

Rapport  
d'étude

# Evaluation de performances de la technologie TEQOYA dans une cabine de tracteur PL

Ref : G392-20190723

2 septembre 2019

David Préterre  
CERTAM

**CERTAM**

Centre d'Etude et de Recherche Technologique en Aérodynamique 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

*Evaluation de performances de la technologie TEQOYA dans une cabine de tracteur PL*

---

## Table des matières

Introduction .....	2
Moyens de test et mesure .....	2
Résultats.....	6
A. Sans ventilation.....	7
B. Ventilation mode recyclage 30%.....	8
C. Ventilation mode recyclage 60%.....	9
Conclusions .....	9

## Introduction

Le CERTAM est sollicité par la Fondation Carcept – Prev pour évaluer les performances de dépollution de dispositifs TEQOYA dans les cabines de tracteurs PL.

L'objet de l'étude est de quantifier les performances en dépollution sur les aérosols particulaires PM1, contributeurs majeurs de la pollution habitacle et sources d'inconfort et potentiellement de troubles cardiorespiratoires.

La concentration particulaire ainsi que leur nature est susceptible d'évoluer fortement au cours d'une journée de conduite : le passage dans un tunnel, la conduite sur des axes chargés, la prise de repos sur des aires autoroutières ou sur le long de la route, peuvent influencer fortement sur les niveaux enregistrés au long d'une journée et au long d'une semaine de travail, incluant les périodes de sommeil dans la cabine.

Le CERTAM a construit une évaluation basée sur un suivi temporel de la concentration en nombre d'aérosols de combustion après pollution de l'habitacle, reproduisant la diversité des situations en passant d'une cabine polluée à la sortie d'un tunnel, (ensemencement de la cabine), à celle correspondant aux périodes de sommeil sur une Aire de repos, (phase asymptotique de la concentration). L'utilisation du dispositif TEQOYA permettant d'évaluer la décroissance naturelle vs la décroissance assistée

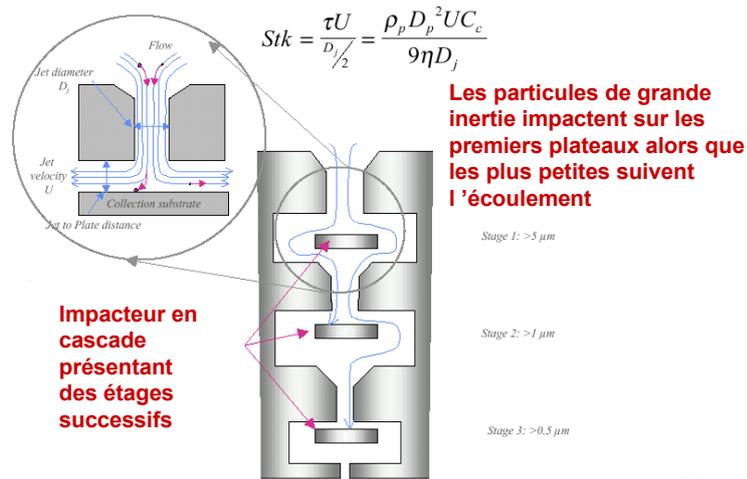
Pour ce faire, les moyens de mesure suivant ont été utilisés :

- Mesure de particules à l'aide d'un granulomètre Dekati ELPI+, suivant un protocole de mesure du type de celui utilisé pour la mesure de CADR aux Etats-Unis et en Chine (protocole qui permettra en particulier la quantification de cet indice)

## Moyens de test et mesure

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  $\mu\text{m}$ . 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  $\mu\text{m}$ ), soit 14 classes au total.



• figure 1 impacteur ELPI (d'après DEKATI)

Le CERTAM propose de construire une évaluation sur la base d'un aérosol de combustion produit par une cigarette. Ce type d'ensemencement présente l'avantage d'être :

- Bien maîtrisé et suffisamment reproductible
- Représentatif en terme de taille des particules présentes dans l'air (polluants liés à l'automobile, émissions industrielles, ambiances domestiques).
- De mise en œuvre aisée

Nous nous attachons à reproduire des concentrations raisonnables, au regard de l'exposition de personnes avec des valeurs cible à environ 80 à 100 000 particules par cm<sup>3</sup>, ce qui correspond à environ 10 fois le niveau de fond moyen. De telles valeurs sont couramment atteintes dans l'habitacle des véhicules routiers, notamment en zone urbaine mais peuvent également l'être dans les locaux professionnels ou d'habitation (cuisine, tabagisme, présence de sources de combustion ...).

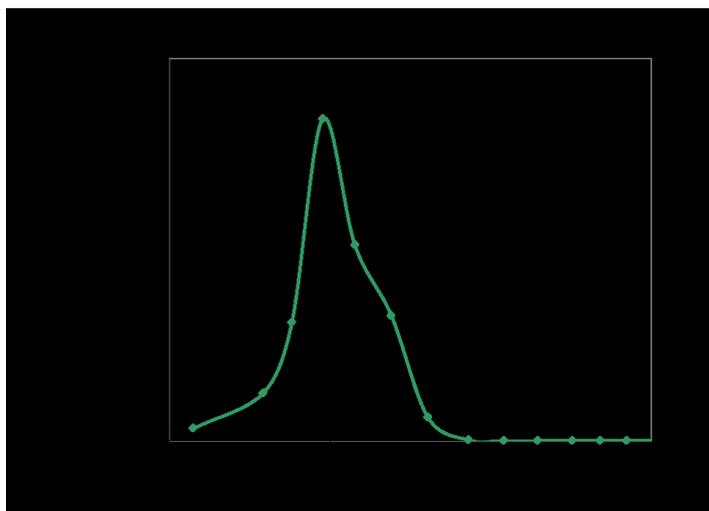
Ce niveau de concentration est largement atteint par la combustion complète d'une cigarette dans la cabine du tracteur : les niveaux mesurés après combustion totale d'une cigarette étaient compris entre 500 000 et 750 000 particules par cm<sup>3</sup>.

A titre d'information, nous pouvons donner les repères suivants :

- Air très propre (en montagne moyenne altitude, loin de toute source anthropique) : <1000 p/cm<sup>3</sup>
- Air « normal » : intérieur ou extérieur : env 3.000 à 6.000 p/cm<sup>3</sup>
- Air pollué : > 10.000 p/cm<sup>3</sup>
- Air urbain à proximité des axes de circulation : 10.000 à 100.000 p/cm<sup>3</sup>
- Tunnel routier : 50.000 à 500.000 p/cm<sup>3</sup>

Bien entendu, ces valeurs ne sont que des valeurs « guide » issues de notre expérience. Elles peuvent ne pas être représentatives de certaines circonstances exceptionnelles.

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



Le véhicule testé dans cette étude, un tracteur standard semi-remorque de marque Renault Trucks, est accueilli sur le parking fermé du CERTAM. Les dispositifs métrologiques ont été déplacés au niveau du tracteur pour la réalisation des expérimentations.



L'habitacle du véhicule (2.3m x 1.9m x 1.9m soit 8.3m<sup>3</sup> environ) estensemencé par la fumée primaire issue de la combustion d'une cigarette de telle sorte à obtenir une concentration stabilisée au niveau de la tête du conducteur (~500 000#/cm<sup>3</sup> à 600 000#/cm<sup>3</sup>).

**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  
N° SIRET. 421 436 569 00014 – Code APE. 731 Z



Le suivi de la concentration particulaire dans l'habitacle est 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 (30% de la vitesse maximale)
- Ventilation mode recyclage (30% de la vitesse maximale) avec un ioniseur actif dans l'habitacle
- Ventilation mode recyclage (60% de la vitesse maximale)
- Ventilation mode recyclage (60% de la vitesse maximale) avec un ioniseur actif dans l'habitacle

## Résultats

Les résultats ont été analysés selon une méthodologie de détermination des temps de demi-vie des décroissances en concentration particulaire. Cette analyse permet de déterminer

- le temps nécessaire pour atteindre une concentration cible dans l'habitable : diminution de 50%, 75%, 87.5%, 93.8%...
- le niveau de pollution résiduel après un temps donné fixe après pollution de l'habitable (5 minutes par exemple) permettant ainsi de construire des scénarios d'exposition.
- Le CADR (Clean Air Delivery Rate), calculé à partir des mesures de particules dans le temps (dans notre cas, le CADR est calculé en estimant le volume de l'habitable à 8.3 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.

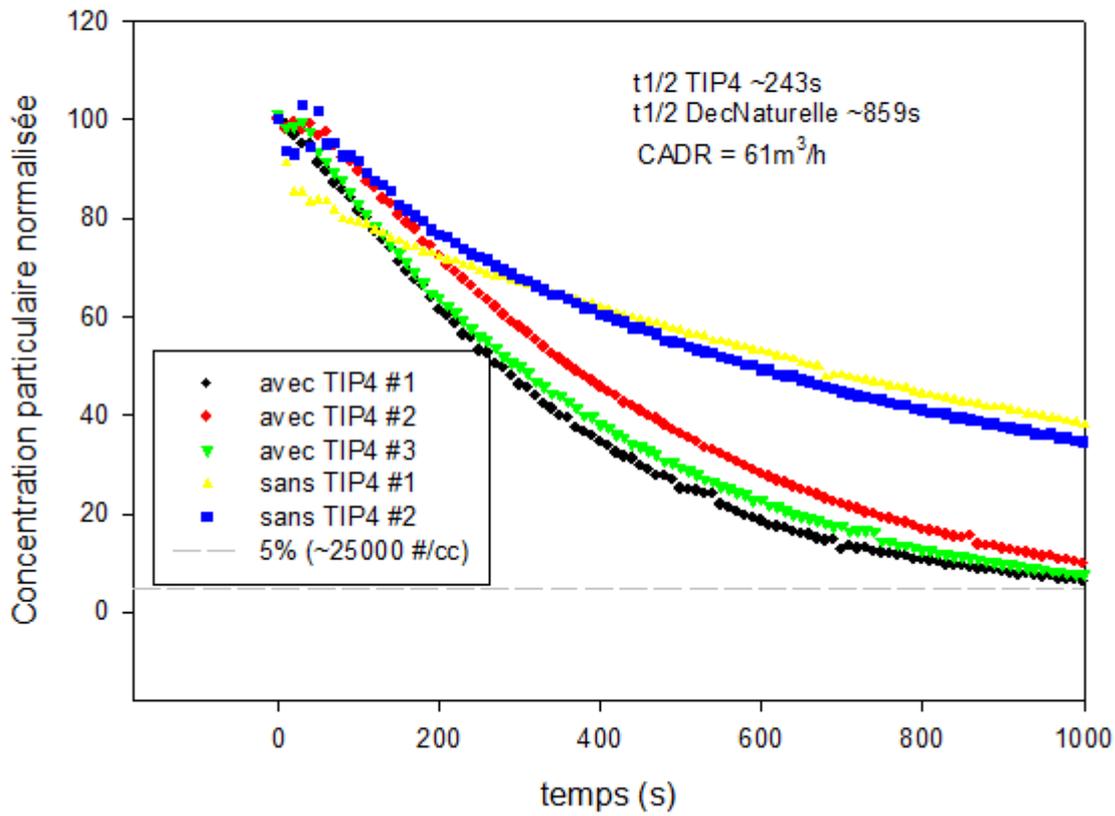
K est à partir des mesures de comptage de particules :

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

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

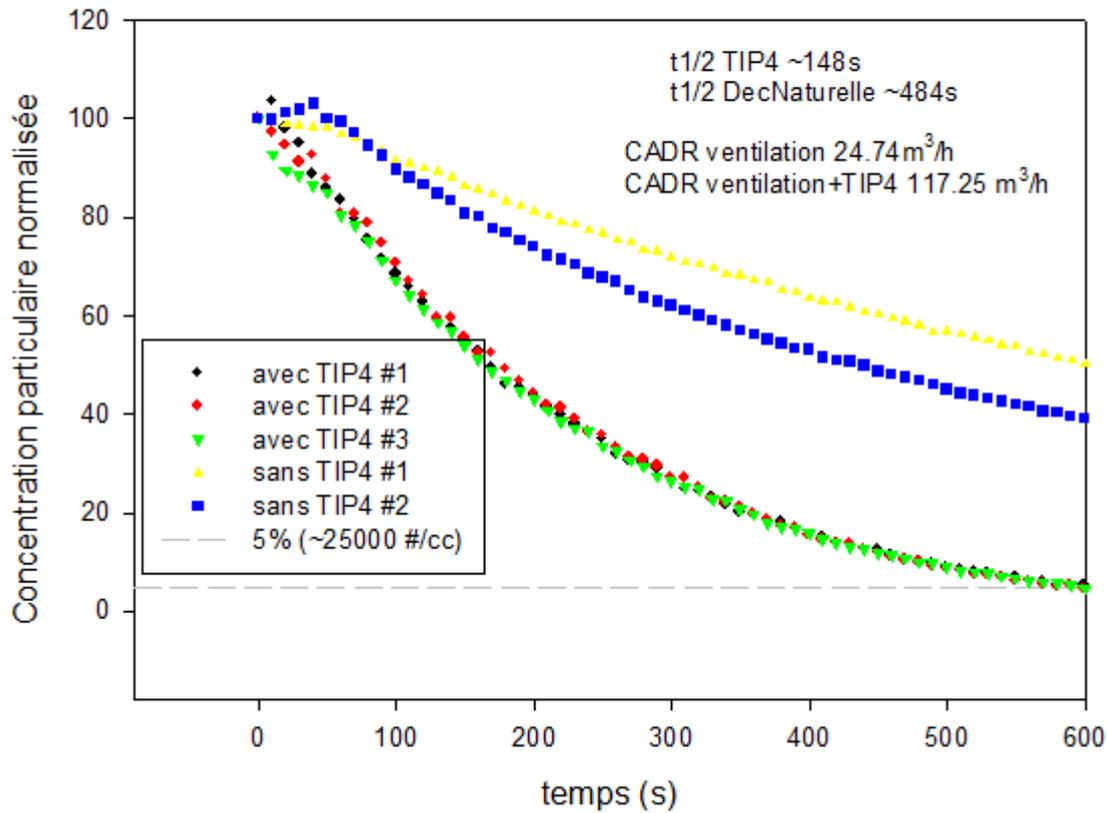
Avec V exprimé en m<sup>3</sup> le temps exprimé en heures, l'unité du CADR est m<sup>3</sup>/h.

## A. Sans ventilation

**sans ventilation**


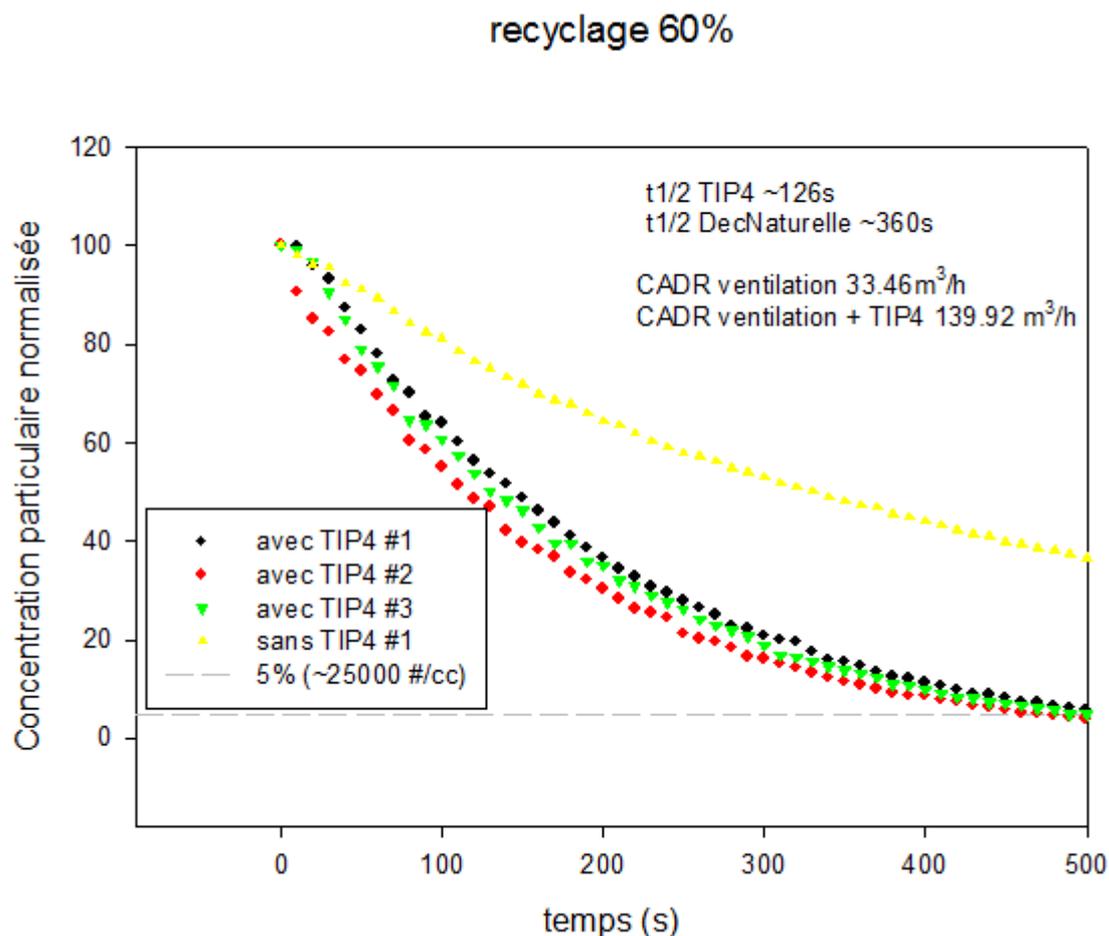
Le gain en terme de CADR (Clean Air Delivery Rate) apporté par le TIP4 dans cette condition est de 61m<sup>3</sup>/h soit 7.35 volumes d'habitable par heure.

## B. Ventilation mode recyclage 30%

**recyclage 30%**


Le gain en terme de CADR imputable au TIP4 est estimé à 93 m<sup>3</sup>/h soit 11.2 volumes d'habitable par heure.

### C. Ventilation mode recyclage 60%



Le gain en terme de CADR imputable au TIP4 est estimé à 106.5 m<sup>3</sup>/h soit 12.8 volumes d'habitable par heure.

## Conclusions

Nous analysons les résultats suivants les critères suivants :

- Temps de dépollution pour atteindre 90% de réduction du nombre de particules
- Taux de pollution (nombre de particules) à t=300 secondes après la mise en fonctionnement de la ventilation et/ou du ioniseur
- CADR (*Clean Air Delivery Rate*) à comprendre comme un calcul de la puissance de purification en équivalent *débit d'air pur*

Voici les tableaux comparatifs selon ces 3 critères :

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

	Pas de ventilation	Recyclage 33%	Recyclage 66%
Sans ioniseur	2780	1700	1300
Avec ioniseur	895	490	400
<i>gain</i>	<i>68%</i>	<i>71%</i>	<i>69%</i>

**Nombre de particules à t=300 secondes**

	Pas de ventilation	Recyclage 33%	Recyclage 66%
Sans ioniseur	335 250	334 750	264 500
Avec ioniseur	255 950	135 500	92 166
<i>gain</i>	<i>23.6%</i>	<i>59.5%</i>	<i>65%</i>

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

	Pas de ventilation	Recyclage 33%	Recyclage 66%
Sans ioniseur		25	33
Avec ioniseur	61	117	140

Les résultats obtenus de cette expérimentation permettent de définir les aspects suivants :

- En 5 minutes, l'utilisation du TIP4 permet de diviser le niveau de pollution habitacle par un facteur compris entre 1.3 et 3 selon les conditions de ventilation considérées.
- Pour diminuer la pollution d'un facteur 10 avec un TIP4, il faut compter entre 400 et 900s soit moins de 15minutes.

Si l'on considère le scénario d'exposition dans lequel un habitacle est soumis à une pollution particulaire de 500 000 particules/cm<sup>3</sup> (soit 1 cigarette consommée) et un objectif de qualité d'air en terme de concentration particulaire de 10 000 particules/cm<sup>3</sup> (soit 2% de la concentration initiale) ; le temps d'exposition à des concentrations supérieures à cet objectif est compris entre 10 et 25 minutes dans le cas de l'utilisation d'un TIP4 et entre 40 minutes et 1h et demie sans l'utilisation d'un TIP4.

Par ailleurs, il a été constaté lors de ces essais réalisés en extérieur que la concentration particulaire asymptotique lors de l'utilisation de TIP4 était 3 fois inférieure à la concentration particulaire ambiante (2000 particules/cm<sup>3</sup> contre 6000 particules/cm<sup>3</sup>). Cette constatation peut être représentative de la réduction de pollution particulaire pendant les pauses nocturnes du conducteur routier, pour lesquelles il peut être profitable de bénéficier d'une meilleure qualité d'air en environnement pollué (proximité de trafic routier : >10 000 particules/cm<sup>3</sup>).