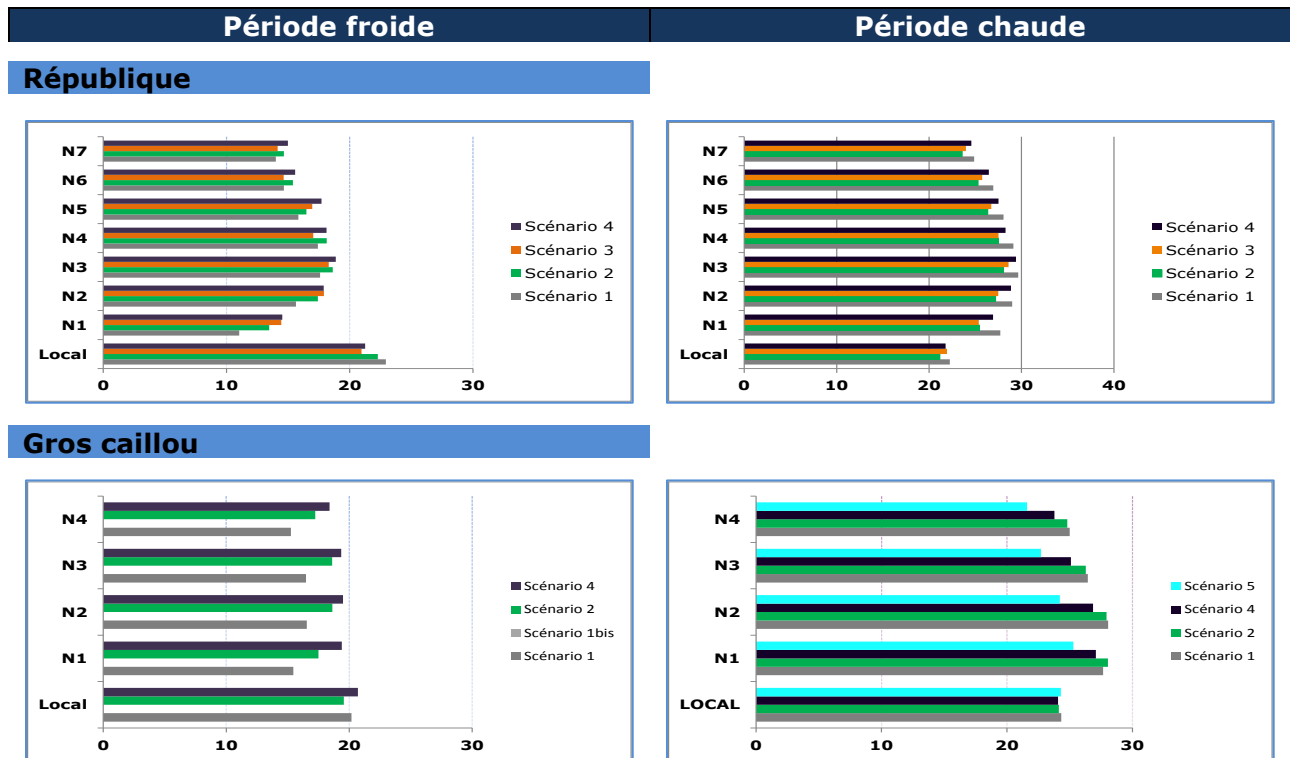


Figure 5 Températures moyennes (°C) dans chaque étage des parcs lors de chaque campagne

Les écarts de température entre les différents niveaux sont relativement peu importants. Pour les deux parkings, les niveaux les plus bas sont ceux pour lesquels la température moyenne est la moins élevée.

On peut noter l'effet "tampon" des parkings souterrains qui conservent une température moyenne assez élevée tant en hiver qu'en été.

En °C	Extérieur	République	Extérieur	Gros caillou
Hiver	7	16,1	13,1	17,7
Eté	19,6	27,0	21,1	25,7

**Tableau 4 : Températures (°C) dans les parkings et à l'extérieur en fonction de la saison.**

Plusieurs paramètres peuvent expliquer ce phénomène :

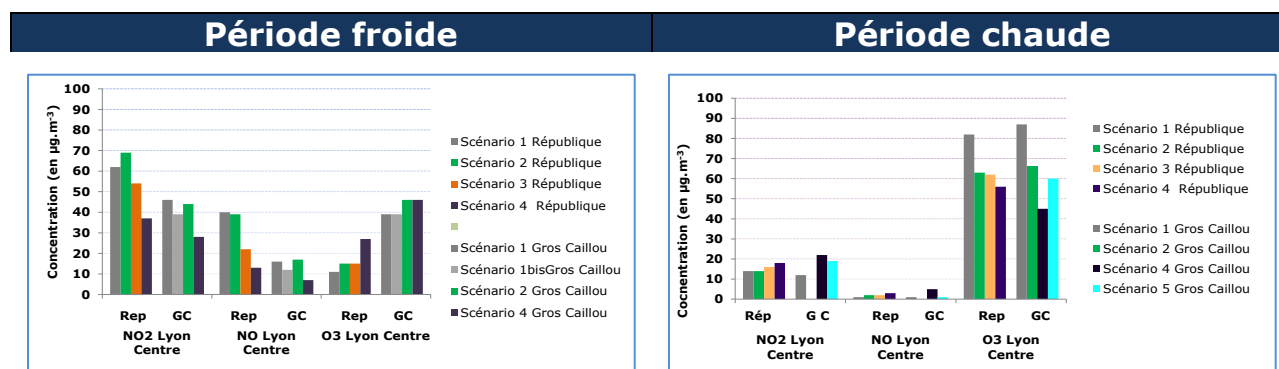
- Les murs ainsi que les sols entourant les parkings réagissent moins vite aux changements de température.
- La chaleur des moteurs des véhicules qui refroidissent lors du stationnement.

Par contre, ce phénomène est minoré, par l'insufflation d'air, toujours plus frais d'après les moyennes observées, provenant de l'extérieur.

Comme mentionné dans le rapport concernant l'étude dans 25 parkings, ce sont surtout les concentrations de benzène qui pourraient être influencées par les écarts de température (plus ou moins d'évaporation). Toutefois, ce risque reste limité et les résultats des tests de ventilation ne devraient pas être trop impactés.

### La concentration des polluants à l'extérieur des parkings :

Les concentrations de polluants relevées à l'extérieur peuvent avoir un impact important sur la qualité de l'air à l'intérieur des parkings essentiellement par le fait que l'air utilisé pour l'aération des parkings provient de l'extérieur.



**Figure 6 : Concentrations en NO<sub>2</sub>, NO et Ozone à l'extérieur des parkings lors de chaque campagne**

Les concentrations de NO<sub>2</sub> et de NO sont plus importantes en hiver. Tandis que les niveaux d'ozone sont nettement plus élevés en été. Ce constat correspond bien à ce qu'on relève habituellement sur l'ensemble de nos stations de surveillance. Ces écarts devraient donc se ressentir sur les mesures effectuées dans les différents niveaux des parkings.

## 4.2. Les mesures

Pour chaque parking et chaque étage, les résultats de ces mesures sont présentés dans les graphiques suivants :

### 4.2.1 Moyennes des concentrations au niveau -2 (mesures en continu)

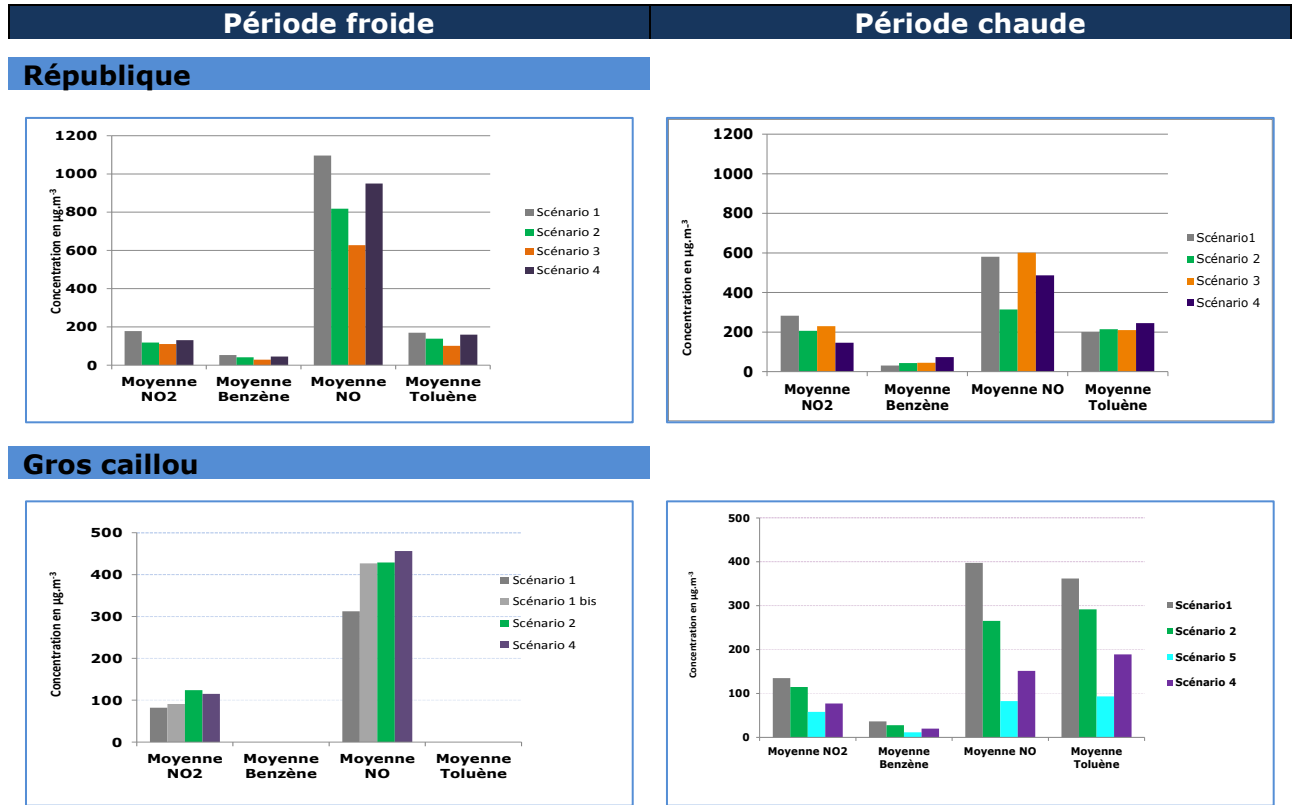
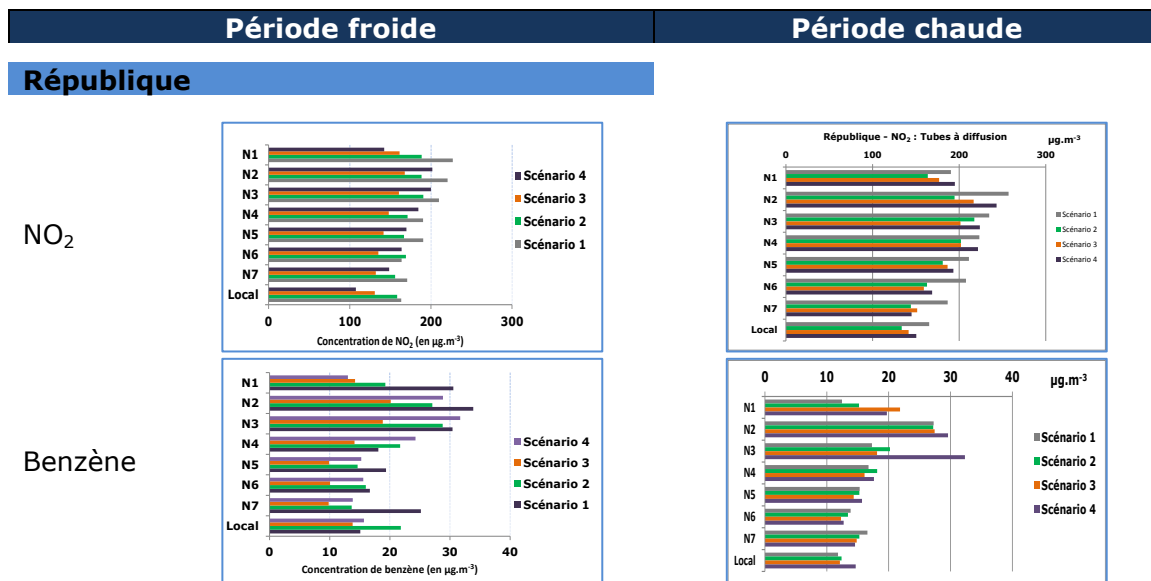


Figure 7 : Moyenne des mesures effectuées en continu au niveau -2 en fonction du scénario mis en place.

### 4.2.2 Moyennes hebdomadaires par niveaux (tubes passifs) :





## Gros caillou

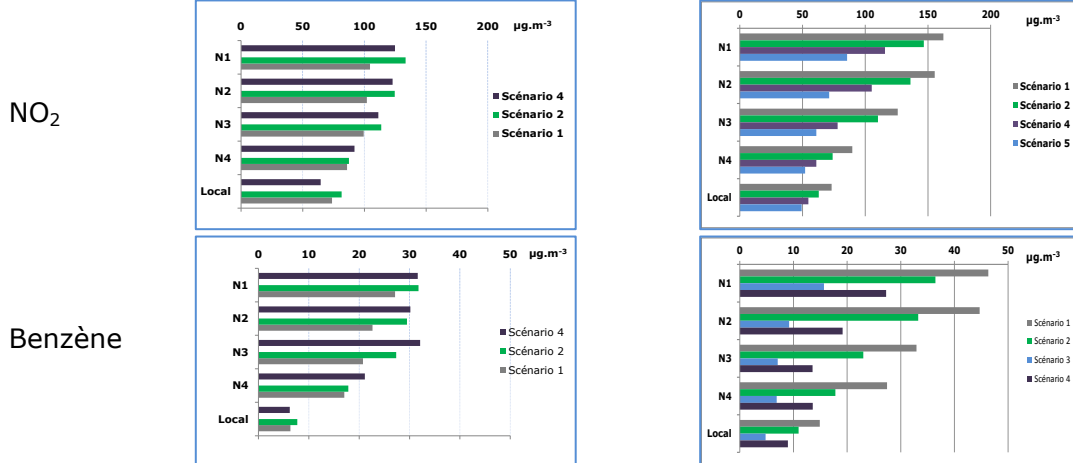


Figure 8 : Moyenne des mesures hebdomadaires par étage en fonction du scénario mis en place.

### 4.2.3 Variation des concentrations en fonction des scénarios au niveau -2 (mesures en continu) :

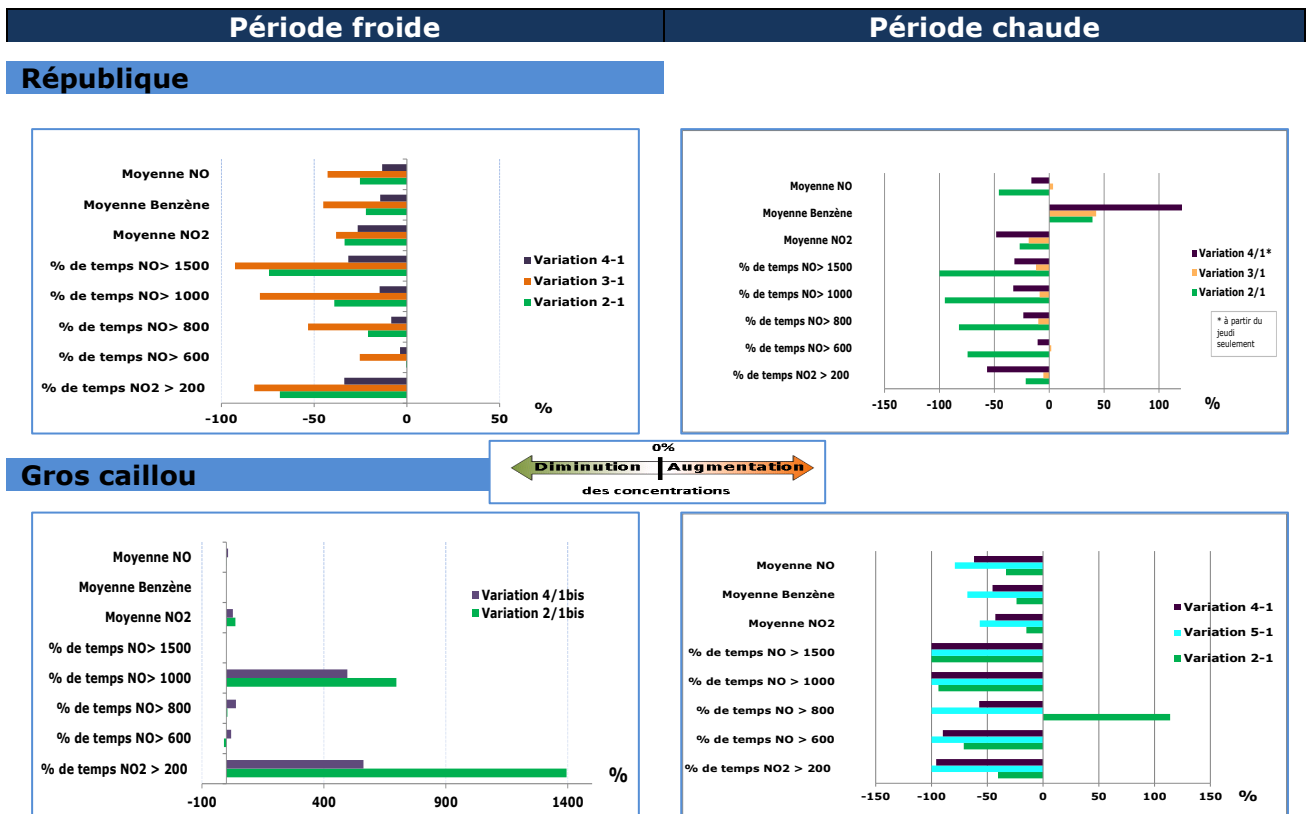


Figure 9 : Apports respectifs des scénarios testés sur les concentrations de polluants par rapport au scénario 1.

(Attention : les échelles sont différentes)

#### 4.2.4 Variation des concentrations en fonction des scénarios par étages (tubes passifs) :

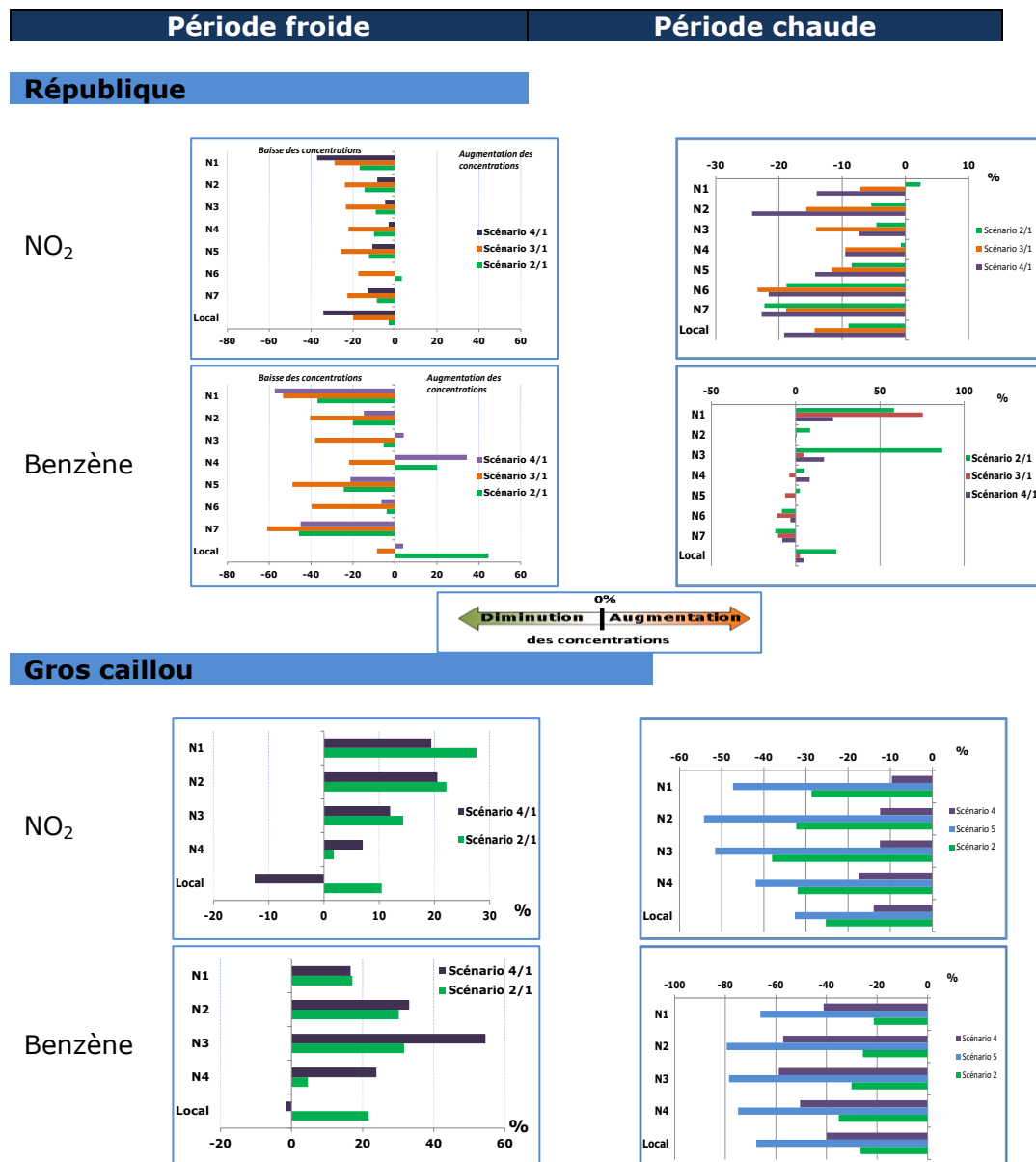


Figure 10 : Apports respectifs des scénarios testés sur les concentrations de polluants par étages par rapport au scénario 1.

#### 4.2.5 Comparaison aux valeurs de références de l'ANSES :

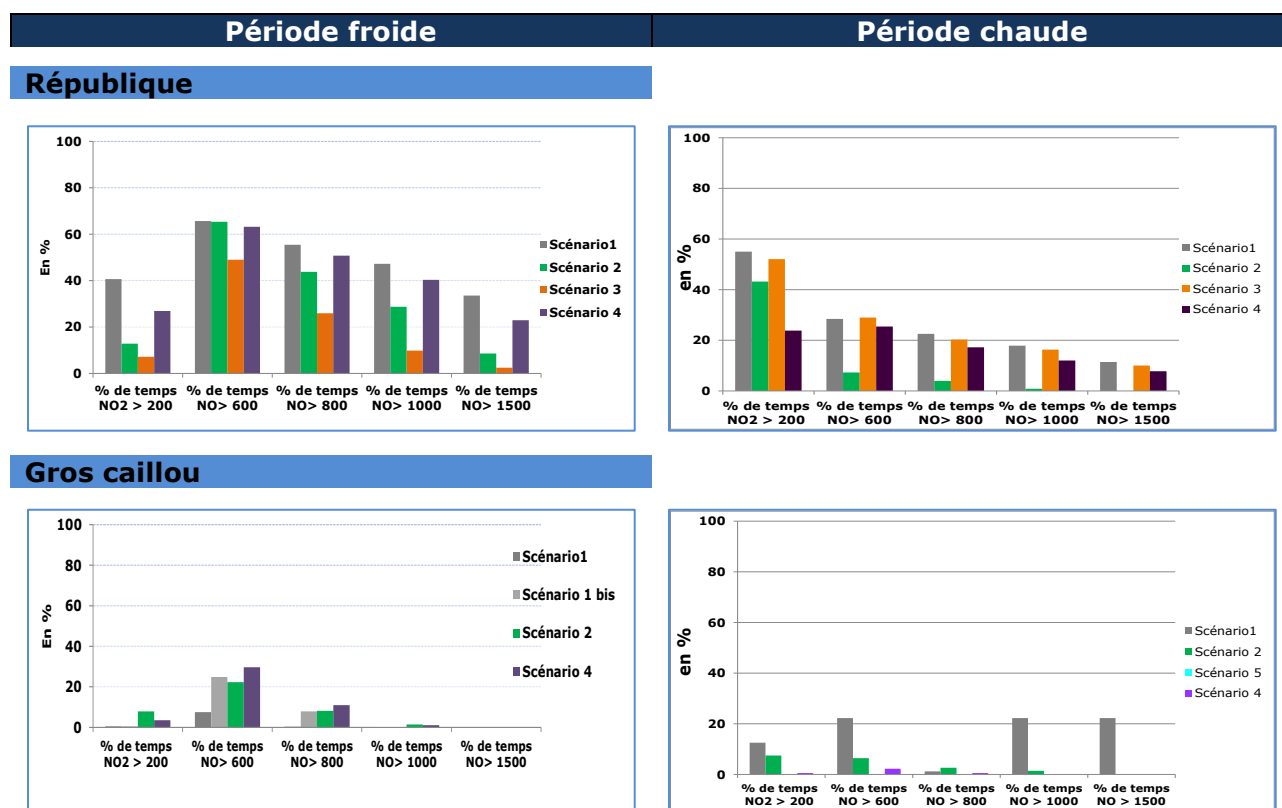


Figure 11 : Pourcentage de temps de dépassement des valeurs seuil recommandées par l'ANSES.

#### 4.2.6 Récapitulatif des mesures :

Un tableau récapitulatif de l'ensemble des mesures est présenté en annexe 5.

##### Parking République :

- Selon le scénario et la saison, on observe des variations assez diverses. A titre d'exemple, le scénario n°3, très efficaces en hiver, l'est beaucoup moins en été.
- En période estivale, il semble beaucoup plus difficile d'obtenir une amélioration pour le benzène. En effet, alors que les scénarios 2 et 4 sont efficaces pour les oxydes d'azote, on observe une augmentation des concentrations de benzène lorsqu'on applique ces scénarios.
- La comparaison des résultats en fonction de la fréquentation (annexe 3) ne met pas en évidence de différence notable sur les résultats obtenus.

## Parking Gros caillou

Rappel : La période de référence pour la saison hivernale est basée sur le scénario 1bis.

En hiver :

- En hiver, le scénario 1 de référence est celui qui présente la meilleure efficacité. Les autres scénarios contribuent à une augmentation des concentrations.

En été :

- Le scénario n°5 (fonctionnement de la ventilation toute la nuit) contribue fortement à la diminution des concentrations de l'ensemble des polluants étudiés. Cette diminution est vérifiée sur l'ensemble des niveaux constituant le parking ainsi qu'en ce qui concerne les périodes de dépassement des valeurs seuils déterminées par l'ANSES (aucun dépassement lors de la mise en place de ce scénario).
- Sur la même période, le scénario n°4, bien que moins efficace que le n°5, peut contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air dans les parkings. Par contre, son action reste limitée pour réduire les périodes de dépassement du seuil de 800  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour le NO. Il n'est pas du tout efficace en période hivernale.
- La comparaison des résultats en fonction de la fréquentation (annexe 3) ne met pas en évidence de différence notable sur les résultats obtenus.

Lors de cette étude, nous avons investigué deux types de parkings de typologie différente (résidentiel et passage). L'ensemble des résultats montre bien que les scénarios à mettre en place pour diminuer les périodes de dépassement des valeurs repères préconisées par l'ANSES sont différents selon la typologie du parking.

De même, la période (chaude ou froide) est un paramètre important à prendre en compte. Le tableau ci-dessous présente les variations relatives au scénario 3 testé au parking République pour les deux saisons.

République	Hiver	Eté
% de temps NO <sub>2</sub> > 200	-82,4	7,9
% de temps NO > 600	-25,4	25,0
% de temps NO > 800	-53,3	0,8
% de temps NO > 1000	-79,3	2,9
% de temps NO > 1500	-92,7	3,0
Moyenne NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	-38,2	-10,6
Moyenne Benzène ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	-45,1	57,0
Moyenne NO ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	-42,8	13,8
Moyenne Toluène ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	-40,5	15,5

**Tableau 5 : L'importance de la saison sur les scénarios (%).**

En hiver, pour chaque paramètre, on constate une amélioration de la qualité de l'air. En été, la tendance s'inverse et l'application du scénario entraîne une dégradation.

Une conduite différente des installations de ventilation est peut-être à envisager en fonction de la saison. Plusieurs paramètres peuvent expliquer cet aspect :

- Le NO est un polluant qui peut réagir avec d'autres polluants par photochimie. L'intensité lumineuse étant plus élevée en été, celui-ci réagit donc de façon différente.
- Les émissions de NO par les véhicules est certainement différente en été et en hiver en raison de la température des moteurs au démarrage.
- Les concentrations de NO dans l'environnement extérieur sont nettement plus importantes en hiver qu'en été (§ 4.1.2). Ce rapport est inversé pour le NO<sub>2</sub>.

### 4.3. Les temps de fonctionnement de la ventilation :

Le fonctionnement du système d'extraction et d'insufflation d'air est très consommateur en énergie électrique. Il est donc important de vérifier que l'augmentation des durées d'utilisation de la ventilation n'entraîne pas un surcoût tant économique qu'environnemental, trop important.

Les graphiques suivants présentent les temps d'utilisation du système de ventilation. Afin de simplifier leur lecture, nous avons cumulé les durées liées à l'extraction et à l'insufflation d'air.

#### 4.3.1 Pour l'ensemble du parking :

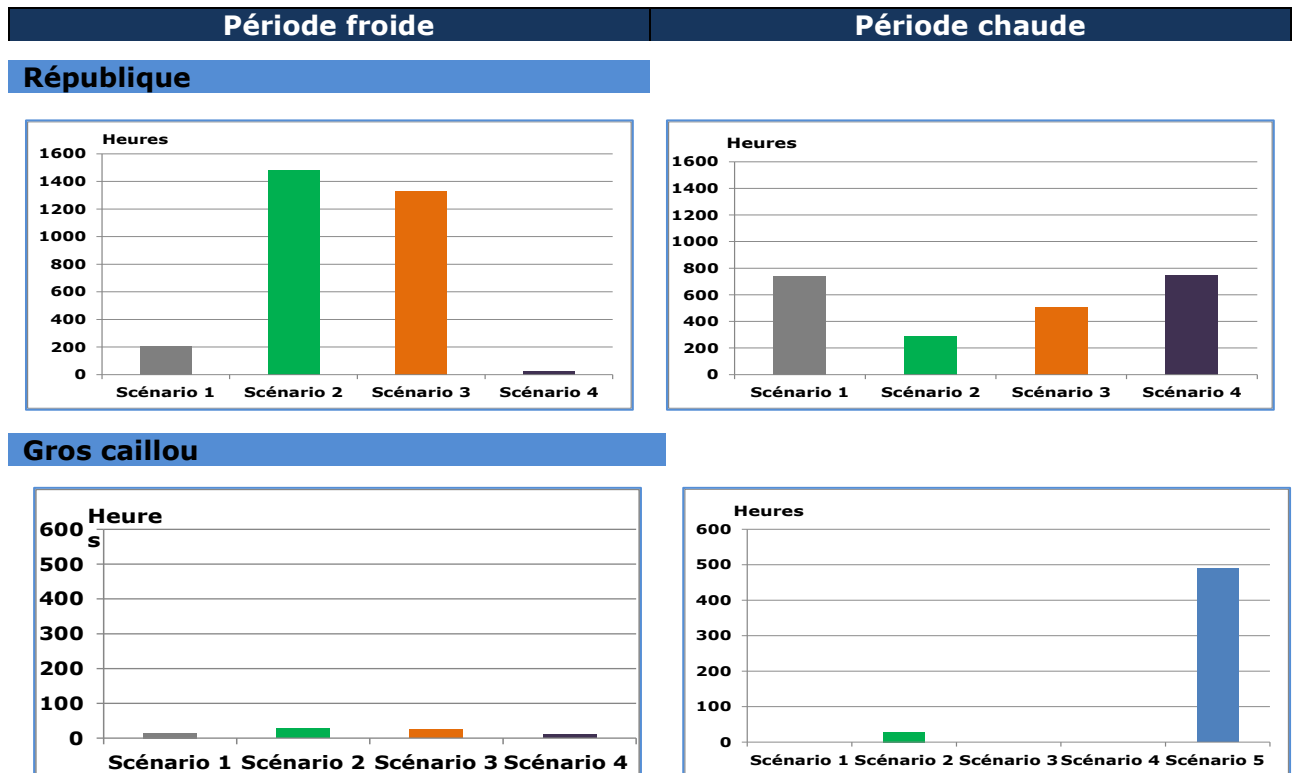
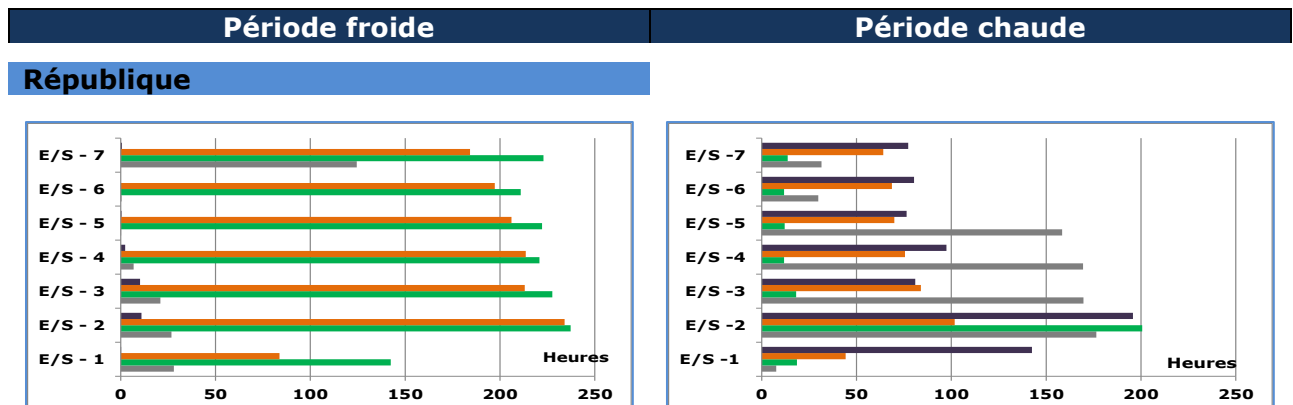


Figure 12 : Cumul de la durée de fonctionnement de la ventilation par parkings.

#### 4.3.2 Par étages :



## Gros caillou

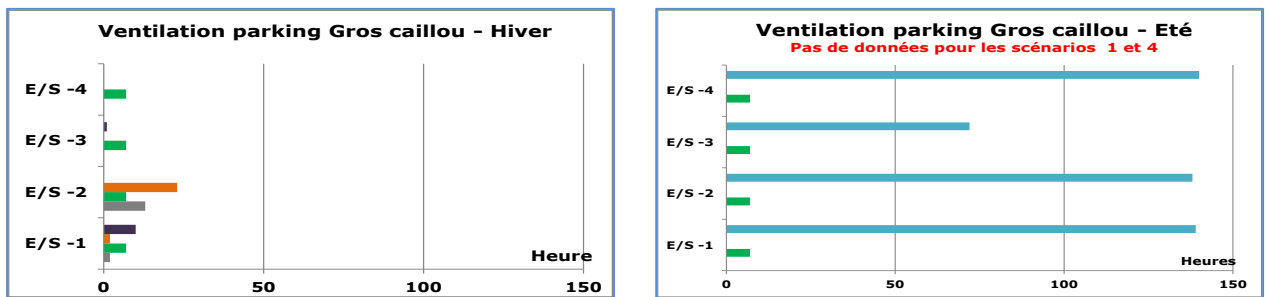


Figure 13 : Temps de ventilation selon les différents scénarios (E/S : extraction + soufflerie) par étages.

Les données relatives au parking Gros caillou sont incomplètes :

- Absence de données pour les scénarios 1 et 4 en période estivale.
- Uniquement 4 jours (Mardi, mercredi, jeudi, vendredi) pour le scénario 5 en période estivale.
- Données estimées pour les scénarios 1 et 2 en période hivernale.

Selon le scénario testé, les durées de fonctionnement de la ventilation sont très variables. Le maximum est atteint par le scénario n°5 testé dans le parking Gros caillou. Un compromis devra donc être trouvé afin de rendre compatibles les deux paramètres que sont temps de ventilation (consommation d'énergie) et amélioration de la qualité de l'air.

### 4.4. Parking république : piste d'amélioration du scénario n° 3 :

L'exemple suivant est extrait des résultats obtenus lors de la mise en place du scénario n° 3 en période froide au parking République :

Ce scénario prévoit un déclenchement de la ventilation lorsque la concentration de NO sur ½ heure est supérieure à  $800 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  et un arrêt lorsque la concentration sur ½ h est inférieure à  $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Le graphique ci-dessous présente les concentrations de NO mesurées ((bleu : valeur quart horaire, vert : moyenne sur ½ heure) ainsi que les périodes de fonctionnement de la ventilation (rouge).

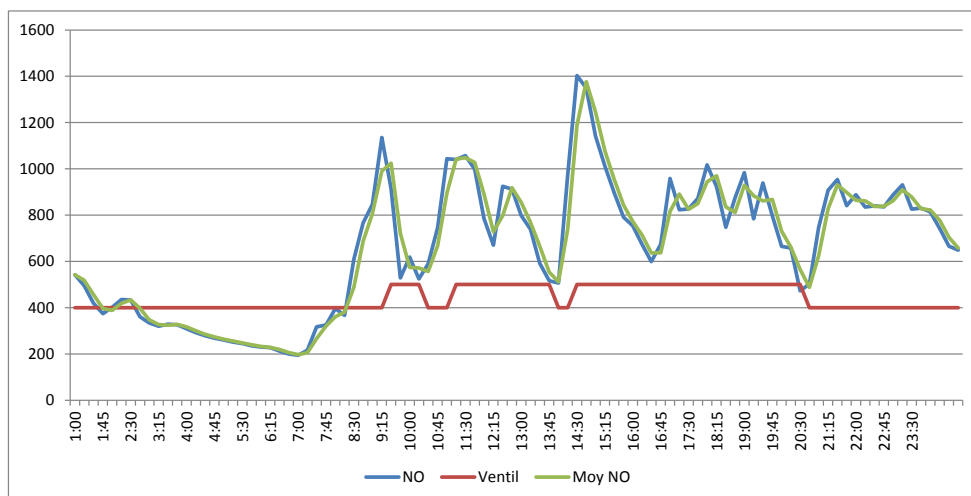


Figure 14 : Influence du délai de déclenchement de la ventilation.

L'appareil de mesure fournit l'information à la fin de chaque ¼ d'heure. Le calcul de la moyenne n'est donc disponible qu'à la fin du deuxième ¼ heure.

Si la moyenne sur ½ heure est supérieure à  $800 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , cela signifie que l'on dépasse cette valeur depuis un laps de temps compris entre 0 et 30 mn. Le déclenchement de la ventilation arrive donc avec ce retard auquel il faut rajouter le temps nécessaire pour que COPARLY avise LPA (10 mn environ).

Le même raisonnement peut être appliqué pour l'arrêt de la ventilation.

La courbe ci-dessus montre bien ce retard. Si l'on prend le premier dépassement de la journée :

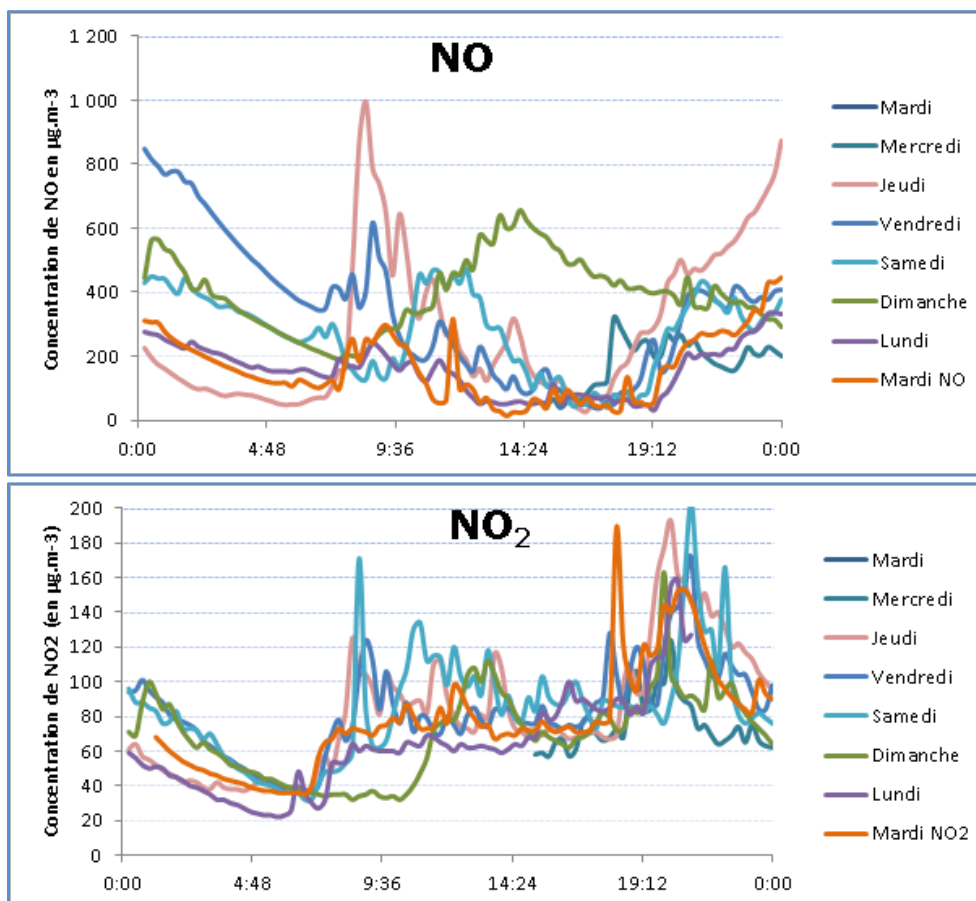
- Le déclenchement de la ventilation a eu lieu entre 9h et 9h15 alors que le dépassement  $\text{NO} > 800 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a débuté entre 8h45 et 9h.
- Elle a été arrêtée entre 10h15 et 10h30 alors que les niveaux de NO étaient déjà en dessous de  $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  entre 9h45 et 10h.

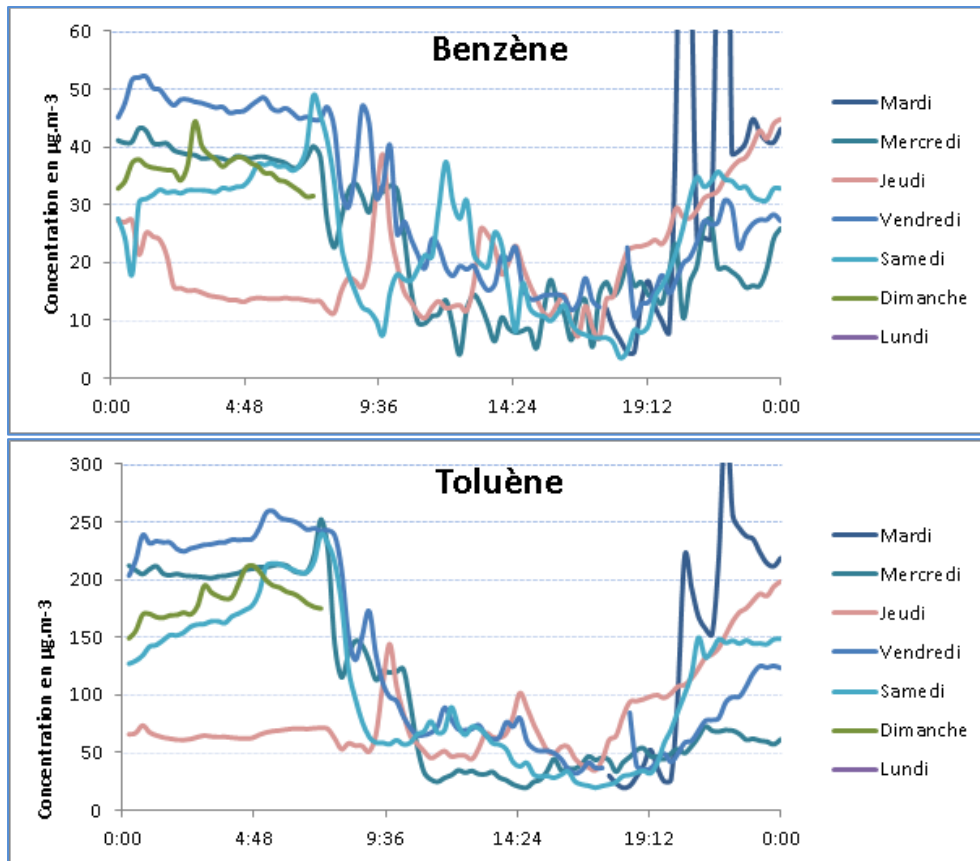
Il semble donc intéressant de poursuivre les essais sur ce test n°3 en prenant en compte ce constat. Un asservissement de la ventilation sur la valeur instantanée de la mesure pourrait apporter une amélioration.

#### 4.5. Le parking Gros caillou – parking de type résidentiel :

Dans ce parking de type résidentiel, le stationnement des véhicules est plus important durant la nuit. Les véhicules rentrent en fin de journée et stationnent toute la nuit.

Les courbes ci-dessous présentent l'évolution des concentrations des polluants au cours de la journée.





**Figure 15: Données du 1er au 8/3/2011 relevées lors des tests du matériel en fonctionnement normal du parking.**

Les concentrations de  $\text{NO}_2$  et de  $\text{NO}$  augmentent en soirée, lors de l'afflux des véhicules. Les concentrations de benzène et de toluène s'accroissent pendant la nuit certainement en liaison avec l'évaporation des réservoirs.

Plusieurs approches peuvent donc être proposées pour améliorer la qualité de l'air dans ce parking :

- Laisser le portail ouvert en continu (pour augmenter le renouvellement d'air (sans consommation d'énergie). A cette fin, il est possible de remplacer le portail plein qui équipe ce parking par une grille.
- Mettre la ventilation en soirée plutôt qu'en journée. En l'absence de personnel, un système automatisé pourrait permettre d'affiner les heures de démarrage et d'arrêt de la ventilation.

Le scénario n°5 qui a été testé en période chaude confirme bien cette approche.



## 5. Conclusion et perspectives

Les études précédentes ont mis en évidence la complexité des phénomènes intervenant dans la détermination des niveaux de polluants dans le parc. En tout état de cause, une diminution notable des épisodes de dépassement des valeurs seuils préconisées par l'ANSES ne pourra être obtenu qu'en augmentant notablement les temps de ventilation.

Les différents tests effectués lors de cette étude mettent bien en évidence cette nécessité. Les tableaux ci-dessous résument les constats que nous avons pu faire au cours des différents tests pour chacun des parkings. Les résultats du scénario testé sont comparés au scénario de référence (scénario 1 ou 1bis).

Parking République				
	Saison	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Variation des concentrations des polluants	Hiver	très efficace	très efficace	efficace
	Eté	Très efficace sur NOX Inefficace sur COV	effet inverse	Très efficace sur NOX Inefficace sur COV
Dépassements des seuils ANSES	Hiver	très efficace	très efficace	efficace
	Eté	très efficace	effet inverse	très efficace
Temps de ventilation	Hiver	Elevé	Elevé	Gain
	Eté	Gain	Elevé	Correcte (moins de 1% de variation)

Parking Gros caillou				
		Scénario 2	Scénario 4	Scénario 5
Variation des concentrations des polluants	Hiver	effet inverse	effet inverse	Non testé
	Eté	efficace	très efficace	très efficace
Dépassements des seuils ANSES	Hiver	effet inverse	effet inverse	Non testé
	Eté	très efficace (sauf NO > 800 µg.m <sup>-3</sup> )	très efficace	très efficace
Temps de ventilation (sous réserve des estimations faites)	Hiver	Elevé	Gain	Non testé
	Eté	Pas de données	Pas de données	Pas de données

**Tableau 6 : Récapitulatif des résultats des scénarios testés.**

Le scénario n°5, qui n'a été testé que dans le parking Gros caillou (accueillant beaucoup moins de véhicules que le parking République), est de loin celui qui semble le plus efficace pour la réduction des pointes de pollution. Par contre, c'est aussi le plus consommateur en ce qui concerne la durée de ventilation et ne semble donc pas applicable aux parkings de plus grande importance.

Les critères suivants ont été retenus :

Polluants et seuils ANSES	
<b>Effet inverse</b>	Détérioration
<b>Neutre</b>	Pas d'amélioration, ni de dégradation
<b>Efficace</b>	de 10% à 20% d'amélioration
<b>Très efficace</b>	Plus de 20% d'amélioration
	Amélioration sur un type de polluant uniquement

Temps de ventilation	
<b>Elevé</b>	Augmentation de plus de 20% de la durée de ventilation
<b>Correcte</b>	Augmentation de moins de 20% de la durée de ventilation
<b>Gain</b>	Diminution de la durée de ventilation

Les autres scénarios présentent une efficacité variable selon la saison.

Les scénarios 2 et 4 sont efficaces sur le parking à forte fréquentation (République) pour les oxydes d'azote tant en été qu'en hiver. Ils ne le sont, voire contribuent à l'augmentation des concentrations, sur le parking résidentiel (Gros caillou).

Le scénario 3 (qui n'a pas pu être testé sur le parking Gros caillou), est très efficace sur le parking République en hiver. Il l'est beaucoup moins en été sur ce même parking. La surconsommation d'énergie liée à l'augmentation des temps de ventilation demeure assez importante. Toutefois, Un asservissement de la ventilation sur la valeur instantanée de la mesure pourrait apporter une amélioration.

Ces différents points mettent bien en évidence que les mêmes scénarios ne pourront être appliqués selon le type de parking et la saison.

Pour les parkings de type République, le NO, de part ses réactions photochimiques, n'est plus représentatif des niveaux de pollution mesurés dans les parkings en été. Par contre, le CO, utilisé comme indicateur dans le scénario 4, joue très bien cette fonction. Une régulation de la ventilation basée sur les niveaux de NO en hiver et de CO en été semble donc être plus appropriée.

Pour les parkings de type résidentiel, les concentrations de NO augmentent relativement peu au cours de la journée. Seules les périodes de départ et d'arrivée des véhicules (le matin et le soir) présentent des concentrations pouvant atteindre les seuils définis par l'ANSES. Par contre, les concentrations de benzène restent élevées durant la nuit, lorsque les véhicules stationnent. C'est donc durant ces périodes que la ventilation doit être mise en marche. Une régulation basée uniquement sur un fonctionnement séquentiel, semble donc plus approprié.

Cette étude n'a concerné que deux typologies de parkings (résidentiel, forte alternance des stationnements). D'autres typologies peuvent exister au sein de l'ensemble des parkings gérés par LPA. Un inventaire de ces typologies serait donc très approprié pour établir les différents scénarios à mettre en place.

D'autres paramètres tels que l'aménagement des parkings, permettant une meilleure circulation des courants d'air et une diminution des longueurs de trajets à effectuer dans le parking (pour le parking République, chaque véhicule effectue plus de 500m entre l'entrée et la sortie du parking), pourraient contribuer aussi à cet objectif.



## Annexe 1

### Valeurs cibles proposées par l'ANSES et utilisées pour comparaison aux concentrations mesurées.

#### **Exposition aiguë :**

Polluant et pas de temps associé	Population concernée	Valeur cible
NO <sub>2</sub> sur 1 h	Travailleur	200 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 15 minutes	Usager et travailleur	100 000 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 30 minutes	Travailleur	60 000 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 1 heure	Travailleur	30 000 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 8 heures	Travailleur	10 000 µg.m <sup>-3</sup>

#### **Exposition chronique :**

Polluant	Population concernée	Valeur cible	Type de valeur cible
Benzène sur 8 h	Travailleur	41 µg.m <sup>-3</sup>	Pour les effets à seuil
Benzène sur 8 h	Travailleur	11 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>
Benzène sur 30 minutes	Usager	180 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>
NO <sub>2</sub> sur 8 heures	Travailleur	35 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
NO <sub>2</sub> sur 8 heures	Travailleur	68 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
NO <sub>2</sub> sur 8 heures	Travailleur	108 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
NO <sub>2</sub> sur 30 minutes	Usager	157 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
NO <sub>2</sub> sur 30 minutes	Usager	675 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
NO <sub>2</sub> sur 30 minutes	Usager	1323 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
Xylènes sur 8h	Usager	14 000 µg.m <sup>-3</sup>	Pour les effets à seuil
Xylènes sur 8h	Travailleur	870 µg.m <sup>-3</sup>	Pour les effets à seuil
Formaldéhyde	Usager	255 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
Formaldéhyde	Travailleur	35 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM10 sur 8h	Usager	133 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM10 sur 8h	Travailleur	30 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM10 sur 8h	Travailleur	58 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
PM10 sur 8h	Travailleur	92 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
PM2.5 sur 8h	Usager	93 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM2.5 sur 8h	Travailleur	21 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM2.5 sur 8h	Travailleur	40 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
PM2.5 sur 8h	Travailleur	64 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
Acéaldéhyde	Usager	2400 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>
Acéaldéhyde	Professionnel	150 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>

Pour la plupart des composés, les valeurs cibles ont été établies pour des expositions chroniques. Seuls le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone possèdent des valeurs cibles sur un pas de temps plus court. Dans ce cadre, le suivi en continu des données apporte une information indispensable, non disponible dans l'étude des 25 parcs.

## Annexe 2

### Calcul théorique des temps de ventilation journaliers et répartition horaire pour réaliser le scénario n° 2.

Cette estimation nécessite de connaître la quantité de polluants émise par chaque véhicule, la fréquentation moyenne du parking ainsi que le débit de la ventilation.

#### A - La fréquentation

Les données disponibles sont les suivantes :

	Nombre de passages moyens	
	REPUBLIQUE	GROS CAILLOU
Lundi	1246	98
Mardi	1444	188
Mercredi	1573	157
Jeudi	1458	155
Vendredi	1643	176
Samedi	2050	291
Dimanche	526	153
<b>Total semaine</b>	<b>1420</b>	<b>174</b>

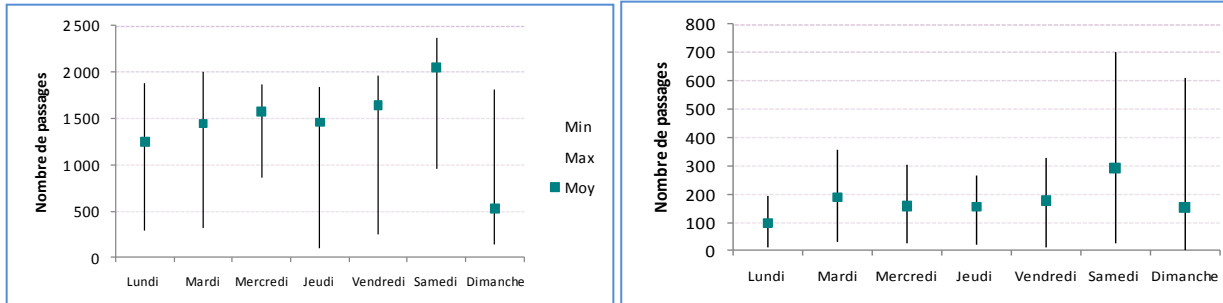
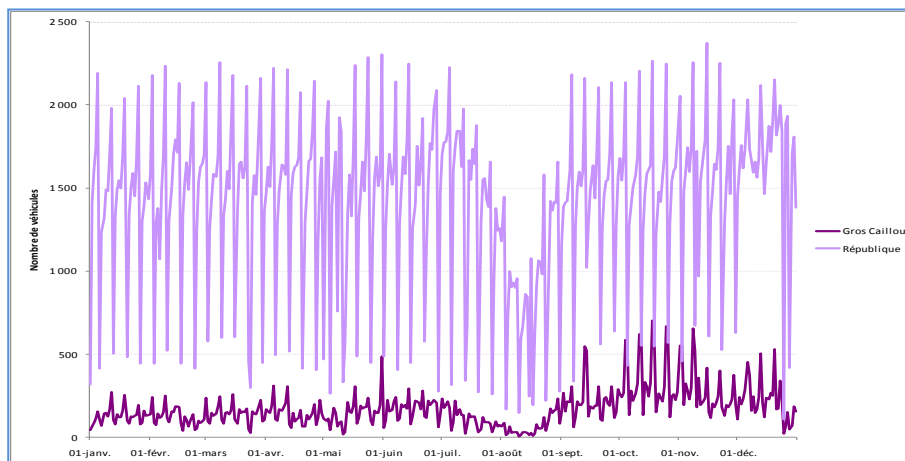


Figure 16 : **Nombre de passages moyen, minimum et maximum par jour en 2008 dans le parc République (à gauche) et dans le parc Gros Caillou (à droite).**

La figure ci-dessous montre que les mois d'août et décembre présentent des taux de



fréquentation différents (moins de fréquentation en août pour les deux parkings et plus en décembre pour République).

## B - La quantité de polluants émise :

Concernant la quantité de polluants émise, les variables à prendre en compte sont la longueur du trajet (en m) parcourue par les véhicules dans le parc, et le facteur d'émission moyen des véhicules.

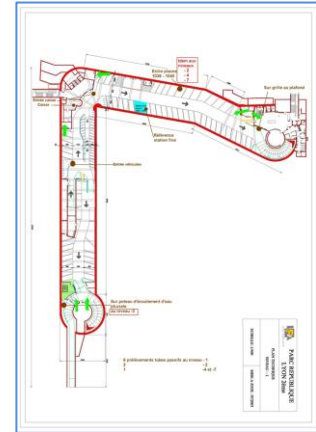
### La longueur du trajet :

La longueur moyenne est estimée en fonction de la longueur d'un étage et du parcours « obligatoire » des véhicules selon les parcs.

#### **Cas de République :**

La longueur d'un niveau est de 173 m.

Pour atteindre l'étage inférieur, le véhicule effectue  $\frac{3}{4}$  de tour sur une rampe hélicoïdale de 47 m de diamètre. Elle effectue donc :  $47 * \frac{3}{4} = 35$  m. A chaque étage traversé, un véhicule parcourt donc  $173 + 35 = 208$  m.



Toutes les voitures passent au -1 en entrant puis vont se garer au niveau voulu. Pour sortir, elles remontent tous les niveaux par la rampe puis sortent.

#### Exemple de Trajet moyen pour un garage au -4 :

LTrajet = niveau-1 + 3 tours de rampe + niveau -4 (la moitié pour entrer/l'autre pour sortir) + 3 tours de rampe, soit **556 m**.

#### **Cas de Gros Caillou :**

La longueur d'un niveau est de 174 m.

La rampe à un diamètre extérieur de 20m. Un véhicule circulant au centre de la rampe effectue donc environ = 15 m pour un tour complet.

Les voitures entrent au -1, soit descendent directement au -2, soit font un tour du -1 avant de prendre la rampe, descendent, se garent, remontent et sont obligées de refaire un tour du -1 en sortant. Etant donné que la grosse majorité des clients sont des abonnés, on suppose qu'ils ne font pas le premier tour au -1.

#### Exemple de trajet moyen pour un garage au -2

L trajet = 1 tour rampe + 1 niveau -2 + 1 tour rampe + 1 niveau -1 soit **416 m**

### Emissions par km :

Les émissions par km sont le facteur le plus difficile à estimer. En effet, elles dépendent du type de véhicule, de la vitesse, de la pente, du régime, du type de carburant.

Les surémissions liées à un roulage moteur froid lorsqu'on sort du parking, ne sont pas pris en compte. On ne prend pas en compte d'émissions dans les rampes d'entrée et sortie (reliées à l'extérieur).

En prenant en compte l'ensemble de ces facteurs et comme référence le parc national CITEPA de voitures (prenant en compte le ratio essence/diesel et norme Euro) circulant à 10 km/h, l'émission moyenne<sup>8</sup> des véhicules est de  $1.2 \text{ g.Km}^{-1}$ .

La quantité de pollution (NO) produite en une journée se calcule selon la formule suivante : *Emission par KM \* fréquentation \* longueur du trajet*

<sup>8</sup> Calcul issu de la méthodologie européenne COPERT IV.

	Nombre de passages moyens		Quantité de polluants (NO) émise par jour (g)	
	REPUBLIQUE	GROS CAILLOU	REPUBLIQUE	GROS CAILLOU
Lundi	1246	98	831.3	48.8
Mardi	1444	188	963.4	94.1
Mercredi	1573	157	1049.5	78.2
Jeudi	1458	155	972.8	77.4
Vendredi	1643	176	1096.2	87.8
Samedi	2050	291	1367.8	145.1
Dimanche	526	153	350.9	76.2

## C - Le débit de ventilation nécessaire

Le débit de fonctionnement petite vitesse de la ventilation est de 300 m<sup>3</sup>/h/véh par niveau.

Le débit "petite vitesse" pour le parking République possédant 782 places de stationnement est donc de 300\*782= 234 600 m<sup>3</sup>/ h pour l'ensemble du parc.

Celui du parking Gros Caillou, possédant 468 places de stationnement, sera de 300 \*468 = 109 512 m<sup>3</sup>/h pour l'ensemble du parc.

Les volumes totaux des parkings sont les suivants :

- République : 63 334 m<sup>3</sup>
- Gros caillou : 42 962 m<sup>3</sup>

Le volume d'air à apporter pour ne pas dépasser la concentration de 600 µg.m<sup>-3</sup> de NO est le suivant :

[Pollution produite en 1 jour / volume du parking]/ [Concentration à atteindre / volume du parking]

	Quantité de polluants (NO) émise par jour (g)		Volume d'air à apporter (m <sup>3</sup> )	
	REPUBLIQUE	GROS CAILLOU	REPUBLIQUE	GROS CAILLOU
Lundi	831.3	48.8	138552	81264
Mardi	963.4	94.1	1605728	156768
Mercredi	1049.5	78.2	1749176	130336
Jeudi	972.8	77.4	1621296	128960
Vendredi	1096.2	87.8	1827016	146416
Samedi	1367.8	145.1	2279600	241840
Dimanche	350.9	76.2	584912	127008

Pour atteindre la valeur seuil de  $600 \mu\text{g.m}^{-3}$  et  $400 \mu\text{g.m}^{-3}$  de  $\text{NO}^9$  le temps de fonctionnement de la ventilation doit être le suivant :

	<b>Temps de fonctionnement (H)</b>			
	<b><math>600 \mu\text{g.m}^{-3}</math></b>		<b><math>400 \mu\text{g.m}^{-3}</math></b>	
	<b>REPUBLIQUE</b>	<b>GROS CAILLOU</b>	<b>REPUBLIQUE</b>	<b>GROS CAILLOU</b>
<b>Lundi</b>	5.9	0.7	8.9	1.1
<b>Mardi</b>	6.8	1.4	10.3	2.1
<b>Mercredi</b>	7.5	1.2	11.2	1.8
<b>Jeudi</b>	6.9	1.2	10.4	1.8
<b>Vendredi</b>	7.8	1.3	11.7	2.0
<b>Samedi</b>	9.7	2.2	14.6	3.3
<b>Dimanche</b>	2.5	1.2	3.7	1.7
<b>Total semaine</b>	<b>47.1</b>	<b>9.2</b>	<b>70.7</b>	<b>13.8</b>

Tableau 7 : Calcul théorique des temps de ventilation.

<sup>9</sup> Ces deux valeurs sont celles proposées par l'ANSES pour la gestion des parcs de stationnement.



## Annexe 3

### Comparaison des résultats obtenus avec et sans correction des concentrations en fonction de la fréquentation

La forte diminution de la fréquentation entraîne certainement une diminution notable des émissions et donc des concentrations de polluants mesurées dans le parking. Afin de vérifier l'efficacité réelle des scénarios (en supprimant l'effet "baisse de fréquentation"), une approche consiste à corriger les concentrations mesurées par en appliquant un coefficient de correction aux valeurs de pollution mesurées.

Le coefficient de correction correspond au rapport :  

$$\frac{\text{Fréquentation lors du scénario 1}}{\text{Fréquentation lors du scénario x.}}$$

#### Parking Gros caillou en période chaude

##### Coefficient de correction à appliquer :

Le tableau suivant présente la fréquentation du parking Gros caillou lors des scénarios qui se sont déroulés au cours du mois de juillet.

Gros caillou	Fréquentation Véh/J.	Coefficient de correction
<b>Scénario 1</b>	3111	
<b>Scénario 2</b>	2644	1.18
<b>Scénario 4</b>	2080	1.5
<b>Scénario 5</b>	1859	1.67

##### Résultats :

Les résultats des mesures sont multipliés par le coefficient de correction.

##### Résultats avant correction :

	Scénario1	Scénario 2	Scénario 5	Scénario 4	Variation 2-1	Variation 5-1	Variation 4-1
% de temps NO <sub>2</sub> > 200	12,5	7,5	0,0	0,5	-40,4	-100,0	-95,8
% de temps NO > 600	22,3	6,4	0,0	2,3	-71,1	-100,0	-89,9
% de temps NO > 800	1,2	2,6	0,0	0,5	113,9	-100,0	-57,2
% de temps NO > 1000	22,3	1,4	0,0	0,0	-93,8	-100,0	-100,0
% de temps NO > 1500	22,3	0,0	0,0	0,0	-100,0	-100,0	-100,0
Moyenne NO <sub>2</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	135,0	114,8	58,4	77,2	-15,0	-56,8	-42,8
Moyenne Benzène (µg.m <sup>-3</sup> )	36	28	12	20	-23,8	-67,8	-45,2
Moyenne NO (µg.m <sup>-3</sup> )	398	265	83	152	-33,2	-79,1	-61,8
Moyenne Toluène (µg.m <sup>-3</sup> )	362	292	94	189	-19,4	-74,1	-47,7

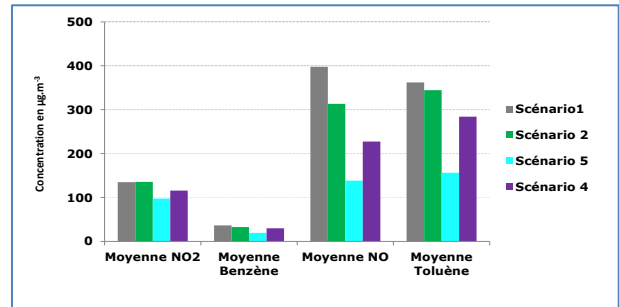
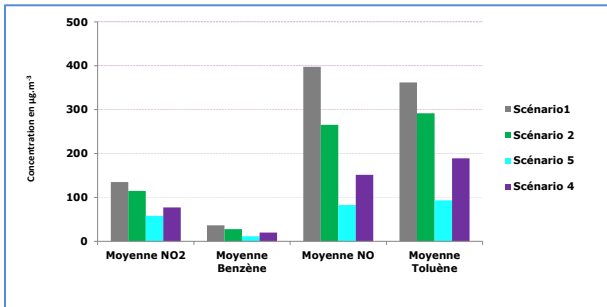
##### Résultats avec application du coefficient de correction :

	Scénario1	Scénario 2	Scénario 5	Scénario 4	Variation 2-1	Variation 5-1	Variation 4-1
% de temps NO <sub>2</sub> > 200	12,5	13,5	1,6	5,0	8,3	-87,5	-59,7
% de temps NO > 600	22,2	15,1	0,5	6,4	-32,0	-97,7	-71,1
% de temps NO > 800	1,2	4,0	0,0	2,6	228,6	-100,0	114,3
% de temps NO > 1000	22,2	2,3	0,0	1,9	-89,8	-100,0	-91,4
% de temps NO > 1500	22,2	0,0	0,0	0,0	-100,0	-100,0	-100,0
Moyenne NO <sub>2</sub>	135,0	135,5	97,5	115,8	0,3	-27,8	-14,2
Moyenne Benzène	36	33	20	30	-10,1	-46,3	-17,8
Moyenne NO	398	313	138	228	-21,2	-65,2	-42,8
Moyenne Toluène	362	344	156	284	-4,9	-56,8	-21,6

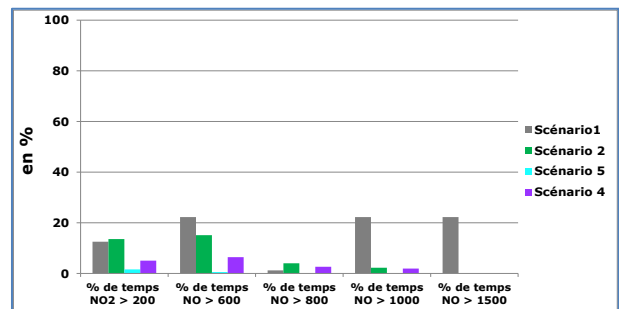
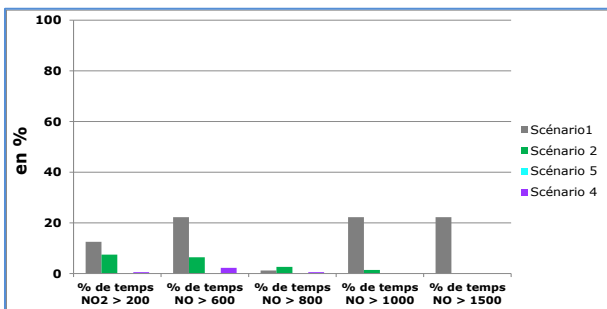
## Sans correction

## Avec correction

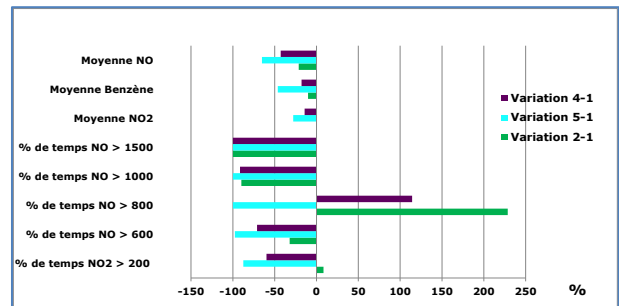
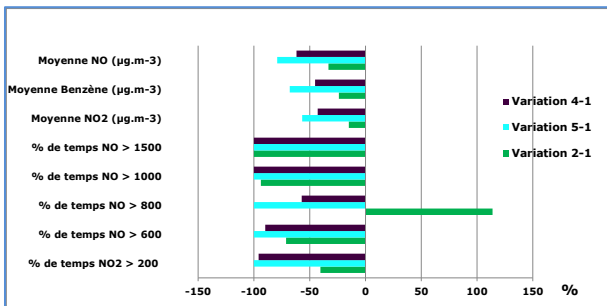
### Moyennes des concentrations



### Comparaison aux valeurs de l'ANSES



### Variation des concentrations



## Parking République en période chaude

### Coefficient de correction à appliquer :

Le tableau suivant présente la fréquentation du parking République lors des scénarios qui se sont déroulés au cours de la période chaude.

Gros caillou	Fréquentation Véh/J.	Coefficient de correction
<b>Scénario 1</b>	9792	
<b>Scénario 2</b>	8339	1.17
<b>Scénario 4</b>	8978	1.09
<b>Scénario 5</b>	9490	1.03

### Résultats :

Les résultats des mesures sont multipliés par le coefficient de correction.

#### Résultats avant correction :

	Scénario1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Variation 2/1	Variation 3/1	Variation 4/1
% de temps NO2 > 200	55,0	43,2	52,1	23,8	-21,5	-5,4	-56,7
% de temps NO> 600	28,5	7,3	29,0	25,5	-74,4	1,8	-10,6
% de temps NO> 800	22,6	4,0	20,3	17,2	-82,3	-10,0	-23,6
% de temps NO> 1000	17,9	0,9	16,3	12,0	-95,1	-8,7	-32,8
% de temps NO> 1500	11,5	0,0	10,1	7,8	-100,0	-12,1	-31,8
Moyenne NO2	283	207	230	146	-27,0	-18,7	-48,3
Moyenne Benzène	31	44	45	73	39,4	42,7	134,8
Moyenne NO	581	314	601	487	-45,9	3,5	-16,3
Moyenne Toluène	201	215	210	246	7,1	5,0	22,5

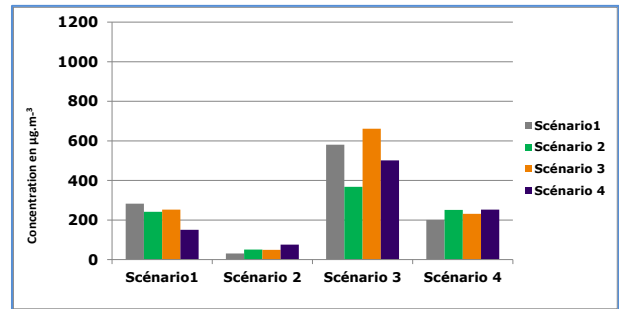
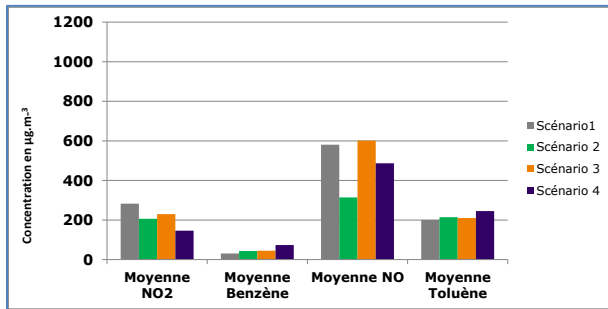
#### Résultats avec application du coefficient de correction :

	Scénario1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Variation 2/1	Variation 3/1	Variation 4/1
% de temps NO2 > 200	55,0	55,2	59,4	21,9	0,3	7,9	-60,3
% de temps NO> 600	28,5	13,5	35,6	22,6	-52,4	25,0	-20,7
% de temps NO> 800	22,6	5,0	22,7	16,0	-77,7	0,8	-29,2
% de temps NO> 1000	17,9	3,5	18,4	11,1	-80,6	2,9	-37,9
% de temps NO> 1500	11,5	0,0	11,8	6,8	-100,0	3,0	-40,9
Moyenne NO2 (µg.m-3)	283	242	253	151	-14,6	-10,6	-46,8
Moyenne Benzène (µg.m-3)	31	51	49	76	63,1	57,0	141,8
Moyenne NO (µg.m-3)	581	368	661	501	-36,7	13,8	-13,7
Moyenne Toluène (µg.m-3)	201	251	232	253	25,3	15,5	26,1

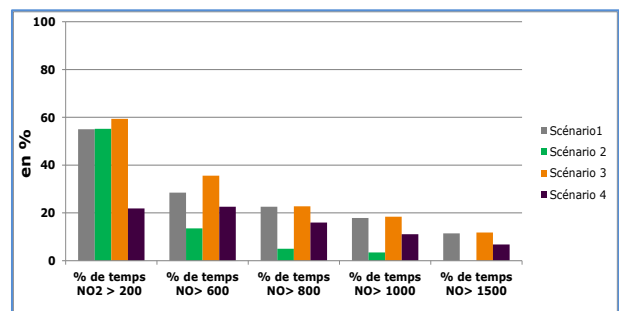
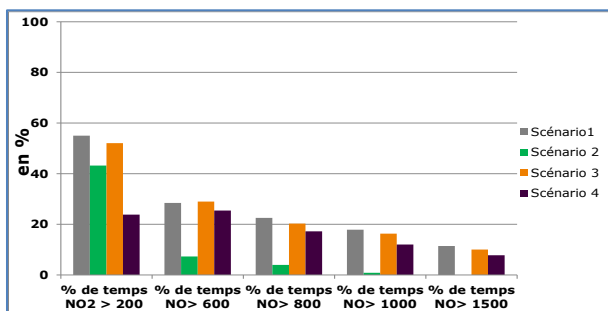
## Sans correction

## Avec correction

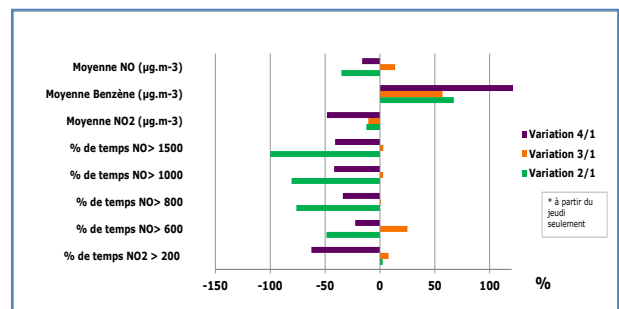
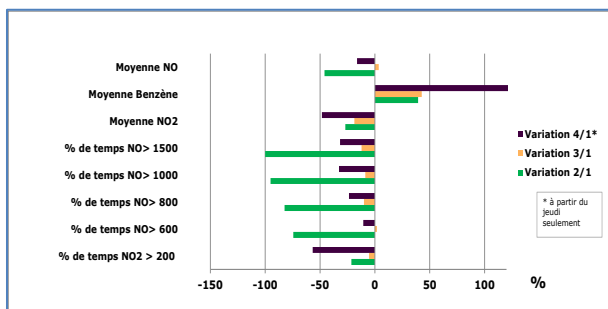
### Moyennes des concentrations



### Comparaison aux valeurs de l'ANSES



### Variation des concentrations



## Annexe 4

### Dysfonctionnements constatés lors des tests.

#### Parking République :

##### Période froide :

- ✚ Des travaux de peinture dans les niveaux -6 et -7 se sont déroulés lors des scénarios 1. Un risque important de contamination dans l'ensemble du parking par les solvants utilisés existe. Il concerne essentiellement les mesures de benzène.
- ✚ Lors du scénario 2, le déclenchement manuel de la ventilation, tel que prévu, n'a pas été fait le lundi. Ce dysfonctionnement ne concerne que la journée du lundi. Le test correspondant ne prend donc pas cette journée en compte.
- ✚ Une panne du système de déclenchement automatique du système de ventilation est notée le samedi et dimanche lors du scénario 3. Un déclenchement manuel de la ventilation a été mis en place sur cette période.
- ✚ Lors du scénario 4, suite à la période d'entretien du système de ventilation, celui-ci a été forcé en position grande vitesse sur plusieurs niveaux du parking.

##### Période chaude :

- ✚ Plusieurs déclenchements qui devaient s'effectuer manuellement après appel de COPARLY n'ont pas été réalisés lors du scénario N° 3.

#### Parking gros caillou :

##### Période froide :

- ✚ Suite à un dysfonctionnement de l'analyseur, aucune mesure en continu de benzène n'est exploitable pour la phase hivernale. Les mesures effectuées par les tubes à diffusion passive restent valides.
- ✚ Le scénario 1 a été réalisé en période de vacances scolaires, ce qui a entraîné une baisse de 20% à 30% de la fréquentation.

##### Période chaude :

- ✚ Pas de données de temps de ventilation pour les scénarios 1 – 2 – 4
- ✚ Le scénario 3 (déclenchement sur les valeurs cibles de l'ANSES) n'a pas été effectué. Ce scénario est donc supprimé pour la phase estivale.
- ✚ Un scénario n°5 a été testé à la place. Il consistait en la mise en marche de la ventilation (Petite Vitesse) le soir (18h30) et arrêt le matin (8h30) le mardi, mercredi, jeudi et vendredi.

## Annexe 5

### Tableau récapitulatif des mesures

Gros caillou									
Hiver	Scénario 1 bis	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Variation 2/1bis	Variation 3/1bis	Variation 4/1bis	Variation 5/1bis
% de temps NO2 > 200	0,5	7,8		3,5		1395		562	
% de temps NO > 600	24,8	22,3		20,7		-10		20	
% de temps NO > 800	7,9	8,2		10,9		4		39	
% de temps NO > 1000	0,2	1,4		1,0		697		496	
% de temps NO > 1500	0,0	0,0		0,0				0	
Moyenne NO2 (µg.m <sup>-3</sup> )	91	124		115		37		27	
Moyenne Benzène (µg.m <sup>-3</sup> )									
Moyenne NO (µg.m <sup>-3</sup> )	427	429		456		1		7	
Moyenne Toluène (µg.m <sup>-3</sup> )									
Été	Scénario1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Variation 2/1	Variation 3/1bis	Variation 4/1	Variation 5/1
% de temps NO2 > 200	12,5	7,5		0,5	0,0	-40,4		-95,8	-100,0
% de temps NO > 600	22,3	6,4		2,3	0,0	-71,1		-89,9	-100,0
% de temps NO > 800	1,2	2,6		0,5	0,0	113,9		-57,2	-100,0
% de temps NO > 1000	22,3	1,4		0,0	0,0	-93,8		-100,0	-100,0
% de temps NO > 1500	22,3	0,0		0,0	0,0	-100,0		-100,0	-100,0
Moyenne NO2 (µg.m <sup>-3</sup> )	135,0	114,8		77,2	58,4	-15,0		-42,8	-56,8
Moyenne Benzène (µg.m <sup>-3</sup> )	36	28		20	12	-23,8		-45,2	-67,8
Moyenne NO (µg.m <sup>-3</sup> )	398	265		152	83	-33,2		-61,8	-79,1
Moyenne Toluène (µg.m <sup>-3</sup> )	362	292		189	94	-19,4		-47,7	-74,1
République									
Hiver	Scénario1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Variation 2-1	Variation 3-1	Variation 4-1	Variation 5/1
% de temps NO2 > 200	40,6	12,8	7,2	26,9		-68,5	-82,4	-33,8	
% de temps NO > 600	65,6	65,3	49,0	63,2		-0,5	-25,4	-3,7	
% de temps NO > 800	55,4	43,8	25,9	50,7		-20,9	-53,3	-8,5	
% de temps NO > 1000	47,2	28,7	9,8	40,3		-39,2	-79,3	-14,7	
% de temps NO > 1500	33,5	8,6	2,4	22,9		-74,4	-92,7	-31,6	
Moyenne NO2 (µg.m <sup>-3</sup> )	178	118	110	131		-33,6	-38,2	-26,5	
Moyenne Benzène (µg.m <sup>-3</sup> )	53	41	29	45		-22,1	-45,1	-14,4	
Moyenne NO (µg.m <sup>-3</sup> )	1096	819	627	950		-25,3	-42,8	-13,3	
Moyenne Toluène (µg.m <sup>-3</sup> )	170	139	101	160		-18,2	-40,5	-5,9	
Été	Scénario1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Variation 2/1	Variation 3/1	Variation 4/1	Variation 5/1
% de temps NO2 > 200	55,0	56,4	59,4	20,7		2,5	7,9	-62,5	
% de temps NO > 600	28,5	14,6	35,6	22,0		-48,8	25,0	-22,6	
% de temps NO > 800	22,6	5,4	22,7	14,9		-76,2	0,8	-33,8	
% de temps NO > 1000	17,9	3,5	18,4	10,4		-80,6	2,9	-41,7	
% de temps NO > 1500	11,5	0,0	11,8	6,8		-100,0	3,0	-40,9	
Moyenne NO2 (µg.m <sup>-3</sup> )	283	248	253	146		-12,4	-10,6	-48,3	
Moyenne Benzène (µg.m <sup>-3</sup> )	31	52	49	73		67,3	57,0	134,8	
Moyenne NO (µg.m <sup>-3</sup> )	581	377	661	487		-35,1	13,8	-16,3	
Moyenne Toluène (µg.m <sup>-3</sup> )	201	258	232	246		28,5	15,5	22,5	