



MARS
2017

CORTEA 2015 PROJET « QABINE »

Qualité de l'air dans les habitacles en
déplacement

SYNTHÈSE

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

En partenariat avec :

REMERCIEMENTS

Organismes	Membres du Comité de pilotage /Acteurs
ADEME	S. BOUALLALA L. GAGNEPAIN
INERIS	J. QUERON S. FABLE M. DURIF E. GUARINO* V. MIGNE A. PAPIN O. AGUERRE O. FAVEZ O. LE BIHAN
PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES	B. PINTAT P. ANDRE E. CARVALHO E. BOUDARD K. PAGEOT
LISA	P. FORMENTI

*stagiaire

CITATION DE CETTE SYNTHÈSE

INERIS. 2017. CORTEA 2015 Projet QABINE Qualité de l'air dans les habitacles en déplacement.
Synthèse 10 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1566C0003

Projet de recherche coordonné par : INERIS

Appel à projet de recherche : CORTEA 2015

Coordination technique - ADEME : GAGNEPAIN Laurent
Direction Villes et Territoires Durables / Service Transports et mobilité

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	4
1. Présentation.....	5
1.1. Contexte du projet.....	5
1.2. Objectifs.....	5
1.3 Description des travaux.....	5
2. Synthèse des résultats finaux.....	6
2.1. Tâche 2 - Bibliographie.....	6
2.2. Tâche 3 - Faisabilité.....	6
2.3. Tâche 4 – Mesures.....	7
2.4 Tâche 5 – Valorisation.....	7
3. Conclusions et perspectives.....	9
Sigles et acronymes.....	10

Résumé

Des études ont montré que les concentrations en particules des habitacles et des cabines voyageurs dans les transports étaient, du fait de leur proximité des sources d'émission (échappement, frottements mécaniques...), plus importantes et de natures différentes de celles mesurées sur les quais, dans les couloirs ou encore sur les trottoirs. Ces études ont cependant reposé sur des protocoles et des techniques rendant les résultats difficilement comparables et conservent une marge d'incertitude importante sur les concentrations massiques ; peu de données existent également sur la nature physico-chimique des particules rencontrées dans ces environnements. Le projet QABINE (Qualité de l'Air dans les habitacles en déplacement), porté par l'INERIS, s'est donc fixé comme objectif de définir un protocole de mesures normalisé de la concentration massique des particules, de leur répartition par taille et par morphologie, dans l'air intérieur des transports routiers et ferroviaires, en condition de roulage. L'une des finalités du projet était d'obtenir des valeurs moyennes de concentration massique de particules pouvant être comparées aux valeurs de référence (les valeurs guides de l'OMS – Organisation Mondiale de la Santé et les valeurs repères du HCSP - Haut Conseil de la Santé Publique). Dix-sept essais ont été réalisés avec une voiture instrumentée dans des contextes de pollution différents (rural, urbain et semi-urbain) : pour la majorité des essais, les concentrations massiques de particules relevées dans l'habitacle étaient supérieures ou égales aux valeurs repères du HCSP (malgré un niveau de pollution plutôt bas à l'extérieur). La plupart des particules détectées étaient des particules fines ($< 1 \mu\text{m}$).

Abstract

Studies have shown that the concentrations of particles in passenger compartments and cabs in transport were, because of their proximity to emission sources (exhaust, mechanical friction ...), larger and of different natures from those measured on the platforms, in the corridors or on the sidewalks. However, these studies have relied on protocols and techniques that make the results difficult to compare and maintain a large margin of uncertainty on the mass concentrations; little data is available on the physico-chemical nature of the particles encountered in these environments. The QABINE project (Air Quality in Moving Airs), led by INERIS, has therefore set itself the goal of defining a standardized measurement protocol for the mass concentration of particles, their distribution by size and by morphology, in the indoor air of road and rail transport, under running conditions. One of the aims of the project was to obtain average values of mass concentration of particles that could be compared to the reference values (OMS, World Health Organization and HCSP, High Council of Public Health, guideline values). Seventeen tests were carried out with an instrumented car in different pollution contexts (rural, urban and semi-urban): for the majority of tests, the mass concentrations of particles detected in the passenger compartment were greater than or equal to the HCSP guideline values (despite a rather low level of pollution outside). Most of the detected particles were fine particles ($< 1 \mu\text{m}$).

1. Présentation

1.1. Contexte du projet

Les préoccupations croissantes liées à l'exposition des populations aux particules, et la prise en compte des résultats de différentes études menées dans les transports publics ont conduit certains opérateurs à s'engager dans la mise en place de réseaux de surveillance en point fixe, notamment dans les milieux souterrains. Cependant ces mesures ne permettent pas de caractériser l'exposition dans les phases de déplacement des populations et notamment dans les habitacles ou cabines voyageurs. Des premières études ont montré que ces environnements du fait de la proximité des sources d'émission (échappement et/ou divers frottements mécaniques) peuvent être des zones où les concentrations en particules sont plus importantes et de natures différentes de celles mesurées sur les zones d'attentes ou de transition (quai, couloir) ou à l'air libre (trottoir, hall). Ces études ont cependant mis en œuvre des protocoles différents et souvent des techniques indicatives (compteur optique) qui rend les résultats difficilement comparables et avec une marge d'incertitude importante sur les concentrations massiques. Peu de données existent également sur la nature physico-chimique de particules rencontrées dans ces environnements.

1.2. Objectifs

Dans ce contexte, le projet QABINE a pour objectif principal d'acquérir des données de concentrations moyennes de particules (PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁) mesurés dans différents types d'habitacles, afin d'améliorer les connaissances sur la nature (taille, forme) et la concentration massique en particules. Ces caractérisations se sont appuyées sur un protocole de mesures gravimétriques adaptées aux habitacles de véhicules de transport (voitures, bus, trains, métro ...) en situation réelle de circulation.

1.3 Description des travaux

Le projet QABINE était composé d'une tâche de coordination (Tâche 1) et de quatre tâches techniques :

- Tâche 2 - Étude bibliographique
 - Identification des systèmes de prélèvement in-situ de particules pouvant être embarqués dans différents modes de transport et permettant d'obtenir une concentration d'exposition moyenne comparables aux valeurs de référence (analyse gravimétrique)
- Tâche 3 - Faisabilité
 - Définition d'un protocole standard de mesures de particules dans l'habitacle de plusieurs modes de transport permettant la mesure embarquée de particules avec un système de prélèvement identifié à la Tâche 2
 - Étude de la faisabilité de réaliser des mesures à l'extérieur des habitacles de transport en circulation à grande vitesse (réflexion sur la localisation des points de mesures)
- Tâche 4 - Mesures
 - Réalisation des essais en situation réelle de roulage selon le protocole défini à la Tâche 3 pour quantifier et caractériser les particules dans l'habitacle d'un véhicule routier
- Tâche 5 - Valorisation
 - Valorisation du projet, en particulier du protocole de mesure de particules dans les transports en roulage.

2. Synthèse des résultats finaux

2.1. Tâche 2 - Bibliographie

L'objectif de cette synthèse bibliographique était d'identifier un préleveur de particules en adéquation avec l'ensemble des critères du projet QABINE ainsi que le recensement des niveaux de concentrations massiques relevées dans la littérature dans différents modes de transport.

L'analyse bibliographique a porté sur des publications ou des rapports (revues à comité scientifique) faisant état d'un prélèvement gravimétrique de particules dans l'habitacle de véhicules. Cette recherche bibliographique ne se prétend pas exhaustive. La recherche de références a couvert l'ensemble des cinq continents pour la période allant de 1998 à 2015. La période temporelle a été définie afin de ne tenir compte que de stratégies et de techniques de mesures relativement actuelles. La recherche bibliographique a permis de relever 21 publications répondant aux critères du projet QABINE.

La recherche bibliographique n'ayant pas mis en évidence un préleveur conforme à l'ensemble des besoins du projet QABINE notamment celui de réaliser des mesures simultanées des particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM_{1.0} sur des durées représentatives de trajets (maximum 150 minutes), un recensement des préleveurs de particules existant sur le marché a donc été réalisé.

Les préleveurs haut débit ont été écartés car leur encombrement ne permet pas de les transporter dans tout type d'habitacle de transport. L'analyse des préleveurs sur le marché a montré qu'un seul répondait à tous les critères du projet QABINE : le PM10 Impactor (DGI) de la marque DEKATI.

2.2. Tâche 3 - Faisabilité

Cette étude de faisabilité avait pour but la mise au point du protocole pour les mesures à l'intérieur d'un habitacle de transport. Dans le cadre de ce projet QABINE, le moyen de transport sélectionné est le véhicule routier.

Dans un premier temps, la limite de quantification a été déterminée afin de vérifier que les niveaux de concentration d'exposition moyenne en particules mesurés puissent être comparés aux valeurs guides de l'OMS pour l'air ambiant et aux valeurs repères du HCSP¹ pour l'air intérieur dans les espaces clos.

Ensuite, une étude de l'impact des pompes de prélèvement à membrane sur la qualité de l'air dans l'habitacle d'un véhicule routier a été réalisée. Aucun impact de la pompe de prélèvement n'a été constaté sur les niveaux de concentration particules dans l'habitacle d'un véhicule. Seules des variations très ponctuelles ont été constatées pour les PM₁₀, variations liées à des remises en suspension de poussières de l'opérateur lors de l'installation du matériel.

Enfin, le positionnement du matériel dans l'habitacle a été étudié dans le but d'être le plus représentatif possible de l'exposition d'un passager du véhicule. En effet, le préleveur doit être placé au niveau des voies respiratoires d'un passager du véhicule. Trois emplacements de mesure à l'intérieur de l'habitacle d'un véhicule routier sont possibles :

- Au niveau de l'appui-tête du passager à l'avant ;
- Au niveau de l'appui-tête d'un passager à l'arrière ;
- Entre les deux sièges avant.

Lors de nos essais, les résultats des mesures gravimétriques au niveau des voies respiratoires d'un passager à l'avant et d'un passager à l'arrière (volets d'entrée d'air ouverts) ont révélé des niveaux deux fois plus élevés à l'avant de l'habitacle. Il a donc été décidé pour la définition du protocole standard de réaliser les mesures dans l'habitacle de véhicules routiers au niveau des voies respiratoires du passager avant.

Il est à noter qu'une étude de la faisabilité des mesures gravimétriques de particules à l'extérieur habitacle en parallèle des mesures à l'intérieur a été réalisée. Il sera nécessaire de finaliser les

¹ <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=371>

réflexions envisagées lors de ce projet pour réaliser des mesures de concentrations de particules (PM₁₀, PM_{2.5} et PM_{1.0}) sur filtre et en continu à l'extérieur de l'habitacle de transports en respectant l'isocinétisme sur la totalité d'un trajet. Les résultats de mesures à l'extérieur obtenus dans ce projet QABINE n'ont pas été présentés dans le rapport final car les mesures ont été réalisées à des vitesses de roulage trop éloignées de celles visées lors des essais. Ces résultats sont donc trop approximatifs pour être exploités. Une réflexion sur la réalisation de ces mesures devra être menée pour assurer un isocinétisme durant toute la durée d'un parcours.

2.3. Tâche 4 – Mesures

Dans le cadre de cette tâche, le protocole de mesures gravimétriques de particules a été expérimenté dans un véhicule routier en roulage du 05 au 20 avril 2016 sur différentes typologies de parcours définies avec l'ADEME.

Au total, 17 essais de mesures de particules à l'intérieur de l'habitacle d'un véhicule routier en roulage ont été réalisés. Ces essais ont été réalisés lors d'une période durant laquelle les niveaux de concentrations en air ambiant en particules étaient relativement faibles en Ile-de-France ce qui a permis de tester la sensibilité du protocole de mesures dans un environnement ayant des niveaux de concentration en particules relativement peu élevés.

Les mesures ont été réalisées dans un véhicule routier familial disposant d'un filtre habitacle plissé à charbons actifs Haute Efficacité (épaisseur 30 mm).

Les mesures gravimétriques de particules ont été réalisées à l'aide d'un impacteur, PM10 Impactor (DGI) de la marque DEKATI, à 30 L/min sur quatre filtres en Zéflur pendant environ 2 heures. L'ensemble des filtres ont été poolés pour faire l'objet d'analyses physico-chimiques par spectrométrie à plasma à couplage inductif pour la recherche de métaux et par chromatographie ionique pour la recherche des anions et des cations.

En parallèle de ces mesures gravimétriques, des mesures indicatives des particules ont été réalisées à l'aide d'un indicateur optique (GRIMM 1.108) afin de visualiser l'évolution temporelle des particules lors des parcours.

Enfin, des mesures ponctuelles ont été réalisées lors des parcours à l'aide d'un préleveur MPS à un débit de 0,3 L/min entre 5 et 15 minutes. L'objectif de ces mesures est d'identifier les différentes catégories d'objets composant l'aérosol en termes de nombre, de morphologie et de composition.

Ces durées de prélèvement ont permis d'obtenir une quantité adéquate de particules déposées sur une grille (avec une représentativité statistique correcte, et sans superposition d'objets qui peuvent rendre les interprétations plus difficiles). Les grilles sont ensuite observées avec un Microscope Electronique à Transmission Philips CM12 à 120 kV. Un détecteur EDS² à spectrométrie d'énergie permet l'identification chimique des particules.

En parallèle de ces mesures, un enregistrement vidéo couplé à un GPS a été réalisé pour chaque essai

2.4 Tâche 5 – Valorisation

Les résultats de mesures montrent que, à l'exception de 2 essais sur les 17 essais réalisés, les niveaux de concentration sont supérieurs ou égaux aux valeurs du HCSP d'un facteur 1 (en zone rurale) à 4,5 (en zone urbaine).

Pour l'ensemble des essais, on constate que la majorité des particules collectées sont des particules fines. En effet, la part des PM_{1.0} est très importante par rapport aux autres fractions granulométriques (supérieure à 80 %).

² Energy dispersive spectrometry

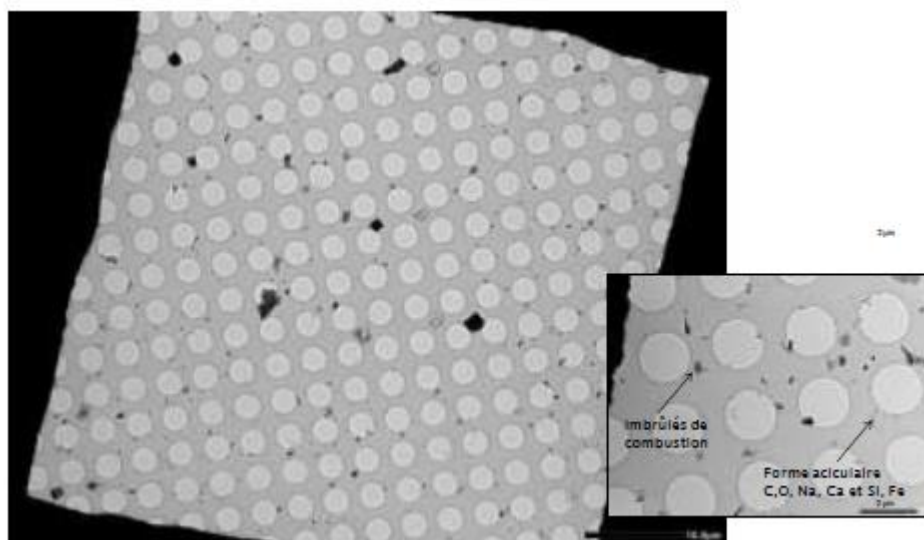
Aucune tendance par typologie d'essai ne peut être mise en évidence car le nombre d'essais est très limité pour en déduire des conclusions. Néanmoins, les résultats de mesures gravimétriques ont été mis en perspective avec différents paramètres pouvant avoir une influence sur les niveaux de concentration mesurés en particules, notamment la vitesse moyenne du véhicule, les horaires et les concentrations en PM₁₀ dans les stations de mesures d'Airparif les plus proches du parcours.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur un essai de chaque typologie de parcours.

Comme le démontre une étude³, les éléments détectés tels que l'aluminium, le calcium, le fer et le zinc sont caractéristiques des poussières routières à Paris. Les éléments secondaires détectés lors de ces essais sont également caractéristiques de la région parisienne (conformément aux données de la stations SIRTÀ).

Les profils des éléments détectés sont très similaires pour les parcours urbains ; le profil obtenu pour le parcours rural est quant à lui très différent des autres.

Les analyses microscopiques, permettant d'étudier la morphologie et la nature des particules, ont été réalisées sur certains essais. L'analyse élémentaire des particules collectées sur grille-MET a mis en évidence notamment la présence de particules de carbone, d'agglomérat de suies, de silice, d'imbrulés de combustion, de calcium et de fer.



³ Amato F., Favez O., Pandolfi M., Alastuey A., Querol X., Moukhtar S., Bruge B., Verlhac S., Orza J.A.G., Bonnaire N., Le Priol T., Petit J.-F., Sciare J. Traffic induced particle resuspension in Paris : Emission factors and source contributions [Revue] // Atmospheric Environment. - 2016. : Vol. 129. - pp. 114-124

3. Conclusions et perspectives

Le projet QABINE a permis de mettre au point un protocole de mesure par gravimétrie des particules dans un habitacle de transport en roulage en intégrant des analyses physico-chimiques et microscopiques, avec une sensibilité permettant de détecter des variations dans des environnements relativement peu chargés en particules.

Il serait nécessaire de finaliser les réflexions envisagées lors de ce projet pour réaliser des mesures de concentrations de particules (PM_{10} , $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$) sur filtre et en continu **à l'extérieur** de l'habitacle de transports en respectant l'isocinétisme sur la totalité d'un trajet.

De plus, il serait également intéressant d'acquérir plus de données de concentrations de particules (PM_{10} , $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$) en situation réelle de circulation pour avoir un meilleur traitement statistique pour ainsi améliorer les connaissances sur la nature (taille, forme) et la concentration massique en particules. La typologie des essais (trafic urbain, rase campagne, souterrain, en période d'épisode de pollution...) ainsi que l'impact de différents types de filtre habitacle devraient être testés tels qu'un filtre après-vente standard, un des meilleurs filtres à l'état de l'art et également un filtre d'un nouveau type.

Dans le cadre de ces mesures, il pourrait être envisagé de déployer des micro-capteurs de pollution (applications smartphone ou appareils à embarquer) vendus actuellement dans le commerce pour comparer ces données à celle obtenue par une méthode de référence.

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





CORTEA 2015

PROJET « QABINE »

Qualité de l'air dans les habitacles en déplacement

Des études ont montré que les concentrations en particules des habitacles et des cabines voyageurs dans les transports étaient, du fait de leur proximité des sources d'émission (échappement, frottements mécaniques...), plus importantes et de natures différentes de celles mesurées sur les quais, dans les couloirs ou encore sur les trottoirs. Ces études ont cependant reposé sur des protocoles et des techniques rendant les résultats difficilement comparables et conservent une marge d'incertitude importante sur les concentrations massiques ; peu de données existent également sur la nature physico-chimique des particules rencontrées dans ces environnements. Le projet QABINE (Qualité de l'Air dans les haBltacles eN déplacEment), porté par l'INERIS, s'est donc fixé comme objectif de définir un protocole de mesures normalisé de la concentration massique des particules, de leur répartition par taille et par morphologie, dans l'air intérieur des transports routiers et ferroviaires, en condition de roulage. L'une des finalités du projet était d'obtenir des valeurs moyennes de concentration massique de particules pouvant être comparées aux valeurs de référence (les valeurs guides de l'OMS – Organisation Mondiale de la Santé et les valeurs repères du HCSP - Haut Conseil de la Santé Publique). Dix-sept essais ont été réalisés avec une voiture instrumentée dans des contextes de pollution différents (rural, urbain et semi-urbain).

Pour la majorité des essais, les concentrations massiques de particules relevées dans l'habitacle étaient supérieures ou égales aux valeurs repères du HCSP (malgré un niveau de pollution plutôt bas à l'extérieur). La plupart des particules détectées étaient des particules fines (< 1 µm).



www.ademe.fr

