



Démonstration de l'efficacité d'un revêtement photocatalytique commercial à abattre le NO en conditions réelles dans une chambre expérimentale instrumentée

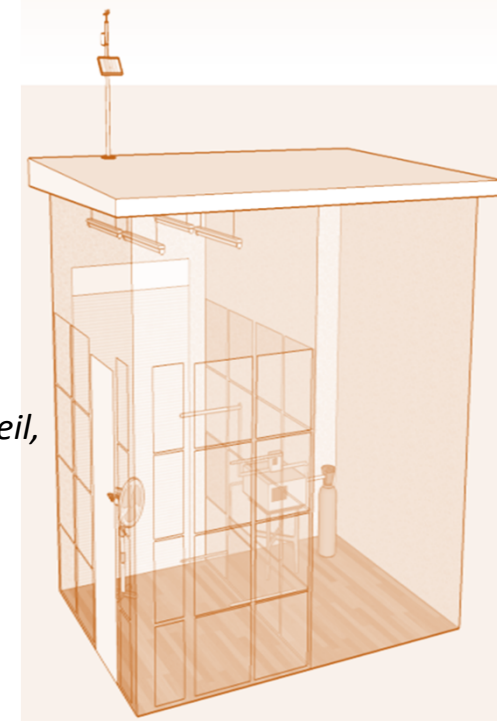
J. Hot¹, J. Topalov¹, B. Wayser², E. Ringot^{1,3}, A. Bertron¹

¹LMDC, Université de Toulouse, INSA/UPS Génie Civil, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse, cedex 04 France

²Guard Industrie, 7 Rue Gutenberg, 93100 Montreuil, France

³LRVision SARL, 13 Rue du Développement, 31320 Castanet-Tolosan, France

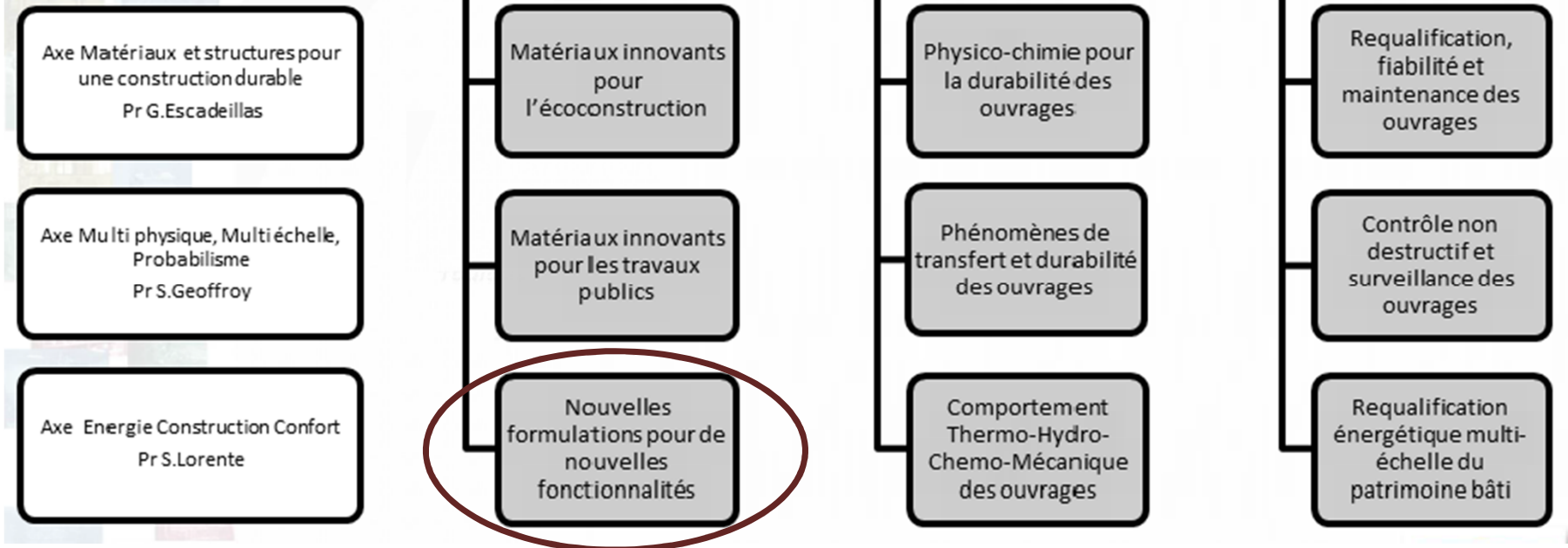
Contact : Julie Hot, hot@insa-toulouse.fr



10 et 11 octobre 2017 – Lyon, France

Axes et pôles de recherche au LMDC

120 personnes environ dont 48 enseignants-chercheurs



Activités de recherche sur la qualité de l'air intérieur (QAI), le confort et la santé des occupants

Activités de recherche sur la QAI

- Matériaux photocatalytiques innovants pour des applications de dépollution de l'air intérieur [1-5] :
 - essais réalisés à l'échelle du laboratoire (réacteur photocatalytique normalisé) et en conditions réelles (chambre expérimentale instrumentée de 10 m³),
 - différents polluants intérieurs gazeux testés (NO_x, BTEX, formaldéhyde),
 - influence des conditions expérimentales et environnementales.
- Evaluation de l'émissivité des matériaux (COVs) de construction (en cours de développement).
- Matériaux innovants à base de molécules bio-sourcées (monoglycérides) [6] :
 - inhibition de la prolifération des micro-organismes,
 - dégradation des COVs d'origine microbienne,
 - compréhension des mécanismes d'actions.

[1] Martinez T. et al. Degradation of NO using photocatalytic coatings applied to different substrates. *Building and Environment* 46:1808-1816, 2011.

[2] Martinez T. Revêtements photocatalytiques pour matériaux de construction: Formulation, évaluation de l'efficacité et écotoxicité, Thèse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2012.

[3] Martinez T. et al. BTEX abatement by photocatalytic TiO₂-bearing coatings applied to cement mortars. *Building and Environment* 71:186-192, 2014.

[4] Hot J. et al. Photocatalytic degradation of NO/NO₂ gas injected into a 10 m³ experimental chamber. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017.

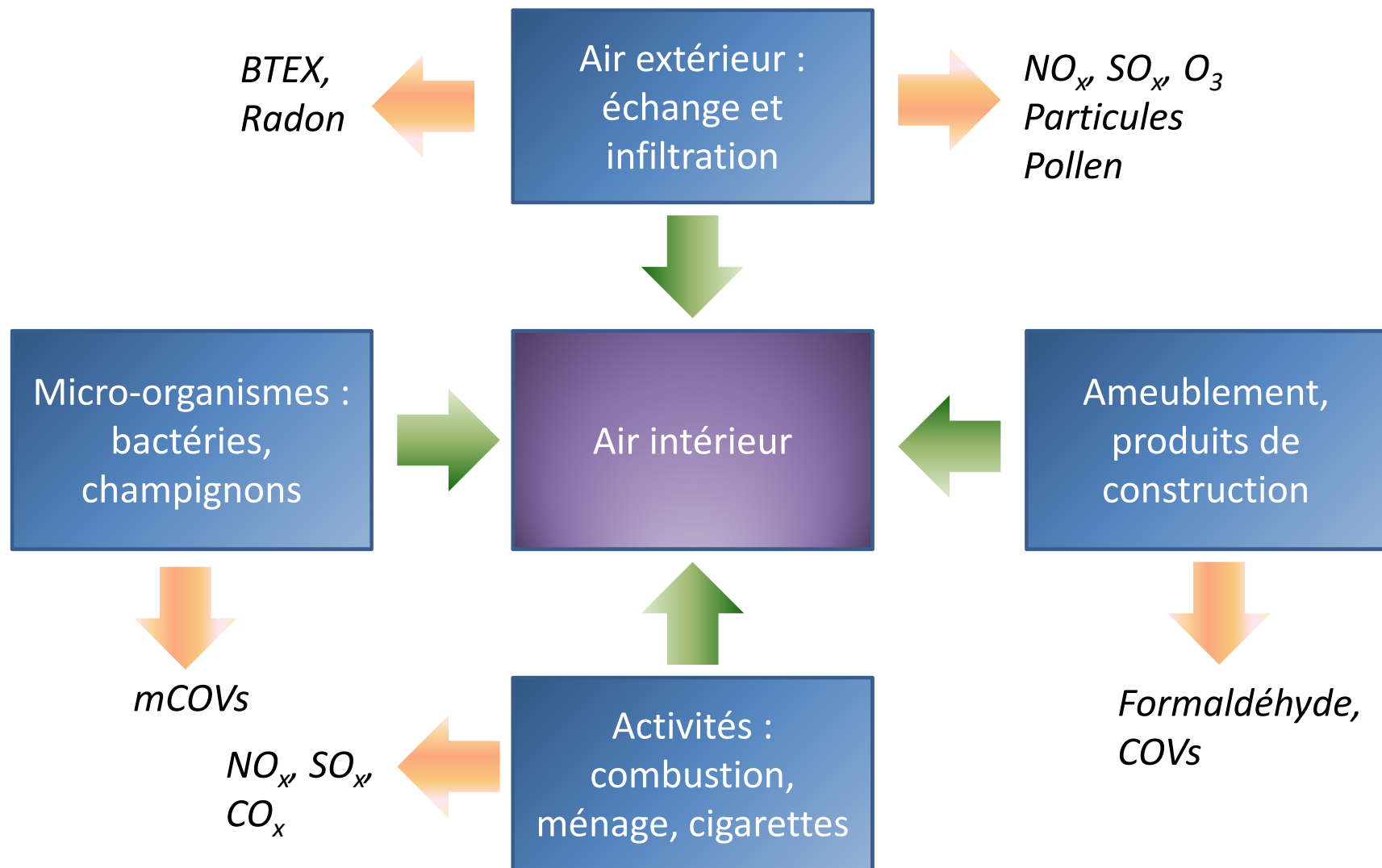
[5] Hot J. et al. Investigation on parameters affecting the effectiveness of photocatalytic functional coatings to degrade NO: TiO₂ amount on surface, illumination, and substrate Roughness. *International Journal of Photoenergy*, 2017.

[6] Verdier T. Elaboration de revêtements pour matériaux de construction visant à lutter contre la prolifération microbienne à l'intérieur des bâtiments: efficacité et mode d'action, Thèse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2015.

Bref rappel...

- En moyenne, nous passons de 80 à 95% de notre temps dans les bâtiments et nous respirons environ 10 m³ d'air chaque jour.
- Nous sommes exposés en environnement intérieur à des contaminants biologiques (micro-organismes), chimiques (gaz) et physiques de sources variées qui affectent la santé, le confort et la productivité.
- Les matériaux de construction, les produits de décoration et l'ameublement sont notamment des sources majeures de pollution intérieure.
- Les sites urbains sont fortement pollués par des oxydes d'azote ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) qui peuvent s'infiltrer dans les bâtiments.
- En intérieur, les NO_x sont également présents dans les gaz de combustion (utilisation de chauffages au fuel, de cuisinières à gaz et fumée de tabac).
- Pour améliorer la qualité de l'air intérieur, il faut donc limiter la concentration en NO_x .

Aperçu des sources de pollution intérieure



Techniques d'amélioration de l'QAI

- Différentes techniques pour améliorer la qualité de l'air intérieur :

- ❑ Renouvellement de l'air

- De l'air extérieur plus ou moins propre remplace l'air vicié : attention à la pollution extérieure !

- Des systèmes de ventilation sont utilisés et aération par ouverture des fenêtres.

- ❑ Adsorption et absorption

- Les polluants sont piégés grâce à des filtres, des purificateurs d'air, des matériaux spécifiques, des plantes...

- ❑ Photocatalyse et plasma-catalyse

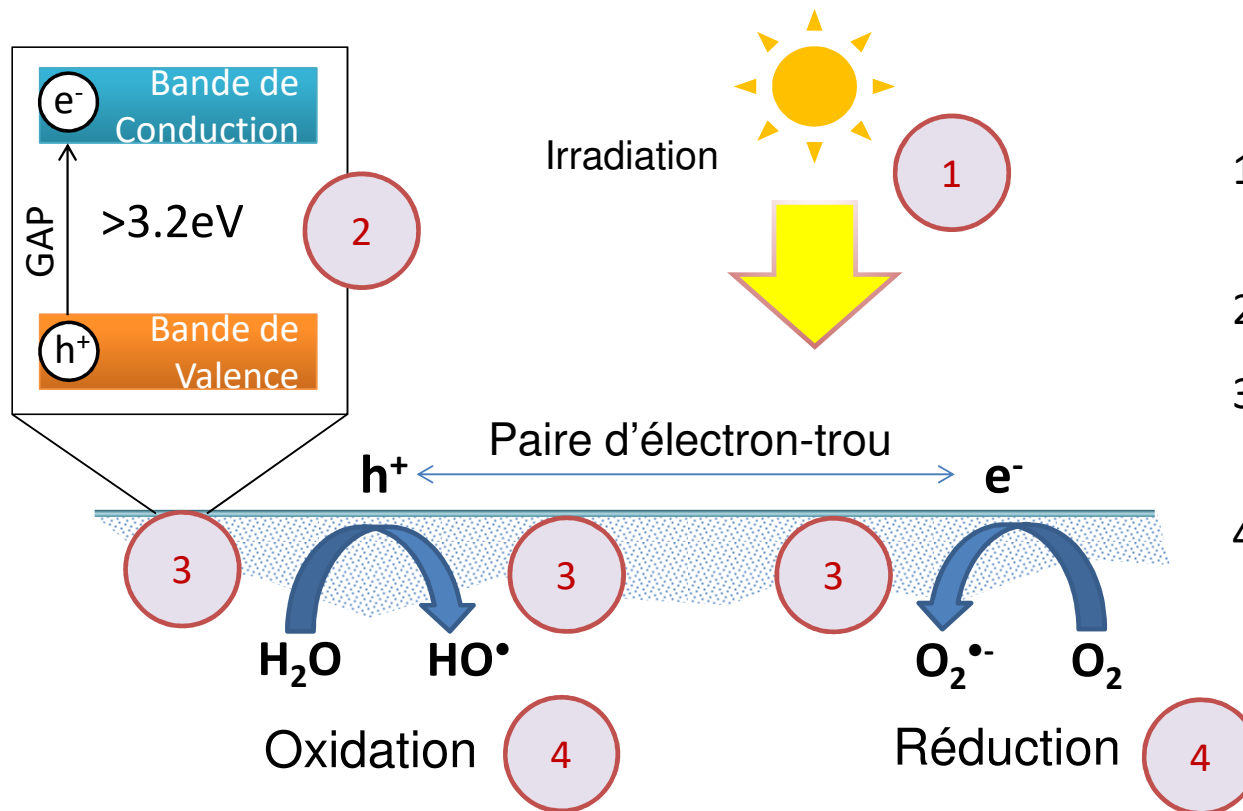
- Sous irradiation lumineuse, un photocatalyseur initie des réactions chimiques : photocatalyse (système passif), plasma-catalyse (alimentation électrique nécessaire).

- Les polluants sont “cassés” en oxygène, eau ou autres composés chimiques moins dangereux.

- Mécanisme de la photocatalyse utilisé ici (revêtements photocatalytiques).

Principe de la photocatalyse

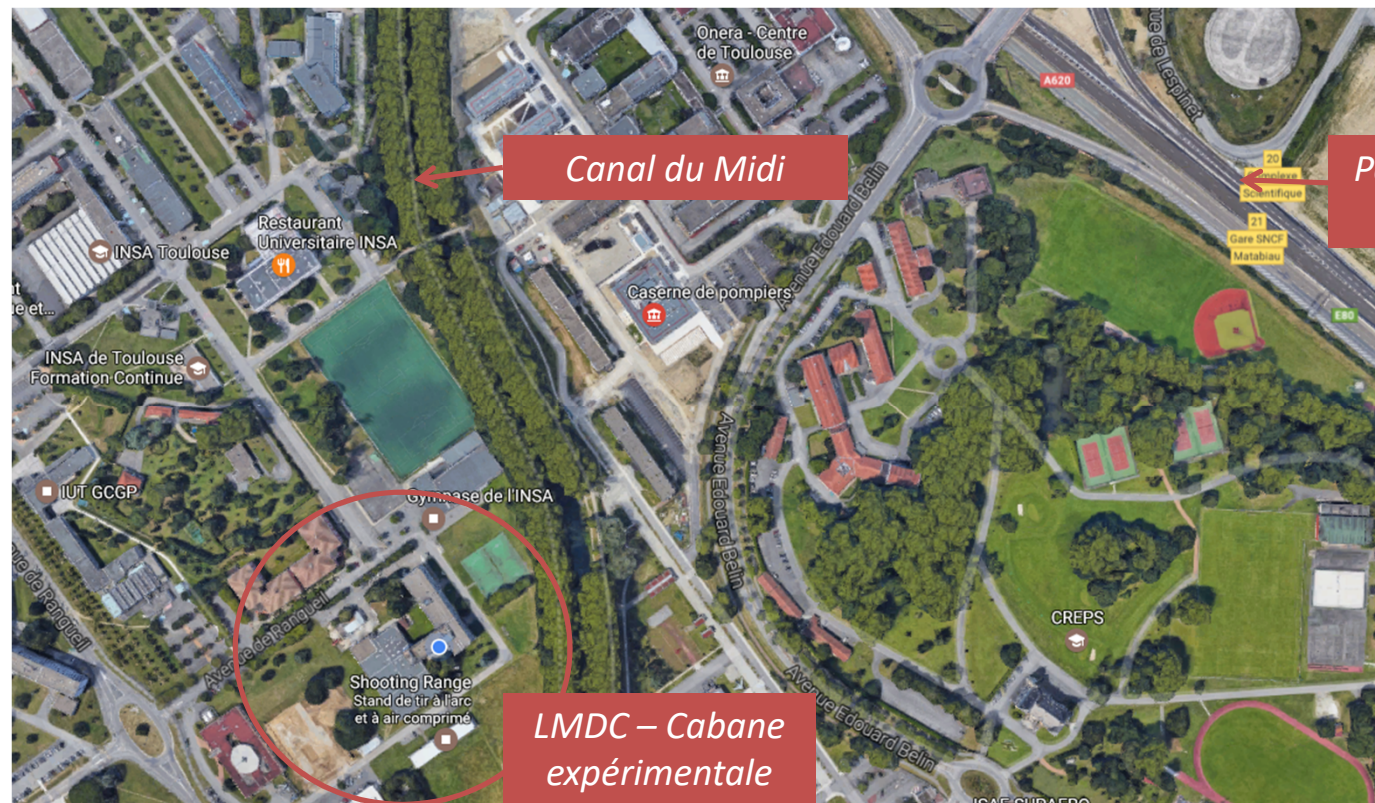
- En présence d'énergie lumineuse, d'eau et d'oxygène de l'air, le photocatalyseur (semi-conducteur TiO_2 généralement utilisé) initie des réactions chimiques sans se dégrader lui-même.
- Des molécules très réactives (radicaux libres) sont formées et vont décomposer, par oxydoréduction, des substances organiques et inorganiques, notamment des polluants.



Etapes du procédé :

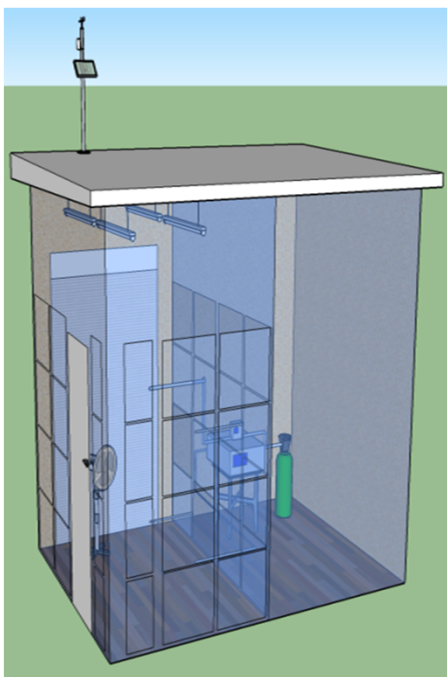
1. Activation par lumière naturelle ou artificielle
2. Formation de paires d'électron-trou
3. Formation de radicaux libres réactifs en surface (HO•, O₂•⁻)
4. Dégradation des polluants grâce aux réactions d'oxydoréduction

Localisation de la cabane expérimentale



Description de la cabane expérimentale

Représentation
schématique de la
cabane expérimentale



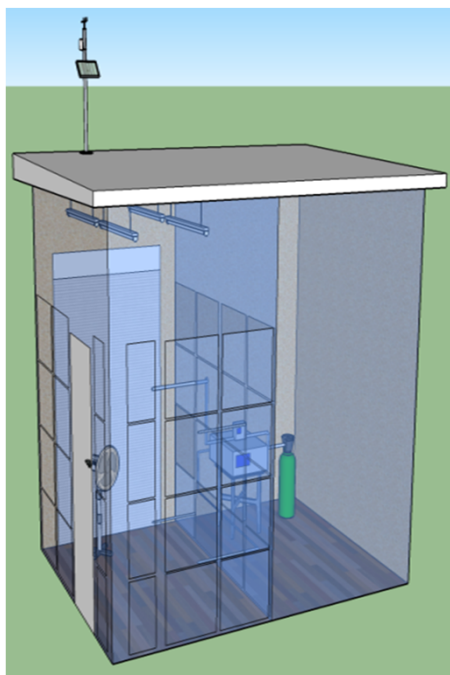
Vue de l'extérieur

Vue de l'intérieur :
Chambre expérimentale
de 10 m³ utilisée comme
réacteur photocatalytique
avec plaques de
Placoplatre® sur les murs,
ventilateur et illuminants



Vue de l'intérieur :
Chambre d'analyse
équipée d'un régulateur
de débit, bouteilles de gaz
et analyseur de NO_x

Caractéristiques et équipements de la cabane expérimentale



Caractéristiques générales de la chambre expérimentale

- ✓ Volume : $10 \pm 0.1 \text{ m}^3$
- ✓ Surface intérieure : $21.6 \pm 0.3 \text{ m}^2$
- ✓ Surface Placoplatre® : $9.3 \pm 0.1 \text{ m}^2$
- ✓ 43% de la surface intérieure est couverte par des plaques de Placoplatre®

Equipements de la chambre expérimentale

- ✓ Ventilateur
- ✓ Lumière
- ✓ Sonde de température et humidité
- ✓ Sonde de pression

Conditions thermo-hydriques (dépend des conditions climatiques)

- ✓ $T^\circ = [10 - 30]^\circ\text{C}$
- ✓ $\text{HR} = [30 - 70]\%$

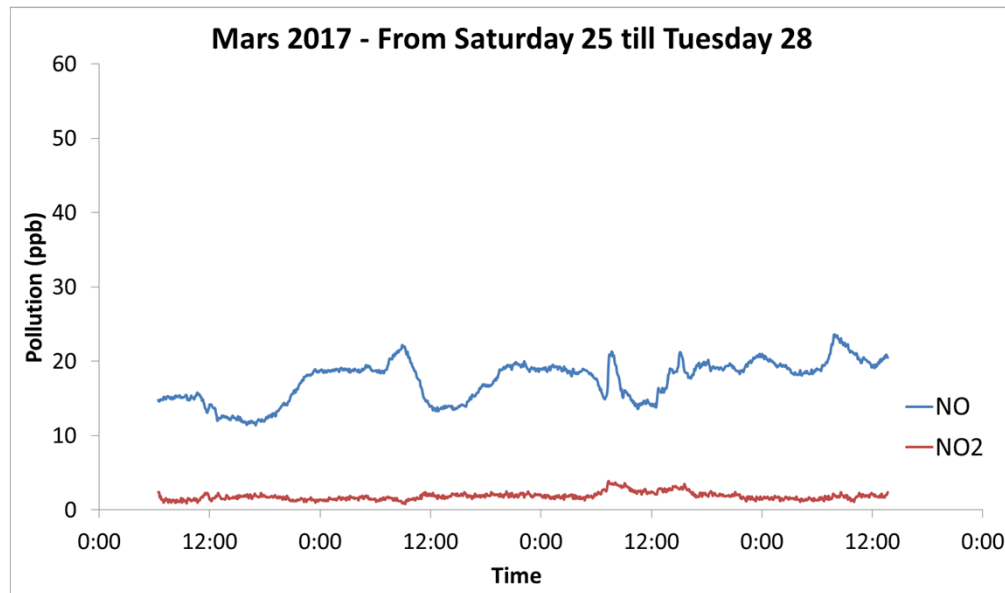
Equipements de la chambre d'analyse

- ✓ Bouteilles de gaz
- ✓ Régulateur de débit
- ✓ Analyseur de NO_x
- ✓ Station météorologique

Substrat	Surface totale	Quantité de produit	Teneur solide en TiO_2
Placoplatre® peint	$9.3 \pm 0.1 \text{ m}^2$	$48 \pm 2 \text{ g/m}^2$	$2.9 \pm 0.1 \text{ g/m}^2$

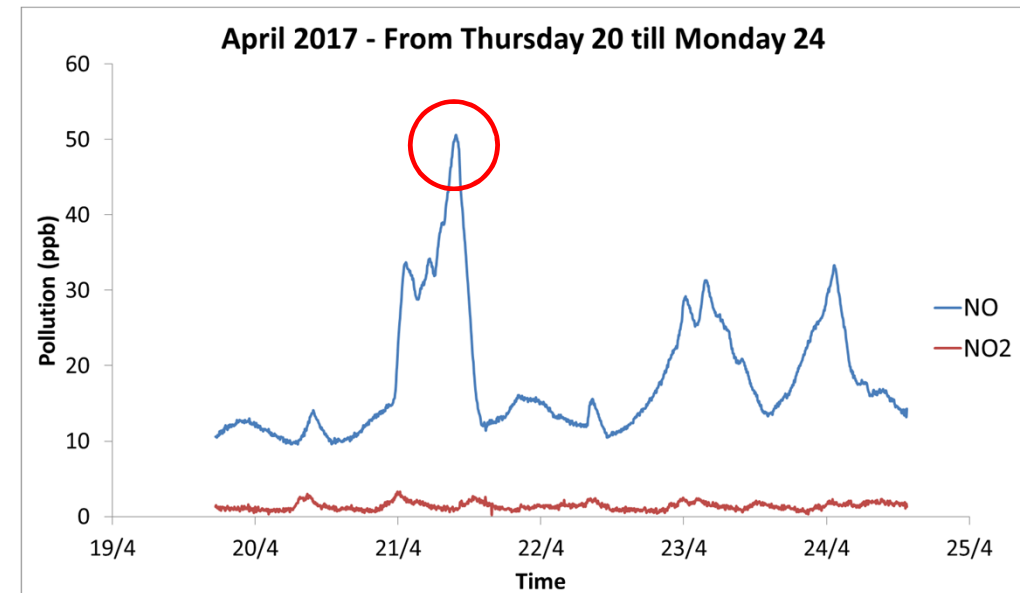
Concentrations intérieures en NO_x : valeurs de fond

Cas 1 : Faible niveau de pollution extérieure



Valeurs moyennes : $\text{NO} \approx 18$ ppb et $\text{NO}_2 \approx 3$ ppb

Cas 2 : Fort niveau de pollution extérieure



Valeurs maximales : $\text{NO} \approx 50$ ppb et $\text{NO}_2 \approx 4$ ppb

Protocole expérimental

Objectif : Evaluer la capacité d'un produit photocatalytique à réduire la concentration intérieure en NO en conditions réelles.

L'étude présentée ici se focalise sur le NO car sa concentration peut-être mesurée en temps réel par un analyseur.

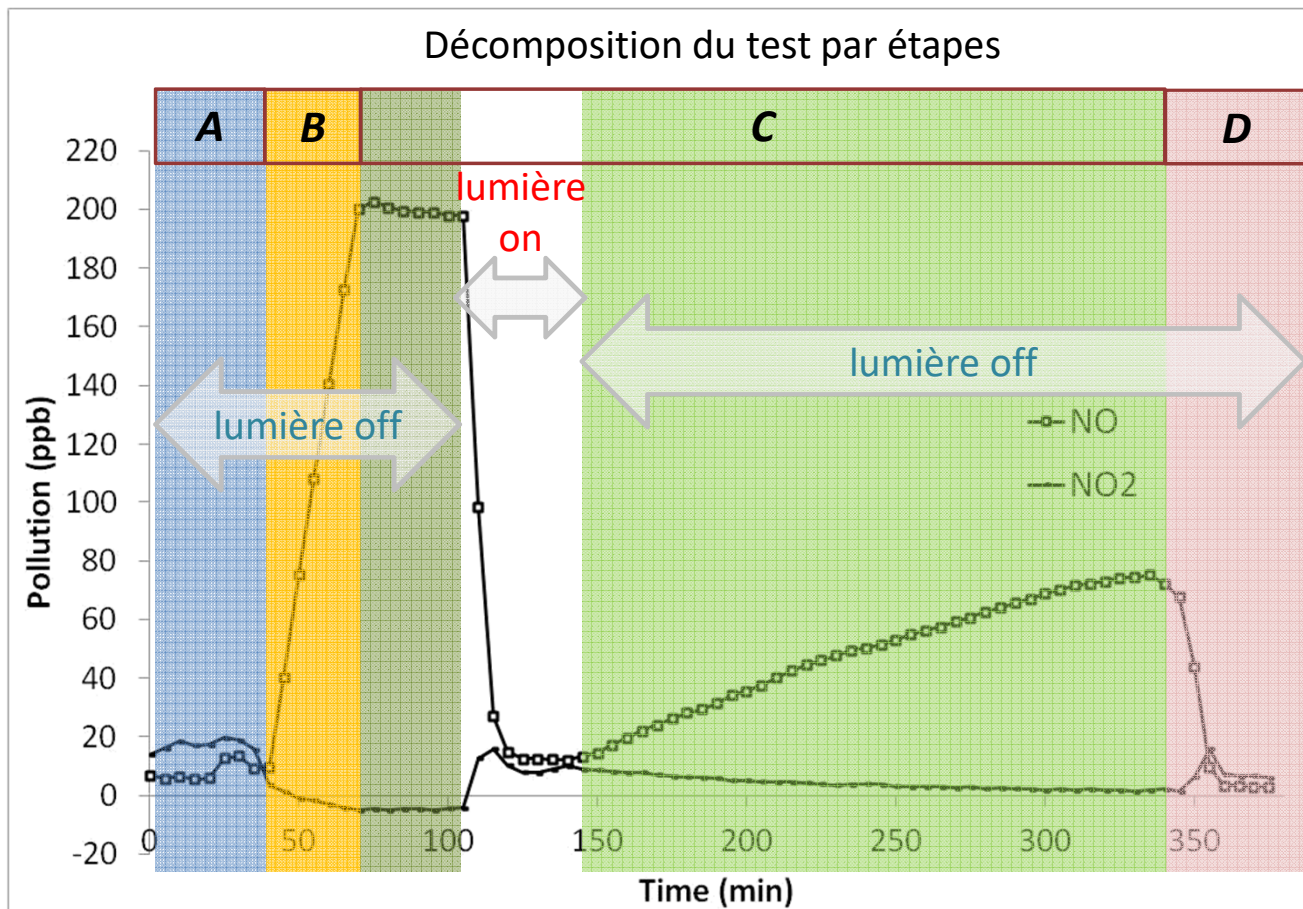
- Injection initiale de NO dans la chambre expérimentale de 10 m³ à un débit de 1,5 l/min jusqu'à atteindre une concentration intérieure de 200 ppb (durée de l'étape : environ 30 min).
- Injection constante de NO à un débit de 0,28 l/min afin de stabiliser la concentration dans la chambre à ± 200 ppb (durée de l'étape : environ 25 min) et simuler un niveau élevé de pollution.
- Activation de la lumière pour initier la photocatalyse.
- Suivi de l'évolution de la concentration en NO.

ppb=partie par milliard= 10^{-9}

Expérience n°1 sous lumière UV



Abattement du NO dans la chambre expérimentale sous UV



A – Suivi initial

- Valeur de fond de la pollution en NO dans la chambre (30 min)

B – Injection de NO à débit élevé (1,5 l/min)

- Concentration : 200 ± 10 ppb
- Temps d'injection : 28 ± 2 min

C – Injection constante de NO à faible débit (0,28 l/min)

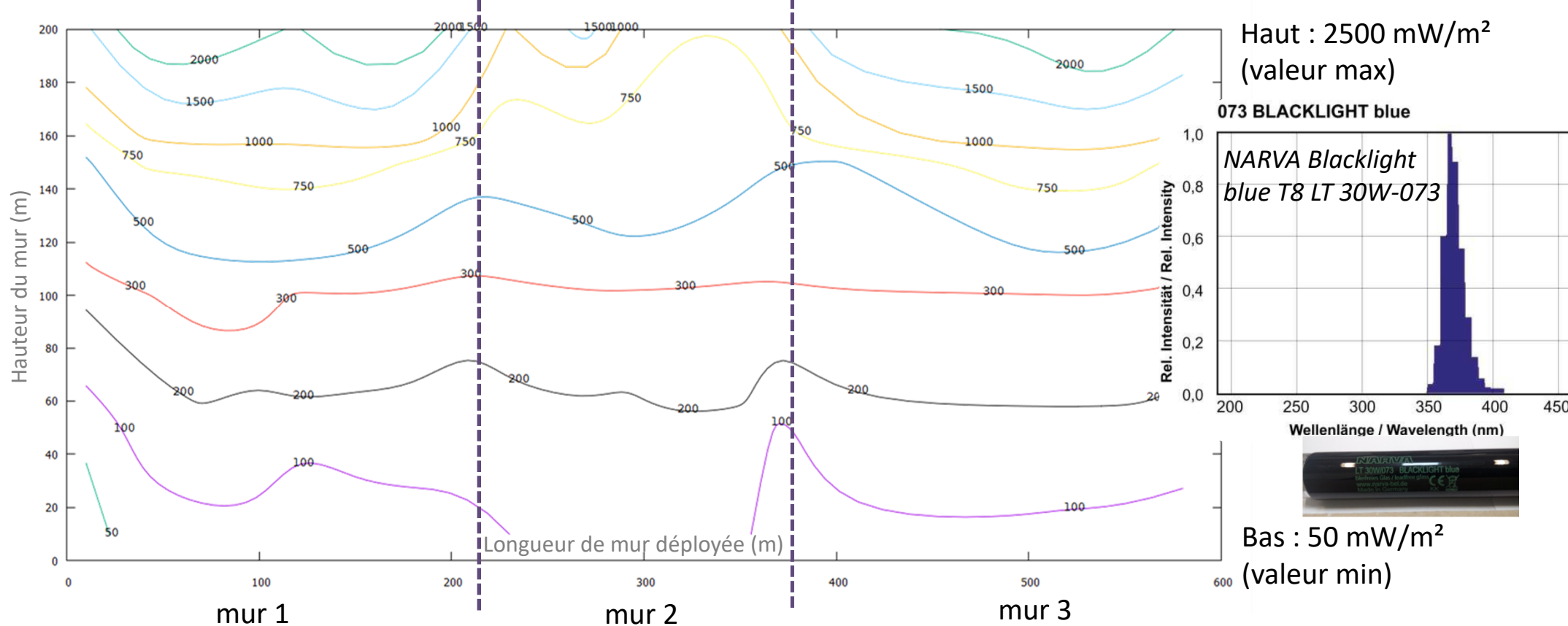
- [OFF] : pollution constante (25 min)
- [ON] : activation photocatalytique (max 200 min)
- [OFF] : augmentation de la pollution

D – Suivi final

- Arrêt de l'injection de gaz
- Diminution de la pollution due à la fuite

Carte de l'intensité lumineuse sous UV

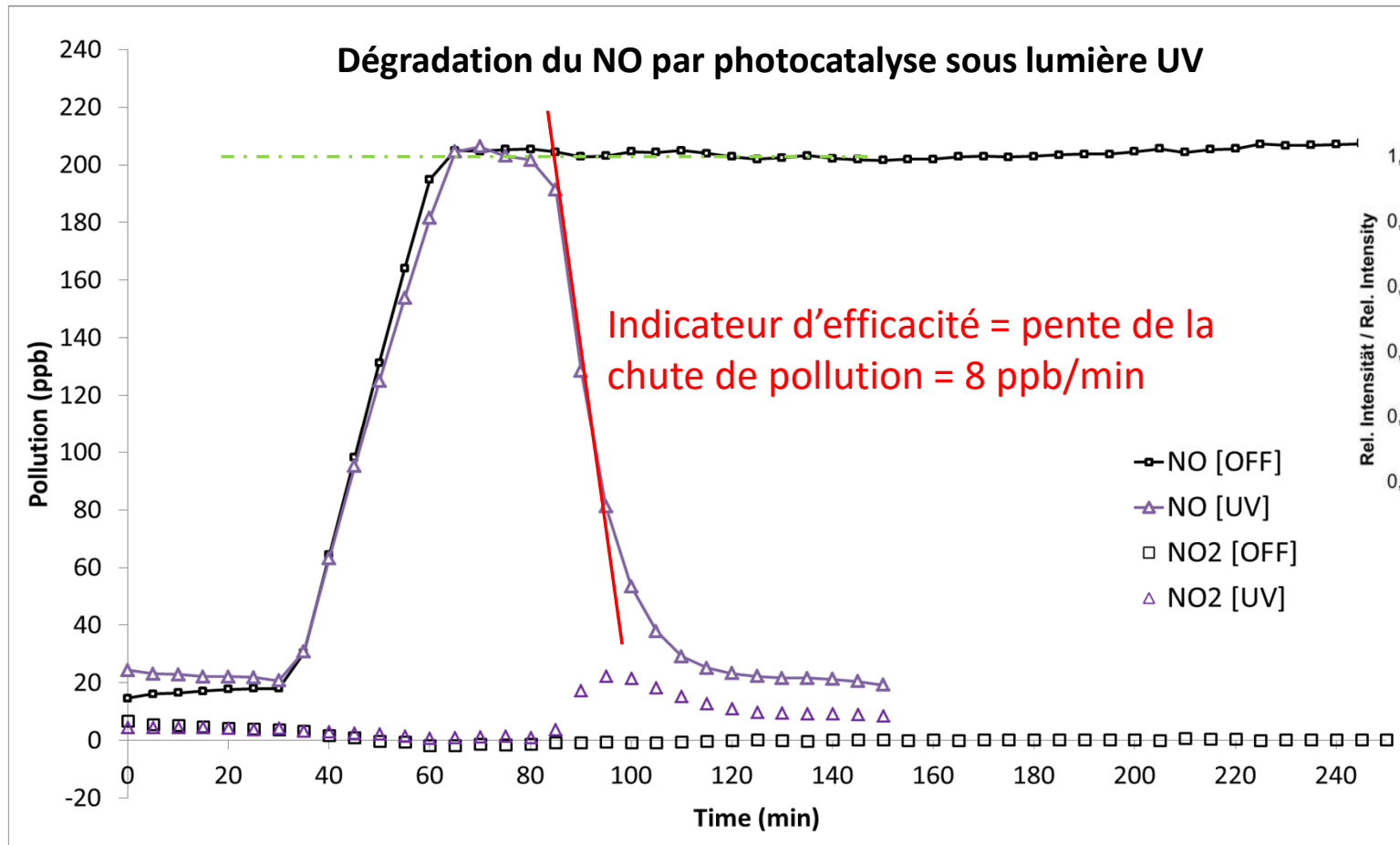
Détecteur radiométrique UV-A (UV-3717 model, $315 < \lambda < 400$ nm)



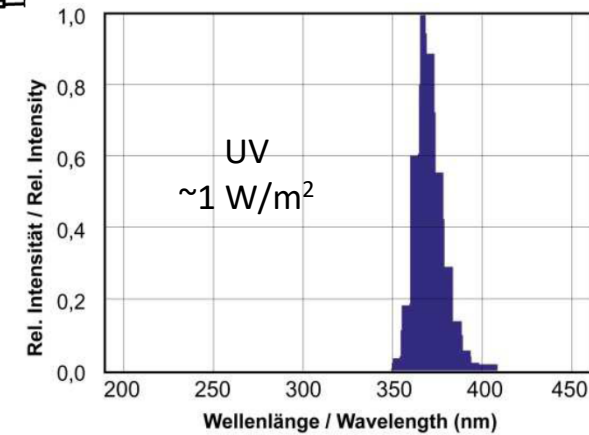
L'intensité moyenne de l'irradiation est environ 1 W/m². A l'extérieur, cette valeur est supérieure à 35 W/m² dans le cas d'une journée ensoleillée.

Coût en énergie de l'essai : 4 tubes x 0,5 heure x 30 W x 0,001 W/kW x 0,15 €/kWh = 0,009 €

Indicateur de l'efficacité



073 BLACKLIGHT blue

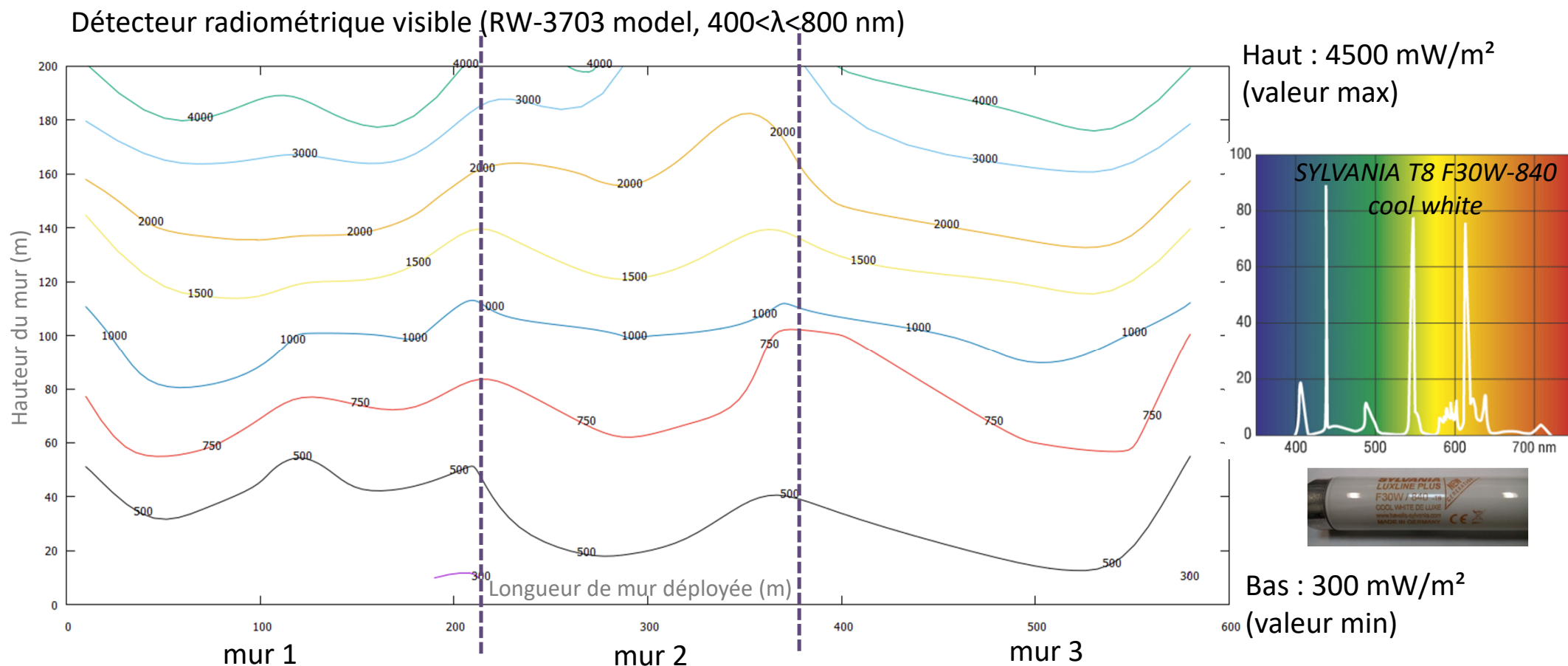


L'efficacité est dépendante des conditions expérimentales.

Expérience n°2 sous lumière visible



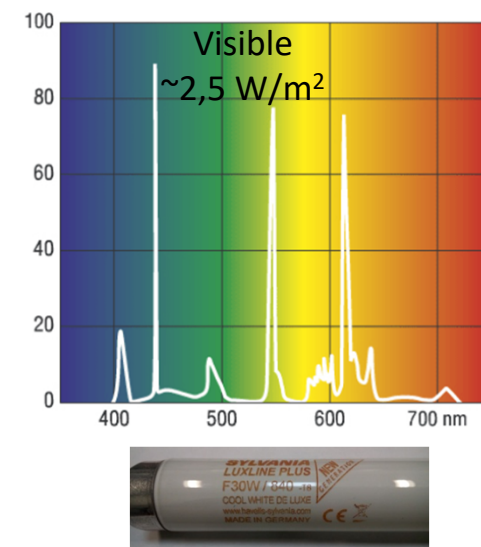
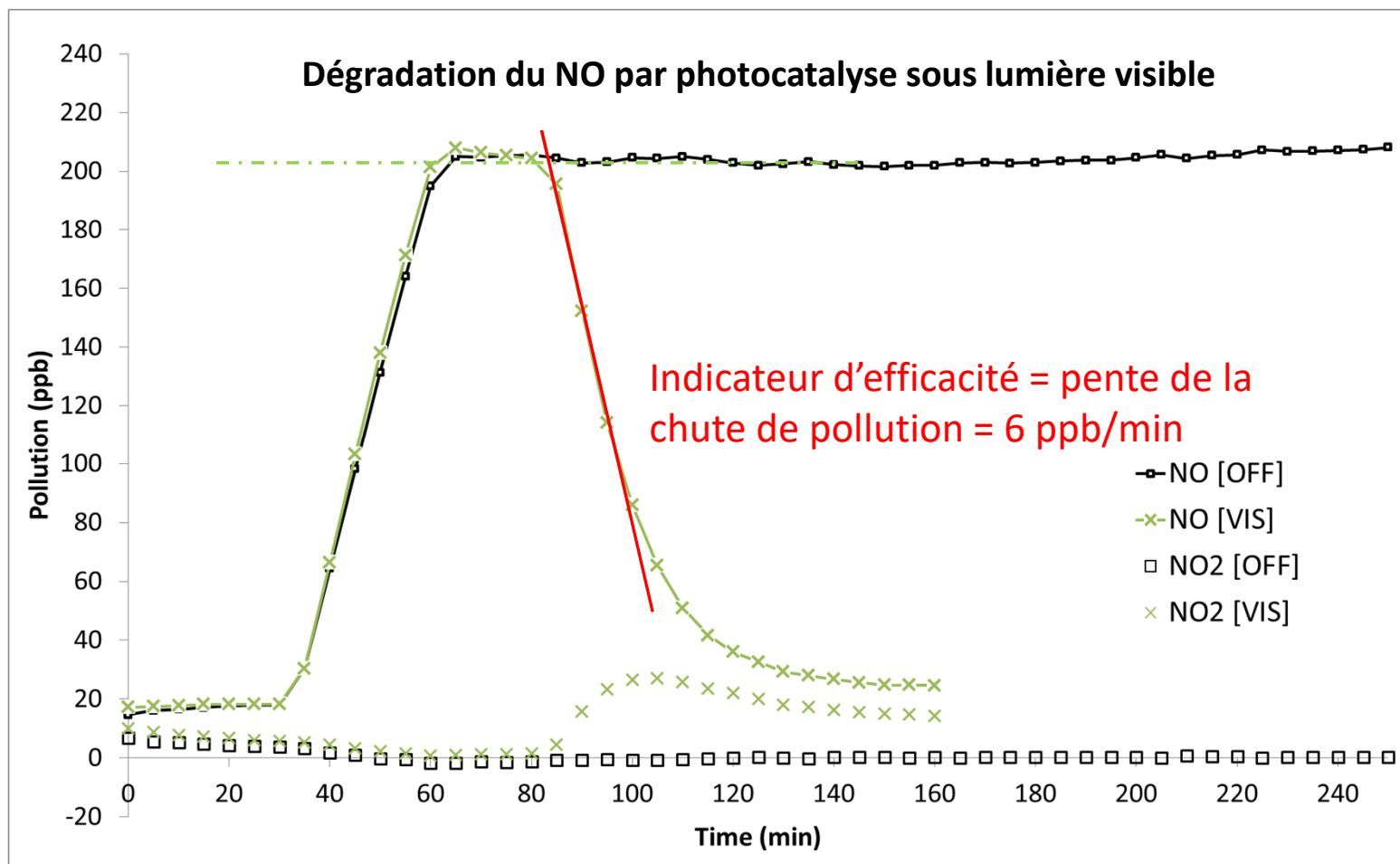
Carte de l'intensité lumineuse sous lumière visible



L'intensité moyenne de l'irradiation est environ 2,5 W/m². A l'extérieur, cette valeur est supérieure à 200 W/m² dans le cas d'une journée ensoleillée.

Coût en énergie de l'essai : 4 tubes x 0,5 heure x 30 W x 0,001 W/kW x 0,15 €/kWh = 0,009 €

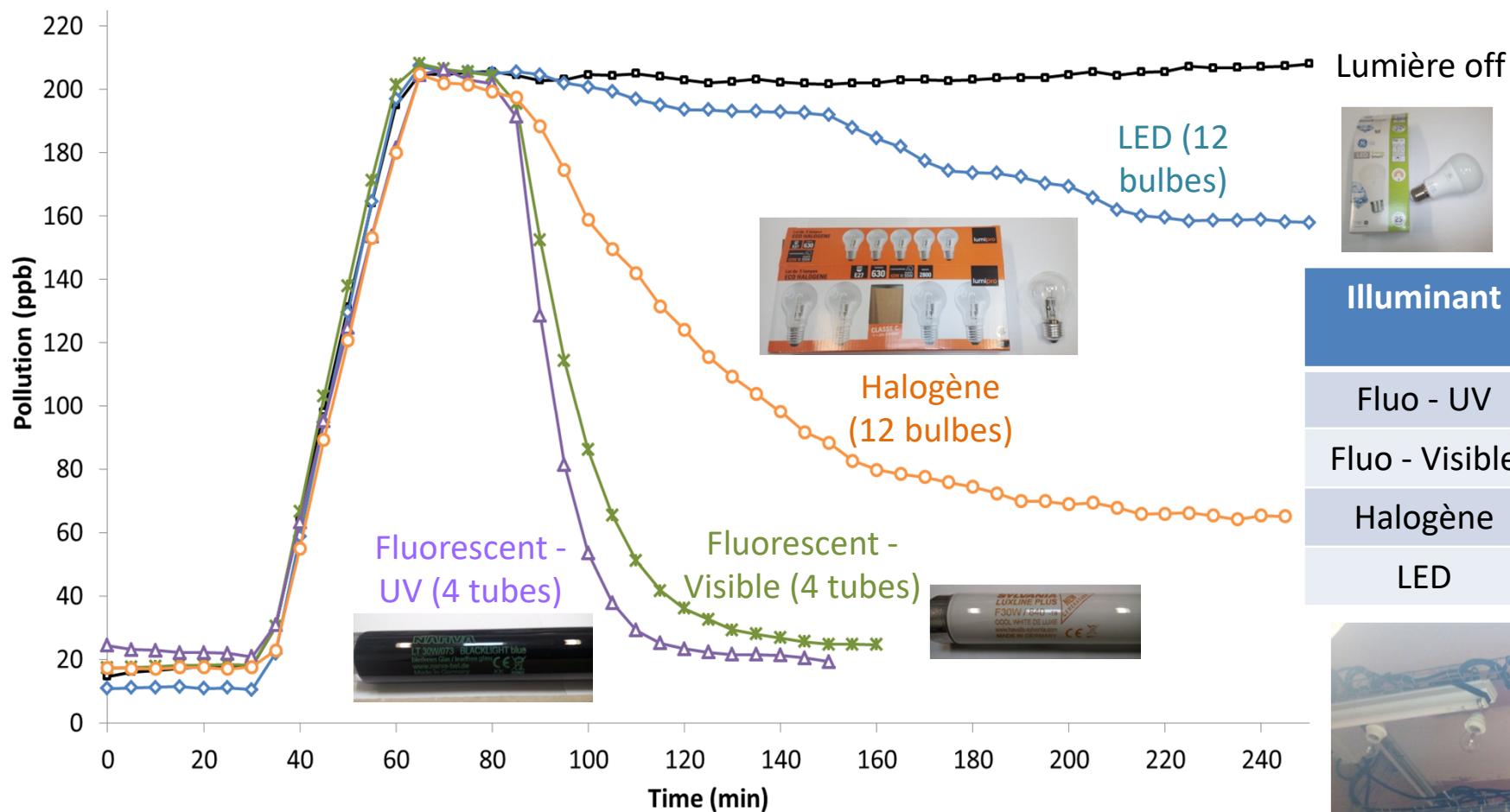
Abattement du NO dans la chambre expérimentale sous lumière visible



La pente est inférieure à celle obtenue sous lumière UV.

La concentration en NO diminue jusqu'à la valeur de fond mais le processus prend un peu plus long.

Abattement du NO dans la chambre expérimentale sous différents illuminants



Illuminant	Efficacité d'abattement (ppb/min)
Fluo - UV	8
Fluo - Visible	6
Halogène	4
LED	2



Conclusion

- Le gaz NO est un bon traceur pour évaluer l'activité photocatalytique d'un revêtement : sa concentration peut être mesurée en instantané grâce à un analyseur (HORIBA™, Environnement™ SA).
- Le NO est injecté dans une chambre expérimentale non étanche (fuite), mais une pollution constante est maintenue.
- Après activation de la lumière, une décroissance de la concentration en NO est observée, même sous faible intensité lumineuse.
- L'efficacité d'abattement est dépendante du type d'illuminant utilisé, mais une dégradation en lumière visible est possible : tubes fluorescents>lampes halogènes>lampes LED.
- Dans tous les cas, la concentration en NO décroît jusqu'à la valeur de fond.

MERCI DE VOTRE ATTENTION