



# LIAISON A50-A57 TRAVERSEE SOUTERRAINE DE TOULON SECOND TUBE (SUD)

**SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR : SYNTHESE**

**MESURES AOUT 2007 A OCTOBRE 2009**

**SIÈGE SOCIAL**

Le Nôilly Paradis  
146 rue Paradis - 13294 Marseille cedex 06  
Tél. : 04 91 32 38 00

**ÉTABLISSEMENT DE NICE**

Nice Leader - Tour Hermès - DREAL  
64-66 route de Grenoble - 06200 Nice  
Tél. : 04 93 18 88 00

Date de publication : 05/2010  
Numéro de projet : 06VAR021

# RESUME

Atmo PACA, structure associative (loi 1901) agréée par le ministère en charge de l'environnement, assure **la surveillance de la qualité de l'air** sur près de 90% de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur<sup>1</sup>. Ce rapport présente la synthèse du suivi de la qualité de l'air en particules (PM10), dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), monoxyde de carbone (CO) et benzène, réalisé d'août 2007 à octobre 2009 pendant les travaux de construction du 2<sup>ème</sup> tube Tunnel Sud de Toulon.

L'objectif de cette étude porte sur la **prise en compte des effets générés sur la qualité de l'air par les travaux, pour le personnel de chantier et les populations riveraines pendant cette phase de travaux.**

Trois stations complémentaires de mesures des polluants ont été ajoutées au réseau permanent de Toulon dans les secteurs proches des travaux du tunnel et un suivi journalier et trimestriel des concentrations mesurées a été mis en œuvre. Les principaux résultats de l'étude sont les suivants :

- **Les 3 sites urbains** de l'agglomération toulonnaise n'ont pas été significativement impactés par les travaux.
- **La qualité de l'air en proximité des grands axes routiers s'est nettement dégradée durant la phase la plus intensive des travaux** (trois premiers trimestres de l'étude d'août 2007 à avril 2008), en raison des perturbations importantes du trafic générées dans l'agglomération toulonnaise.
- **Les activités des chantiers ont engendré une nette dégradation de la qualité de l'air en dioxyde d'azote et surtout en particules PM10, dans un très proche environnement**, générant un impact sur les riverains limitrophes et de façon plus prononcée pour l'ensemble du personnel travaillant sur site.
  - Les valeurs limites annuelles en dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et en particules PM10 sont dépassées sur le site chantier pendant les trois années de mesure et sur l'ensemble des trimestres.
  - La valeur limite journalière en particules PM10 n'est pas respectée pour les trois années avec en moyenne 57 dépassements contre 35 autorisés. Les valeurs équivalentes au seuil d'information et de recommandations à la population en particules (80 µg/m<sup>3</sup>/24h) et au seuil d'alerte (125 µg/m<sup>3</sup>/24h) ont été atteintes chaque année, en moyenne respectivement 20 et 4 fois.
  - les autres valeurs réglementaires en qualité de l'air sont respectées pour le benzène, le monoxyde de carbone et le dioxyde d'azote (en valeur horaire).

Une étude complémentaire sur la caractérisation des particules a été menée en 2008 afin d'identifier les principales sources d'émission en proximité des travaux. Cette étude et le suivi trimestriel mettent en évidence les facteurs suivants, en terme de dégradation de la qualité de l'air :

- Activités humaines sur site : génératrices d'émissions et de remise en suspension des particules (PM10) par les engins de chantier
- Conditions météorologiques : les vents forts induisent un ré-envoi des particules terrigènes sur les sites de travaux et les conditions de forte stabilité atmosphérique, observées essentiellement l'hiver en présence de vents faibles et d'inversion thermique, impactent la totalité des sites de mesure de l'agglomération.

Dans le cadre de cette étude, une page internet spécifique (<http://toulon.airtunnel.atmopaca.org/>), a été développée et a diffusé en temps réel au grand public les données de qualité de l'air des différents sites de surveillance. La totalité des résultats et des rapports de suivi sont téléchargeables sur le site Internet d'Atmo PACA (<http://www.atmopaca.org>).

## Mots-clef :

Mesures, air ambiant, suivi, qualité de l'air, impact travaux de construction

**Auteurs :** Benjamin ROCHER

**Relecteur :** Alexandre ARMENGAUD, Florence PERON

<sup>1</sup> Atmo PACA surveille les Alpes-de-Haute-Provence, les Hautes-Alpes, les Alpes-Maritimes, l'Est des Bouches-du-Rhône, le Var et le Vaucluse. Airfobep surveille l'Ouest des Bouches-du-Rhône.

## GLOSSAIRE

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

**BTEX** : terme désignant les composés suivants : Benzène, Toluène, Ethylbenzène et m-p-o-Xylènes. (cf 3.4.1)

**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>** : formule chimique du Benzène (cf 3.4.1)

**CAFE** : [Clean Air For Europe](#)

**CEREGE** : [Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement](#)

**CIRC** : Centre International de la Recherche sur le Cancer.

**CO** : formule chimique du monoxyde de carbone (cf 3.3.1)

**DRE PACA** : Direction Régionale de l'Équipement en Provence Alpes-Côte-d'Azur

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**Indice Atmo** : Indice de qualité de l'Air pour une agglomération de plus de 100 000 habitants et qui répond aux critères de calcul définis par arrêté ministériel du 22/07/2004.

**IQA** : Indice de qualité de l'Air pour une agglomération de moins de 100 000 habitants (cf 3.5.1)

**Inversion thermique** : Dans la basse couche de l'atmosphère (troposphère), d'une manière générale, la température de l'air décroît avec l'altitude au rythme d'approximativement 0,6 °C tous les 100 m. Néanmoins, l'air étant un très mauvais conducteur thermique et le sol se refroidissant (par rayonnement) plus rapidement que l'atmosphère, une fois le soleil couché, il peut se former, à proximité du sol, des couches d'air dont la température est plus basse que celle de l'air situé immédiatement au-dessus, créant ainsi une inversion thermique et limitant la dispersion des polluants.

**LGGE** : [Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement](#)

**NO<sub>x</sub>** : terme désignant les oxydes d'azote, qui regroupent le dioxyde et le monoxyde d'azote

**NO<sub>2</sub>** : formule chimique du dioxyde d'azote,

**NO** : formule chimique du monoxyde d'azote (cf 3.2.1)

**O<sub>3</sub>** : Ozone

**Objectif de qualité** : valeur de prévention, à long terme, objectif à atteindre ou référence spécifique en zone déterminée par les états membres de l'Union Européenne (UE)

**PM<sub>10</sub>** : particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns (cf 3.1.1)

**PM<sub>2.5</sub>** : particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns (cf 3.1.1)

**Stabilité atmosphérique** : observées essentiellement l'hiver en présence de vents faibles et d'inversion thermique.

**µg/m<sup>3</sup>** : unité de mesure : microgramme par mètre cube d'air (1 µg = 0,000001g)

**Valeur limite** : valeur à ne pas dépasser sur l'ensemble du territoire des états membres de l'Union Européenne (UE)

# SOMMAIRE

<b>1. PRESENTATION DE L'ETUDE .....</b>	<b>5</b>
1.1. OBJECTIFS.....	5
1.2. CHOIX DES SITES D'ECHANTILLONNAGE .....	5
1.2.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES .....	6
1.2.2. PARAMETRES METEOROLOGIQUES .....	6
<b>2. METEOROLOGIE .....</b>	<b>7</b>
2.1. VITESSE ET DIRECTION DU VENT.....	7
2.2. TEMPERATURE ET PRECIPITATIONS .....	8
<b>3. RESULTATS – DISCUSSION .....</b>	<b>9</b>
3.1. PARTICULES EN SUSPENSION.....	9
3.1.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE .....	9
3.1.2. EFFETS SANITAIRES.....	9
3.1.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009 .....	10
3.1.4. EVOLUTION TRIMESTRIELLE DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES.....	11
3.2. DIOXYDE D'AZOTE .....	13
3.2.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE .....	13
3.2.2. EFFETS SANITAIRES.....	13
3.2.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009 .....	13
3.2.4. EVOLUTION TRIMESTRIELLE DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE.....	14
3.3. MONOXYDE DE CARBONE .....	16
3.3.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE .....	16
3.3.2. EFFETS SANITAIRES.....	16
3.3.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009 .....	16
3.4. BENZENE (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) .....	17
3.4.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE .....	17
3.4.2. EFFETS SANITAIRES.....	17
3.4.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009 .....	18
3.4.4. EVOLUTION TRIMESTRIELLE DES CONCENTRATIONS EN BENZENE .....	19
3.5. ETUDE DES INDICES DE QUALITE DE L'AIR PAR SITE .....	20
3.5.1. MODE DE CALCUL.....	20
3.5.2. ETUDE DES INDICES DE 2007 A 2009 .....	20
3.5.3. POLLUANTS A L'ORIGINE DES INDICES, SPECIFICITE DES SOURCES LOCALES .....	22
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>23</b>
<b>5. REFERENCES .....</b>	<b>25</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES.....	26
TABLEAUX .....	26

# 1. PRESENTATION DE L'ETUDE

## 1.1. OBJECTIFS

L'Etat réalise la traversée souterraine de Toulon avec la mise en service du 2<sup>ème</sup> tube du tunnel (Sud). Tout au long de la phase de travaux, le suivi de la qualité de l'air est confié à Atmo PACA, afin d'évaluer les concentrations des polluants et de les comparer aux seuils réglementaires.

Ce suivi de la qualité de l'air permet d'évaluer la pollution induite pendant la phase travaux. En effet, en milieu urbain, l'un des principaux effets des travaux est la modification du trafic pendant la période du chantier. Cette phase chantier constitue une période de nuisance particulière, différente de la phase d'exploitation.

Cette période peut se révéler pénalisante pour l'environnement, tant sur les questions de nuisances atmosphériques, qu'acoustiques. La création de pistes, la circulation d'engins motorisés (générateurs et compresseurs...), de centrales d'enrobage ou de bitumes et de certains traitements (chaux et liants hydrauliques...) entraînent une perturbation du milieu urbain non négligeable.

Le personnel de chantier reste le plus exposé aux pollutions directes. Néanmoins l'objectif de cette étude porte sur la **prise en compte des effets générés pour les populations riveraines pendant cette phase de travaux.**

Pour réaliser cette surveillance, trois sites complémentaires de mesures des polluants ont été ajoutés au réseau permanent de Toulon dans les secteurs proches des travaux du tunnel.

Des pages Internet spécifiques (<http://toulon.airtunnel.atmopaca.org/>), ont été développées et ont diffusé (en temps réel) au public les données de qualité de l'air des stations permanentes et des sites temporaires mis en œuvre dans ce projet.

## 1.2. CHOIX DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

Les travaux se sont déroulés sur 3 secteurs : Au nord, au Puits d'attaque Marchand, à l'Est et à l'Ouest à l'emprise de la future tranchée couverte.

En proximité des axes routiers, les émissions atmosphériques sont liées aux modifications temporaires des modes de circulation (déviation sur certains axes, congestions éventuelles occasionnées par les travaux ...), des émissions spécifiques, notamment des engins de chantiers. Les sites de mesures ont été implantés (non sans difficultés logistiques et techniques) au plus près des zones de forte activité des travaux, dans des secteurs correspondants autant que possible à l'exposition des riverains les plus proches et où les teneurs risquent d'être les plus élevées.

Les sites de suivis ont été implantés sur les différents secteurs des travaux (Puits d'attaque Marchand, tranché couverte Est et Ouest). L'arrêt progressif des travaux sur ces sites a conduit à un arrêt de la surveillance.



Figure 1 : Emplacement des sites de mesures

Sites	Période de mesures
Tranchée Ouest	Juillet 2007 à Janvier 2008
Tranchée Est	Juillet 2007 à Mai 2008
Puits d'attaque Marchand	Juillet 2007 à Novembre 2009

### 1.2.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

- NO/NO<sub>2</sub> (monoxyde et dioxyde d'azote) : traceur atmosphérique du trafic routier,
- CO (monoxyde de carbone) : traceur atmosphérique du trafic routier,
- PM10 (particules en suspension) : traceur atmosphérique du trafic routier, des émissions industrielles et terrigènes.
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et m-p-o-Xylènes) : traceur atmosphérique du trafic routier et des émissions industrielles.

### 1.2.2. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Données de la station météo France de Toulon la Mitre :

- Température,
- Direction et vitesse de vent,
- Précipitations.

## 2. METEOROLOGIE

Les paramètres météorologiques sont issus de la station Météo France de Toulon-La Mitre.

Une appréciation préliminaire des conditions météorologiques rencontrées lors des campagnes de mesures permet de mieux appréhender leurs influences sur les niveaux de pollution observés.

### 2.1. VITESSE ET DIRECTION DU VENT

Les conditions météorologiques jouent un rôle très important de dispersion ou d'accumulation des polluants atmosphériques émis, dans la mesure où plus les conditions sont dispersives, plus les niveaux observés sont faibles. Ces conditions de stabilité ou de dispersion peuvent être définies par un ou plusieurs paramètres météorologiques, comme la hauteur de la couche de mélange, les inversions de température ou la vitesse de vent. Tandis que les deux premiers influencent l'accumulation de la pollution et permettent d'appréhender la stabilité « verticale » de l'atmosphère, la vitesse de vent, quant à elle, peut au contraire être considérée comme représentative de la dispersion « horizontale ». Les conditions les plus défavorables à la dispersion de la pollution atmosphérique se rencontrent lorsque les vitesses de vent sont nulles ou très faibles (0 à 2 m/s).

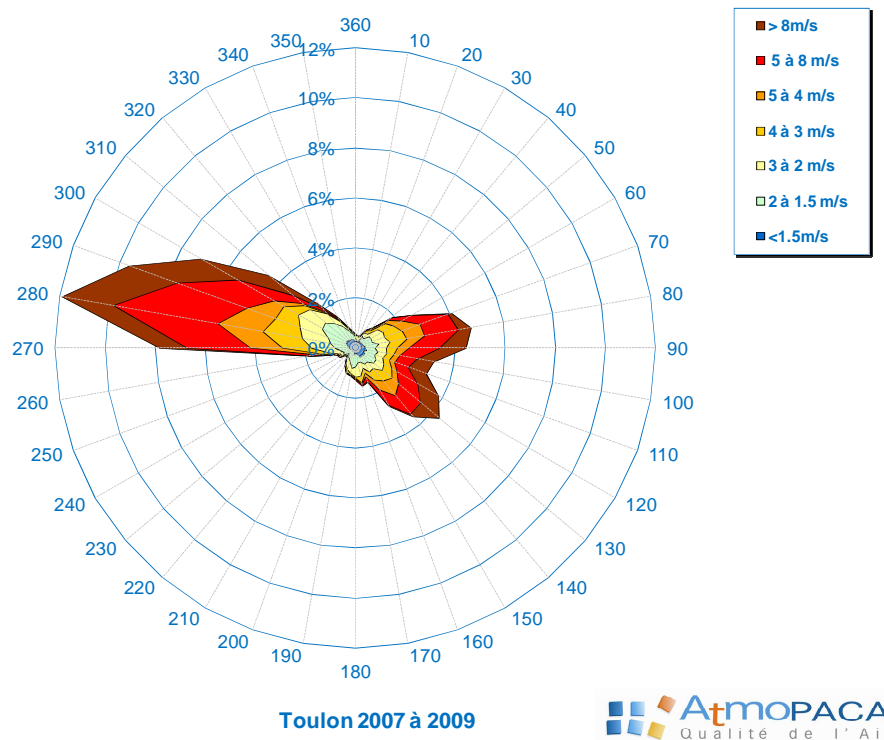


Figure 2 : Rose des vents de 2007 à 2009 à Toulon-La Mitre

Sur la Figure 2, les principaux régimes de vent observés sur le site de la Mitre, pendant la période de mesure, sont de secteurs Ouest, Est et Est-Sud-Est.

Les vents compris entre 2 et 5 m/s sont majoritaires (38 %), les vents forts (vitesse supérieure à 5 m/s) représentent 35 %, dont 14 % sont supérieurs à 8 m/s.

Les vents faibles, associés à des conditions atmosphériques stables, favorisent l'accumulation des polluants. Les vents forts contribuent, quant à eux, à la bonne dispersion des polluants sur l'agglomération. Cependant, par vent fort les concentrations en particules peuvent tout de même augmentées de façon significative sous l'effet du ré-envol des particules au sol et de leur remise en suspension dans l'air ambiant.

## 2.2. TEMPERATURE ET PRECIPITATIONS

Les émissions de polluants primaires (NOx, PM10, CO), majoritairement générées par l'activité humaine (transport, chauffage, industries...), évoluent selon les saisons et donc de la température extérieure. En effet, lorsque la température baisse, les émissions dues au chauffage et au transport augmentent (usage plus important de la voiture particulière).

La pluviométrie influe principalement sur le taux de particules fines en suspension dans l'air : les précipitations ramenant les polluants au sol par lessivage de l'atmosphère, la concentration en particules fines diminue. A l'inverse, par temps sec et stable, les particules ont tendance à s'accumuler, ce qui se traduit souvent par une moindre visibilité, l'atmosphère devenant plus « opaque ».

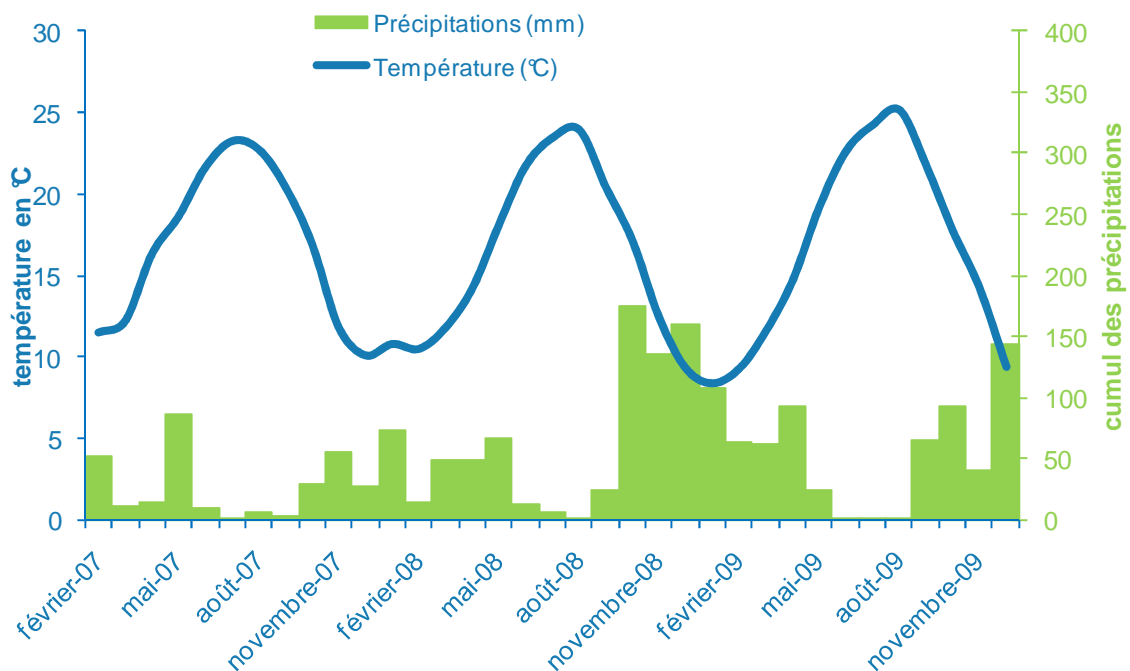


Figure 3 : Evolution de la température et des précipitations mensuelles de 2007 à 2009

La Figure 3 montre, au cours de ces trois années, les variations saisonnières de la température.

La pluviométrie est en moyenne faible. Toutefois, plusieurs mois se distinguent avec des précipitations plus importantes à l'automne 2008 (ainsi que sur l'ensemble de la région) et dans une moindre mesure à l'automne 2009. Les épisodes pluvieux, qui sont généralement très ponctuels, sur une période de quelques jours, induisent un important lessivage de l'atmosphère et donc une diminution significative des concentrations en particules dans l'air ambiant. Le suivi trimestriel a permis de mettre en avant ces épisodes (cf. 5).



## 3. RESULTATS – DISCUSSION

### 3.1. PARTICULES EN SUSPENSION

---

#### 3.1.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Les particules sont des polluants atmosphériques consistant en un mélange complexe de substances organiques et minérales en suspension dans l'air, sous forme solide et/ou liquide. Ces particules sont de taille, de composition et d'origine diverses. Leurs propriétés se définissent en fonction de leur diamètre aérodynamique appelé taille particulaire.

- La fraction thoracique des particules appelée PM10 (particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns).
- La fraction alvéolaire, les particules les plus fines appelées PM2,5 (particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns).

La taille des particules détermine leur temps de suspension dans l'atmosphère. Si, sous l'effet de la sédimentation et des précipitations, les PM10 finissent par disparaître de l'air ambiant dans les quelques heures qui suivent leur émission, les PM2,5, plus petites, peuvent rester en suspension plus longtemps et de ce fait peuvent parcourir de plus longues distances.

Les particules peuvent être primaires ou secondaires en fonction de leur mécanisme de formation.

**L'émission directe des particules primaires** dans l'atmosphère est le résultat de procédés anthropiques ou naturels. Les principales sources anthropiques sont la combustion de gazole (diesel des véhicules automobiles ; l'utilisation de combustibles domestiques solides (charbon, lignite et biomasse) ; les activités industrielles (construction, secteur minier, cimenteries, fabrication de céramique et de briques, fonderie) ; l'érosion des chaussées sous l'effet de la circulation routière et l'abrasion des pneus et des freins ; et les travaux d'excavation et les activités minières.

**Les particules secondaires** sont formées dans l'atmosphère, généralement sous l'effet de la réaction chimique des polluants gazeux. Elles sont le résultat de la transformation chimique des oxydes d'azote principalement émis par la circulation automobile et certains procédés industriels, et de l'anhydride sulfureux provenant de combustibles contenant du soufre.

#### 3.1.2. EFFETS SANITAIRES

Les effets sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une irritation des voies respiratoires inférieures, des effets mutagènes et cancérogènes (dus notamment aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) adsorbés à la surface des particules) et une mortalité prématurée. La pénétration des particules dans le système respiratoire dépend de leur taille ; plus elles sont fines, plus elles sont susceptibles de pénétrer profondément dans le système respiratoire, jusqu'au niveau des alvéoles pulmonaires pour les PM2,5.

Les études les plus récentes, effectuées dans le cadre du programme CAFE (Clean Air for Europe) permettent de chiffrer les impacts des PM2,5 sur les populations des pays de l'Union européenne : en Europe (UE-25), les études estiment à environ 350.000 le nombre de décès prématurés (dont 680 enfants) attribuables à la pollution par les particules fines. Les PM2,5 présentes dans l'atmosphère raccourcissent actuellement l'espérance de vie statistique dans l'UE de plus de 8 mois.

### 3.1.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009

La réglementation française définit deux normes pour les particules PM10 :

- Pour la pollution atmosphérique chronique, il s'agit de la moyenne annuelle,
- Pour les épisodes de courte durée, c'est le nombre de dépassement de la moyenne journalière.

Le Tableau 1, ci-dessous, présente la synthèse des mesures en particules de l'agglomération toulonnaise sur les trois dernières années.

*Tableau 1 : Synthèse des niveaux de PM<sub>10</sub> de 2007 à 2009*

PM <sub>10</sub> en µg/m <sup>3</sup>		Puits Marchand travaux	Toulon Foch trafic	Toulon Chalucet urbain	Hyères urbain
Taux de fonctionnement de l'analyseur (en %) sur les trois années 2007; 2008 ; 2009		44; 97; 79	90; 96; 93	97; 99; 100	97; 96; 98
<b>Moyenne</b>	<b>2007</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	32	26
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine : 40 µg/m <sup>3</sup> /an	<b>2008</b>	<b>44</b>	38	28	26
Objectif de qualité : 30 µg/m <sup>3</sup> /an	<b>2009</b>	<b>48</b>	39	29	25
<b>Maximum horaire</b>		1002 11/03/09 13:00	846 9/9/09 21:00	147 18/12/07 22:00	237 28/1/08 9:00
<b>Maximum journalier</b>		341 9/7/08	147 15/5/07	80 19/12/07 & 16/10/08	74 16/10/08
<b>Nombre de jours de dépassement de la valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine</b> (50 µg/m <sup>3</sup> /jour, tolérance 35 jours/an)	<b>2007</b>	<b>71</b>	<b>117</b>	<b>37</b>	<b>12</b>
	<b>2008</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	20	8
	<b>2009</b>	<b>111</b>	<b>71</b>	20	1
<b>Nombre de jours de dépassement de la valeur équivalente au seuil d'information et recommandations à la population</b> (80 µg/m <sup>3</sup> /24h)	<b>2007</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	0
	<b>2008</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	0
	<b>2009</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	0	0
<b>Nombre de jours de dépassement de la valeur équivalente au seuil d'alerte</b> (125 µg/m <sup>3</sup> /24h)	<b>2007</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	0	0
	<b>2008</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	0	0
	<b>2009</b>	<b>6</b>	0	0	0

#### **RESPECT DES NORMES A L'ECHELLE ANNUELLE**

La **valeur limite annuelle** pour la protection de la santé humaine relative aux PM10, est fixée à 40 µg/m<sup>3</sup>. **Sur le site chantier de Puits Marchand, elle est nettement dépassée sur les trois années de mesures.** Le site de Toulon Foch en proximité du trafic, dépasse ce seuil en 2007 puis le respecte en 2008 et en 2009 avec des concentrations moyennes respectives de 38 et 39 µg/m<sup>3</sup>.

Les deux sites urbains de l'agglomération toulonnaise respectent la valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine et depuis 2008, l'objectif de qualité (30 µg/m<sup>3</sup>) est également respecté.

### RESPECT DES NORMES A L'ECHELLE DE LA JOURNEE

Concernant la pollution de « pointe », il existe une valeur limite journalière ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à ne pas dépasser plus de 35 fois par an ainsi que des seuils d'information et d'alerte à la population.

Sur la totalité des sites urbains (Chalucet, Hyères) et trafic (Foch) de l'agglomération toulonnaise, une nette diminution du nombre de dépassement de la valeur limite journalière de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est mesurée de 2007 à 2009, avec respectivement 39% sur Toulon Foch, 46% sur Toulon Chalucet et 92% sur Hyères. **Aujourd'hui seul le site de proximité trafic avec 71 dépassements dépasse la tolérance réglementaire de 35 dépassements.**

Le site de Puits marchand est, quant à lui, impacté par la proximité des travaux de creusement et du chantier, il enregistre un nombre important de dépassement de la valeur limite journalière. Cette station est également située sur un site dont le sol est à nu, propice à des ré-envol terrigènes de particules.

Sur ce site en proximité des travaux, la valeur relative au seuil d'information et de recommandations à la population ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ ) a été atteinte, en moyenne, à 20 reprises sur les trois ans. En revanche, sur le site trafic les chiffres sont nettement plus faibles avec 16 dépassements en 2007 et seulement 4 ces deux dernières années.

De même, la valeur équivalente au seuil d'alerte ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ ) sur le site du chantier a été dépassée en moyenne 4 fois sur les trois années.

#### 3.1.4. EVOLUTION TRIMESTRIELLE DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES

L'évolution des concentrations en particules sur les différents sites, est étudiée à partir des concentrations moyennes mesurées au cours des différents trimestres, correspondant à la pollution chronique, et à partir du nombre de dépassement de la valeur limite journalière, correspondant à des épisodes de pollution.

Comme indiqué sur la Figure 4, ci-dessous, pour le site de Puits Marchand et à chaque trimestre, les niveaux de PM10 dépassent la valeur limite annuelle ; cette dernière n'a donc jamais été respectée en proximité des travaux. La comparaison avec les sites Toulon Foch et Toulon Chalucet, confirme l'influence des travaux à Puits Marchand sur les concentrations en particules dans l'air ambiant. Les niveaux moyens mesurés sont toujours supérieurs au site urbain et sont équivalents voire supérieurs au site de Toulon Foch.

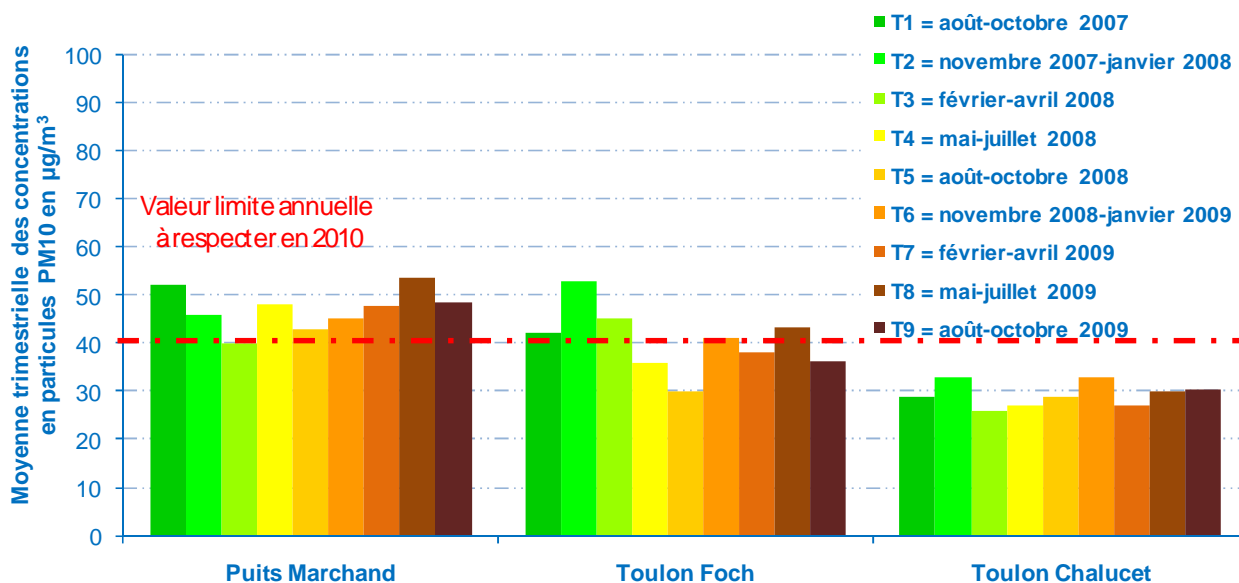


Figure 4: Evolution des moyennes par trimestre en PM10 à Puits Marchand, Toulon Foch et Toulon Chalucet

La Figure 5 montre pour les différents sites, les évolutions trimestrielles du nombre de dépassements de la valeur limite journalière ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Le suivi trimestriel des mesures a montré que les concentrations et le nombre de dépassement journalier en particules sont conditionnés par plusieurs paramètres, qui selon les sites, induisent des concentrations plus importantes pour les particules PM10 :

- les activités humaines à proximité des sites : trafic routier et travaux, pour lesquels les variations peuvent être plus difficiles à évaluer. Les concentrations sur le site de Puits Marchand et les sites Est et Ouest sont susceptibles de varier significativement.

- la pluviométrie : la pluie a la capacité de lessiver l'atmosphère, ainsi la concentration en particules diminue de façon significative pendant un épisode pluvieux et après celui-ci.

- la stabilité atmosphérique : Elle est généralement observée l'hiver avec des conditions de vent faible et une inversion thermique. La couche d'air présente sur l'agglomération est alors très fine (quelques centaines de mètres), les polluants atmosphériques se mélangent et restent au niveau du sol. Ce phénomène, qui peut se prolonger sur plusieurs jours, conduit par accumulation à une augmentation progressive des concentrations en polluants. Ces conditions impactent la totalité des sites de mesure de l'agglomération.

- le vent fort : les vents forts sont généralement associés à une bonne dispersion des polluants et donc à de faibles concentrations. Toutefois, pour un site dont le sol est à nu, comme c'est le cas pour les sites à proximité des travaux, les vents forts peuvent induire un ré-envol des particules terrigènes et entraîner d'importantes concentrations en particules.

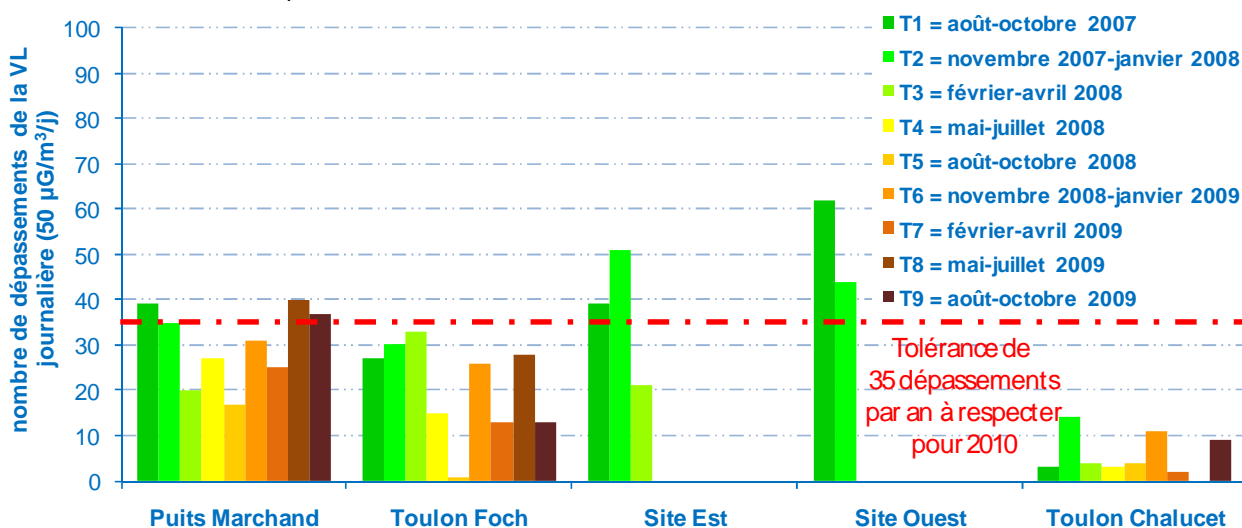


Figure 5 : Evolution du nombre de dépassements de la VL journalière

Au-delà des variations saisonnières (vent, température et pluviométrie), les concentrations relevées sur les différents sites dépendent aussi de la proximité à une source d'émission et de la typologie.

**Le site de Chalucet** montre ainsi une légère augmentation des concentrations en particules entre les mois de novembre et janvier. Il est principalement impacté par l'accumulation des polluants dans le cas de forte stabilité atmosphérique.

**Le site de Toulon Foch** dépend des conditions de stabilité atmosphérique mais aussi des conditions de trafic de l'agglomération toulonnaise. Les journées à forte congestion sont propices à une pollution atmosphérique en proximité des axes routiers. **Durant les premiers trois trimestres des travaux, le site a été fortement impacté par les modifications de voies de circulations liées au chantier du tunnel.**

**Les sites en proximité des travaux Est, Ouest, Puits Marchand** sont impactés les paramètres atmosphériques (vents fort, stabilité atmosphériques, pluviométrie) et bien sûr par l'activité des travaux.

## 3.2. DIOXYDE D'AZOTE

### 3.2.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) est un polluant dont l'origine principale est le trafic routier, issu de l'oxydation de l'azote atmosphérique et du carburant lors des combustions à très hautes températures. Le NO (monoxyde d'azote) émis à la sortie du pot d'échappement, est oxydé en quelques minutes en NO<sub>2</sub>. La rapidité de cette réaction permet de considérer le NO<sub>2</sub> comme un polluant primaire. On le retrouve en quantité relativement plus importante à proximité des axes de forte circulation et dans les centres-villes.

Il est particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver. Les oxydes d'azote sont des précurseurs de la pollution photochimique et de dépôts acides (formation d'acide nitrique).

### 3.2.2. EFFETS SANITAIRES

Le dioxyde d'azote occasionne une altération de la fonction respiratoire chez l'enfant en particulier, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

### 3.2.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009

La réglementation française définit pour le dioxyde d'azote des niveaux réglementaires sur différentes échelles temporelles afin de prendre en compte les effets sur la santé à court, moyen et long terme. Ainsi, la pollution atmosphérique de fond (effets chroniques) est suivie à l'échelle de l'année et la pollution de pointe (effets aigus) est surveillée à l'échelle horaire.

Le Tableau 2, ci-dessous, présente la synthèse des mesures en dioxyde d'azote de l'agglomération toulonnaise, sur les trois dernières années.

Tableau 2 : Synthèse des niveaux de NO<sub>2</sub> de 2007 à 2009

NO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup>		Puits Marchand travaux	Toulon Foch trafic	Toulon Chalucet urbain	Toulon Arsenal urbain
Taux de fonctionnement de l'analyseur (en %) sur les trois années 2007; 2008 ; 2009		37; 99; 70	89; 93; 98	99; 100; 99	95; 95; 95
<b>Moyenne</b>					
Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine et objectif de qualité : 40 µg/m <sup>3</sup> /an	2007	68	63	44	37
	2008	49	54	40	34
	2009	54	57	38	35
<b>Maximum horaire</b>		293 7/9/07 9:00	379 28/3/08 7:00	244 5/2/07 10:00	293 25/2/08 9:00
<b>Nombre d'heures de dépassement de la valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine</b> 200 µg/m <sup>3</sup> /h, tolérance 18 heures/an, applicable au 1 <sup>er</sup> janvier 2010	2007	17	116	2	4
	2008	2	39	0	16
	2009	7	21	1	1

#### RESPECT DES NORMES A L'ECHELLE ANNUELLE

La valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine est fixée à 40 µg/m<sup>3</sup>. Pour le site chantier de Puits Marchand et trafic de Toulon Foch, cette valeur limite est nettement dépassée sur les trois années de mesure et l'ensemble des trimestres (Figure 6).

Le site de Toulon Chalucet respecte cette valeur limite depuis 2008, et le site de Toulon Arsenal respecte cette valeur sur les trois années.

**Une diminution des concentrations moyennes en dioxyde d'azote est observée sur tous les sites.**

### **RESPECT DES NORMES A L'ECHELLE HORAIRE**

Concernant la pollution de « pointe », il existe une valeur limite horaire ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à ne pas dépasser plus de 18 heures par an, ainsi que des seuils d'information et d'alerte à la population.

**Sur la totalité des sites urbains** (Chalucet, Arsenal) et **trafic** (Foch) de l'agglomération toulonnaise, **une nette diminution du nombre d'heures de dépassement** de la valeur limite de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est mesurée entre 2007 et 2009, avec respectivement 82% sur Toulon Foch, 50% sur Toulon Chalucet et 75% sur Arsenal.

**En 2009, seul le site de proximité trafic avec 21 dépassements ne respecte pas la tolérance réglementaire de 18 dépassements autorisés.**

**Le site de Puits Marchand** affiche également une diminution significative de 59% des épisodes de pointe au dioxyde d'azote. Ce site respecte la valeur limite pour la protection de la santé humaine. La fin de l'année 2007 a été la plus marquée par ces pics, en raison de la grande proximité des engins de chantier lors du lancement des travaux.

**Le dépassement simultané de la valeur limite horaire sur au moins deux sites de mesure** (à l'exclusion de Puits Marchand) entraîne la mise en place d'une information d'épisode de pollution sur l'agglomération. **Il y a ainsi eu 3 déclenchements en 2007, 1 en 2008 et 1 en 2009.**

### **3.2.4. EVOLUTION TRIMESTRIELLE DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE**

L'évolution des concentrations en dioxyde d'azote est étudiée à partir des concentrations moyennes mesurées au cours des différents trimestres, correspondant à la pollution chronique, et à partir du nombre de dépassement de la valeur limite horaire, correspondant à des épisodes de pollution.

Comme indiqué sur la Figure 6, ci-après, le suivi trimestriel montre que les sites en proximité des sources de Puits Marchand et de Toulon Foch dépassent sur tous les trimestres la valeur de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , équivalente à la VLA<sup>2</sup>. **Le premier trimestre à Puits Marchand et les trois premiers à Toulon Foch** relèvent les concentrations moyennes les plus importantes :

- **le premier trimestre à Puits Marchand**, les concentrations en dioxyde d'azote y sont les plus élevées ; la mise en place des travaux et le début du creusement ont induit d'importantes émissions dues aux engins de chantier. A partir du troisième trimestre, la mise en place d'un entrepôt faisant office de "couvercle" sur la zone de chantier et la poursuite des travaux en souterrain a conduit à une diminution des concentrations en oxydes d'azote. Toutefois, les niveaux restent au dessus de la valeur limite à respecter pour la protection de la santé humaine.

- **les trois premiers trimestres à Toulon Foch**, les concentrations en dioxyde d'azote y sont les plus élevées. Depuis 2002, première année de la surveillance sur le site de Toulon Foch, trois périodes se distinguent nettement : l'hiver 2006, l'hiver 2007 et surtout la période de septembre 2007 à avril 2008, qui enregistre les concentrations les plus élevées avec, en moyenne sur 9 mois, une concentration de  $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , contre  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre 2002 et 2010. **Les dépassements de la valeur limite horaire sur ces 9 mois (96 dépassements) représentent 38% des dépassements mesurés en 8 ans sur la station Toulon Foch.**

**La mise en place des travaux du tunnel a engendré une perturbation du trafic ayant des conséquences sur les concentrations en oxydes d'azote en proximité des axes routiers et notamment sur le site de Toulon Foch. Les concentrations sont ensuite redevenues proches de la moyenne de la station ( $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et le nombre d'épisode de pollution a diminué sensiblement, passant de 116 en 2007 à 21 en 2009.**

**Sur les deux sites urbains** de Toulon Chalucet et Arsenal, les variations saisonnières sont bien observées avec des niveaux plus faibles pendant les périodes estivales et les concentrations moyennes les plus élevées sur les trimestres hivernaux (novembre à janvier). Le trimestre de novembre 2007 à janvier 2008 a été soumis à **une météorologie très stable** favorable à **l'accumulation des polluants** ce qui explique les fortes concentrations sur cette période. **Les concentrations en dioxyde d'azote évoluent nettement à la baisse sur le site de Chalucet et restent assez stable sur le site Arsenal.**

<sup>2</sup> Valeur Limite Annuelle

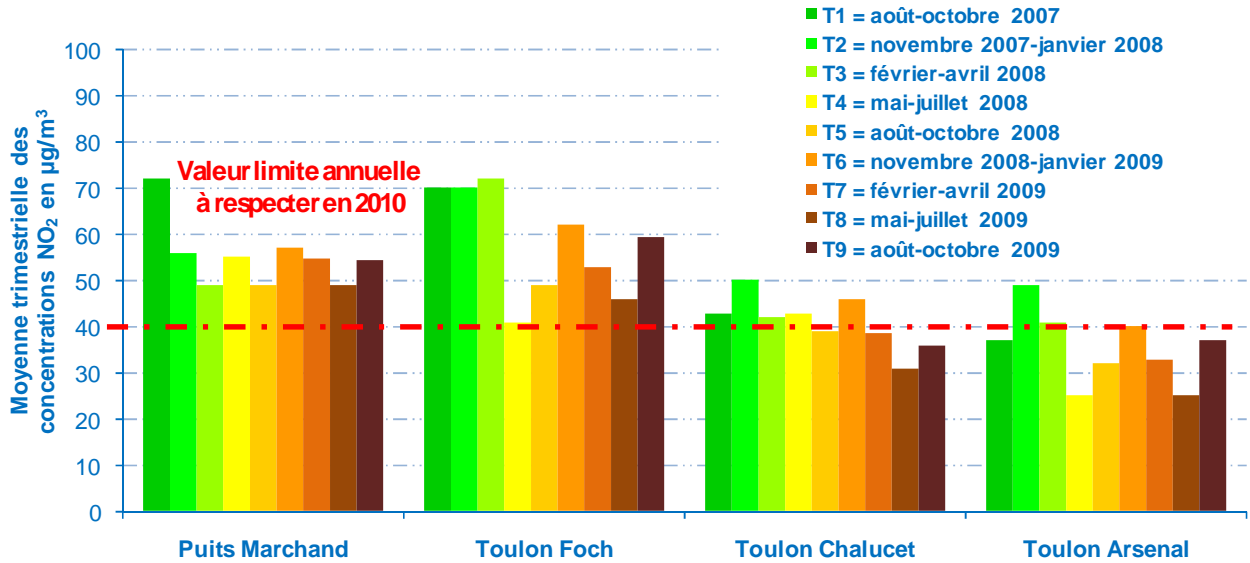


Figure 6: Evolution des moyennes par trimestre en dioxyde d'azote

Le suivi et l'étude du nombre de dépassement par trimestre de la valeur limite horaire en dioxyde d'azote, confirment les observations faites sur les valeurs moyennes :

- spécificité du premier trimestre à Puits Marchand,
- spécificité des trois premiers trimestres sur le site de Toulon Foch,
- dépassement ponctuel sur les deux sites urbains pendant la période hivernale,

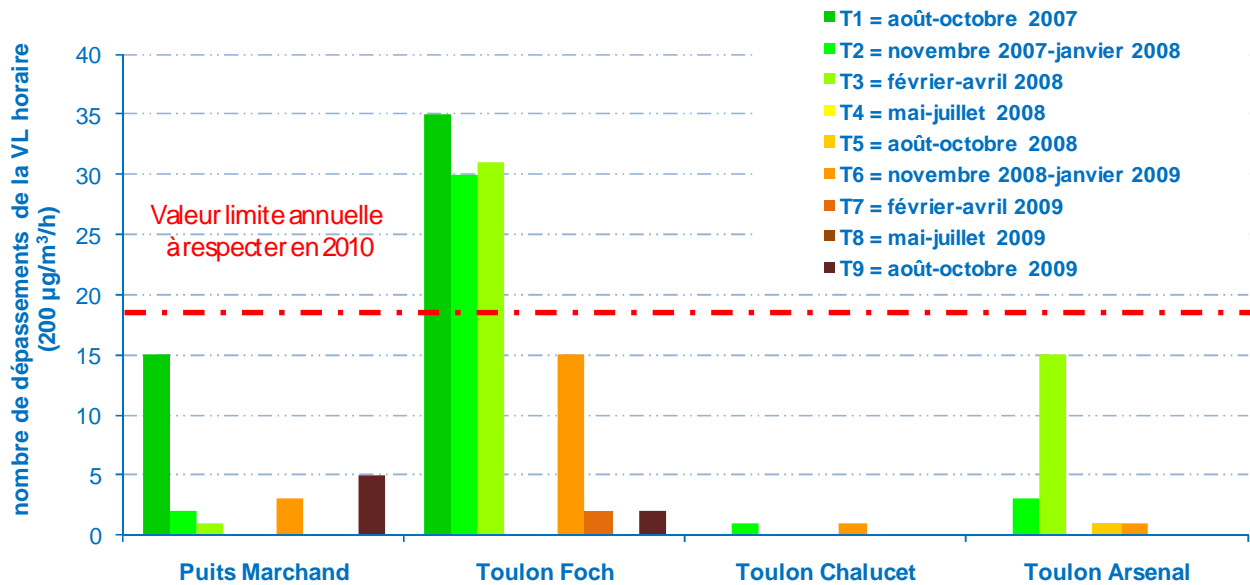


Figure 7: Evolution du nombre de dépassements de la VL horaire

L'étude des dépassements de la valeur limite horaire indique également, que le site Toulon Arsenal sur le troisième trimestre a mesuré des concentrations en dioxyde d'azote plus élevées que d'ordinaire, avec 5 journées (21, 22, 25, 26 février et 1 avril 2008) où la valeur de 200 µg/m³/h a été dépassée à plusieurs reprises (15).

### 3.3. MONOXYDE DE CARBONE

#### 3.3.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le CO (monoxyde de carbone) est un polluant issu de combustions incomplètes.

Il est principalement émis par l'automobile (à faible vitesse : ralentissements, bouchons), mais aussi par le chauffage domestique. On le retrouve surtout à proximité des axes à fort trafic et en milieu confiné. Il est plus particulièrement présent lors des conditions de forte stabilité atmosphérique : situations anticycloniques et inversions thermiques en hiver qui limitent sa dispersion habituellement rapide.

#### 3.3.2. EFFETS SANITAIRES

Se fixant à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine, il provoque une baisse de l'oxygénation du sang (hypoxie) jusqu'à devenir mortel. C'est aussi un neurotoxique (céphalées, troubles du comportement, vomissements) et un myocardiotoxique. Il provoque également des troubles sensoriels (vertiges).

#### 3.3.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009

Une seule valeur réglementaire existe pour ce polluant. Il s'agit de la valeur limite calculée à partir des concentrations horaires moyennées sur 8h, établie à 10 mg/m<sup>3</sup>.

*Tableau 3 : Synthèse des niveaux de CO de 2007 à 2009*

CO en mg/m <sup>3</sup>		Puits Marchand travaux	Toulon Foch trafic
Taux de fonctionnement de l'analyseur (en %) sur les trois années 2007; 2008 ; 2009		44 ; 99 ; 78	85 ; 99 ; 96
Moyenne	2007	0.6	0.5
	2008	0.4	0.3
	2009	0.4	0.5
Maximum horaire	2007	<b>3.6</b> 31/12 20:00	<b>4.2</b> 16/02 9 :00
	2008	<b>3.0</b> 25/11 9:00	<b>2.9</b> 28/01 9:00
	2009	<b>10.0</b> 19/10 22:00	<b>8.8</b> 13/01 15 :00
Valeur limite en moyenne sur 8h valeur limite : 10 mg/m <sup>3</sup>	2007	2.9	2.6
	2008	2.3	1.7
	2009	3.1	2.8

La valeur limite est respectée sur les deux sites, sur toutes les périodes de mesure.



De façon générale, les fortes émissions en monoxyde de carbone apparaissent lorsque des véhicules roulent à faible vitesse. Les concentrations mesurées sur les deux sites sont du même ordre de grandeur. Le trimestre huit montre une augmentation des niveaux moyens sur le site de Toulon Foch entre le 29 mai et le 4 juillet 2009 (Figure 8). Aucune explication n'a pu être confirmée pour identifier cette hausse. Néanmoins, les concentrations restent nettement en deçà de la valeur limite réglementaire dans l'air ambiant.

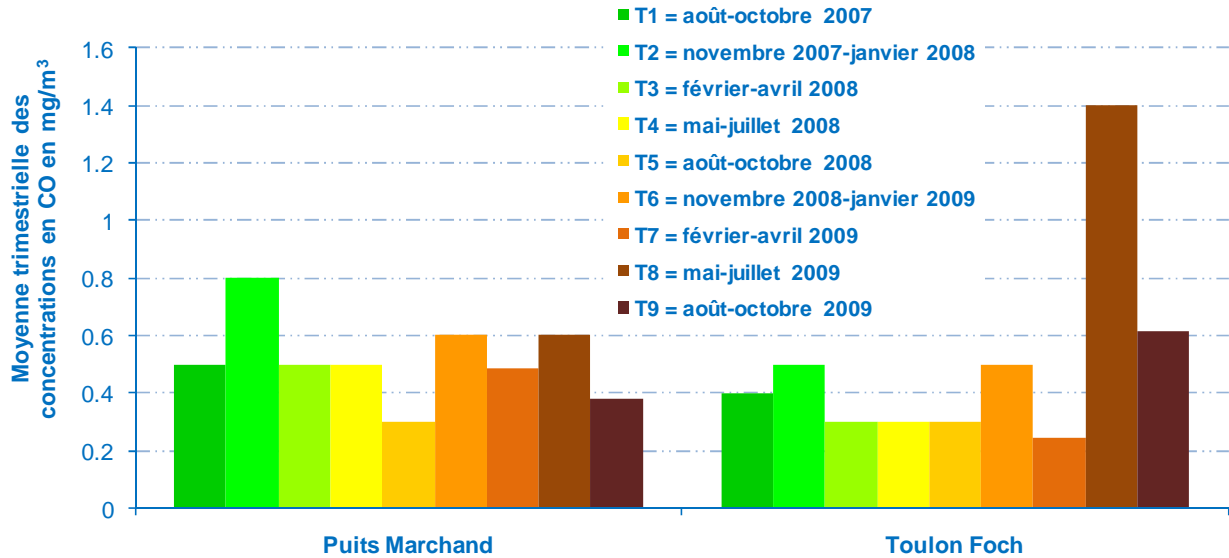


Figure 8: Evolution des moyennes par trimestre en monoxyde de carbone

### 3.4. BENZENE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

#### 3.4.1. ORIGINE ET DYNAMIQUE

Le benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) est un Hydrocarbure Aromatique Monocyclique (HAM). Ce polluant est majoritairement issu, en milieu urbain, de la pollution par les transports. En effet, il entre dans la composition des essences. Il est particulièrement présent sur les axes encombrés, où les véhicules circulent à petite vitesse et sont amenés à faire de fréquents changements de régime. Au 1<sup>er</sup> janvier 2000, la teneur en benzène des carburants est passée de 5% à 1% en volume. Ainsi, les émissions ayant pour origine les transports ont ainsi diminué de 47% (54% pour le seul transport routier) du total des émissions entre 2000 et 2006.

#### 3.4.2. EFFETS SANITAIRES

En exposition aiguë, les effets du benzène sur la santé se caractérisent le plus souvent par des troubles du système nerveux (fatigues, vertiges, céphalées, sensation d'ivresse et d'euphorie, des irritations des voies respiratoires, des conjonctivites oculaires et des irritations de la peau).

En exposition chronique (exposition prolongée ou répétitive), le benzène agit comme un agent cancérogène<sup>3</sup> et mutagène.

<sup>3</sup> Mis en évidence en 1987 avec sa classification par le CIRC dans le groupe 1 (substance prouvée cancérogène pour l'homme)

### 3.4.3. RESULTATS DES MESURES DE 2007 A 2009

Parmi les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et m-p-o-Xylène) seul le benzène est réglementé. Les valeurs des autres substances sont fournies à titre indicatif.

La réglementation a défini deux valeurs annuelles pour le benzène. L'objectif de qualité est fixé à 2 µg/m<sup>3</sup> et la valeur limite pour la protection de la santé humaine est établie à 5 µg/m<sup>3</sup> applicable au 1<sup>er</sup> janvier 2010.

**Tableau 4 : Synthèse des niveaux de BTEX de 2007 à 2009**

benzène en µg/m <sup>3</sup>		Puits Marchand travaux	Toulon Foch trafic	Toulon Chalucet urbain	La Seyne-sur-Mer* urbain
<b>Moyenne</b> valeur limite : 5 µg/m <sup>3</sup> objectif de qualité : 2 µg/m <sup>3</sup>	2007	2.1**	2.5	1.6	1.9
	2008	2.0	1.8	1.6	1.8
	2009	1.8**	1.9	1.5	1.8
<b>-----</b>					
<b>Moyenne toluène</b>	2007	12.8	13.3	6.6	7.9
	2008	10.6	7.7	5.8	6.7
	2009	12.6	7.8	5.9	7.9
<b>Moyenne éthylbenzène</b>	2007	2.6	3.1	1.5	2.0
	2008	1.9	2.5	1.3	1.7
	2009	2.0	1.7	1.2	1.8
<b>Moyenne m+p-xylènes</b>	2007	6.9	8.3	4.2	5.4
	2008	5.6	8.1	3.9	4.6
	2009	6.5	5.4	3.8	5.6
<b>Moyenne o-xylène</b>	2007	2.8	3.2	1.6	2.1
	2008	2.2	3.1	1.6	1.7
	2009	2.6	2.2	1.5	2.2
<b>Rapport toluène / benzène</b>	2007	6.0	5.3	4.1	4.2
	2008	5.4	4.2	3.7	3.8
	2009	6.9	4.1	3.9	4.4

\* la station de la Seyne sur Mer a du être déplacée, les prélèvements en BTEX ont été maintenus afin d'assurer un historique.

\*\*Le suivi du benzène à Puits Marchand, comme pour les autres polluants ne dispose pas de 100% des données sur les années 2007 (début en juillet) et 2009 (arrêt en novembre).

La valeur limite en benzène est respectée sur les quatre sites de surveillance et depuis 2008 l'objectif de qualité de 2 µg/m<sup>3</sup> est également atteint pour toutes les périodes de mesure.

Le rapport toluène sur benzène (T/B) sur le site Puits Marchand est compris entre 5.4 et 6.9, indiquant la présence d'une source d'émission plus spécifique en toluène au niveau du chantier, qui n'a pu être identifiée. Les sites de surveillance en situation urbaine et trafic mesurent habituellement un rapport T/B compris entre 2 et 5, ce qui caractérise une influence automobile.

### 3.4.4. EVOLUTION TRIMESTRIELLE DES CONCENTRATIONS EN BENZENE

L'évolution des concentrations en benzène est étudiée à partir des concentrations moyennes mesurées au cours des différents trimestres, correspondant ainsi à la pollution chronique.

Sur tous les sites de mesure en benzène, la variabilité saisonnière est bien marquée avec des concentrations plus élevées sur les périodes hivernales, plus propices à l'accumulation des polluants dans l'agglomération. Les évolutions des sites sont bien corrélées. Les concentrations les plus élevées sont celles mesurées en proximité des sources d'émissions du trafic, Toulon Foch et Puits Marchand (travaux).

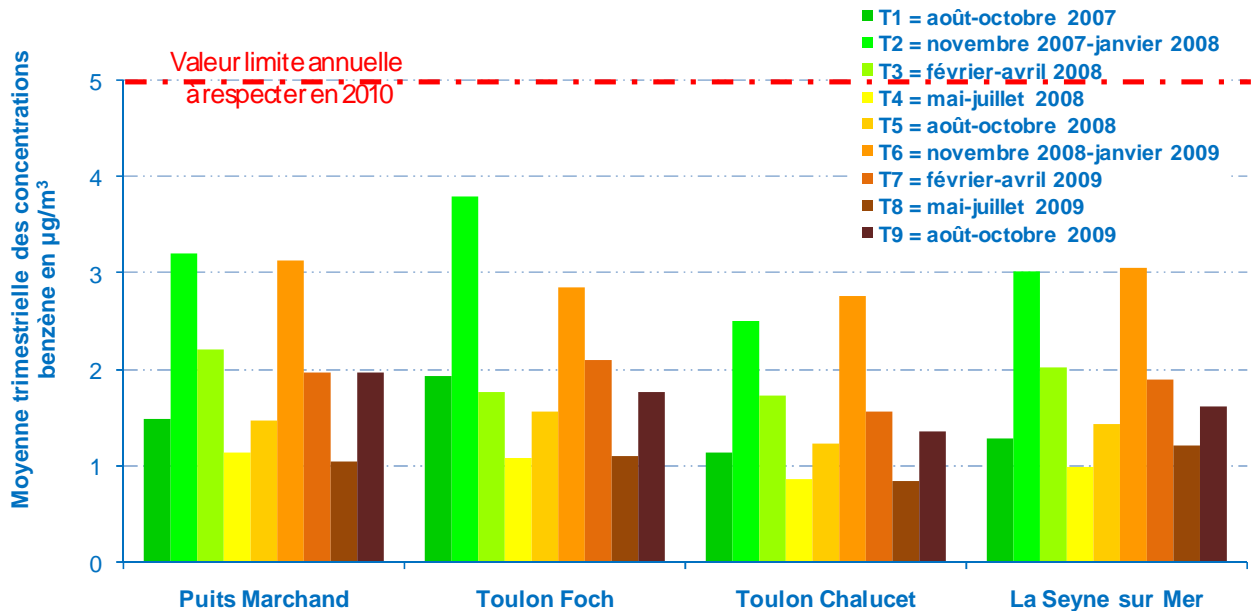


Figure 9: Evolution des moyennes par trimestre en benzène

### 3.5. ETUDE DES INDICES DE QUALITE DE L'AIR PAR SITE

Tout au long des trois années des indices de qualité de l'air ont été calculés sur les différents sites (fixes ou temporaires) de surveillance de la qualité de l'air dans Toulon. L'indice de la qualité de l'air est destiné à qualifier globalement, chaque jour, la qualité de l'air. Ces indices par site, habituellement calculés sur la ville ou l'agglomération et appelés indice Atmo, ont permis de comparer les différents sites en fonction de leur typologie et des émissions locales de polluants.

Ces informations étaient diffusées directement à l'attention du public sur une page internet spécifique à cette étude : <http://toulon.airtunnel.atmopaca.org/>.

L'indice Atmo de Toulon est calculé avec plusieurs stations urbaines et périurbaines de l'agglomération (la Seyne sur Mer, Toulon Chalucet, Toulon Arsenal et la Valette). Les sites trafic et de suivi des travaux ne sont pas pris en compte dans ce calcul.

Cet indice est consultable sur le site internet d'Atmo PACA ([http://www.atmopaca.org/atmo/indice\\_atmo.php](http://www.atmopaca.org/atmo/indice_atmo.php)). Vous pouvez aussi le recevoir par mail en vous inscrivant à l'adresse suivante : [http://www.atmopaca.org/mailling\\_list.php](http://www.atmopaca.org/mailling_list.php)

#### 3.5.1. MODE DE CALCUL

Le mode de calcul est basé sur celui de l'indice Atmo, les indices par sites sont calculés à partir des concentrations de chaque polluant. Deux à trois polluants ont été pris en compte dans le calcul en fonction des sites :

- Particules fines de diamètre inférieur à 10 µm (PM10)
- Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)
- Ozone (O<sub>3</sub>)

Les niveaux pour chacun des polluants considérés sont ensuite classés sur une échelle de 1 (très bon) à 10 (très mauvais). Le plus élevé de ces sous indices donne l'indice global de la qualité de l'air de la journée. L'indice 8 correspond à la valeur des seuils d'information à la population et l'indice 10 à la valeur des seuils d'alerte.

10	Très mauvais
9	Mauvais
8	Mauvais
7	Médiocre
6	Médiocre
5	Moyen
4	Bon
3	Bon
2	Très bon
1	Très bon

#### 3.5.2. ETUDE DES INDICES DE 2007 A 2009

La Figure 10 montre sur chaque année du suivi les indices de qualité de l'air par site de mesure.

**Les Indices de Qualité de l'Air sur le site urbain de Toulon Chalucet** sont compris entre bon et moyen 80 à 90% de l'année. Des indices mauvais ont été mesurés sur ce site 3 fois en 2007 et une seule fois en 2008 et en 2009. Le nombre d'indice moyen a augmenté en 2009 en raison de la mise en place d'un analyseur d'ozone, polluant à l'origine de l'indice 44% du temps en 2009.

**Les Indices de Qualité de l'Air sur le site trafic de Toulon Foch**, reflètent bien les observations faites sur les différents polluants (particules et dioxyde d'azote). L'année 2007 a enregistré des concentrations en dioxyde d'azote beaucoup plus élevées que la normale et induit des indices de qualité de l'air mauvais (8). Le dioxyde d'azote est responsable de la moitié des indices mauvais en 2007. **Entre 2007 et 2009, le nombre d'indice MAUVAIS à TRES MAUVAIS a diminué de 80%** passant de 69 à 13. De ce fait, le nombre d'indice **BON a quasiment doublé**, passant de 74 à 144 et **les indices MOYENS à MEDIOCREs ont augmenté légèrement de 6%**.

**Les Indices de Qualité de l'air spécifiques à la zone chantier** (Puits Marchand) ont atteint à 74 reprises les niveaux 8 (Mauvais) à 10 (Très Mauvais). **La majorité (90%) de ces indices supérieurs à 8 est mesurée pendant les jours ouvrés et les périodes de travaux.** Pour les autres dépassements, ils ont eu lieu durant les week-ends.

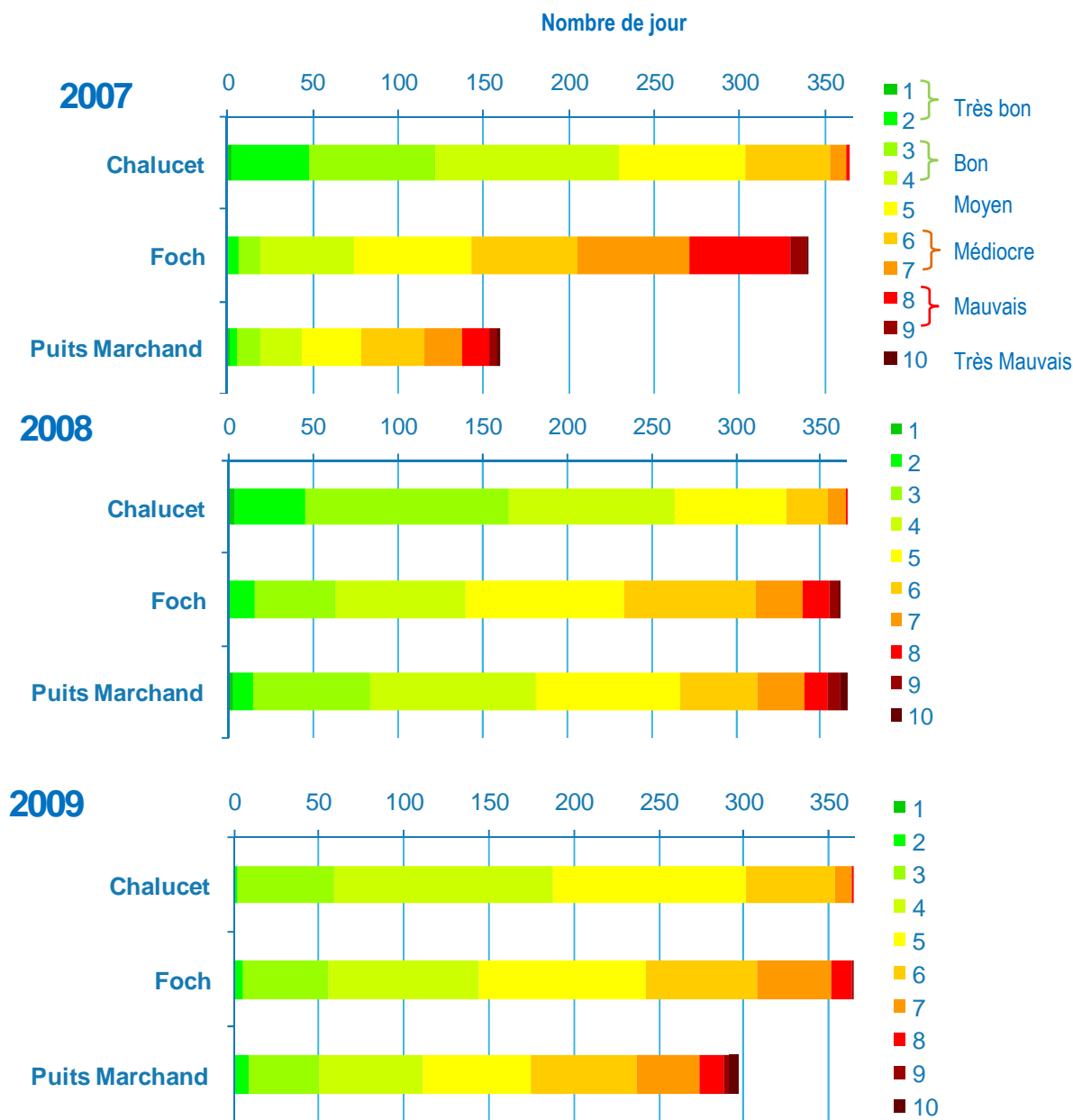
Voici quelques exemples de journées particulières :

- Le 16 février 2008 : pic de particules sur l'ensemble de l'agglomération toulonnaise. Les indices sont de 7 à Foch et Chalucet et 8 à Puits Marchand.

- 5 jours<sup>4</sup> sur ces 3 années affichent de fortes concentrations en particules le week-end sur le site de Puits Marchand ; ces dates correspondent à des jours avec une météorologie très dispersive (vents forts (cf p.12)). Les vents forts ont induit un ré-entrainement des particules terrigènes du sol à nu à proximité du site de mesure. Sur ces cinq journées, les indices de qualité de l'air étaient bons sur les autres sites de l'agglomération, indiquant bien une pollution locale.

- Le 24 octobre 2009 : indice 8 en dioxyde d'azote atteint seulement sur le site de Puits Marchand, pollution très locale induite par un moteur à combustion.

**Sur les trois années les indices sur le site de Puits Marchand sont plus mauvais que sur le reste de l'agglomération, avec des indices entre mauvais et très mauvais beaucoup plus nombreux que sur le site urbain.**



A Puits Marchand, les mesures ont débutées en août 2007 et se sont terminées en novembre 2009, tous les indices ne sont donc pas disponibles pour ces années.

Figure 10 : Indices journaliers de qualité de l'air de 2007 à 2009 sur les trois sites

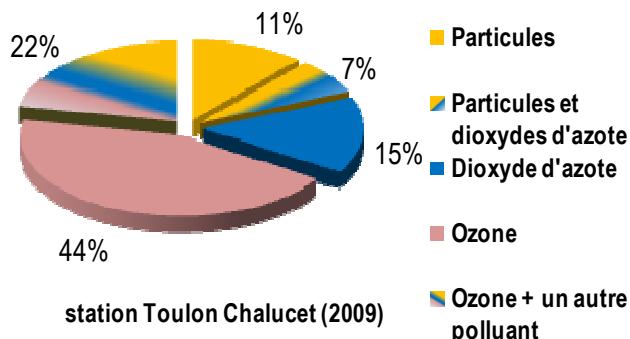
<sup>4</sup> Les samedi 5, 19 juillet et 29 novembre 2008 ; le dimanche 21 juin et le samedi 18 juillet 2009

### 3.5.3. POLLUANTS A L'ORIGINE DES INDICES, SPECIFICITE DES SOURCES LOCALES

L'indice de qualité de l'air est déterminé par le polluant ayant le sous indice le plus élevé. L'étude des polluants à l'origine de l'indice de qualité de l'air est une information permettant de bien comprendre les spécificités des sites de surveillance et leur typologie sur l'agglomération toulonnaise.

#### Toulon Chalucet :

Les indices sont principalement déterminés par l'ozone à 44% et à part "égale" par les particules et les oxydes d'azote avec respectivement 11% et 15%. Cette station est représentative de la qualité de l'air moyenne dans l'agglomération toulonnaise. Elle est impactée, l'été, par des concentrations en ozone importantes et mesure, l'hiver, principalement des concentrations en NO<sub>2</sub> et PM, issues des émissions locales qui sont à l'origine de l'indice.



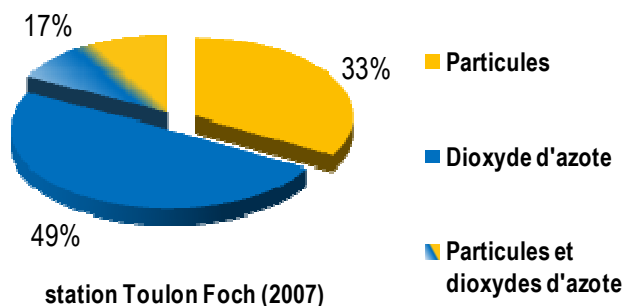
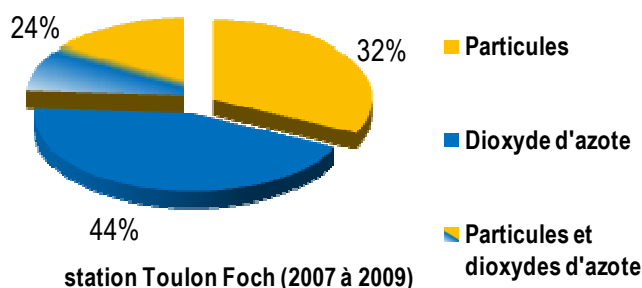
#### Toulon Foch :

En moyenne sur les trois années, les indices de qualité de l'air sur cette station sont définis à part égale par les particules et le dioxyde d'azote. Ces deux polluants sont principalement émis par le trafic routier :

- Sur les 5kt d'oxydes d'azote émis sur TPM, **79% sont émis par le trafic routier**<sup>5</sup>.
- Sur les 917 t de particules totales émises sur TPM, **60% sont émises par le trafic routier**<sup>3</sup>.

La grande proximité à ces émissions explique la prédominance de ces polluants.

L'année 2007, ci-contre, montre la part importante de dioxyde d'azote dans les indices. Les concentrations en dioxyde d'azote ont été à l'origine de plus de 50% des indices mauvais à très mauvais sur cette station en 2007.



#### Puits Marchand :

Sur les trois années de surveillance, l'indice de qualité de l'air en proximité des travaux est à plus de 54% déterminé par les concentrations en particules dans l'air ambiant. Seulement 18% sont liés aux concentrations en dioxyde d'azote.

Comme l'a montré le suivi des concentrations en polluant en proximité de travaux, les particules sur ce site ont dépassé l'ensemble des valeurs réglementaires et sont à l'origine des indices de qualité de l'air les plus mauvais.

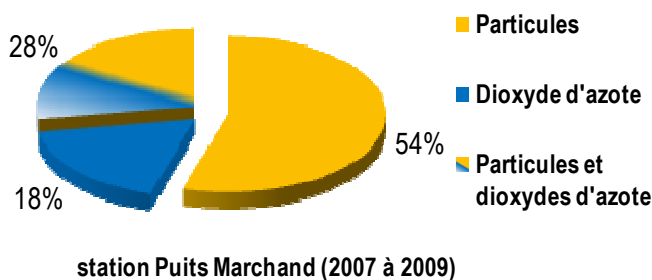


Figure 11 : Polluants majoritaires des indices de qualité de l'air sur les différentes stations

<sup>5</sup> Source : inventaire des émissions 2004, Atmo PACA, [http://www.aires-mediterranee.org/html/emiprox\\_fm.htm](http://www.aires-mediterranee.org/html/emiprox_fm.htm)

## 4. CONCLUSION

La réalisation de la traversée souterraine de Toulon avec la mise en service du 2<sup>ème</sup> tube du tunnel, a nécessité une longue phase de travaux. La DRE a confié à Atmo PACA le suivi continu de la qualité de l'air, afin d'évaluer les concentrations des polluants, et de les comparer aux seuils réglementaires.

### Le suivi de la qualité de l'air souligne plusieurs observations importantes sur l'impact des différentes phases de travaux

#### La pollution chronique en proximité des travaux à Puits Marchand :

- **Les valeurs limites annuelles** pour la protection de la santé humaine relative au **dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et aux particules PM<sub>10</sub>**, fixées à 40 µg/m<sup>3</sup>, **sont dépassées** sur le site chantier de Puits Marchand **sur les trois années de mesure et sur l'ensemble des trimestres**.
- La valeur limite en benzène est respectée sur le site de Puits Marchand.

#### Les pics de pollution sur le site de Puits Marchand

- **La valeur limite journalière en particules (PM<sub>10</sub>) a été dépassée chaque année sur les 3 ans (57 fois en moyenne)**, alors qu'une tolérance de seulement 35 dépassements est réglementairement acceptée.
- La **valeur relative au seuil d'information et de recommandations à la population en particules (80 µg/m<sup>3</sup>/24h) a été atteinte 20 fois, en moyenne, sur les trois ans**.
- La **valeur équivalente au seuil d'alerte en particules (125 µg/m<sup>3</sup>/24h) a été dépassée en moyenne 4 fois sur les trois années**.
- La valeur limite horaire en dioxyde d'azote de 200 µg/m<sup>3</sup>, a été dépassée à plusieurs reprises, principalement sur les deux premiers trimestres, toutefois **la tolérance de 18 dépassements est respectée sur les trois années de suivi, pour chaque année**.
- La valeur limite réglementaire en monoxyde de carbone est respectée sur les 9 trimestres de la surveillance du site de proximité des travaux de Puits Marchand.

### L'impact des travaux sur la qualité de l'air de l'agglomération toulonnaise

**Les sites urbains de l'agglomération toulonnaise** n'ont pas été significativement impactés par les travaux, ils sont principalement influencés par les conditions météorologiques, qui favorisent ou non la dispersion des polluants sur l'agglomération. Le trimestre de novembre 2007 à janvier 2008 a été soumis à **une météorologie très stable** favorable à **l'accumulation des polluants**, ce qui explique les concentrations un peu plus élevées sur Chalucet pendant cette période hivernale. **Depuis**, les concentrations en dioxyde d'azote diminuent et celles en particules (PM<sub>10</sub>) restent stables sur ce site. **En 2009, les sites urbains ont enregistré un pic de pollution en dioxyde d'azote (le 13 janvier), mais respectent toutes les autres valeurs réglementaires en particules et en dioxyde d'azote.**

**Les neuf premiers mois des travaux ont été menés simultanément sur trois sites** (tête Est, tête Ouest et Puits Marchand). Ces travaux ont engendré des perturbations importantes du trafic dans l'agglomération toulonnaise, qui a eu une répercussion sur la qualité de l'air à proximité des axes à fort trafic. Le site de Toulon Foch (trafic) enregistre pendant cette période une concentration moyenne en dioxyde d'azote de 71 µg/m<sup>3</sup>, contre 56 µg/m<sup>3</sup> depuis son implantation et le nombre de dépassements de la valeur limite horaire sur ces 9 mois (96 dépassements) représentent 38% des dépassements depuis son implantation en 2002. Le nombre de dépassement journalier en particules sur le site trafic est également plus important sur ces trois premiers trimestres. **La qualité de l'air en proximité des grands axes routiers s'est donc nettement dégradée en raison des travaux sur les trois premiers trimestres de l'étude d'août 2007 à avril 2008.**

**Le suivi des niveaux en PM10 sur les sites spécifiques au chantier** met en évidence des concentrations supérieures à tous les autres sites urbains et trafic. Les niveaux mesurés sont très nettement supérieurs aux valeurs réglementaires en vigueur. **Les activités chantiers engendrent donc une nette dégradation de la qualité de l'air dans leur très proche environnement, ayant un impact sur les riverains limitrophes et de façon plus prononcée pour l'ensemble du personnel travaillant sur site.**

Suite à ces observations des deux premiers trimestres de l'étude et afin de limiter les émissions et la dispersion de particules sur le site de Puits Marchand, un entrepôt "couvercle" a été installé sur la zone chantier de puits d'attaque et d'extraction de la terre pour le creusement du tunnel.

#### **Première étude sur l'origine des particules sur les sites de proximité des travaux :**

Le suivi trimestriel des concentrations en particules sur le site en proximité des travaux a permis d'identifier plusieurs sources d'émission en particules fines. Ces informations ont été confirmées par les analyses chimiques réalisées en 2008 lors d'une étude complémentaire menée par Atmo PACA en partenariat avec le CEREGE et le LGGE. (cf. 5)

Suite aux forts niveaux en PM10 relevés sur le chantier, une étude comparative destinée à caractériser les particules, a été menée d'avril à juin 2008 sur les sites de Puits Marchand et Chalucet. Le dispositif de mesures a été complété avec des mesures en particules fines PM2,5, ainsi que des analyses minéralogiques, chimiques et géochimiques. Les résultats indiquent :

- des concentrations en particules fines (PM2,5) équivalentes entre Puits Marchand et Toulon Chalucet. Le rapport PM2,5/PM10 est nettement plus important à Chalucet.
- une part plus importante des particules d'origine terrigène à Puits Marchand, tant dans les concentrations en PM10 que dans les PM2,5.
- une augmentation des facteurs d'enrichissement pour les métaux lourds à Chalucet.
- Sur le site de Puits Marchand, les concentrations en carbone élémentaire sur la phase PM2,5 sont bien mesurées en semaine (et non le dimanche), cela indique un impact des engins de chantiers sur les concentrations en particules fines.

Cette étude souligne une influence des travaux et des sources terrigènes sur le site de Puits Marchand sur les concentrations en particules. Le site de Toulon Chalucet est, quant à lui, principalement impacté par des particules issues du trafic routier.

**Le suivi trimestriel des concentrations en particules et des données météorologiques a également permis de constater que les concentrations élevées sur le site de Puits Marchand semblent dues à trois paramètres :**

- les activités humaines sur site, génératrices d'émissions et de remise en suspension des particules (PM10) par les engins de chantier, remplissage de silos et mélangeur à ciment.
- les conditions météorologiques :
  - **les vents forts** sont généralement associés à une bonne dispersion des polluants et donc à de faibles concentrations. Toutefois, pour un site dont le sol est à nu, comme c'est le cas pour les sites de proximité des travaux, les vents forts induisent un ré-envol des particules terrigènes. Cela provoque une remise en suspension des particules (PM10 et PM2,5) dans l'air ambiant et de fait une augmentation de leurs concentrations.
  - **la stabilité atmosphérique**, observée essentiellement l'hiver en présence de vents faibles et d'inversion thermique, (l'air froid plus dense, plus lourd est bloqué dans les basses couches de l'atmosphère), les polluants s'accumulent au niveau du sol. Ce phénomène peut se prolonger sur plusieurs jours et impactent la totalité des sites de mesure de l'agglomération.

L'ensemble de ces points est détaillé dans les neuf rapports trimestriels de suivi et le rapport de l'étude complémentaire sur la composition chimique des particules. (cf. 5)



## 5. REFERENCES

### *RAPPORT D'ETUDES*

Atmo PACA, AIRPROCHE Cartographie de la pollution à Toulon : approche statistique et déterministe, 05/2005

Atmo PACA, Projet SYMPIC, Qualité de l'air comparée entre les villes de Toulon et de la Seyne-sur-Mer et leurs ports,

Campagne de mesure, 03/2007

[http://www.atmopaca.org/files/et/070321\\_YCM\\_Simpypc.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/070321_YCM_Simpypc.pdf)

[http://www.atmopaca.org/files/et/070321\\_YCM\\_Simpypc\\_eng.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/070321_YCM_Simpypc_eng.pdf)

Analyse du territoire d'étude : Météorologie, Emissions, Modélisation. 07/2007

[http://www.atmopaca.org/files/et/070904\\_YCM\\_Simpypc\\_II.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/070904_YCM_Simpypc_II.pdf)

[http://www.atmopaca.org/files/et/071207\\_YCM\\_Simpypc\\_II\\_eng.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/071207_YCM_Simpypc_II_eng.pdf)

Atmo PACA, Pollution atmosphérique et gaz à effet de serre, Inventaire des émissions 2004, 02/2009

[http://www.atmopaca.org/files/et/090223\\_Rapport\\_Inventaire\\_PACA\\_2004\\_V2009.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/090223_Rapport_Inventaire_PACA_2004_V2009.pdf)

### *RAPPORTS TRIMESTRIELS :*

Atmo PACA, Etude complémentaire du Tunnel de Toulon – Caractérisation des particules issues du chantier pendant la phase travaux du second tube du Tunnel.

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T1

[http://www.atmopaca.org/files/et/071001\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_TunnelToulon\\_T1.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/071001_AtmoPACA_Bulletin_TunnelToulon_T1.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T2

[http://www.atmopaca.org/files/et/080101\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_TunnelToulon\\_T2.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/080101_AtmoPACA_Bulletin_TunnelToulon_T2.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T3

[http://www.atmopaca.org/files/et/080401\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_TunnelToulon\\_T3.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/080401_AtmoPACA_Bulletin_TunnelToulon_T3.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T4

[http://www.atmopaca.org/files/et/080801\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_TunnelToulon\\_T4.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/080801_AtmoPACA_Bulletin_TunnelToulon_T4.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T5

[http://www.atmopaca.org/files/et/090101\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_TunnelToulon\\_T5.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/090101_AtmoPACA_Bulletin_TunnelToulon_T5.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T6

[http://www.atmopaca.org/files/et/090530\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_TunnelToulon\\_T6.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/090530_AtmoPACA_Bulletin_TunnelToulon_T6.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T7

[http://www.atmopaca.org/files/et/091206\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_Tunnel\\_Toulon\\_T7.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/091206_AtmoPACA_Bulletin_Tunnel_Toulon_T7.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T8

[http://www.atmopaca.org/files/et/091206\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_Tunnel\\_Toulon\\_T8.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/091206_AtmoPACA_Bulletin_Tunnel_Toulon_T8.pdf)

Atmo PACA, Toulon : suivi de la qualité de l'air – travaux du tunnel – T9

[http://www.atmopaca.org/files/et/100423\\_AtmoPACA\\_Bulletin\\_Tunnel\\_Toulon\\_T9.pdf](http://www.atmopaca.org/files/et/100423_AtmoPACA_Bulletin_Tunnel_Toulon_T9.pdf)

### *DIFFUSION PERIODIQUE DES RESULTATS :*

Atmo PACA, Surveillance de la qualité de l'air 2009.

[http://www.atmopaca.org/files/ba/bilan\\_annuel\\_2009\\_HD.pdf](http://www.atmopaca.org/files/ba/bilan_annuel_2009_HD.pdf)

Atmo PACA, Surveillance de la qualité de l'air 2008.

[http://www.atmopaca.org/files/ba/08\\_AtmoPACA\\_bilan\\_global\\_2008\\_web.pdf](http://www.atmopaca.org/files/ba/08_AtmoPACA_bilan_global_2008_web.pdf)

Atmo PACA, Surveillance de la qualité de l'air 2007

[http://www.atmopaca.org/files/ba/AtmoPACA\\_bilan\\_global\\_2007.pdf](http://www.atmopaca.org/files/ba/AtmoPACA_bilan_global_2007.pdf)

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## FIGURES

Figure 1 : Emplacement des sites de mesures .....	5
Figure 2 : Rose des vents de 2007 à 2009 à Toulon-La Mitre.....	7
Figure 3 : Evolution de la température et des précipitations mensuelles de 2007 à 2009.....	8
Figure 4: Evolution des moyennes par trimestre en PM10 à Puits Marchand, Toulon Foch et Toulon Chalucet .....	11
Figure 5 : Evolution du nombre de dépassements de la VL journalière .....	12
Figure 6: Evolution des moyennes par trimestre en dioxyde d'azote .....	15
Figure 7 : Evolution du nombre de dépassements de la VL horaire.....	15
Figure 8: Evolution des moyennes par trimestre en monoxyde de carbone.....	17
Figure 9: Evolution des moyennes par trimestre en benzène .....	19
Figure 10 : Indices journaliers de qualité de l'air de 2007 à 2009 sur les trois sites.....	21
Figure 11 : Polluants majoritaires des indices de qualité de l'air sur les différentes stations.....	22

## TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des niveaux de PM <sub>10</sub> de 2007 à 2009.....	10
Tableau 2 : Synthèse des niveaux de NO <sub>2</sub> de 2007 à 2009.....	13
Tableau 3 : Synthèse des niveaux de CO de 2007 à 2009 .....	16
Tableau 4 : Synthèse des niveaux de BTEX de 2007 à 2009 .....	18