



**25-26 Septembre 2013**

**Forum de Grenelle**



**Capteur miniature pour le suivi spécifique de la pollution  
par le dioxyde d'azote  
Exemple de la surveillance du NO<sub>2</sub> dans une zone de trafic  
Nîmes – gare ferroviaire**

**Olivier Zaouak  
Bruno Aubert  
CAIRPOL, France**

[olivier.zaouak@cairpol.com](mailto:olivier.zaouak@cairpol.com)

# Contexte

- **Inhalation** principale voie d'exposition
- **ppb** peuvent causer des effets sur la **santé**

## Recommandations OMS:

O<sub>3</sub> 50 ppb (100µg/m<sup>3</sup>) moy. 8h

NO<sub>2</sub> 105 ppb (200 µg/m<sup>3</sup>) moy. 1h

Catégorie	Avantages	Inconvénients	Coût moyens
Analyseurs (méthodes de référence)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Performances élevées:</b> <b>LD, sélectivité, ...</b></li> <li>➤ En ligne (temps réel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Conditions d'utilisations</b> (air conditionné, alimentation, ...)</li> <li>➤ <b>Calibration régulière</b></li> </ul>	> 10 k€
Capteurs passifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Bas coût</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Moyenne</b> (&gt; 24h) Pb représentativité</li> <li>➤ <b>Mesure en laboratoire</b></li> </ul>	0.03 k€ + Analyse labo



# Entre les analyseurs et le capteurs passifs:<sup>3</sup> les indicateurs, Cairclip



- Détection **ampérométrique**
- Échantillonnage d'air par **flux dynamique**
- **Filtre adaptatif breveté**
- Carte électronique **haute sensibilité** (nanoampère)
- **Microcontrôleur programmable** avec **sauvegarde des données**
- **Affichage digital** de la mesure en **temps réel** (mis à jour toutes les 10s)

**Complémentaire des appareils de références et des outils de modélisation:**



# Entre les analyseurs et le capteurs passifs: <sup>4</sup> les indicateurs, Cairclip

## ➤ **Qualité des données**

- **Directive Européenne 2008/50/EC, incertitude < 30 %**
- **Représentativité des mesures**
  - *Echantillonnage dynamique*
  - *Mesure en temps réel*

## ➤ **Réseaux haute densité**

- **Coût efficient**
- **Simple d'utilisation**
- **Sans maintenance (1 an)**
- **transportable**

## ➤ **Autonomes**

- **Basse consommation**
- **Batterie**
- **Panneau solaire**





# Résultats

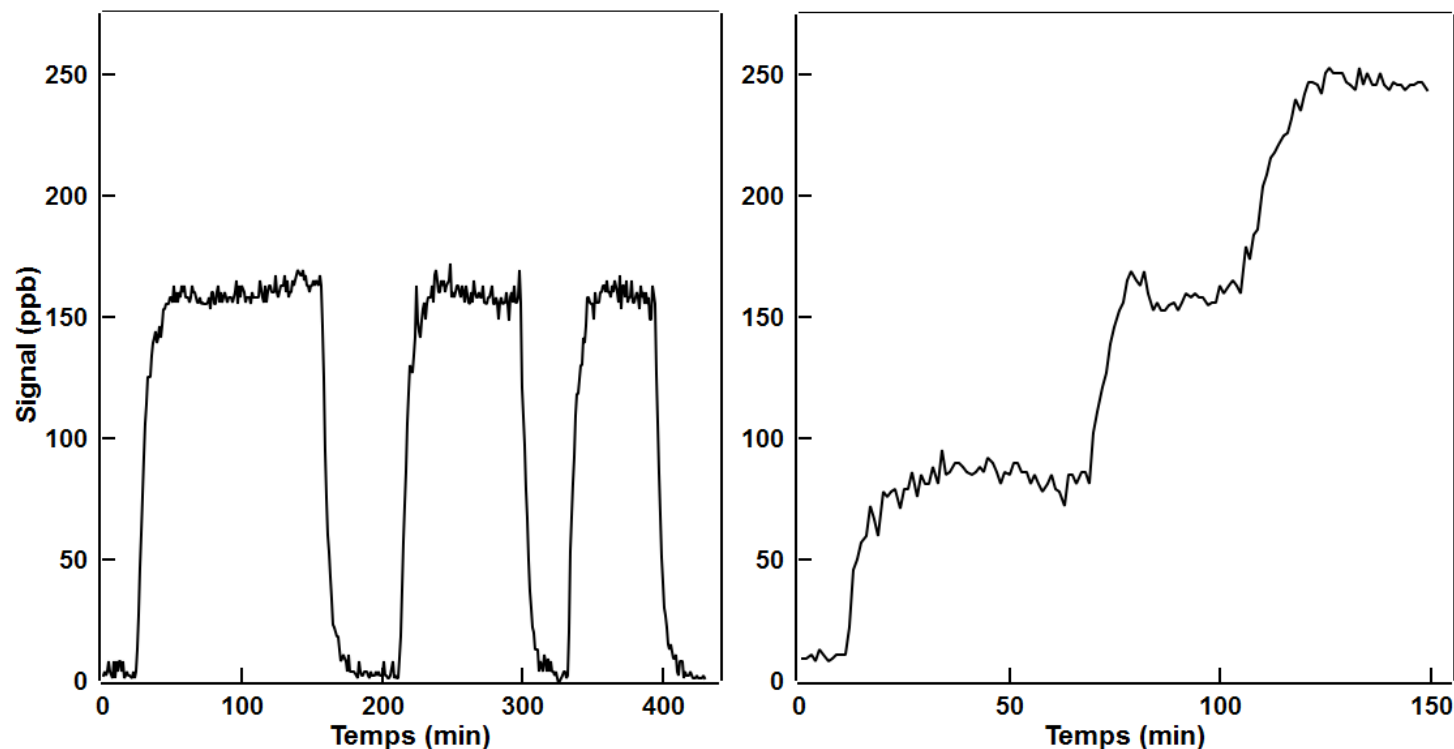
## 1. Mesure **combinée** de $O_3+NO_2$

Bon indicateur de la qualité de l'air, espèces oxydantes

## 2. Mesure **sélective** du $NO_2$



## ➤ Performances (exposition $O_3$ )



Gamme (ppb)	LD (ppb)	Ecart-type zéro (ppb) <sup>1</sup>	RSD à 65 % de la gamme (%) <sup>1</sup>	Linearité	Incertitude totale (%)
0 - 250	9	± 2	1	$R^2 > 0.95$	< 30

<sup>1</sup>n = 5 , <sup>2</sup>n=3



# Cairclip $O_3+NO_2$

## ➤ Interférences connues

- $Cl_2$ , certains soufrés réduits comme  $H_2S$
- Variation brusque HR (perturbation du signal transitoire)





# Surveillance d'un site urbain: Près d'Arènes (Montpellier – France)

- 250 000 habitants (agglomération 500 000)



**Autoroute**



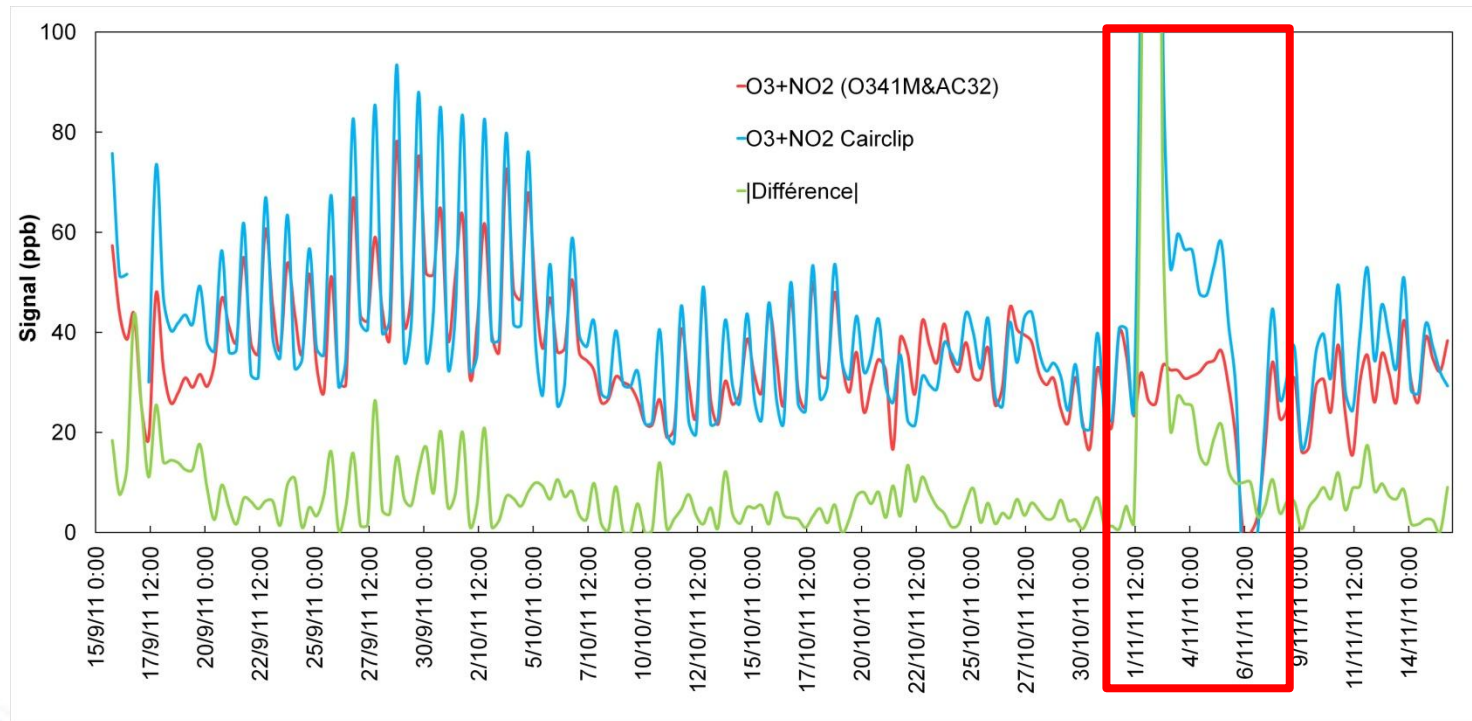


# Capteur $O_3+NO_2$ : Analyses de terrain

## Comparaison des données (moyennes 8h) obtenues avec :

- Analyseurs de référence (Air Languedoc Roussillon)
- Cairclip  $O_3+NO_2$

Dysfonctionnements électriques



$O_3+NO_2$  Air L-R :

$NO_2$ : Chimiluminescence (AC32, Environnement SA – France)

$O_3$ : Spectrophotométrie UV (O341, Environnement SA – France)



# *Cairclip O<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> : Surveillance d'une zone urbaine: Montpellier, France*

- Plus de 170 points pris en compte (2 mois de données environ)

	Cairclip O <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	O341+AC32	Différence
Moyenne 8 h			
O <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	40	36	8 (19%)

***En accord avec les standards de l'UE (<30%)***

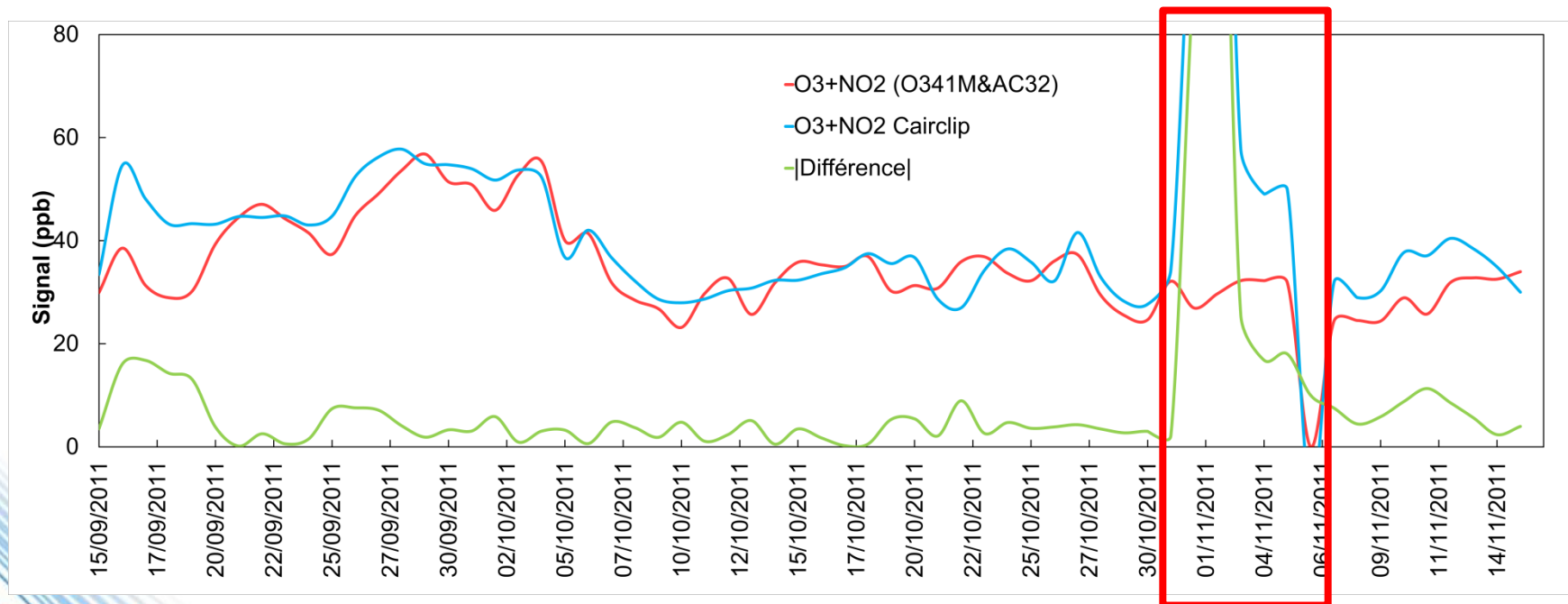


# Capteur $O_3+NO_2$ : Analyses de terrain

## Comparaison des données (moyennes 24h) obtenues avec :

- Analyseurs de référence (Air Languedoc Roussillon)
- Cairclip  $O_3+NO_2$

Problèmes électriques



$O_3+NO_2$  Air L-R :

$NO_2$ : Chimiluminescence (AC32, Environnement SA – France)

$O_3$ : Spectrophotométrie UV (O341, Environnement SA – France)





# Capteur $O_3+NO_2$ : Analyses de terrain

## Sur la base des tests de l'US EPA:

(Comparability test 40 CFR 53.32 - Test procedures for methods for  $SO_2$ , CO,  $O_3$  and  $NO_2$ , table C-1)

**20 < concentration < 80 ppb**

**Différence max admise 20 ppb**

> 20 ppb	Cairclip $O_3+NO_2$	O341 & AC32	Différence
Moyenne 24 h	40	36	5(14 %)

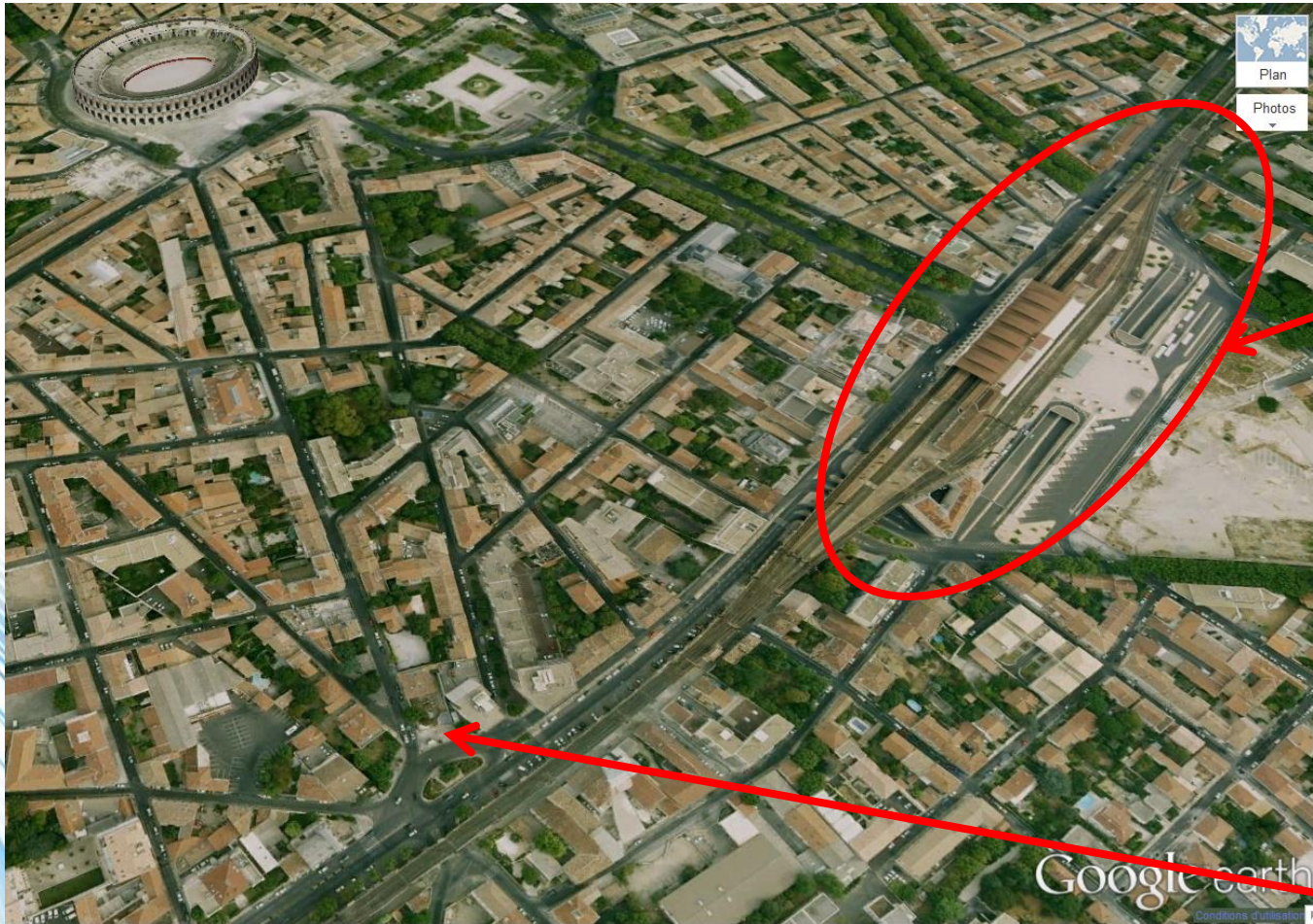
**En accord avec les standards de l' US-EPA (<20 ppb)**



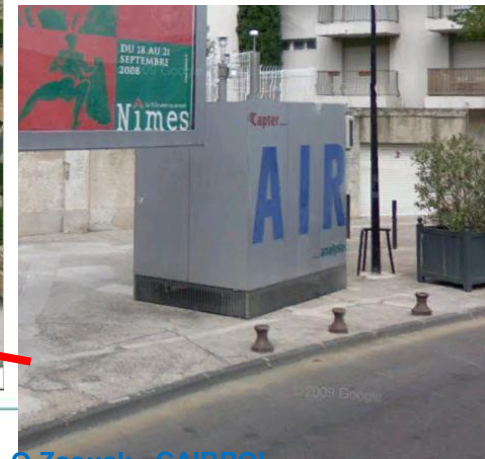
# Cairclip NO<sub>2</sub> :

## Surveillance d'une zone de trafic: Nîmes, France

- 140 000 habitants (agglomération 245 000)



Gare  
ferroviaire





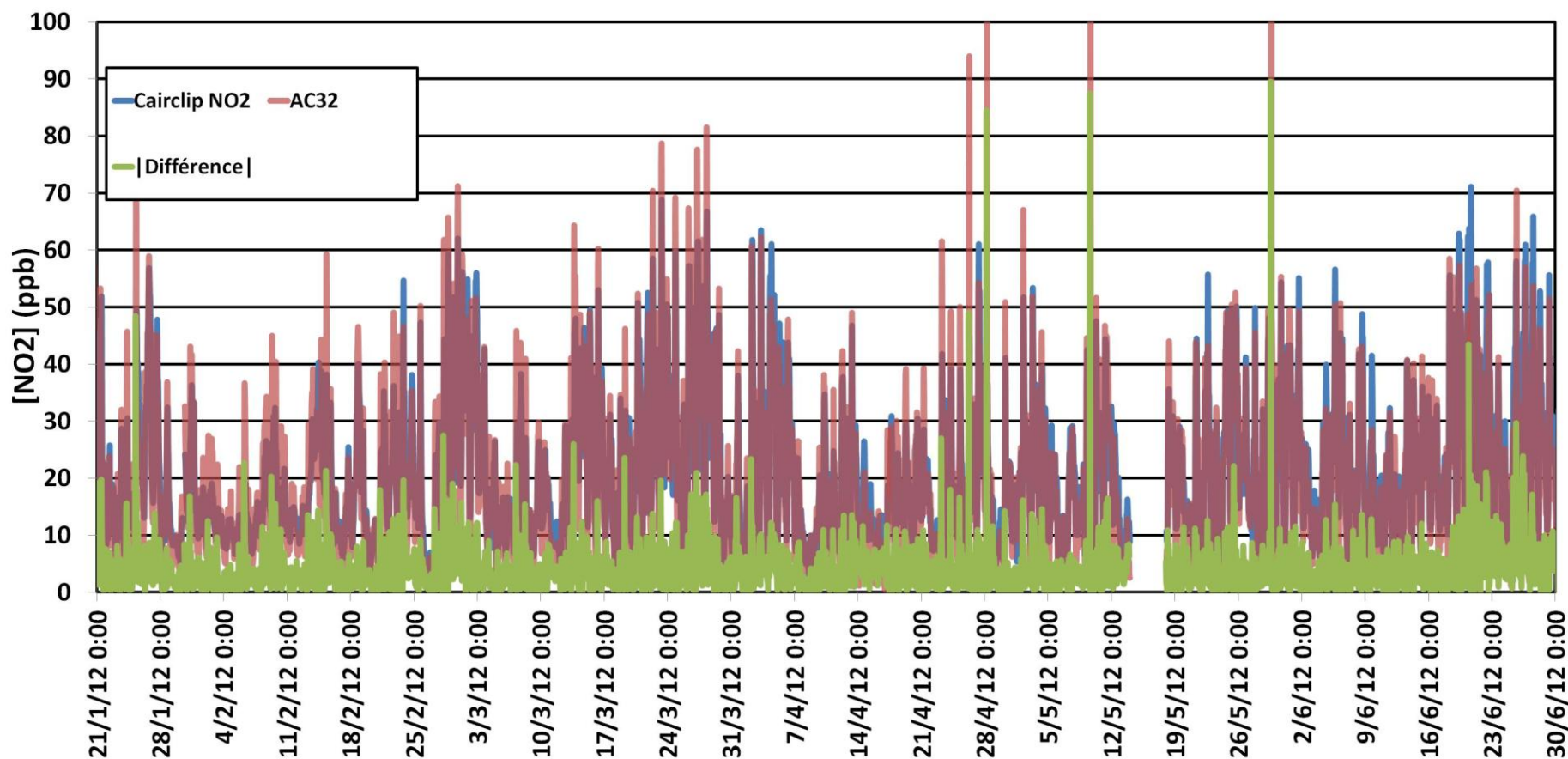
# Cairclip NO<sub>2</sub> :

14

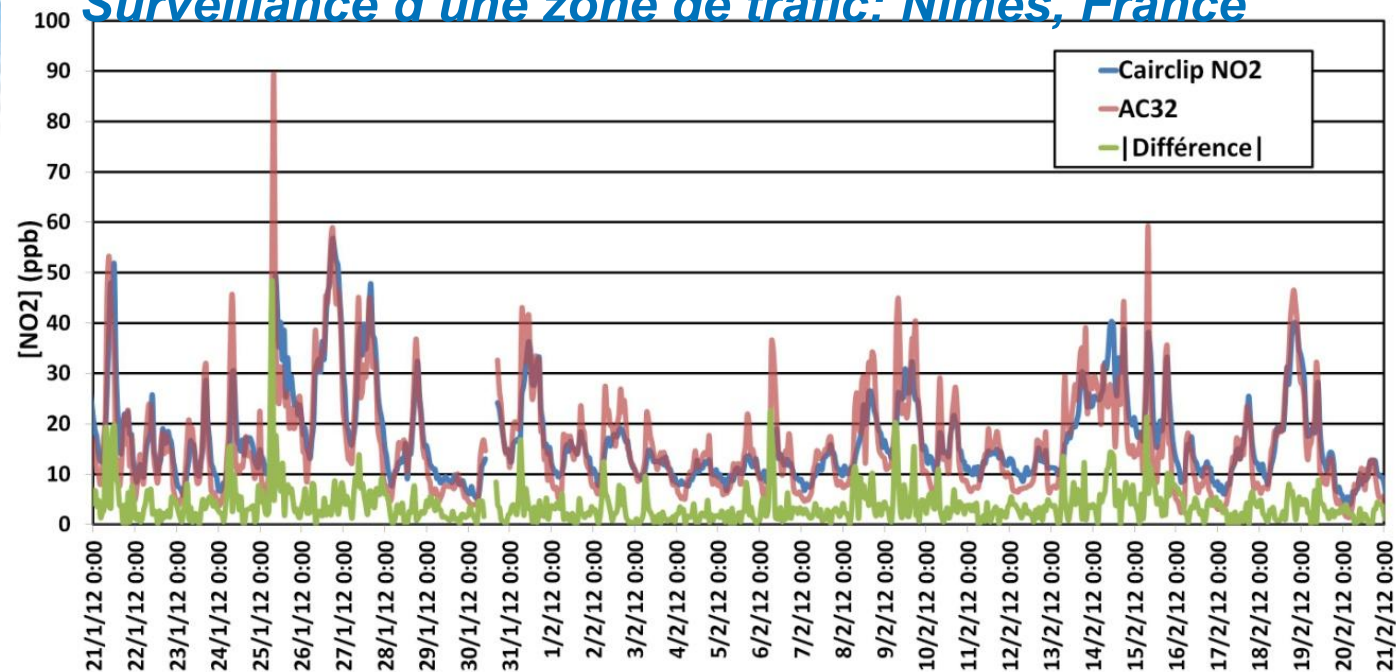
## Surveillance d'une zone de trafic: Nîmes, France

- 14 mois en continu
- Analyseur de référence: AC32 (Environnement SA, France)
  - Moyenne 1h

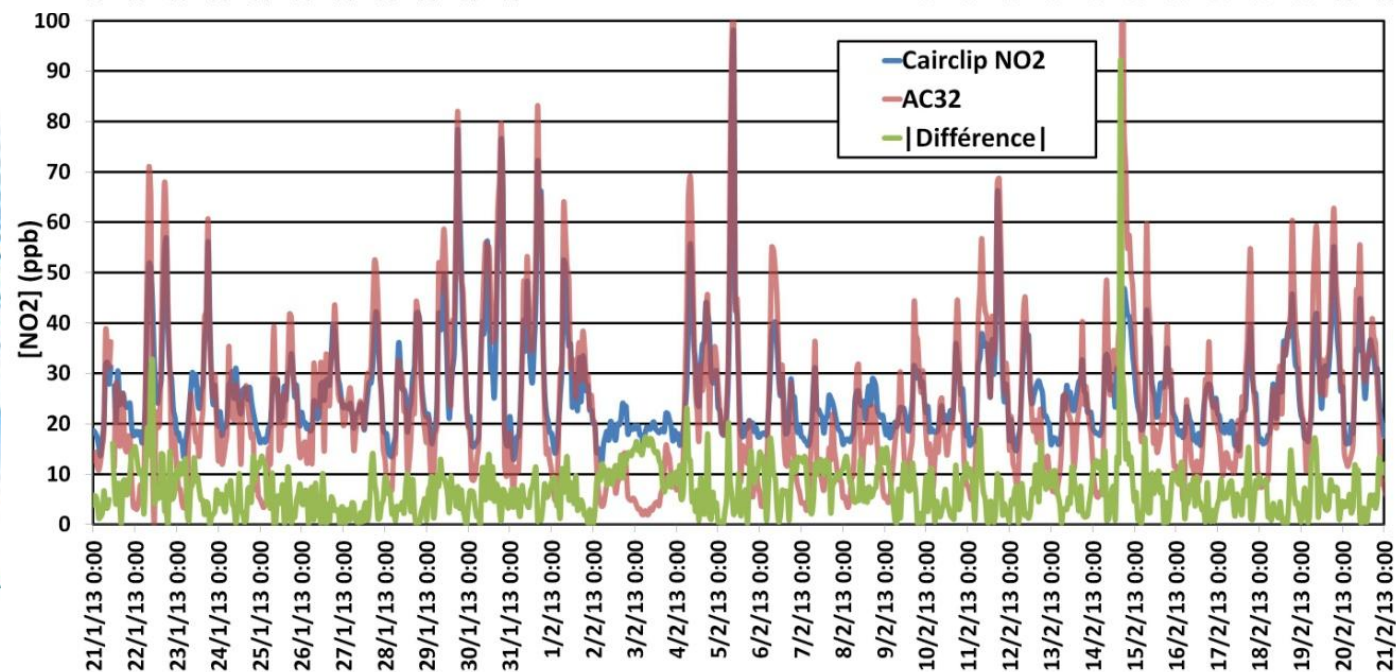
Pas de données:  
maintenance du site principalement







Du 21/01/2012  
au 21/02/2012



Du 21/01/2013  
au 21/02/2013



# Cairclip NO<sub>2</sub> :

## Surveillance d'une zone de trafic: Nîmes, France

- Plus de 9500 points pris en compte (400 jours environ de données)

Moyenne 1 h	Cairclip NO <sub>2</sub>	AC32	Différence
NO <sub>2</sub> < 20 ppb	16	12	4 (25%)
NO <sub>2</sub> > 20 ppb	35	34	6 (17%)

***En accord avec les standards de l'UE (<30%)***

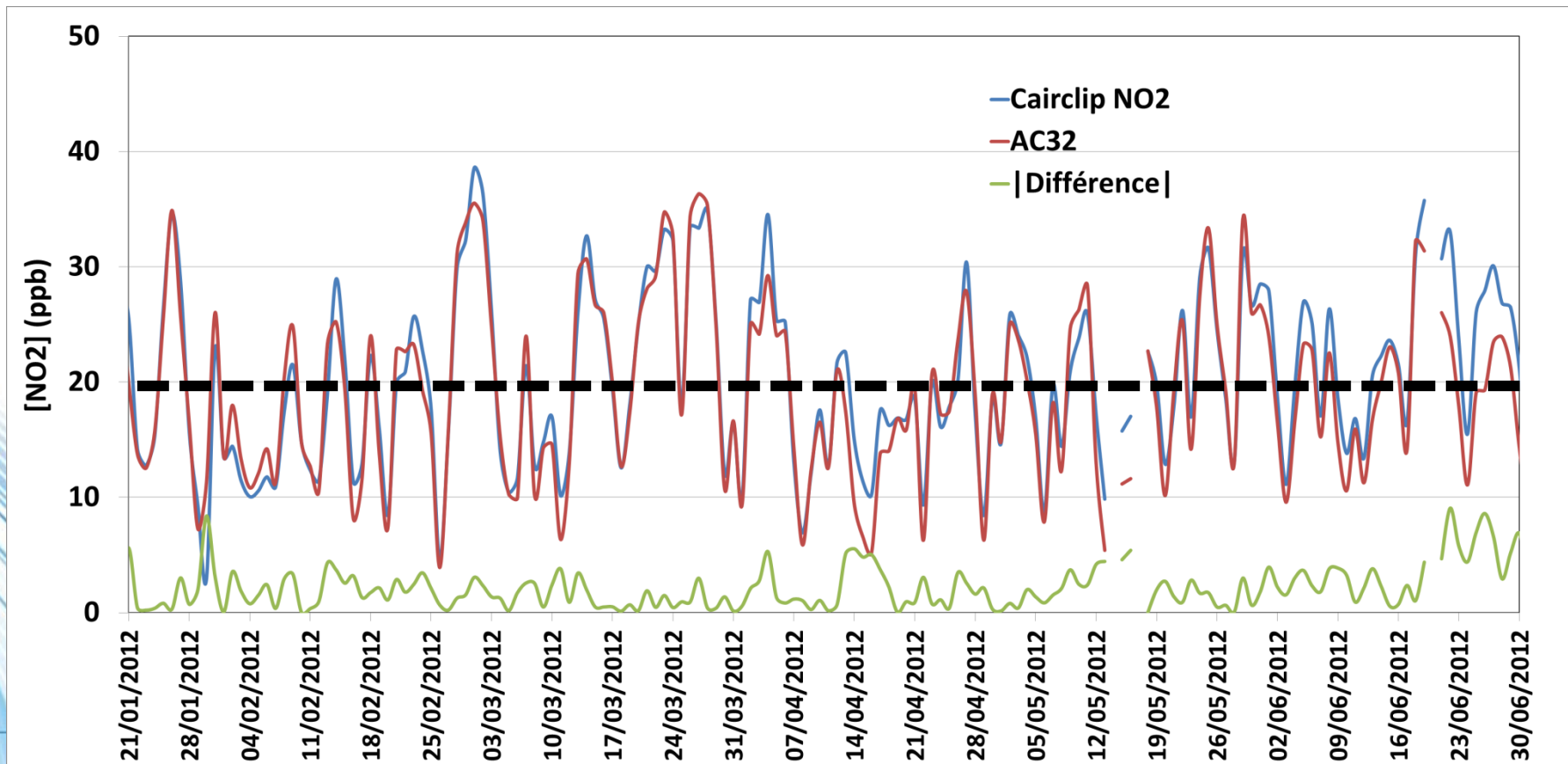


# Cairclip NO<sub>2</sub> :

## Surveillance d'une zone de trafic: Nîmes, France

- 14 mois en continu
- Analyseur de référence: AC32 (Environnement SA, France)
  - Moyenne 24h

Pas de données:  
maintenance du site principalement





# *Cairclip NO<sub>2</sub> : Surveillance d'une zone de trafic: Nîmes, France*

Moyenne 24 h	Cairclip NO <sub>2</sub>	AC32	Différence
NO <sub>2</sub> < 20 ppb	17	14	4 (23%)
NO <sub>2</sub> > 20 ppb	29	27	4 (14%)

***En accord avec les standards de l'US-EPA (< 20 ppb)***



# Réseau de capteurs: simple à déployer



## **Autonome**

Basse consommation, batterie, panneau solaire sans recalibration (pendant 1 an)



## **Communication**

- radio
- GPRS

Jusqu'à 200 capteurs



# Interface Homme-Machine

Gestion d'une grande quantité de données en temps réel

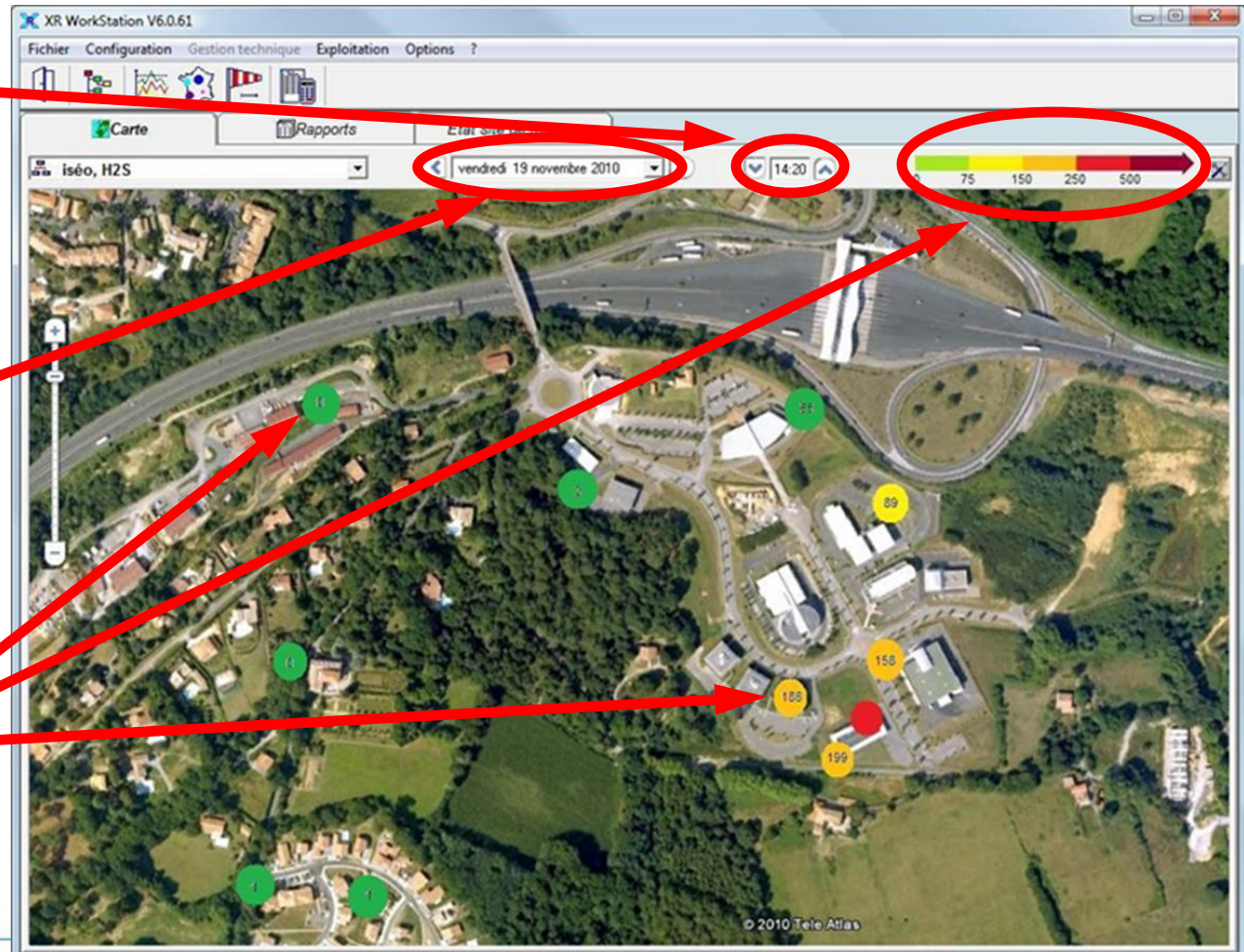
**Ex: 10 capteurs, 1 an, 1 pt/ min : 5 256 000 points !**

*Echelle horaire*

*Echelle jour*

**Capteurs:**

Affichage en temps réel (mis à jour toutes les 10 mins)





# Conclusions

- Nouvelle génération de **capteurs miniatures** pour la surveillance de faibles concentrations (ppb) de **NO<sub>2</sub>**
- **Cairclips** ont montrés un **bon comportement** en **conditions réelles prolongées**
- En **accord** avec les standards de l'**UE** et de l'**US EPA**



# Perspectives

## Coupler les réseaux de capteurs à

### 1. Logiciel de *pilotage de procédés*

- Réactivité en temps réel

### 2. Logiciels de modélisation: *dispersion et rétrodiffusion*

- *Prévision*
- *Localisation des sources*



***Merci pour votre attention***

