

Etude de  
performance

# Essai en véhicule des ioniseurs d'air TEQOYA

David Préterre  
CERTAM

**CERTAM**

Centre d'Etude et de Recherche Technologique en Aérothermique et Moteur  
1 rue Joseph Fourier – Technopôle du Madrillet – F – 76800 Saint Etienne du Rouvray  
Tél. 33 (0)2 35 64 37 00 – Fax. 33 (0)2 35 64 37 09 – [www.certam-rouen.com](http://www.certam-rouen.com)  
N° SIRET. 421 436 569 00014 – Code APE. 731 Z

## Table des matières

Description de la cellule d'essai et process de génération des polluants.....	2
Véhicule de test et protocole expérimental .....	3
Résultats.....	5
A. Décroissance Naturelle .....	5
B. Fonction Recyclage 25%.....	5
C. Fonction Recyclage 50%.....	6
D. Analyse des résultats.....	6
Conclusion .....	8

## Description de la cellule d'essai et process de génération des polluants

Le moyen d'essai est composé d'une cellule d'essai moteur de 30m<sup>2</sup> équipé des process suivants :

- Ventilation de la cellule pour un maintien en température et en dépression
- Air comburant filtré régulé en température et en hygrométrie
- Extraction des gaz d'échappement
- Sécurisation anti-incendie par bouteilles FM200.
- Poste de contrôle extérieur sécurisé Kronos pour la régulation et l'automatisation des cycles et l'acquisition des données.

La génération des polluants peut être effectuée à l'aide de :

- Groupe électrogène diesel Honda EX4D à charge ajustable de 0 à 3700W
- Banc 2 roues Motoscan II Rotronics pour l'accueil de cyclomoteurs essence



Les prélèvements des gaz d'échappement s'effectue par un dispositif de type turbine et d'une régulation par débitmétrie massique pilotée logiquement.

- Veine de dilution des gaz d'échappement équipée de mixers, ventilation hélico-centrifuge permettant d'atteindre un débit de 1000m<sup>3</sup>/h, sonde de température/hygrométrie, débitmétrie par aile Pitot moyenné.
- Batterie de chauffage pilotable RCO (jusqu'à 90°C@1000m<sup>3</sup>/h)
- Humidificateur pilotable RCO (jusqu'à 100%HR @1000m<sup>3</sup>/h à température ambiante, 50% @1000m<sup>3</sup>/h à 50°C, 10% @1000m<sup>3</sup>/h @ 70°C)

Les polluants sont générés, prélevés et dilués en continu et le taux de dilution est piloté logiquement sur la base d'une cible de concentration d'un polluant. Les polluants sont ainsi mesurés en continu par des analyseurs de gaz et particules

- Analyseurs de gaz et particules (Pegasor Particle Sensor, CO, NO/NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)
- Spectrométrie de masse FTICR BTRAP pour les composés organiques volatils

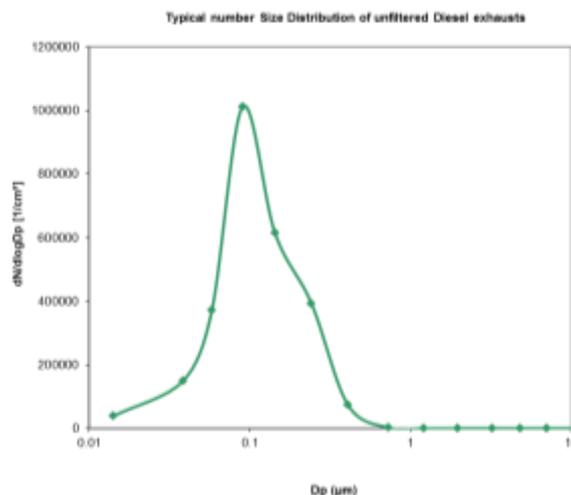
Optionnellement, le système permet d'êtreensemencé par des polluants d'intérêt particulier à l'aide de gaz bouteille + Régulation de Débit Massique, évaporateurs de composés organiques volatils, ou générateurs d'aérosols autre que la source de combustion principale.

## Véhicule de test et protocole expérimental

Le véhicule testé dans cette étude est un Renault Captur disposant d'un filtre aux particules fines pour habitacle (équivalence **F9** au regard de la norme EN779 :2012). Ce véhicule permet de tester la fonction recyclage de l'air habitacle qui réalise une circulation au travers du filtre habitacle.

L'habitacle du véhicule a étéensemencé par la vitre passager par un aérosol Diesel dilué de telle sorte à obtenir une concentration stabilisée au niveau de la tête du conducteur d'environ  $10^6$  particules/cm<sup>3</sup> soit environ 400 µg/m<sup>3</sup> PM1. On a constaté une variation d'environ 20% de cette valeur de concentration stabilisée en condition de départ des différents essais.

La distribution granulométrique en nombre de l'aérosol est centrée sur 80 nm et s'étend de quelques dizaines de nm à 400 nm :



Après stabilisation de la concentration dans l'habitacle, la vitre est refermée, l'insufflation de polluants arrêtée et le suivi de la concentration particulaire dans l'habitacle a été monitorée pour ces différentes conditions expérimentales à l'aide d'un granulomètre ELPI+ (Dekati) :

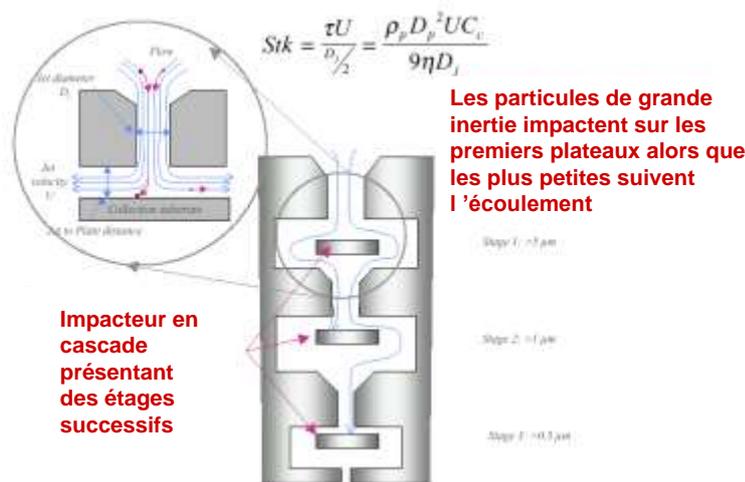
- Décroissance naturelle (ventilation = 0)
- Décroissance naturelle avec un ioniseur actif dans l'habitacle
- Ventilation mode recyclage (25% de la vitesse maximale)
- Ventilation mode recyclage (25% de la vitesse maximale) avec un ioniseur actif dans l'habitacle
- Ventilation mode recyclage (50% de la vitesse maximale)
- Ventilation mode recyclage (50% de la vitesse maximale) avec un ioniseur actif dans l'habitacle

Le ioniseur utilisé pour ces essais est le **Teqoya modèle Tip4** (image ci-dessous), placé sur la planche de bord avant.



Le **granulomètre ELPI** permet de mesurer la concentration particulaire d'un aérosol par classe de taille. Le résultat obtenu est la distribution granulométrique de l'aérosol étudié. Le spectre couvert s'étend de 10 nm à 10 µm. La taille des particules est obtenue par classification inertielle au moyen d'une rampe d'impacteurs montés en cascade et fonctionnant à basse pression. La concentration particulaire est calculée à partir de la mesure de la charge électrique portée par les particules.

Ce système utilise les propriétés inertielles et aérodynamiques des particules (diamètre de Stokes ou diamètre aérodynamique), contrairement aux analyseurs de mobilité électrique (de type SMPS et DMS) qui s'appuient sur leurs propriétés électriques et aérodynamiques (diamètre de mobilité électrique). Pour trier les particules en fonction de leurs propriétés inertielles, l'ELPI utilise une rampe d'impacteurs montés en cascade. Ils sont au nombre de 13, ce qui permet d'obtenir 13 classes de taille. Les 13 impacteurs sont tous différents. Le premier est le plus large, il ne recueille que les plus grosses particules alors que le dernier, beaucoup plus étroit, récupère les particules de quelques dizaines de nanomètres. La figure 1 donne une illustration de ce principe. Le pied de la rampe est maintenu à très basse pression (40 mbar), ce qui permet d'augmenter la vitesse des particules afin d'impacter les plus fines. Un impacteur classique fonctionnant à pression atmosphérique ne permet généralement pas d'étudier les particules dont la taille est inférieure à quelques centaines de nanomètres. La rampe de 13 impacteurs est complétée par un étage de filtration permettant d'atteindre la taille de 10 nm (0,01 µm), soit 14 classes au total.

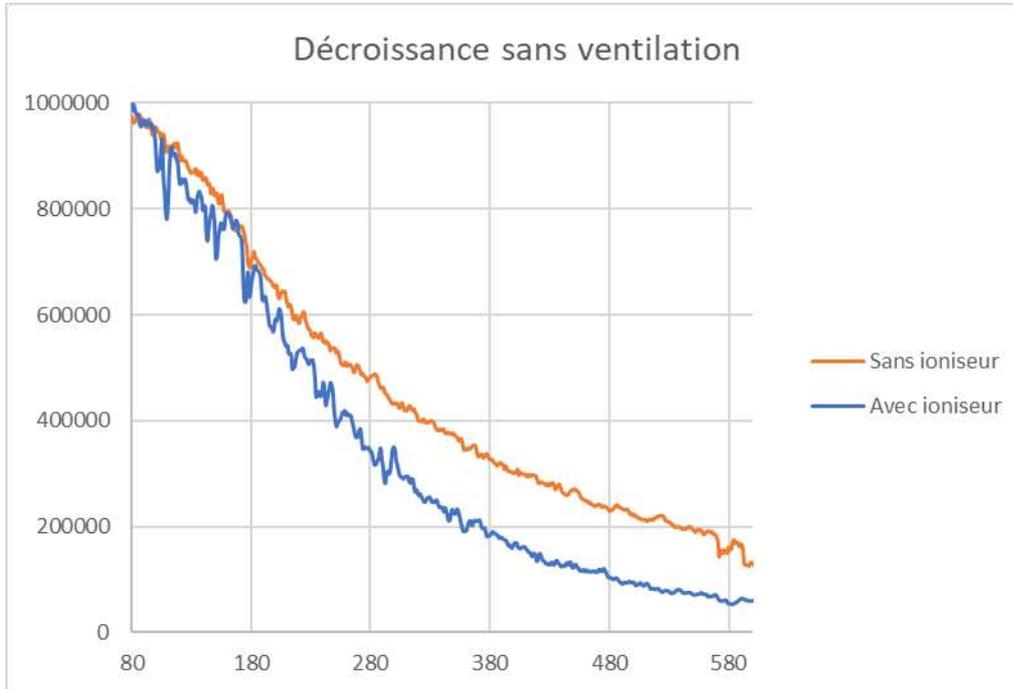


• figure 1 impacteur ELPI (d'après DEKATI)

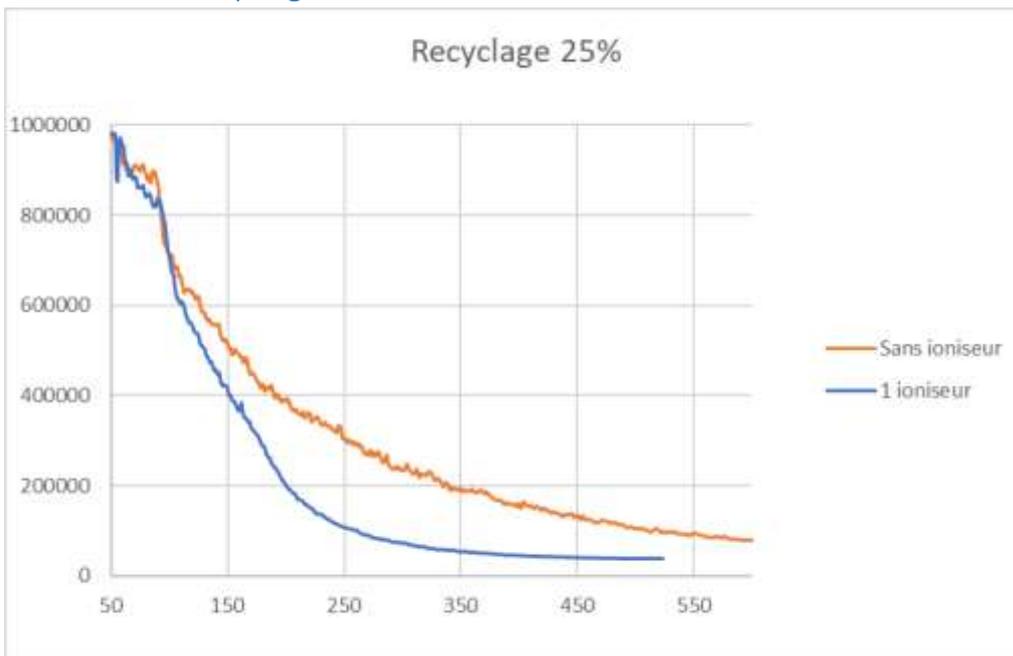
## Résultats

Sur les graphiques qui suivent, les abscisses indiquent le temps (unité seconde) et les ordonnées le nombre de particules dénombrées par le granulomètre ELPI. Les mesures ont été redimensionnées à une valeur de départ de  $10^6$  particules/cm<sup>3</sup> afin de faciliter la comparaison des résultats.

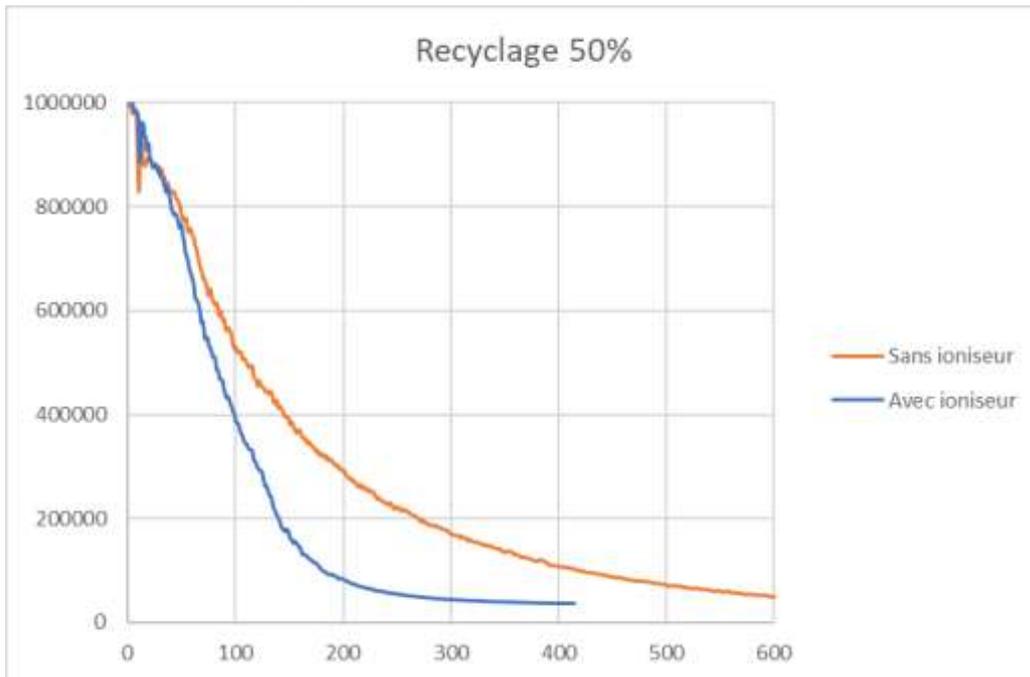
### A. Décroissance Naturelle



### B. Fonction Recyclage 25%



### C. Fonction Recyclage 50%



### D. Analyse des résultats

Les résultats de mesures des différentes configurations d'essai (débit de ventilation et ioniseur) sont quantifiés selon 3 critères :

- Temps de dépollution pour atteindre 90% de réduction du nombre de particules
- Taux de pollution (nombre de particules) à t=250 secondes après la mise en fonctionnement de la ventilation et/ou du ioniseur
- CADR (*Clean Air Delivery Rate*) calculé à partir des mesures de particules dans le temps (dans notre cas, le CADR est calculé sur une durée de 300 s et en estimant le volume de l'habitable à 2 m<sup>3</sup>)

Calcul du CADR :

$$CADR = V \times (k_e - k_n)$$

où V est le volume de l'espace traité,  $k_n$  est le coefficient de décroissance exponentielle pour l'abattement naturel, and  $k_e$  est le coefficient de décroissance exponentielle pour la configuration testée.

K est à partir des mesures de comptage de particules :

$$k = \frac{\sum_1^n t_i \times \ln(C_{t_i}) - \frac{\sum_1^n t_i \times \sum_1^n \ln(C_{t_i})}{n}}{\sum_1^n t_i^2 - \frac{(\sum_1^n t_i)^2}{n}}$$

où  $C_i$  est le nombre de particules à l'instant  $t_i$  pour chaque point de mesure i, de 1 à n.

Avec V exprimé en m<sup>3</sup> le temps exprimé en heures, l'unité du CADR est m<sup>3</sup>/h.

Voici les tableaux comparatifs selon ces 3 critères :

**Temps (en secondes) pour atteinte de 90% de dépollution**

	Pas de ventilation	Recyclage 25%	Recyclage 50%
Sans ioniseur	647	511	426
Avec ioniseur	491	266	185
gain	24%	48%	57%

**Nombre de particules à t=250 secondes**

	Pas de ventilation	Recyclage 25%	Recyclage 50%
Sans ioniseur	399 567	232 522	222 410
Avec ioniseur	251 737	72 589	55 225
gain	37%	69%	75%

**CADR (en m<sup>3</sup>/h)**

	Pas de ventilation	Recyclage 25%	Recyclage 50%
Sans ioniseur		9	15
Avec ioniseur	14	51	57

On constate tout d'abord que l'abattement des particules ultrafines de diesel par le passage dans le filtre de classe F9 est assez lent :

- Il faut plus de 7 minutes de recyclage à 50% de la puissance de ventilation pour réduire de 90% la densité en particules ;
- Après 250 s de recyclage et passage par le filtre F9, la quantité de particules est encore supérieure à 50% de celle sans ventilation (avec les deux positions de ventilation testée) ;
- La valeur de CADR obtenue par le recyclage en absence de ioniseur est assez faible (9 et 15 m<sup>3</sup>/h).

Le ioniseur apporte un effet très sensible sur l'abattement des particules dans l'habitable. Cet effet est d'autant plus sensible que la ventilation est en fonctionnement :

- Quand la ventilation est en fonctionnement, le ioniseur divise par environ 2 le temps nécessaire à l'élimination de 90% des particules ;
- Le nombre de particules à 250s est lui divisé par 3 voire 4 avec le ioniseur ;
- Le CADR dépasse 50 m<sup>3</sup>/h quand on combine ioniseur et recyclage filtrant.

L'efficacité du ioniseur sur l'abattement des particules peut s'expliquer par 3 phénomènes :

1. Effet classique du ioniseur en air calme : charge électrique des particules, qui sont attirées par les surfaces de l'habitable par force électrostatique
2. Accroissement de l'effet précédent par le brassage de l'air apporté par la ventilation, qui favorise la diffusion des ions dans le volume de l'habitable
3. Amélioration de l'efficacité de collecte du filtre intégré au système de ventilation/recyclage, par la charge des particules et leur coalescence

A ce stade, il est difficile de quantifier l'influence des phénomènes n°2 et 3 dans l'amélioration constatée de l'efficacité avec un ioniseur. Des mesures en veine d'essai de filtre, avec ionisation en amont du filtre, seraient utiles à une meilleure compréhension du phénomène n°3.

## Conclusion

Ces essais montrent que l'ajout d'un ioniseur d'air TEQOYA Tip4 apporte une amélioration très significative de l'abattement de particules ultrafines dans un habitacle automobile, en complément du système de filtration/recyclage embarqué dans le véhicule.

Cet effet est montré y compris pour un véhicule équipé d'un filtre fin, d'efficacité relativement élevée (équivalence F9 de la norme EN779 :2012).

Il a également été remarqué un impact très net du ioniseur sur les odeurs dans l'habitacle : en fin d'essai avec ioniseur, l'odeur de « gaz d'échappement » est nettement moins présente, voire absente ; alors que cette odeur est très présente en fin d'essai sans ioniseur.