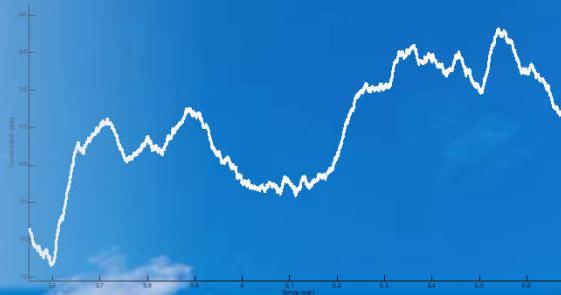




Antelope

Système de mesure de polluants



Valéry BROUN

CECOTEPE – Haute Ecole de la Province de Liège

valery.broun@hepl.be

Christophe Brose (HEPL)

Philippe Camus (HEPL)

Sylvain Guichaux (HEPL)

Fabian Lenartz (ISSEP)



HEPL
Haute Ecole de la Province de Liège

CECOTEPE asbl
Centre de Coopération Technique et Pédagogique

ISSeP
Institut scientifique
de service public

 SECTION
ELECTRONIQUE

JOURNÉE
DES
CHERCHEURS
HE

1. Haute Ecole & Centre de recherche



Haute Ecole de la Province de Liège



HAUTE ECOLE DE LA PROVINCE DE LIEGE INSTITUT SUPERIEUR INDUSTRIEL LIEGEOIS

📍 Quai Glaesener, 6 – 4020 Liège
🌐 <http://www.hepl.be>

📞 +32 (0)4 344 64 00
📠 +32 (0)4 344 63 00

🌐 www.isil-electro.be

FACEBOOK icon [isil-electro](#)



Valery Broun @ 28/11/2019

2



2. Activités



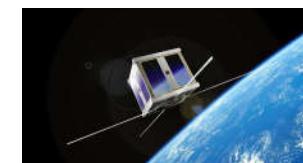
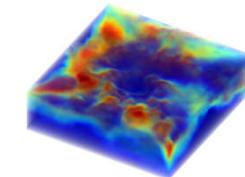
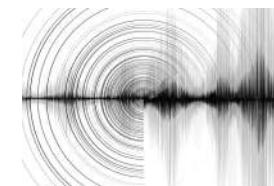
Centre de recherche associé à la HEPL

- > 20 projets de recherches effectués (First HE, First Entreprise,Wist, Plan Marshall...)
- Plusieurs brevets en cours
- Création de la première spin off HE
- Chèques technologiques
- ...



Conception de systèmes embarqués

- Amortisseur de vibration
- Système de mesure de pollution
- Nanosatellite



3. La problématique

- >90% de la population exposés à un air extérieur toxique
- 7 millions de décès prématurés par an
- Plus grave que le tabagisme
- Dommages cardiaques & pulmonaires

Mesures en RW :

- ✖ • Faible résolution spatiale (23 stations sur le territoire)
- ✖ • Faible résolution temporelle (1 mesure par ½ heure)
- ✖ • Couteux (+/- 10 k€)
- ✓ • Précision très bonne



<https://www.unric.org/fr/actualite/5318-les-10-menaces-pour-la-sante-mondiale-en-2019-selon-loms>

<https://www.who.int/fr/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

4. Pourquoi mesurer ?

→ Cartographie de la concentration en divers polluants

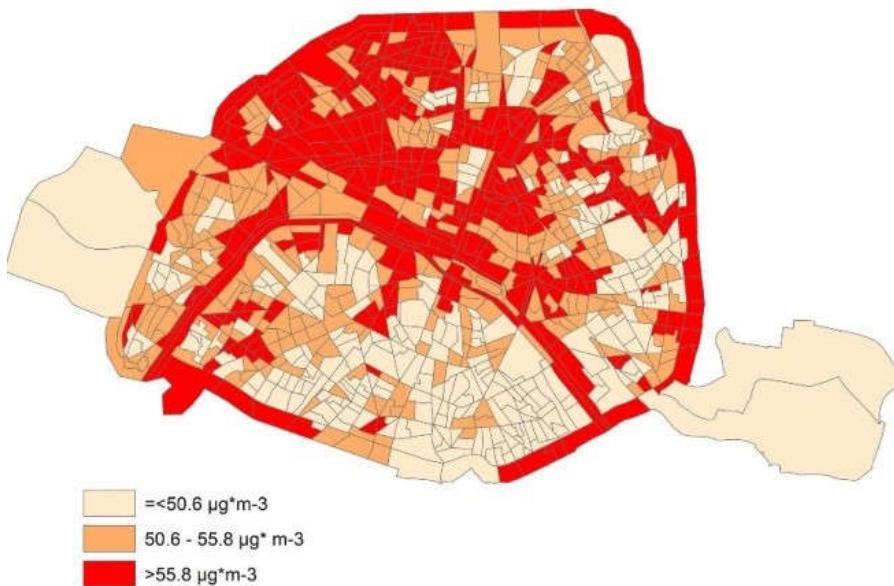


Figure 1. Exemple de cartographie

→ Grande variabilité avec le temps et la position



Figure 2. Effet « rue canyon » (Hong Kong)

Source : <http://presse.inserm.fr/en/in-paris-inhabitants-of-disadvantaged-areas-are-more-vulnerable-to-the-effects-of-atmospheric-pollution/20286/>

5. Notre proposition

Assessment of Indoor Outdoor Polluants Exposure



ANTILOPE

Financement sur fonds propres CECOTEPE

- ✓ • Bonne résolution spatiale (station mobile)
- ✓ • Bonne résolution temporelle (1 mesure par seconde)
- ✓ • Low cost (+/- 500€)
- ✗ • ... donc moins précis.



HEPL
Haute Ecole de la Province de Liège

CECOTEPE asbl
Centre de Coopération Technique et Pédagogique

ISSeP
Institut scientifique
de service public

 SECTION
ELECTRONIQUE

Valery Broun @ 28/11/2019

6

JOURNÉE
DES
CHERCHEURS 

6. Cahier des charges - Plateforme multicapteurs

Mesures à effectuer

- Particules fines (PM2,5)
- Oxide d'azote (NO)
- Dioxyde d'azote (NO₂)
- Ozone (O₃)
- Température
- Humidité relative
- Position et accélération

Mesures optionnelles

- PM10
- CO
- CO₂
- NH₃
- SO₂
- CH₄
- COV
- champ électrique
- champ magnétique
- niveau de bruit

Divers

- format CSV
- 1 mesure par minute minimum
- Autonomie : 2h minimum (8h idéal)
- Doit pouvoir travailler sur secteur.

Philosophie : Low cost !



7. Pourquoi mesurer ces polluants ?

PM 2,5 µm

- Taille < 1 bactérie
- Impact pulmonaire et cardiovasculaire
- Lié au trafic (pneus), chauffage et activités industrielles



NOx

- Très courant en ville
- Lié directement au trafic
- Impact sur les bronches
- Lié à l'ozone



O3

- Courant en ville
- Irritation des bronches et des yeux
- Origine : Soleil + NO2 + hydrocarbure
- Concentration parfois éloignée de la source



8. Capteur de particules fines

Capteur de particules fines Honeywell

Taille des particules : $2,5 \mu\text{m}$

Gamme de mesure : $0 \rightarrow 1000 \mu\text{g/m}^3$



Figure 3. Photo du capteur Honeywell HPMA115S0

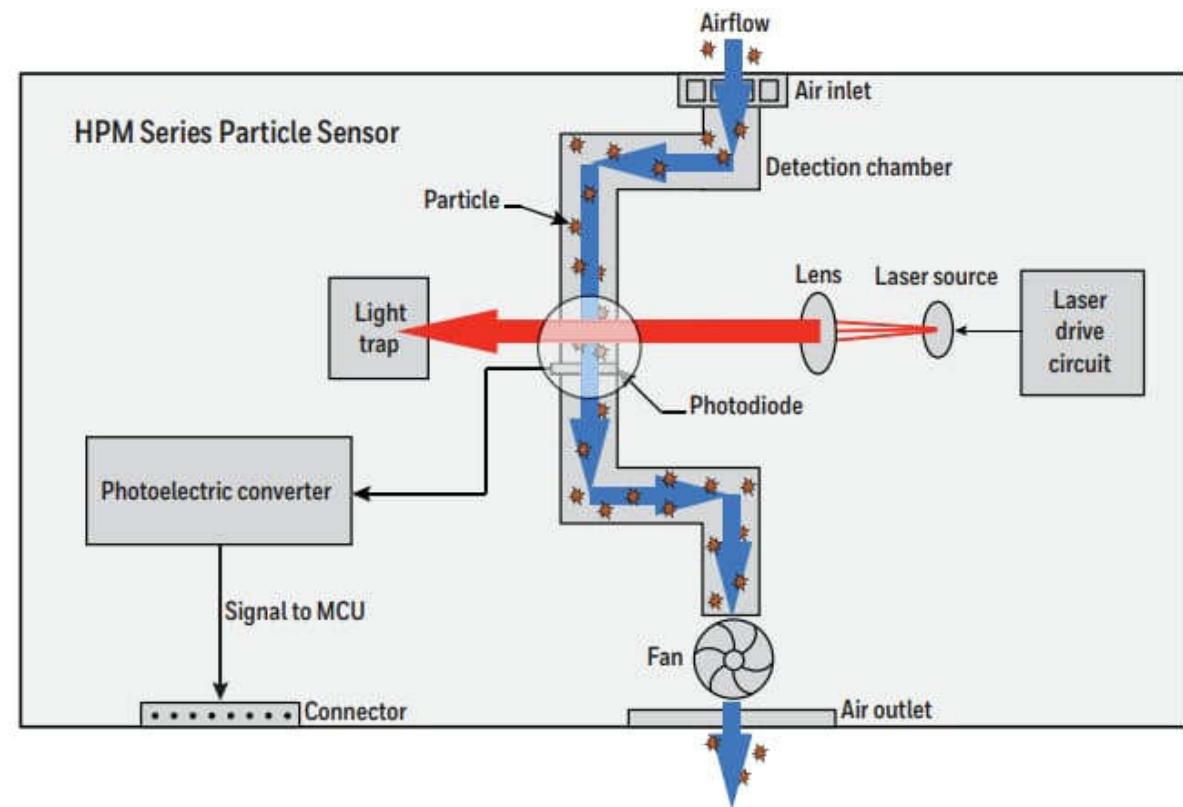


Figure 4. Principe de mesure des particules fines

9. Capteur de gaz électrochimiques



Figure 5. Famille de capteur électrochimiques Alphasense

<http://www.alphasense.com/index.php/air/products/>

- **NO** Mesure demandée : 0 à 962 ppb
Mesure possible : 0 à 20 ppm
- **NO₂**
- **NO₂+ O₃**

Capteurs électrochimiques très délicats !

- offset et gain
- Vieillissement du capteur
- Dépendance avec température
- Interférence avec d'autres polluants
- Variation de mesure très faible
- Polarisation du capteur

ppm : part par million (0,000001) ppb: part par milliard (0,000000001)

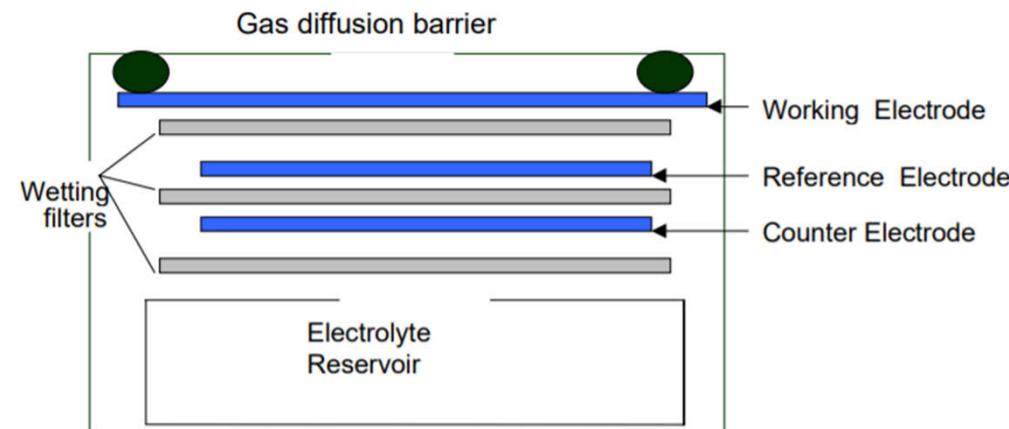


Figure 6. Principe de fonctionnement d'un capteur électrochimique

10. Principe de mesure

$$V_{out} = \text{Sensitivity} \cdot [\text{GAZ}] \cdot R_{Load} \left(1 + \frac{R_{TIA}}{R_{LOAD}} \right) + V_{ref}$$

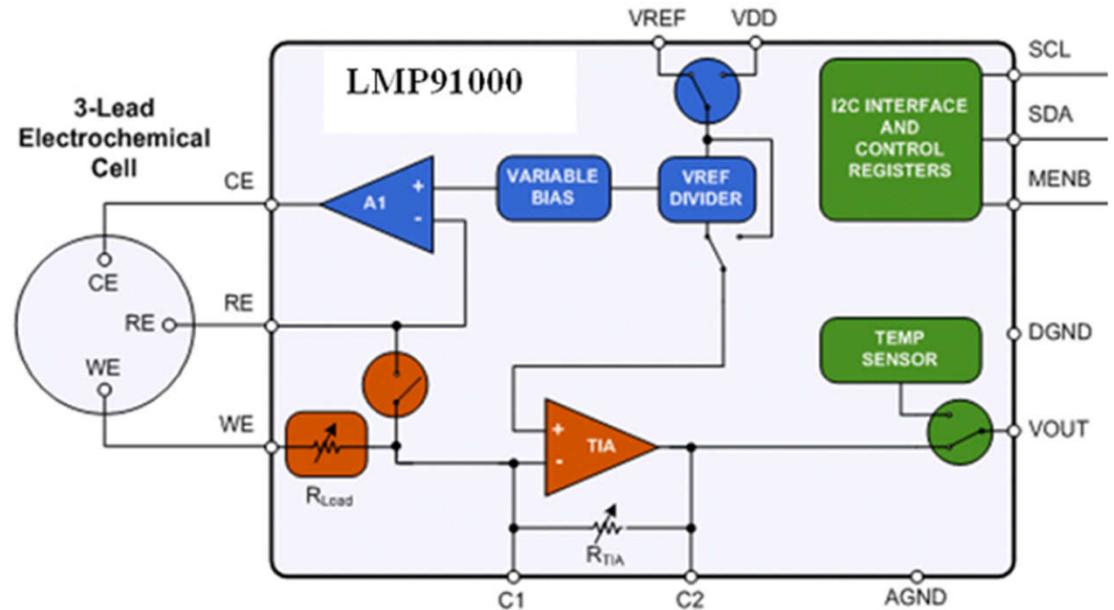
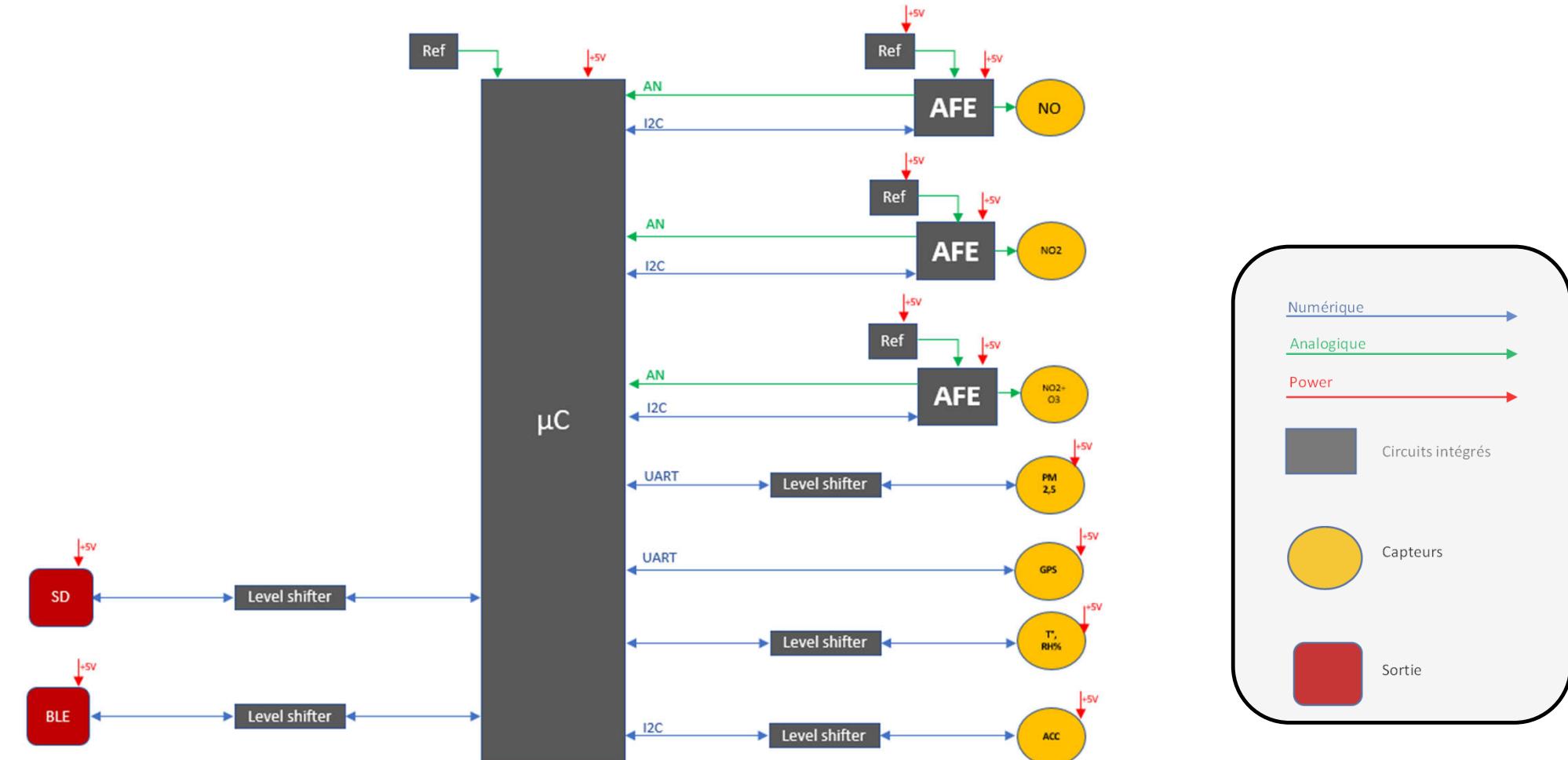


Figure 7. Schéma bloc du LMP91000

Caractéristiques du capteur NO₂ : Sensitivity (nA/ppm) : -354,8
Zero current (nA) : 25,2
Temps de réponse (sec) : 28,6

11. Architecture du système



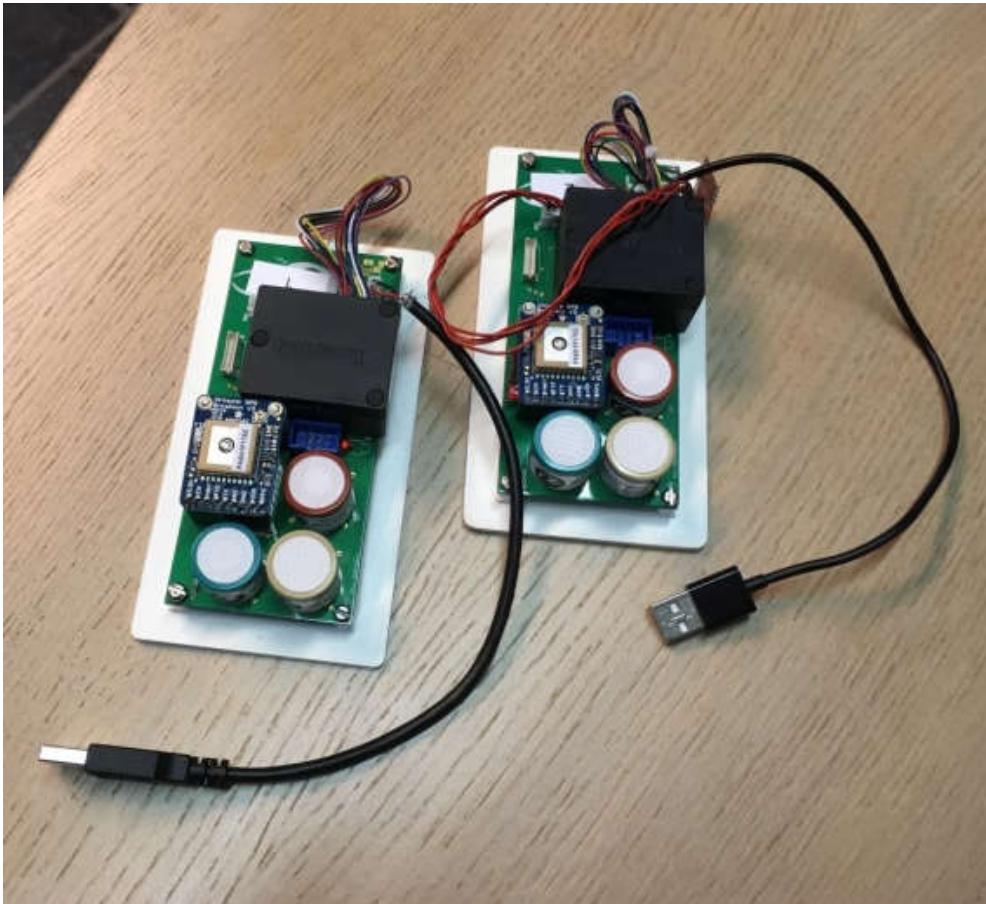
12. Premier prototype – Antilope V1



Electronique
'Home made'

Electronique
'Alphasense'

13. Deuxième prototype - Antilope V2



- Diminution de la taille
- Electronique 'home made uniquement'
- Amélioration générale

14. Premières mesures - Comparaison

Principe : Mesure en cuve et injection de matrice de gaz connue

Graphique : Concentration en polluant (axe Y) par rapport au temps (axe X)

Bruit important

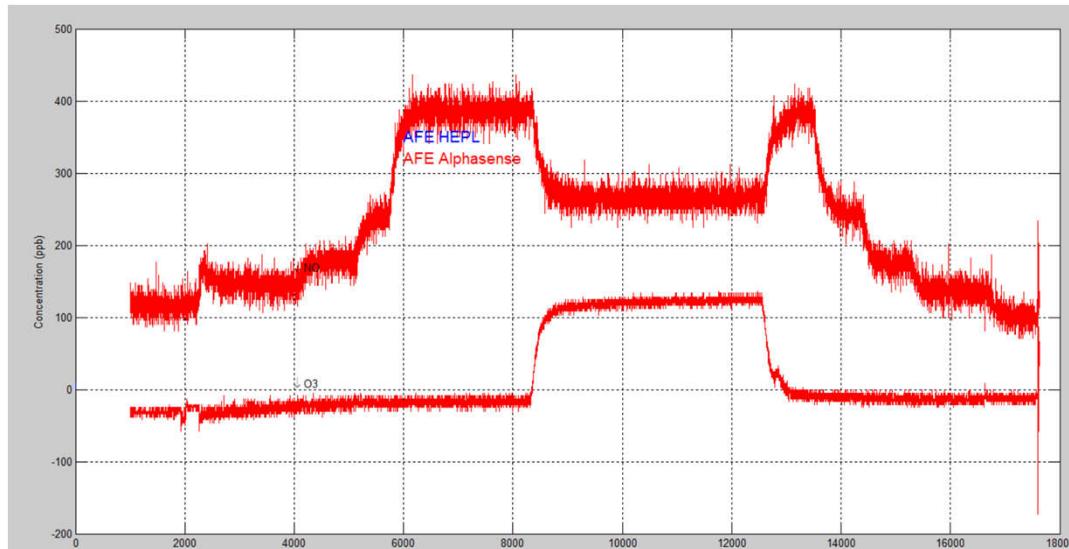


Figure 8. Analog Front End de Alphasense

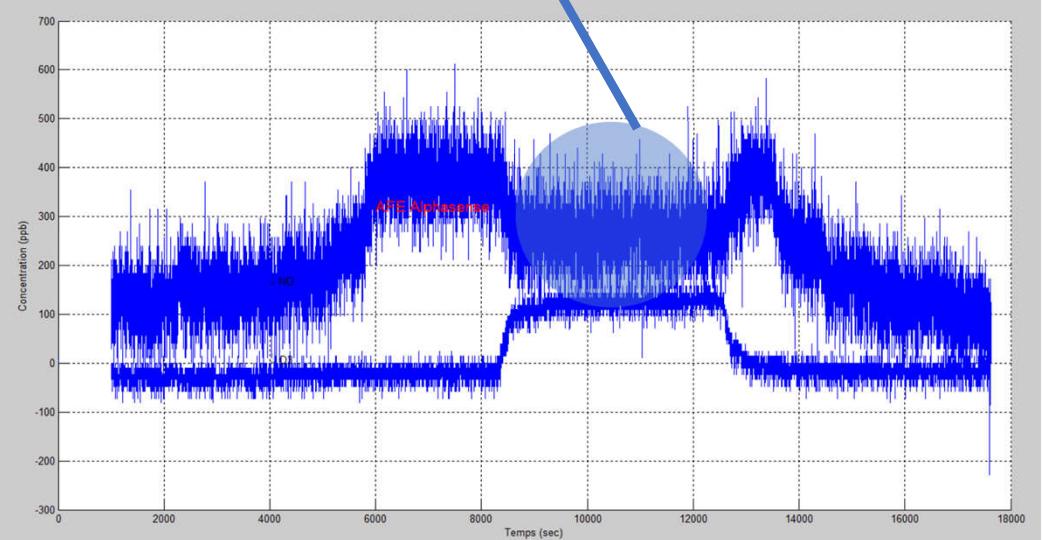


Figure 9. Utilisation du LMP91000



15. Résolution de la mesure

Résolution de la mesure sur 10 bits

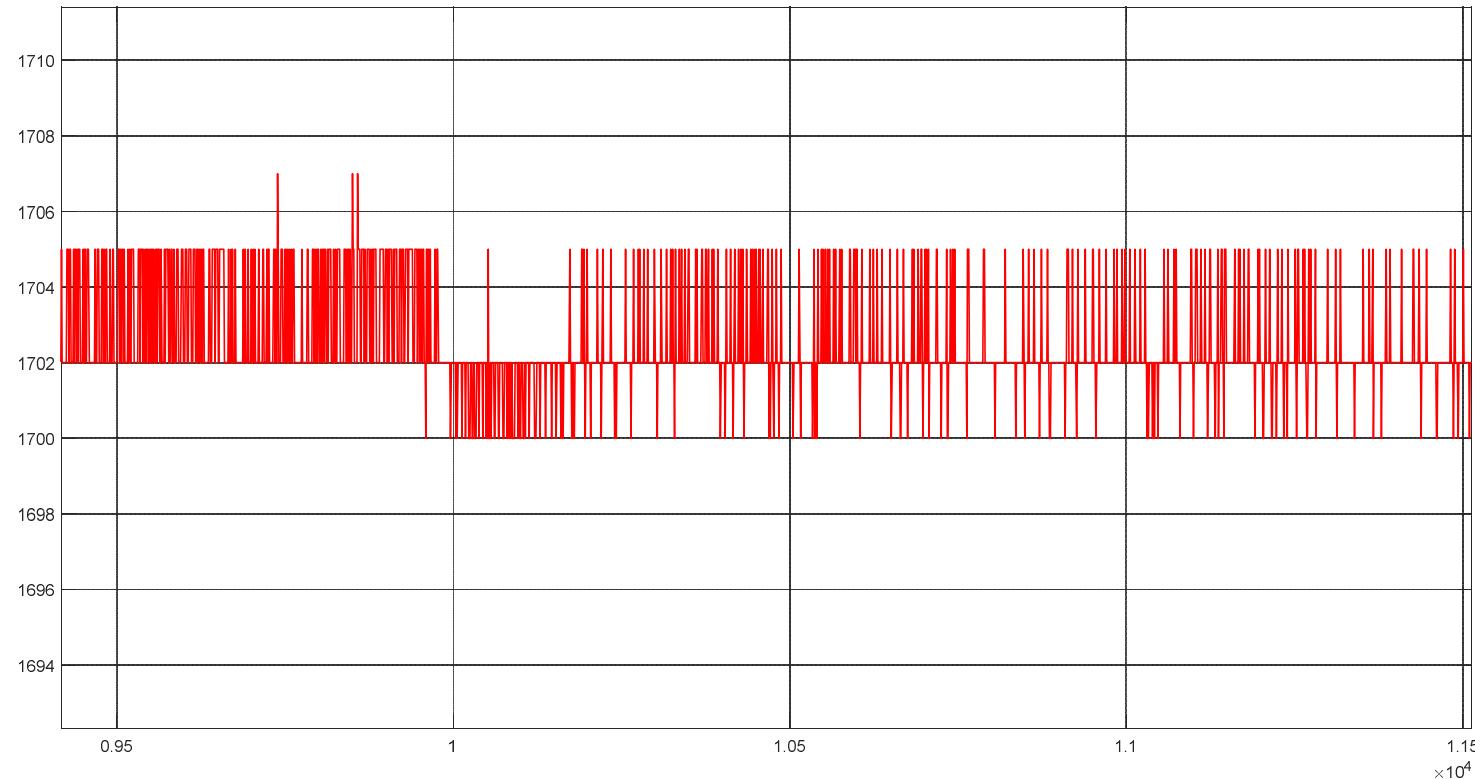


Figure 10. Sortie du convertisseur AD



16. Traitement des données

→ Moyenne glissante sur 1 minute

→ Réduction du bruit de mesure

→ Compensation de l'offset

→ Ajustement du gain

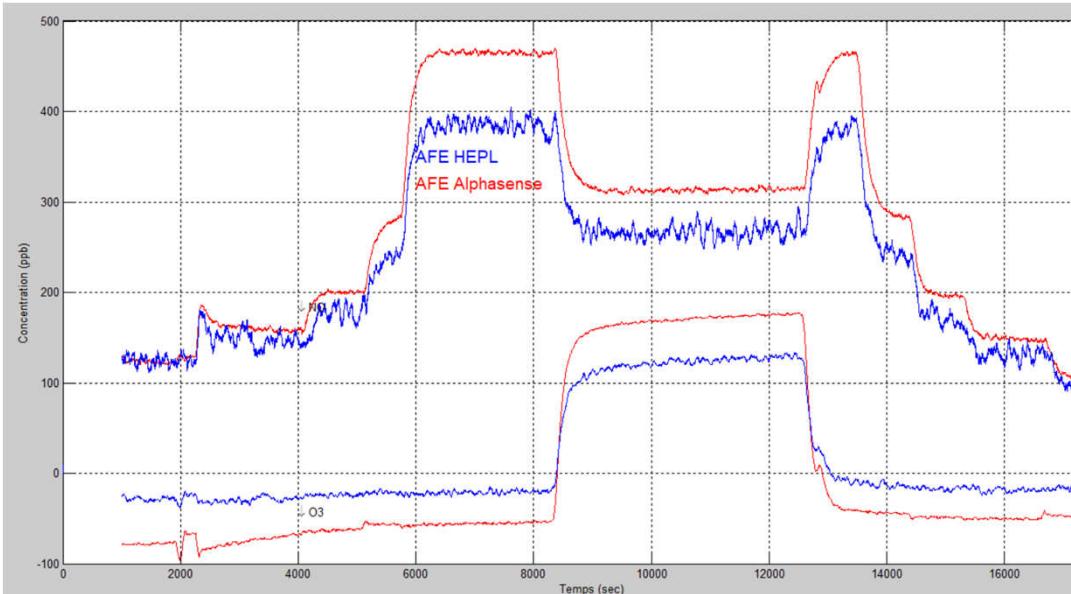


Figure 11. Moyenne glissante de la mesure

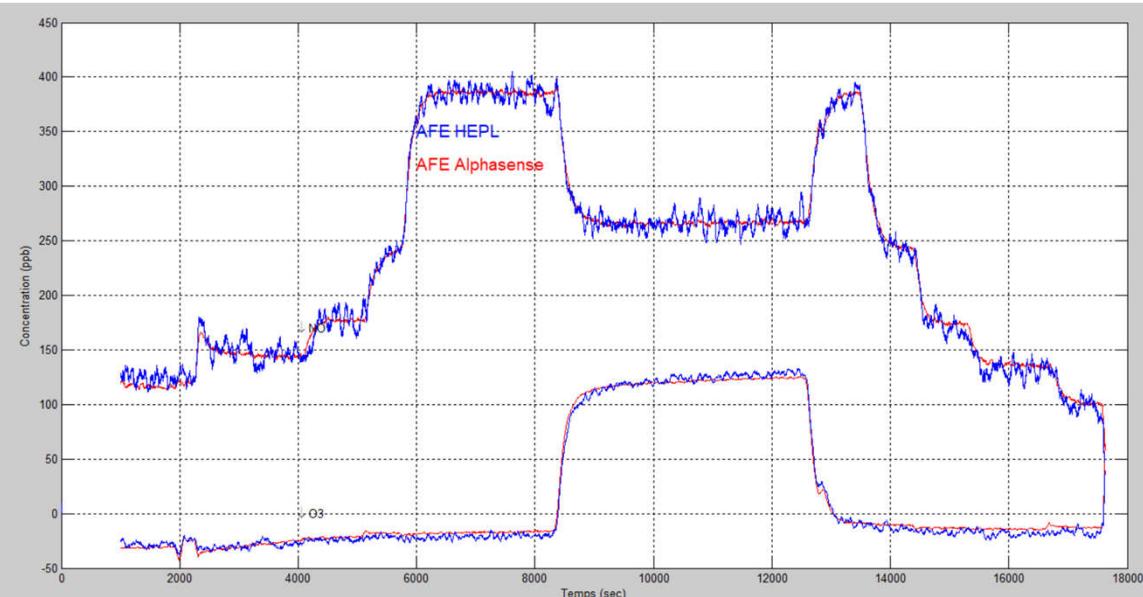


Figure 12. Mesure corrigées

17. Mesures en extérieur

Mesure à l'extérieur (moyenne glissante sur 1 minute) de midi à 7 heures du matin

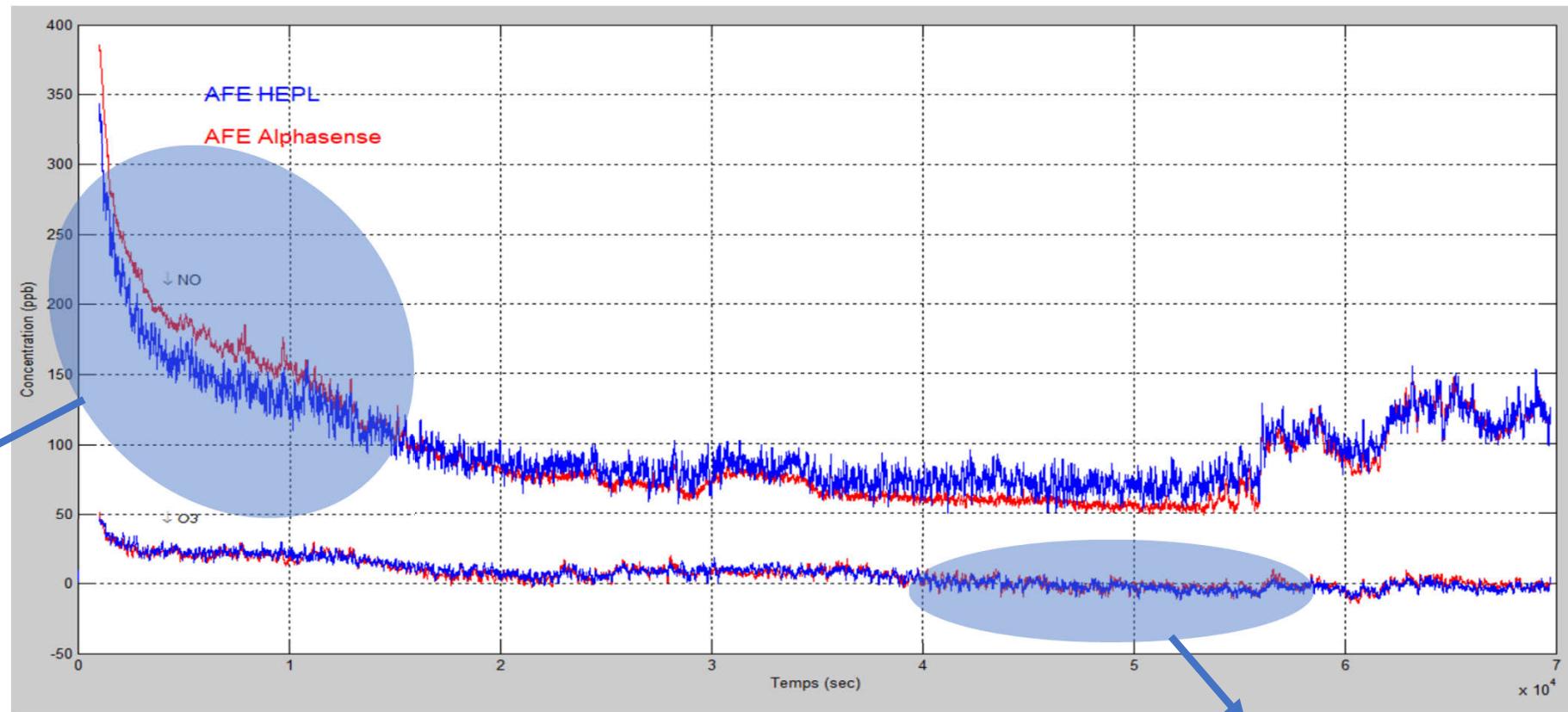


Figure 13. Mesures extérieurs (NO)

18. Comparaison avec analyseur de gaz professionnel

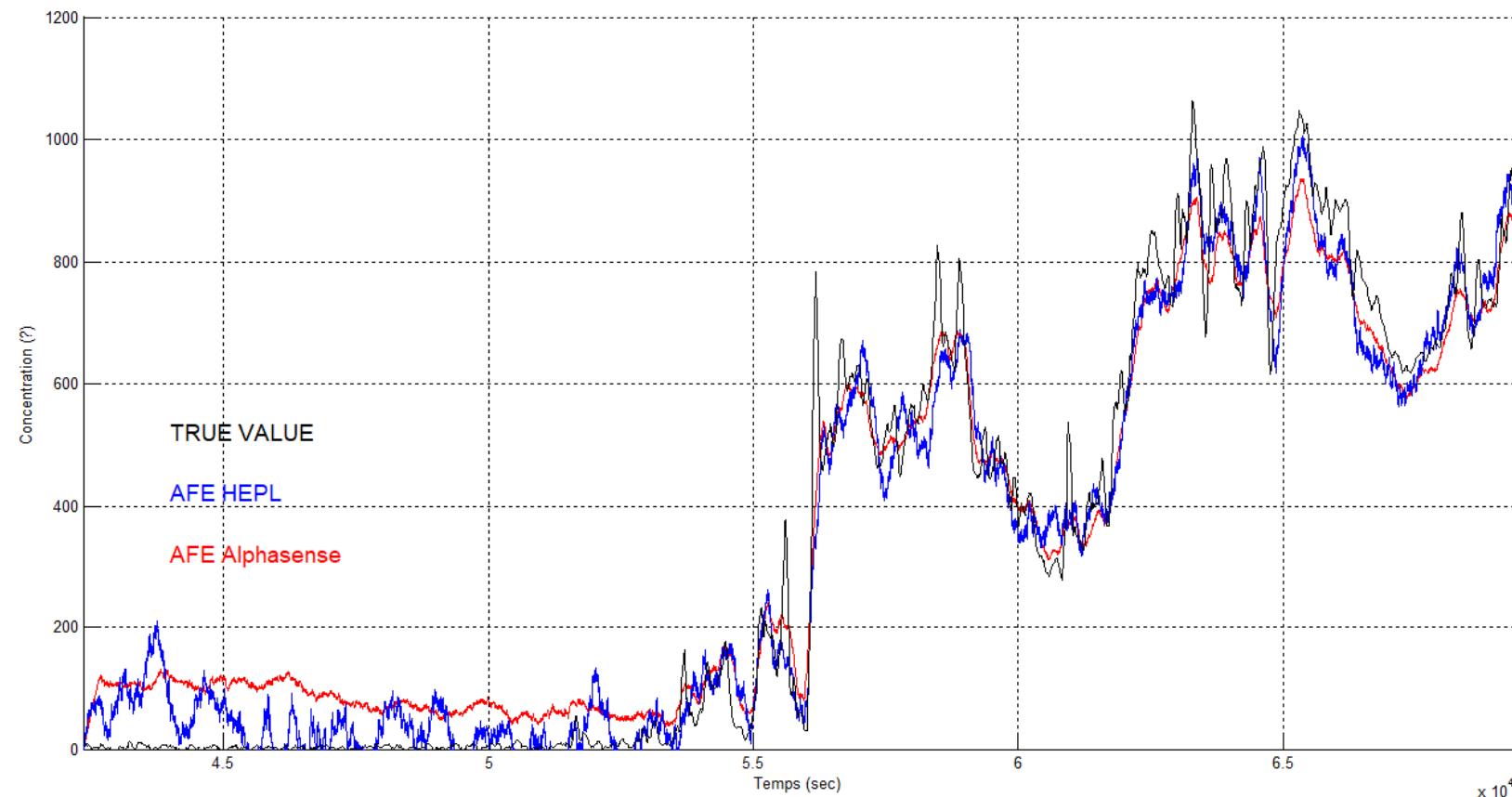
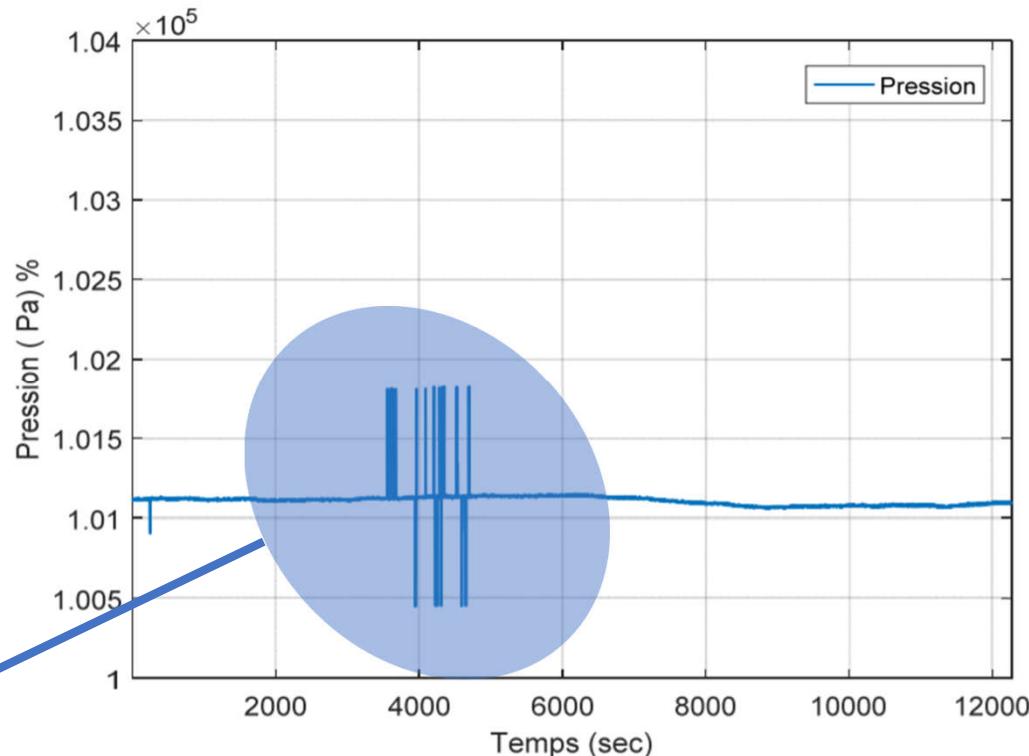


Figure 14. Comparaison Alphasense- Antilope – Mesure professionnelle

19. Mesure de pression

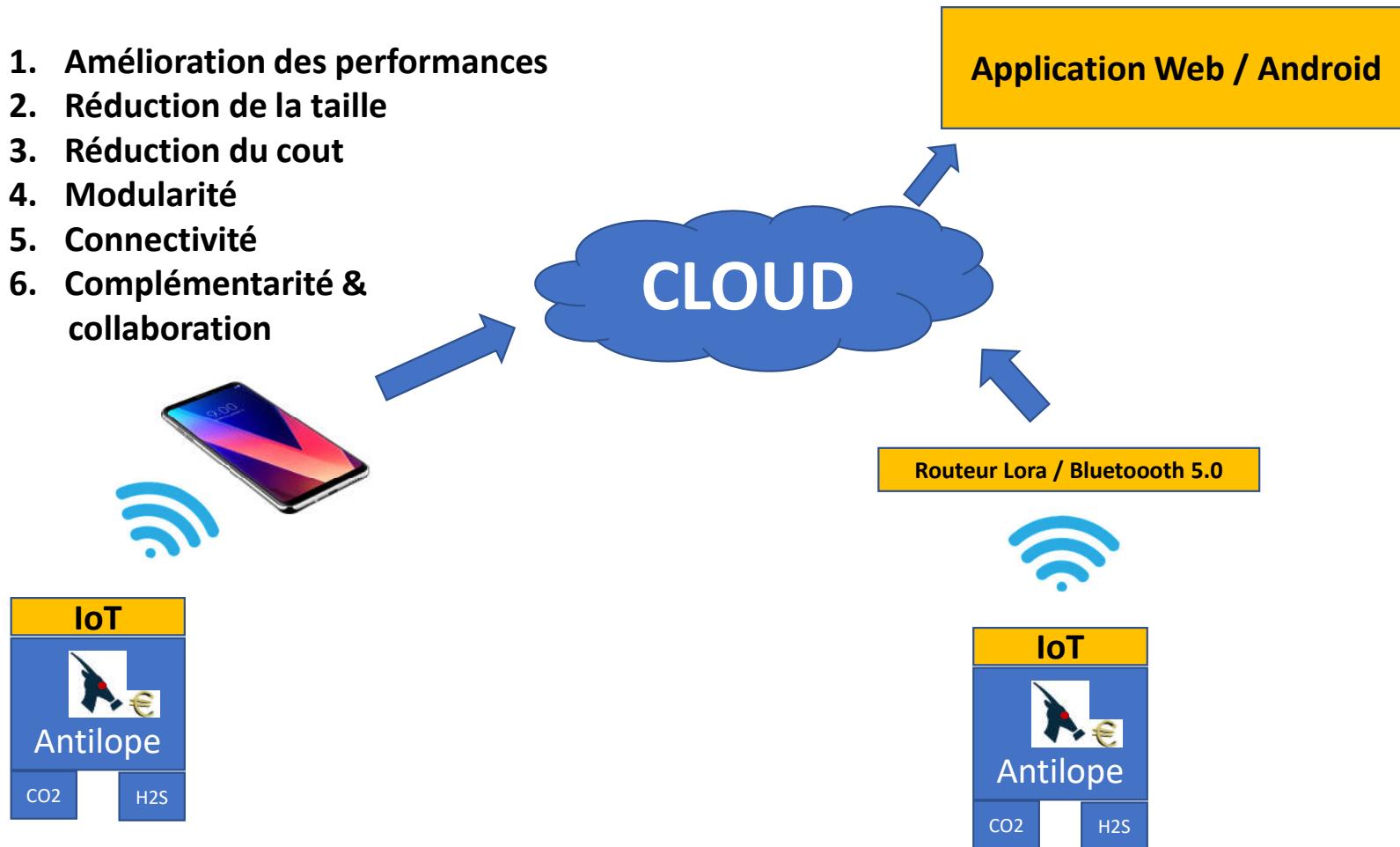


Ouverture de porte

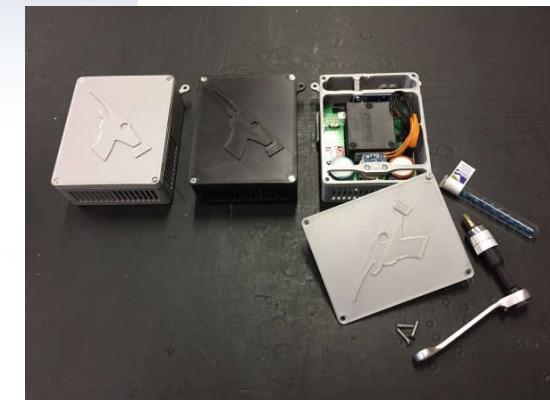
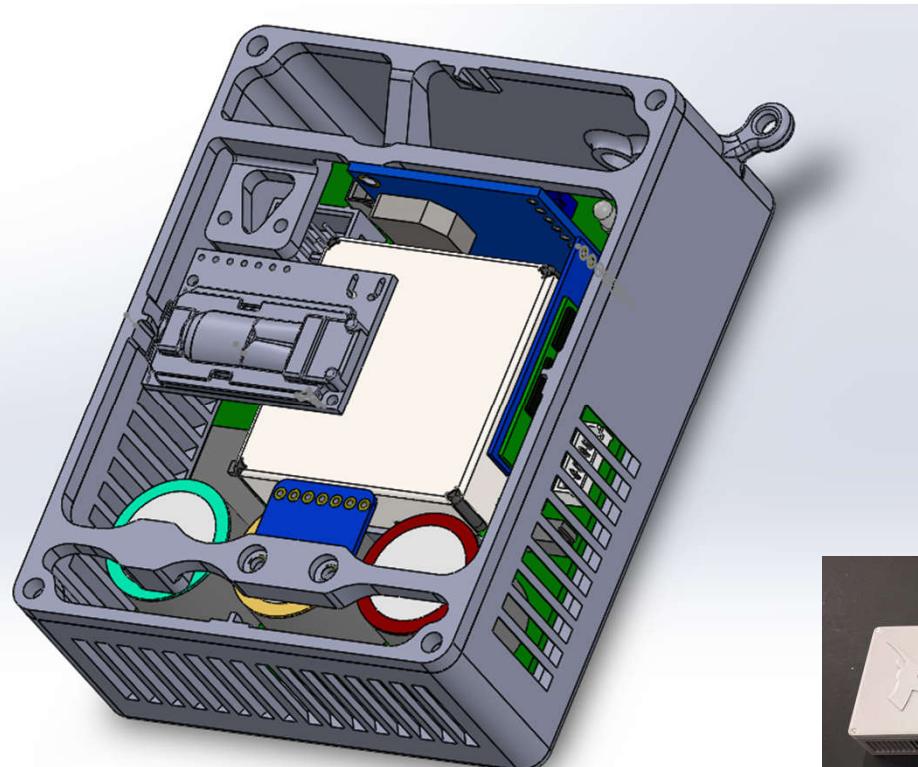
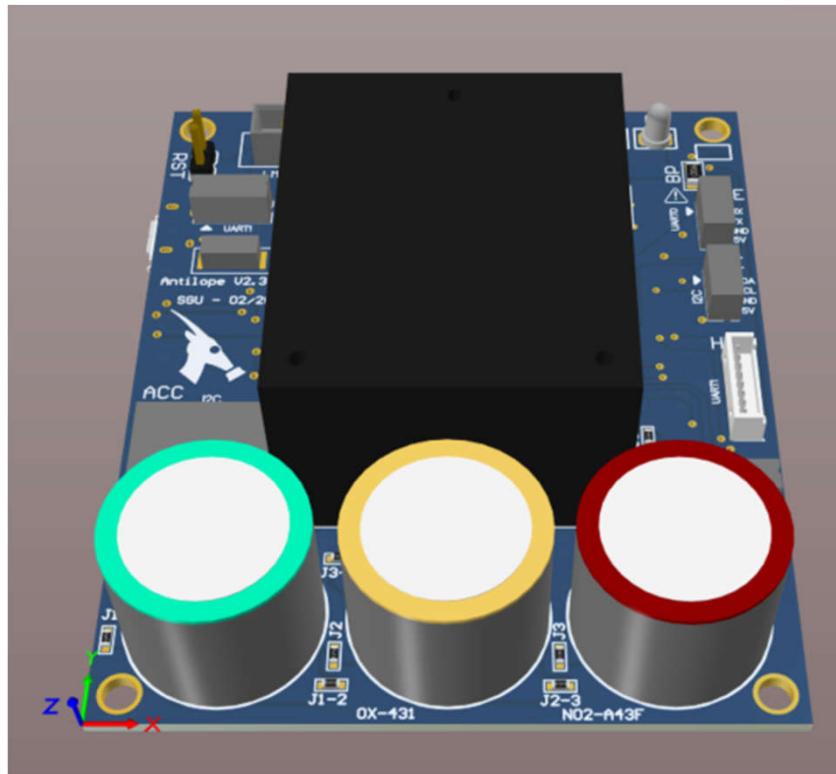
Figure 15. Mesure de la pression

20. Améliorations potentielles

1. Amélioration des performances
2. Réduction de la taille
3. Réduction du cout
4. Modularité
5. Connectivité
6. Complémentarité & collaboration



21. Antilope V3



22. Bruit de mesure

Travail sur l'électronique → Bruit de mesure > +/-10 ppb (après moyenne glissante)

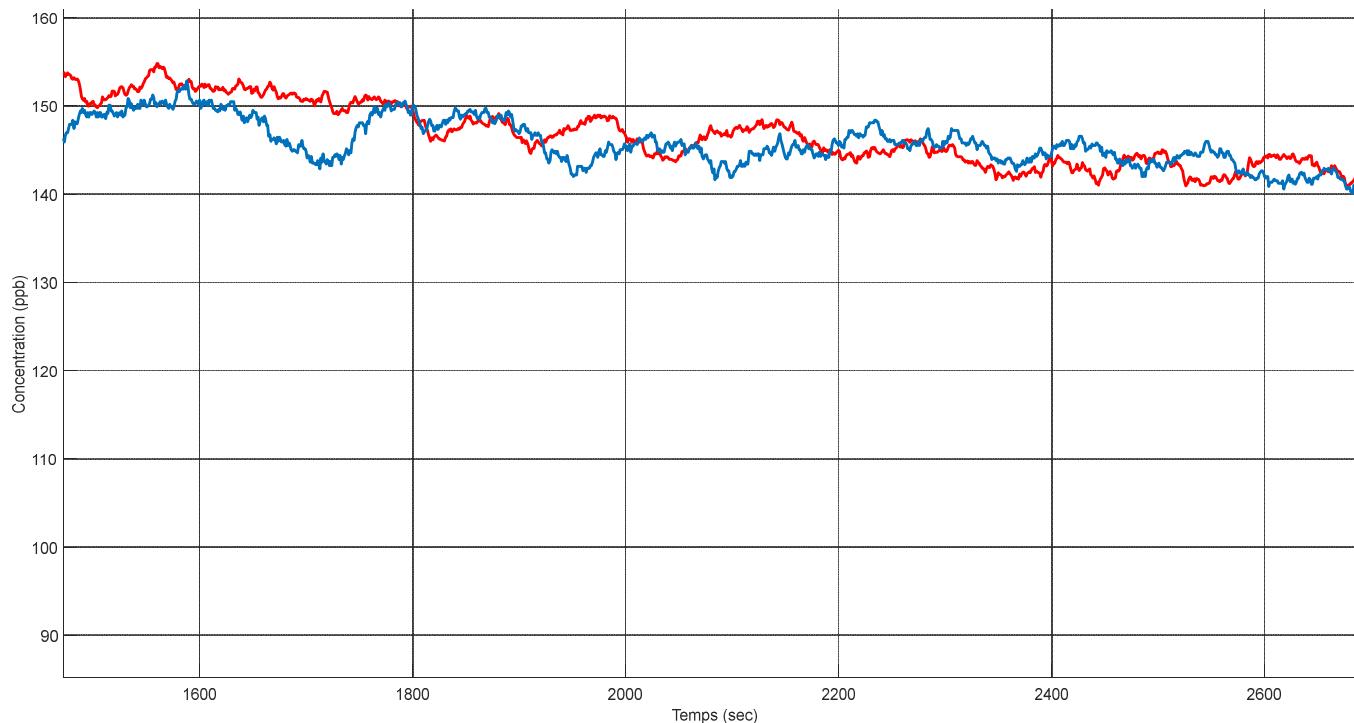


Figure 16. Mesure de deux Antilopes différentes

23. Tests en cuve et en extérieur

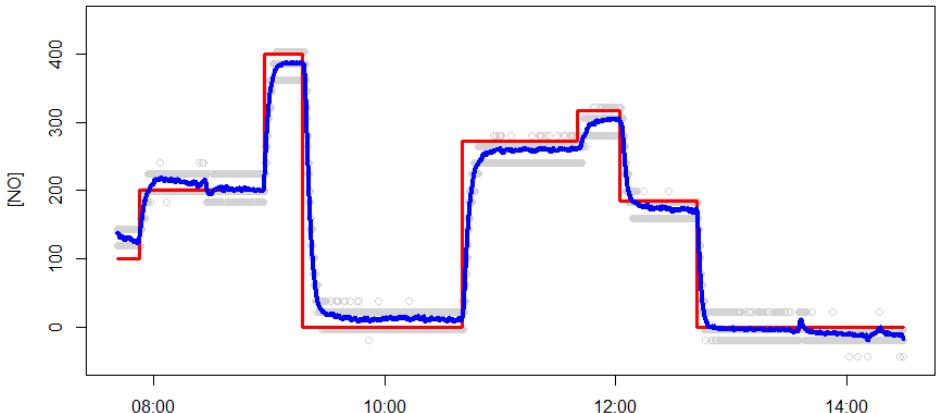


Figure 17. Concentration en NO

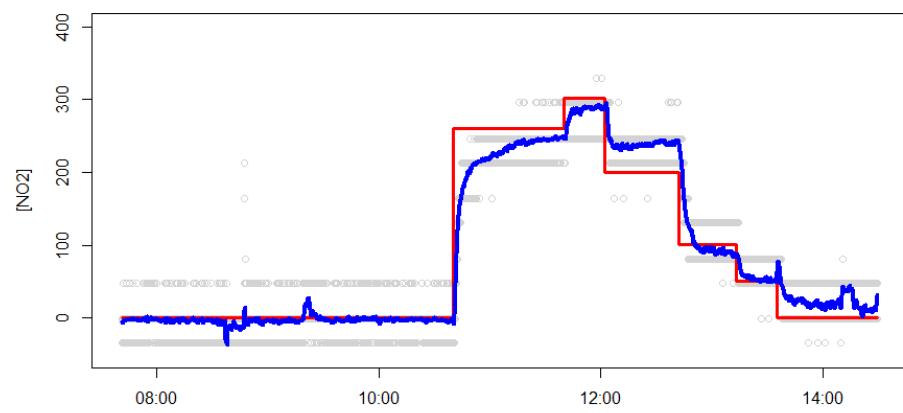


Figure 18. Concentration en NO₂

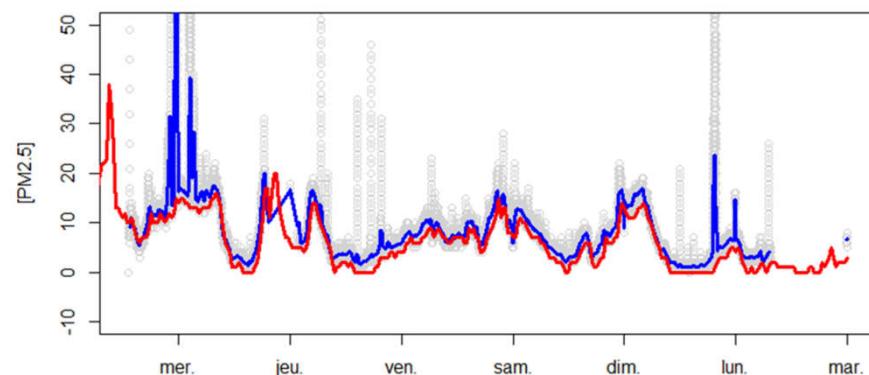
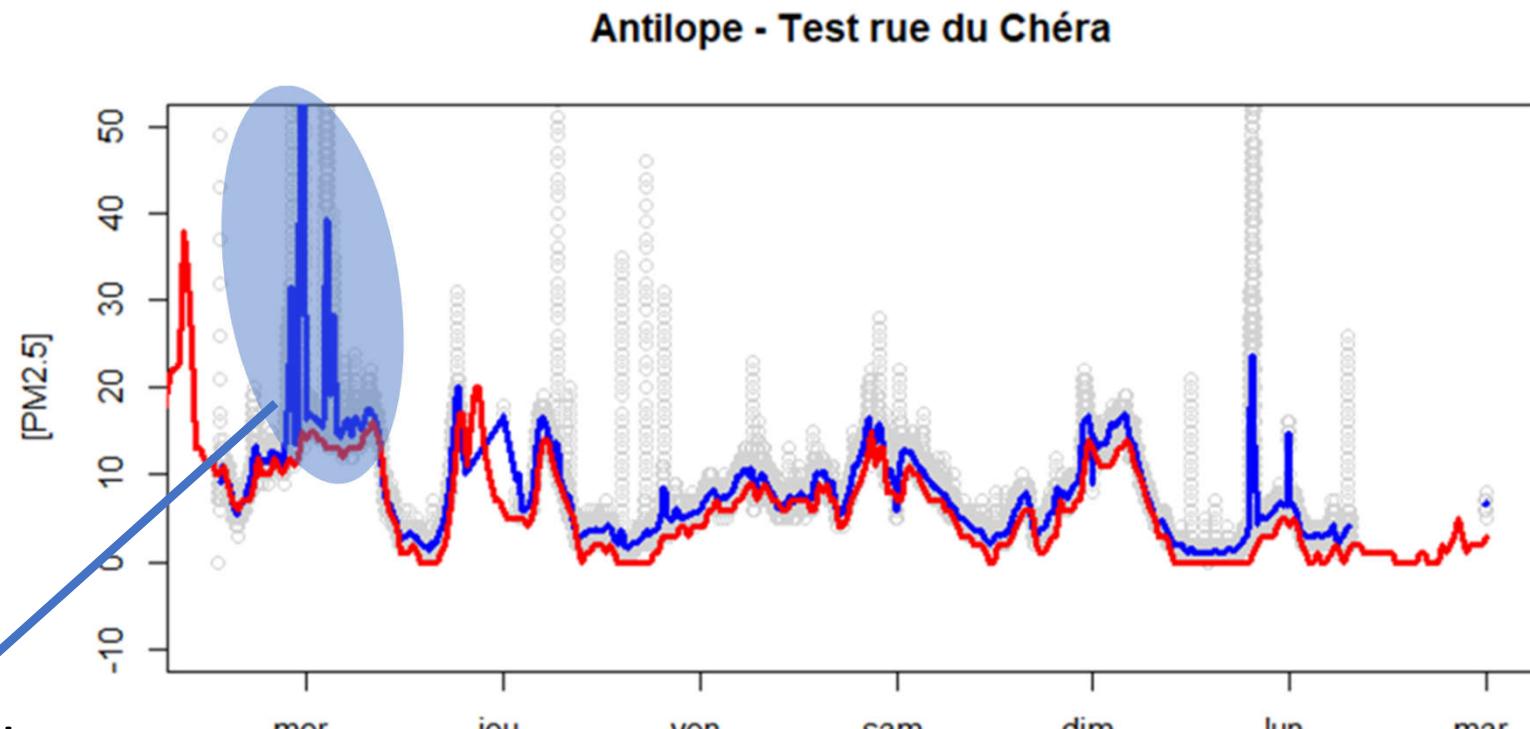


Figure 19. Mesure de PM2.5 extérieure

24. Test en extérieur



Utilité de la mesure à la seconde

Figure 20. Mesure extérieure (PM2.5) (bleu = Antilope , rouge = Appareil professionnel)

25. PM 2,5 : Mesure ‘particulaire’



Feu d'artifice du
nouvel an

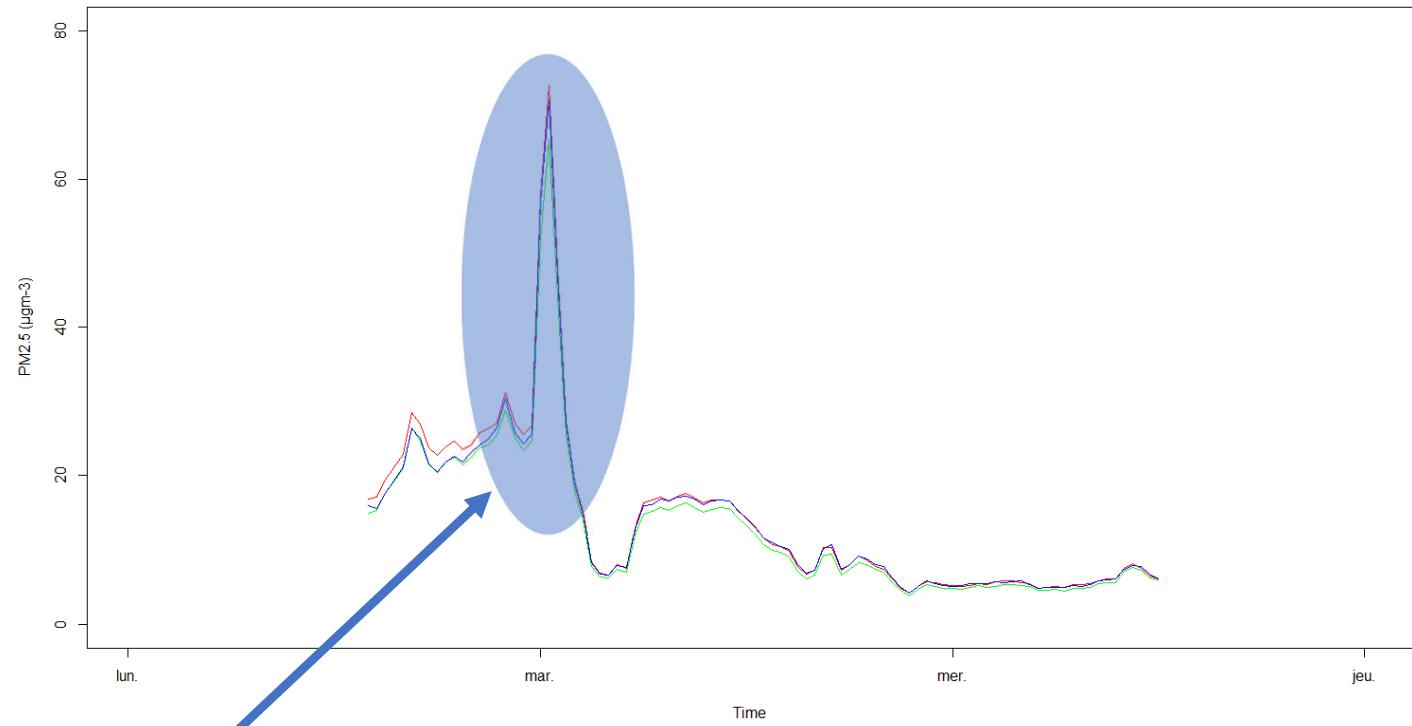


Figure 21. Pic de pollution (PM2,5)

26. PM 2,5 :Mesure ‘particulaire’

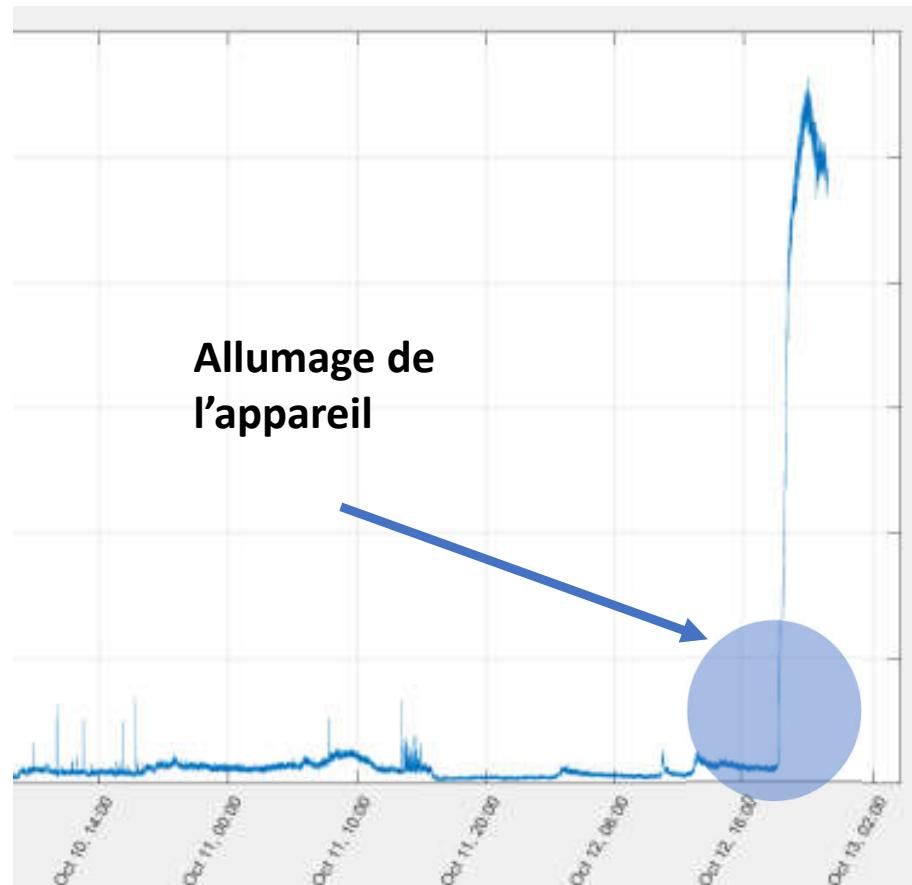
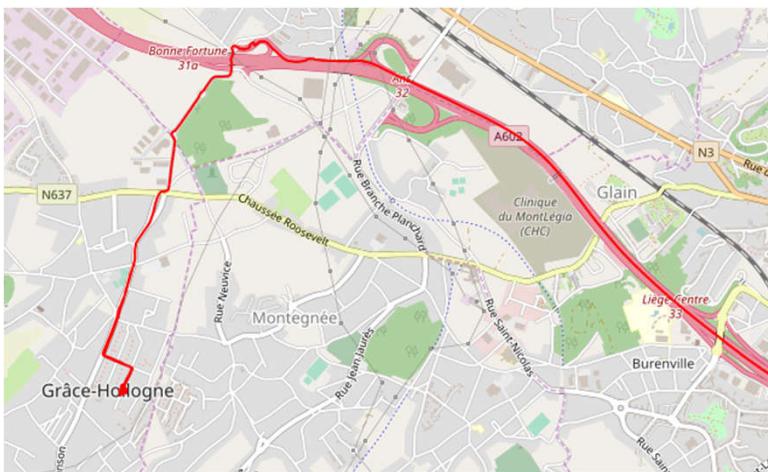


Figure 22. Pic de pollution (PM2,5)

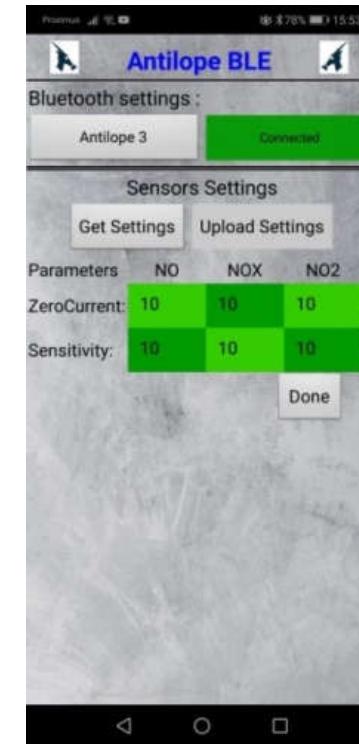
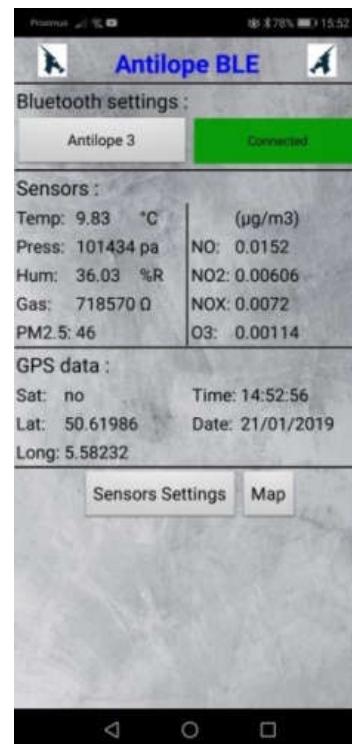


27. Positionnement et connectivité

Positionnement par GPS



Application pour Smartphone (ANDROID)



28. Production du troupeau – 25 Antilopes



29. Production du troupeau – 25 Antilopes

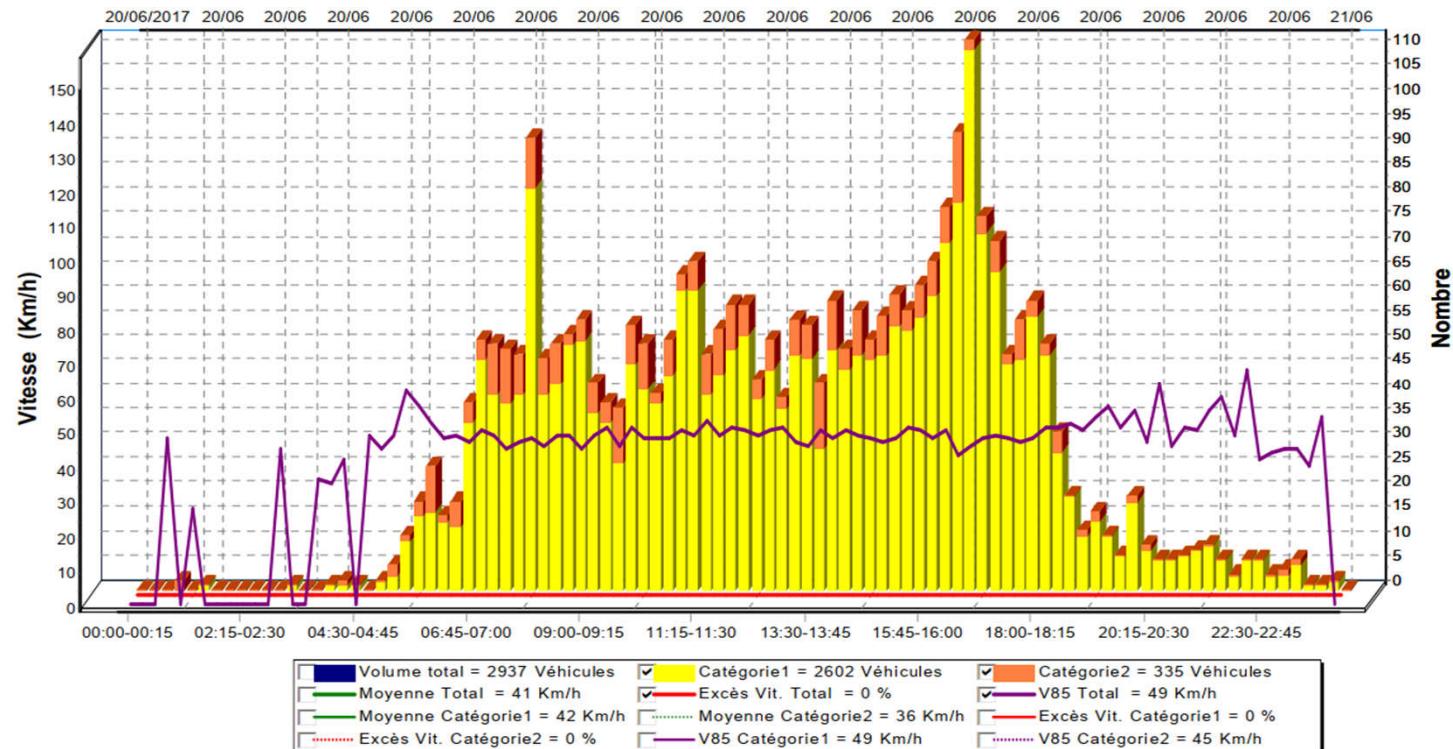


30. Utilisation particulière – Mesure fixe



31. Corrélation pollution - trafic

- Résultats en cours d'analyse
- Mesure de trafic prise par radar



32. Utilisation sur long terme (Anvers)

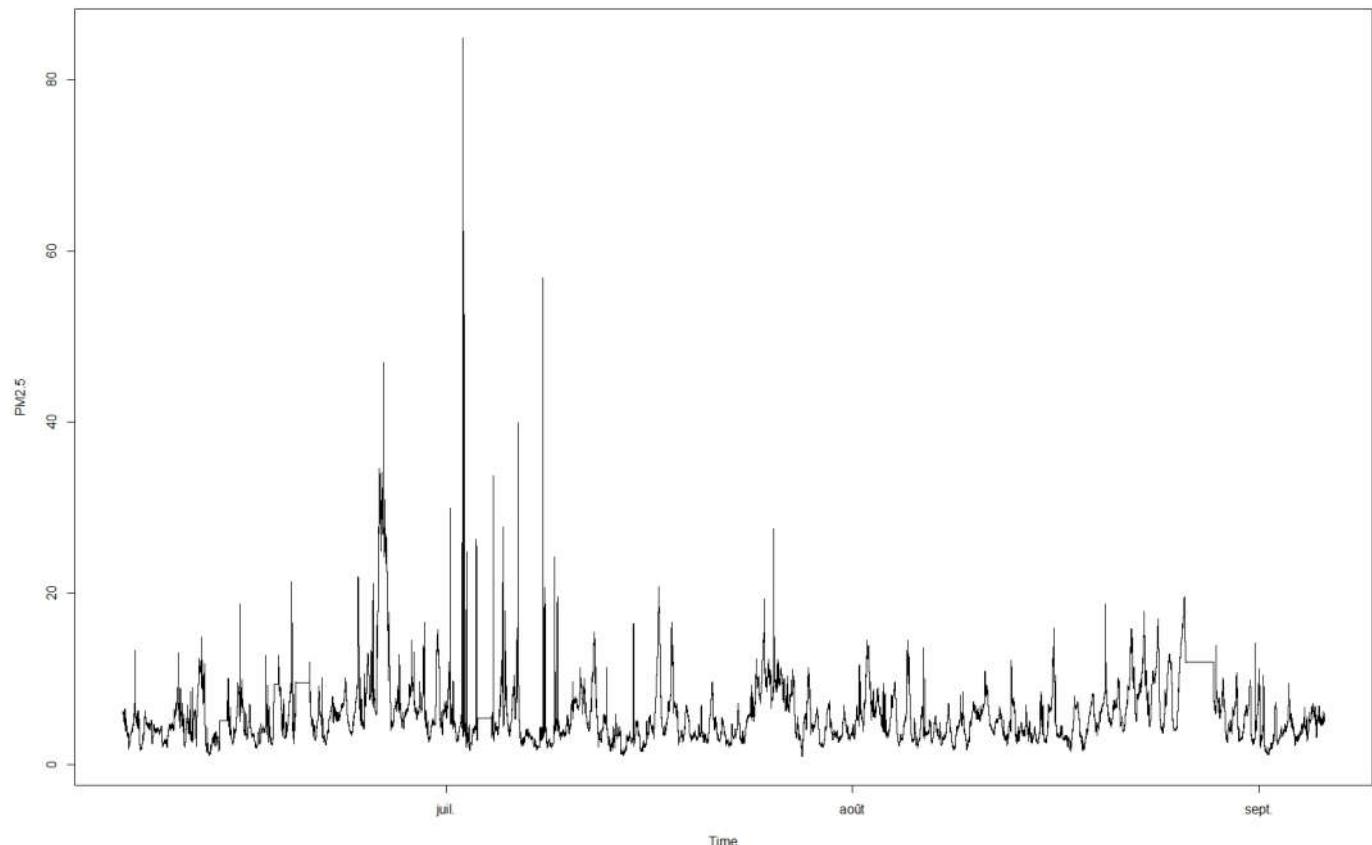
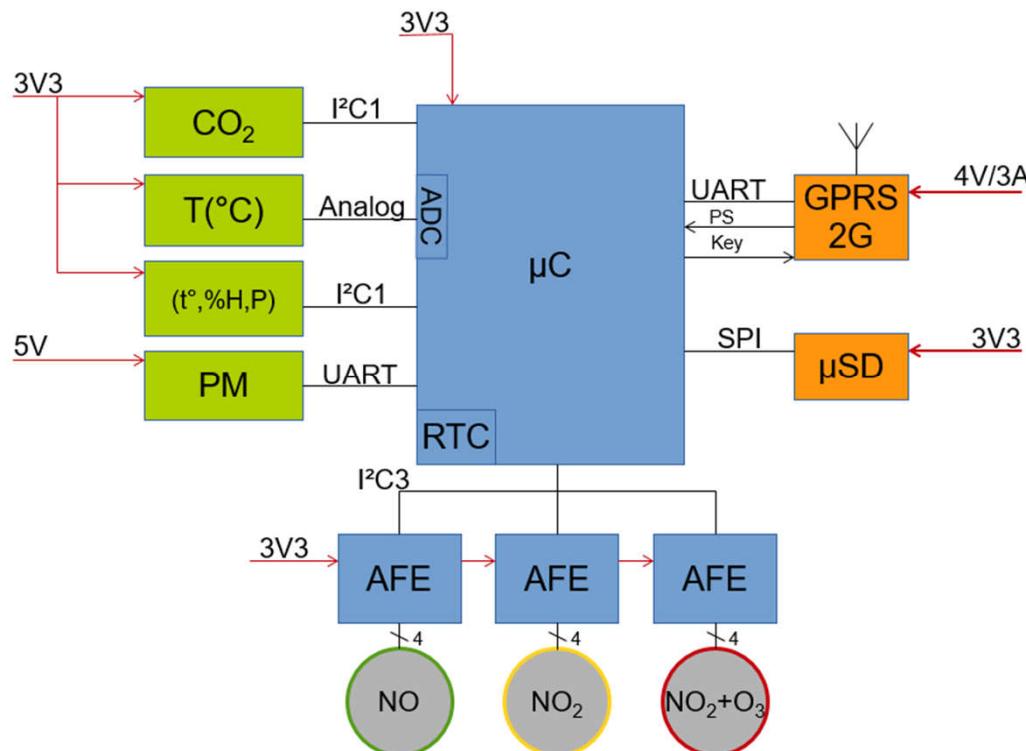


Figure 23. Mesure de PM2,5 de Juillet à Septembre

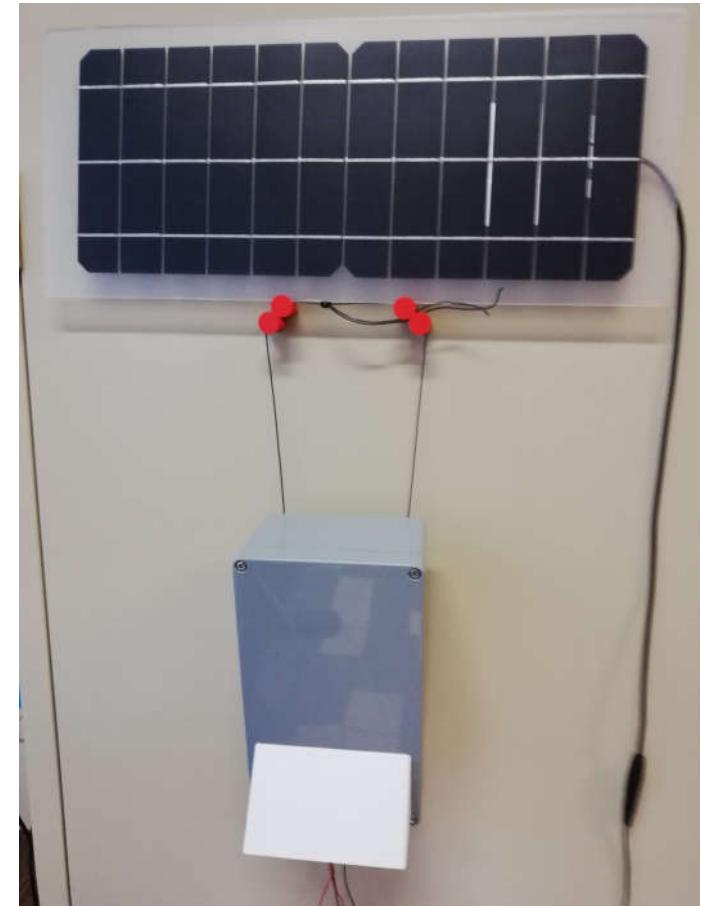
33. Saïga (Antilope V4)



Améliorations/changements principaux :

- Précision
- Connectivité 2G
- Version fixe (batteries+PV)

34. Saïga



35. Test en cuve - NO

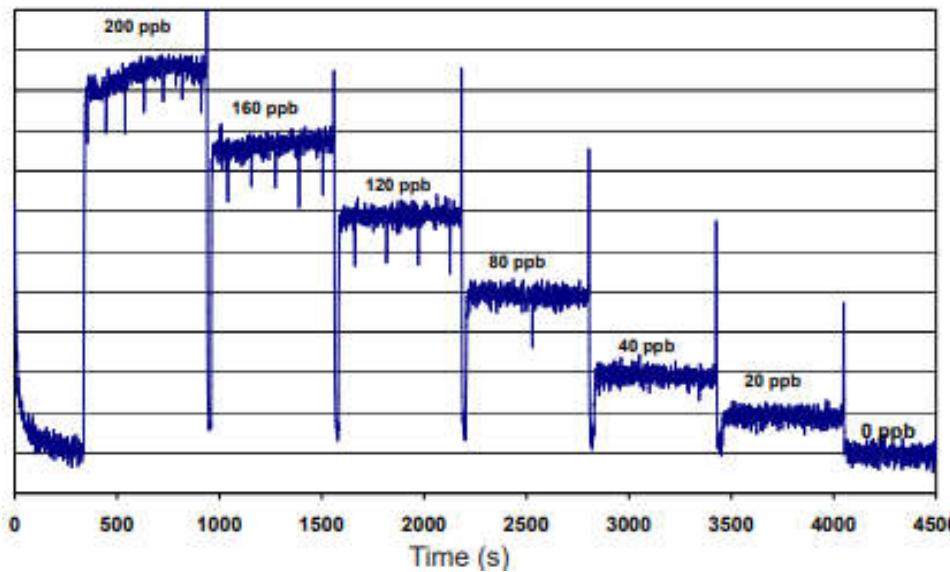


Figure 24. Gabarit de mesure (Alphasense)

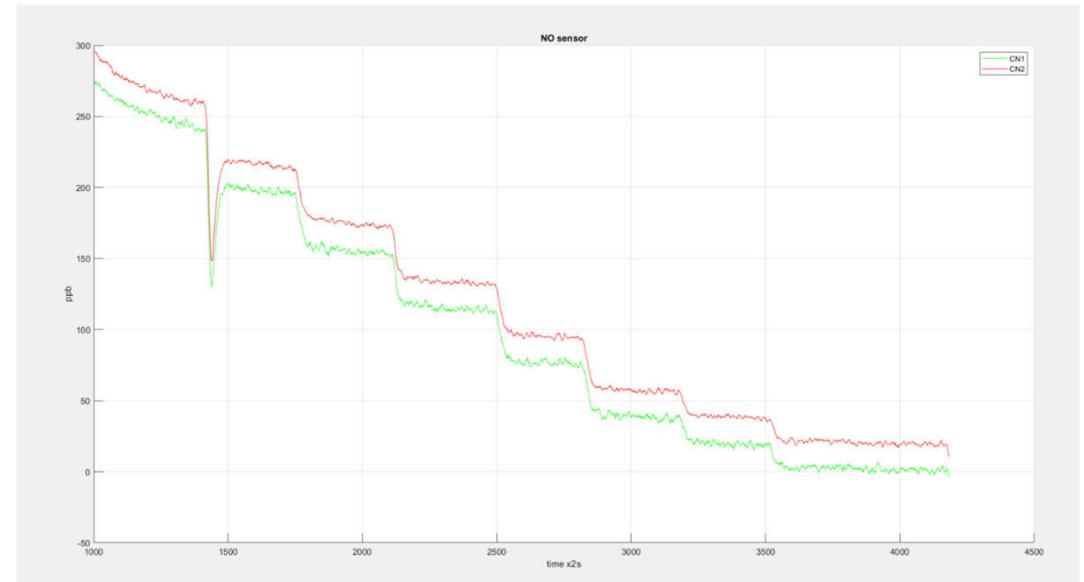


Figure 25. Mesure de NO (Saïga)

36. Test en cuve – NO₂

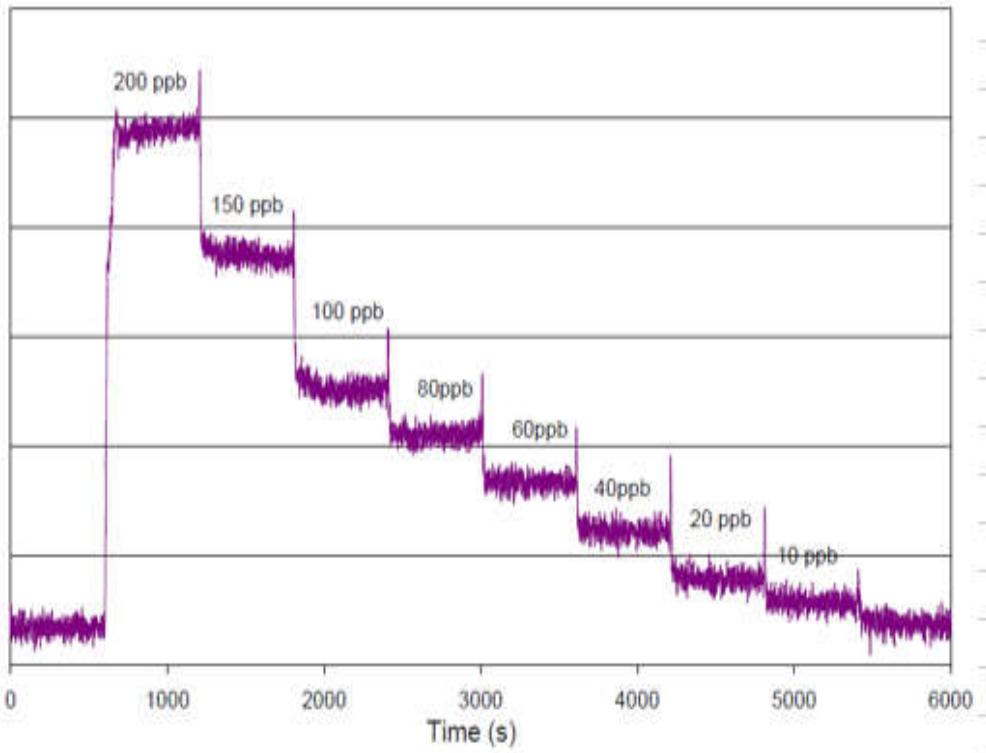


Figure 26. Gabarit de mesure (Alphasense)

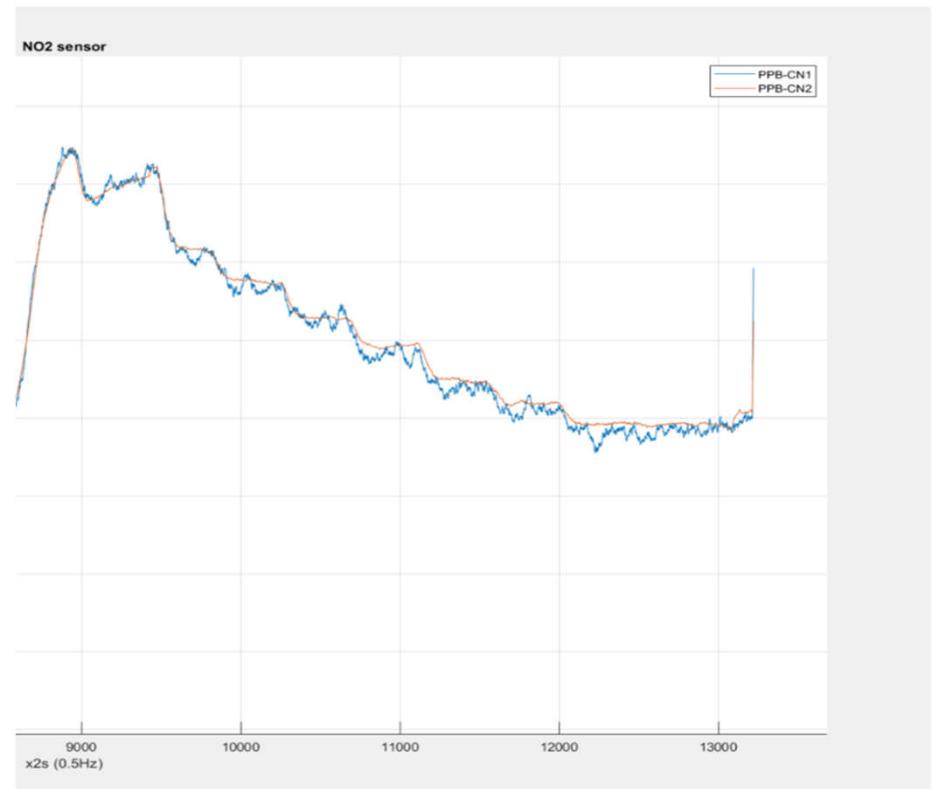


Figure 27. Mesure de NO₂ (Saïga)

37. Conclusions et perspectives

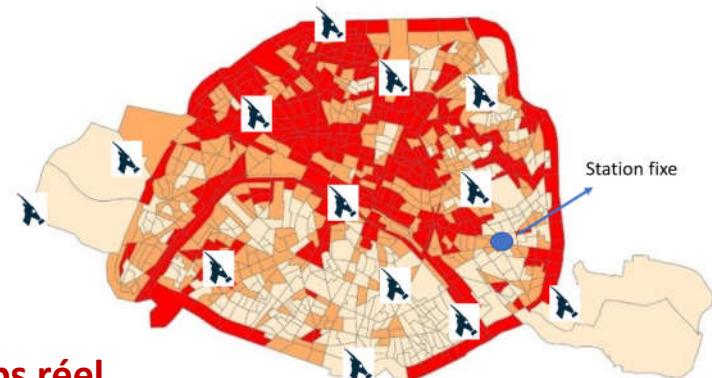
Conclusions:

Conception d'un système de mesure fonctionnel

- ✓ • Bonne résolution spatiale (station mobile)
- ✓ • Bonne résolution temporelle (1 mesure par seconde)
- ✓ • Low cost (+/- 500€)
- ✗ • Précision réduite.

Perspectives :

1. Amélioration des performances
2. Réduction de la taille
3. Réduction du cout
4. Modularité
5. Connectivité
6. Complémentarité & collaboration



→ Traitement des données en temps réel
avec données des stations fixes

Merci pour votre attention

