



Qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires, une source : le freinage

SNCF – AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE
Vincent ARRIGONI - ATMOSFAIR - 10 Octobre 2017
vincent.arrigoni@sncf.fr



AEF: Laboratoire et centre d'essais SNCF



Missions:

- Vérifier la conformité des matériels, organes, composants
- Contribuer à l'optimisation de la maintenance
- Répondre à des besoins dans le domaine de l'hygiène et de l'environnement



AEF: Laboratoire et centre d'essais SNCF

ESSAIS EN LIGNE

- Captage
- Performance de traction et de freinage
- Caractérisation dynamique des véhicules
 - Caractérisation aérodynamique
- Caractérisation acoustique
 - Caractérisation de l'infrastructure
- Confort et prévention des risques
- Compatibilité engins moteurs : CP, CEM, EQS



EXPERTISES ET MESURES À L'AEF OU SUR SITE CLIENT

ESSAIS POSTE FIXE À L'AEF



- Matériaux de freinage
- Fatigue bogies, vitrages, caisses, structures
- Organes de roulements et lubrifiants
- Captage à l'arrêt
- Métrologie

- Qualification et expertise END
- Expertise métallurgique
- Qualité de l'air, hygiène industrielle et environnement
- Conseil en radioprotection
- Polymères, composites, caoutchouc/Métal
 - Peinture, collage
- Nettoyage, analyses chimiques
- Formation techniques & Audits



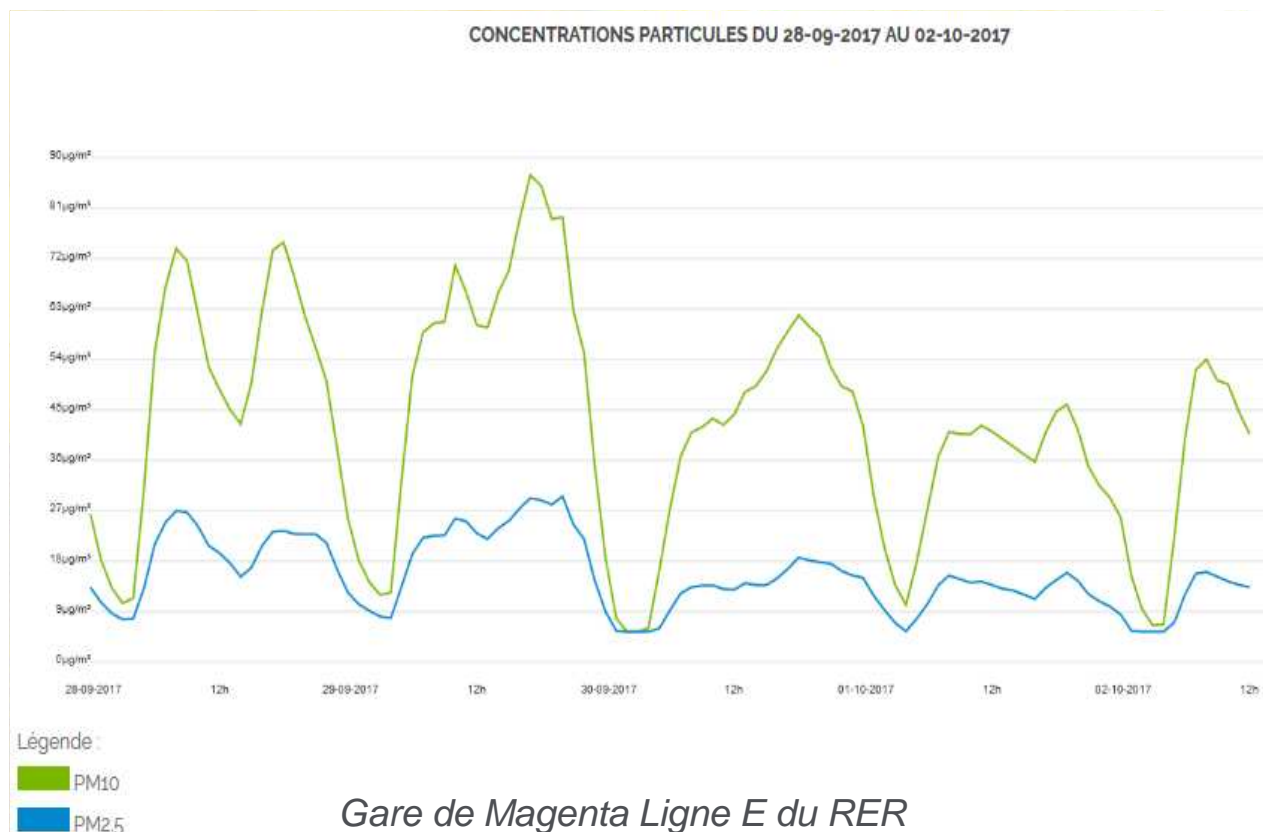
Qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires

Contexte

- Surveillance de la qualité de l'air dans les ESF;
- Préoccupation croissante;
- Absence de réglementation
 - Saisine de l'ANSES par la DGS (2011)
 - GT *Ministère de la Transition écologique et solidaire* / INERIS / EF
- Besoin de caractériser les émissions et de développer des pistes d'amélioration

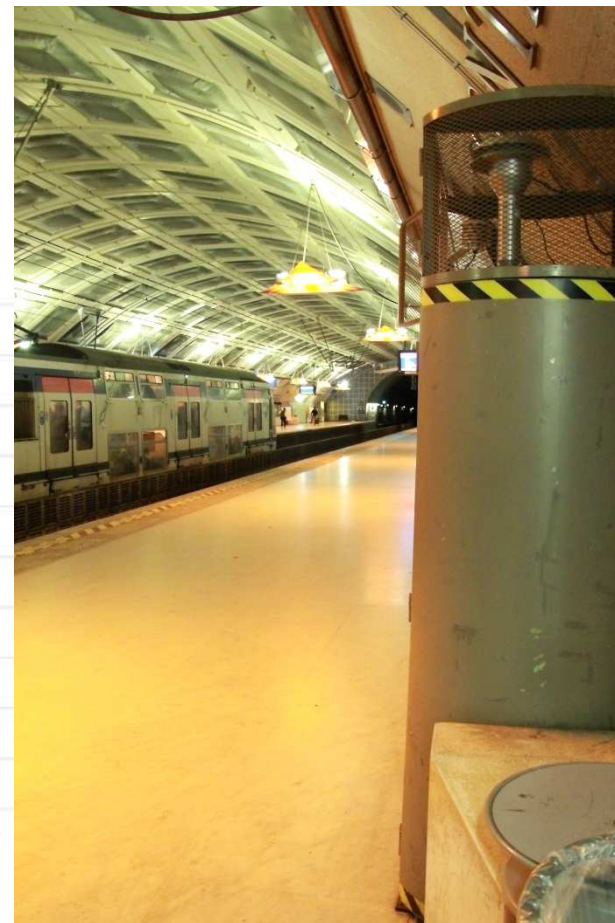
Surveillance dans les gares souterraines

Suivi de la concentration en PM10 et PM2.5



Gare de Magenta Ligne E du RER

Lien: <http://www.iseo.fr/sncf/generic.html>



Surveillance dans les gares souterraines

Compositions des poussières:

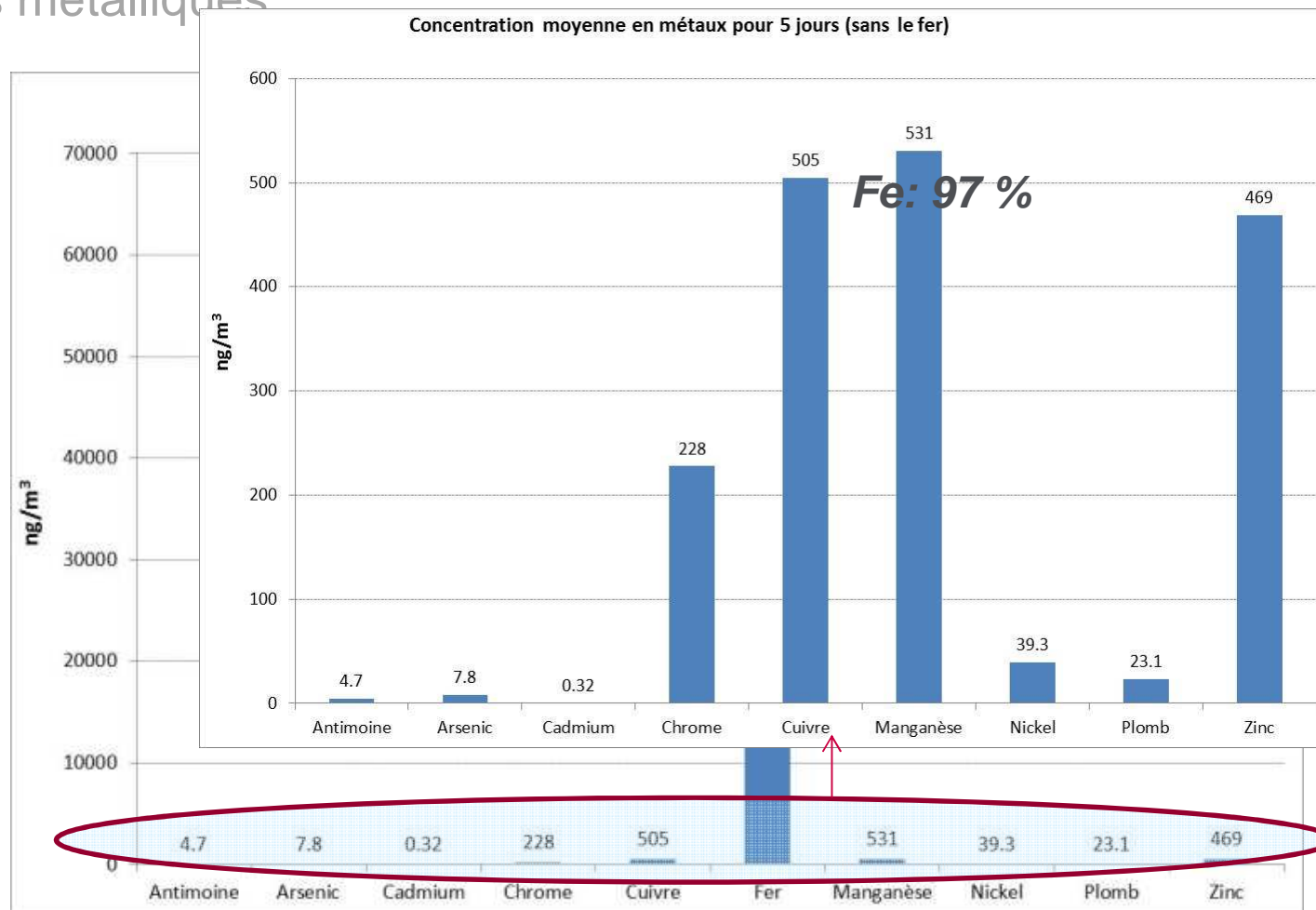
- *Éléments métalliques: 10 à 50 % de la concentration en PM10*
Part du Fer dans les éléments métalliques: > 90 %
- *Carbone: environs 10 % (5% élémentaire / 5% organique)*
- *Autres:*
 - *Poussières minérales: silice , oxyde de calcium, de magnésium...*
 - *fibres, ...*
 - *HAM, HAP, ...*

Taille:

Majorité des particules d'une taille submicronique
Particules plus grosses et plus denses que dans l'air urbain

Surveillance dans les gares souterraines

Éléments métalliques



Qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires

Sources et pistes d'amélioration

Des sources

- Contact roue / rail;
- Freinage;
- Contact Pantographe / Caténaire.

Mais aussi:

- Influence de l'air extérieur selon la profondeur, la ventilation, ...
- Autres pollutions anthropiques: usagers, ...

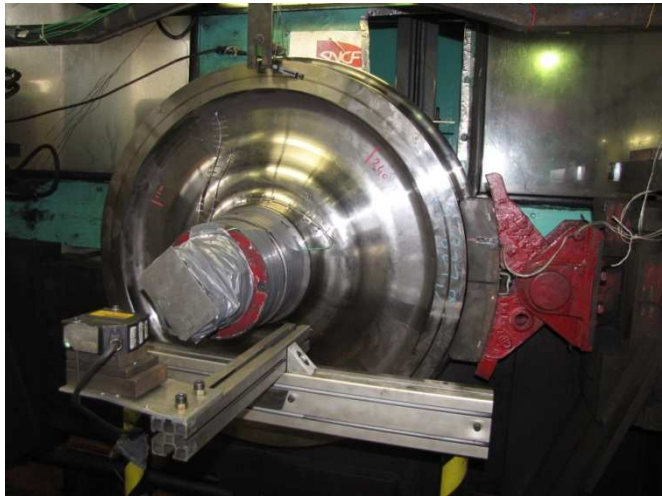
Des pistes d'amélioration:

- Ventilation, Nettoyage, Filtration, Captage à la source, ...
- Freinage électrique;
- Matériaux utilisés;

Un projet pour caractériser la pollution émise par le freinage:

- **Développement d'un banc d'essai à l'AEF sur la base d'un banc existant**

Systèmes de freinage



Système roue / Semelle de Frein

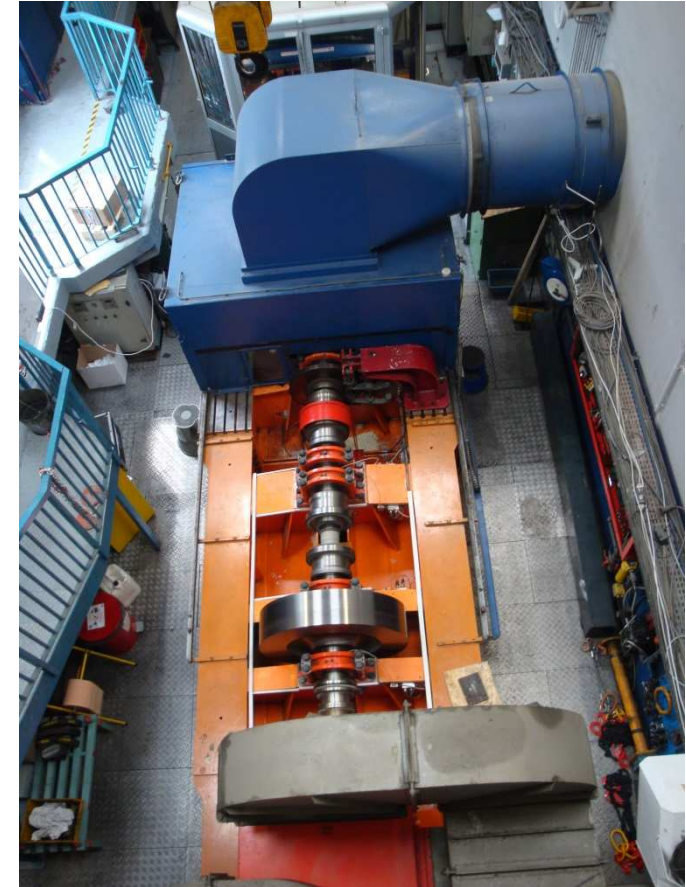


Système Roue /Disque-Garniture



Banc d'essai de l'AEF

- *Simulation de parcours réels*
- *Freinages: Force d'application, vitesse et masse simulée sur la roue*
- *Contrôle des températures semelle / garniture et roue*



Banc d'essai MF3 de l'AEF

Banc d'essai de l'AEF

Système de ventilation



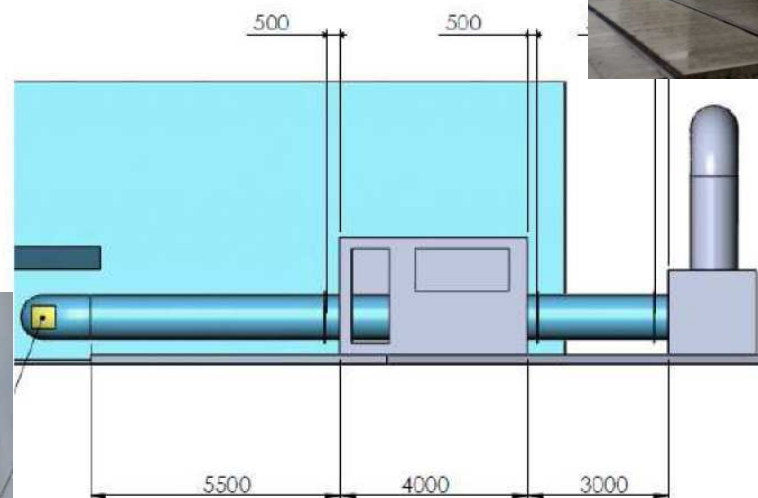
Prise d'air



Extraction



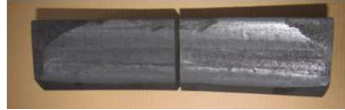
MF3



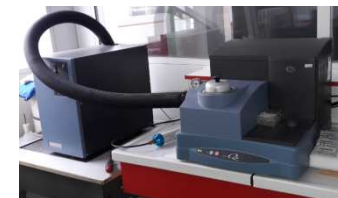
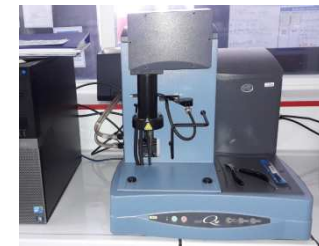
Cabine de mesure

Caractérisation des Semelles/Garnitures

Semelle composite

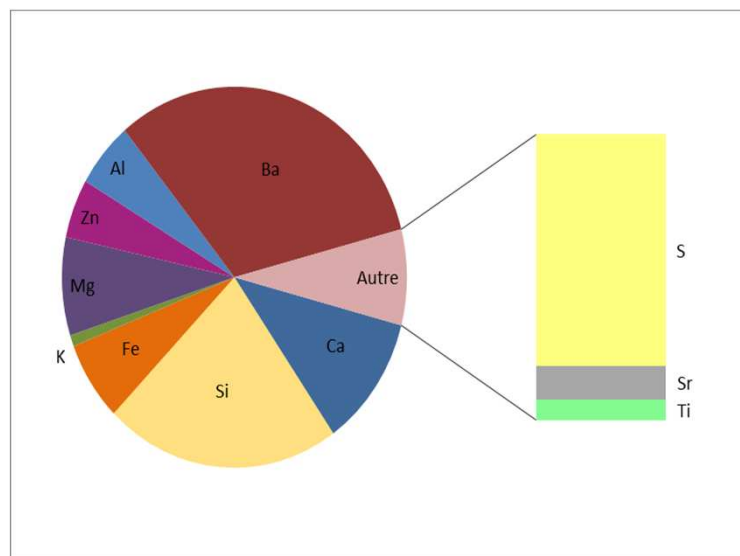


- Analyse élémentaire par spectrométrie de fluorescence des rayons X,
- Analyse de la structure cristalline par diffraction des rayons X,
- Analyse des fibres présentes par plusieurs techniques de microscopie et par spectroscopie infrarouge,
- Analyse de composés organiques volatils (pouvant être émis par les essais au banc) par thermogravimétrie (ATG) / chromatographie en phase gazeuse (CG) / spectrométrie de masse (MS).



Caractérisation d'une semelle composite

Analyse Élémentaire



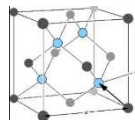
Part des éléments détectés

| Éléments détectés | % dans la semelle |
|-------------------|-------------------|
| Ba | 16.5 |
| Si | 11.4 |
| Ca | 5.8 |
| Mg | 4.3 |
| Fe | 3.8 |
| S | 3.4 |
| Al | 2.9 |
| Zn | 2.6 |
| K | 0.5 |
| Sr | 0.5 |
| Ti | 0.3 |

Part dans la semelle

→ Environ 52 % des éléments de la semelle

Structure cristalline



- Quartz / Carbonate de Calcium / Graphite / Sulfate de Baryum / Talc

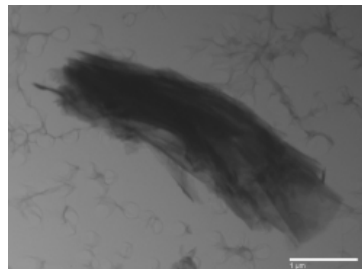
Caractérisation d'une semelle composite

Fibres



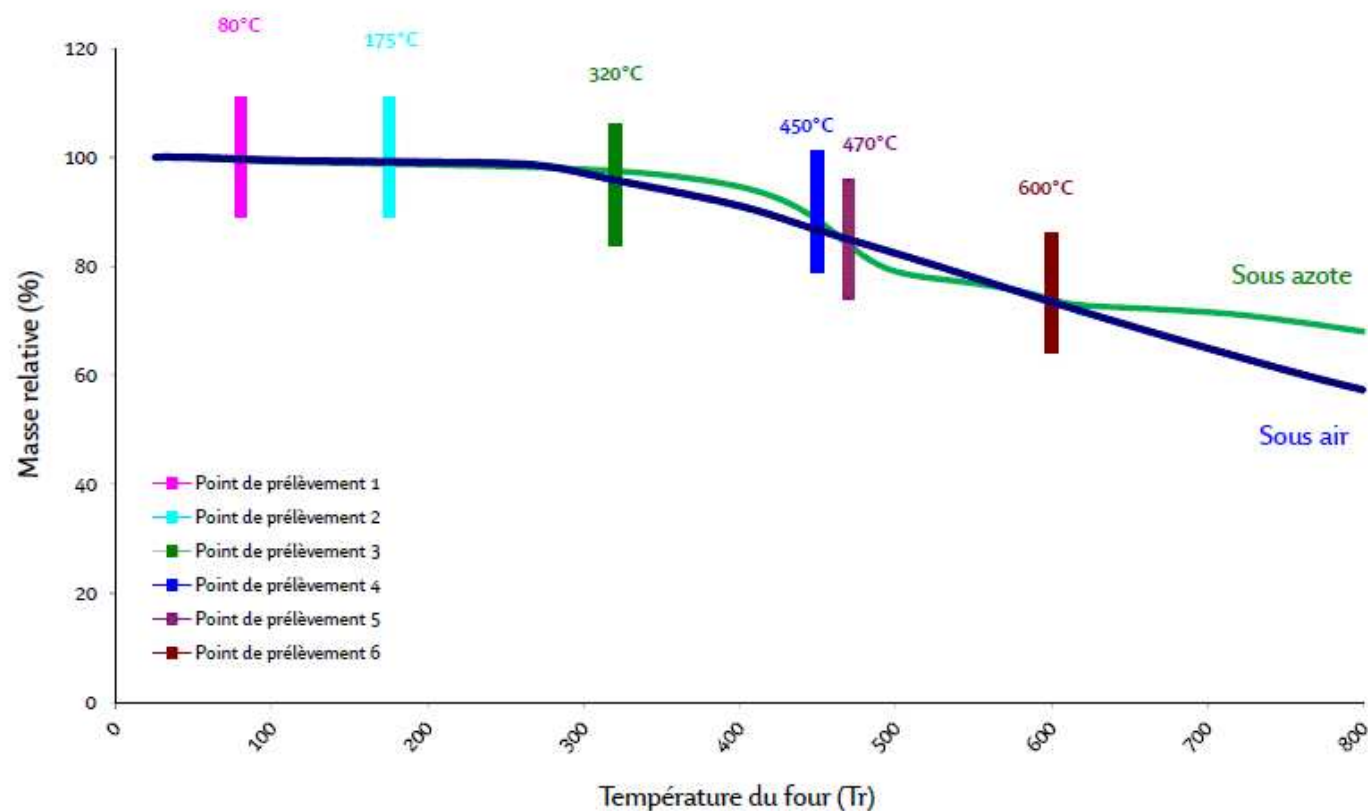
Types retrouvés:

- fibres cylindriques et rectilignes de nature inorganique
→ composition élémentaire caractéristique des fibres minérales de type laine de roche et/ou laine de laitier
- amas de fibres enchevêtrées beiges
→ composition élémentaire caractéristique de fibres organiques (classifiées en tant que fibres d'aramide (Aromatic polyamide)-Kevlar®)
- petites structures allongées (rapport L/D > 3).
→ peuvent être attribuées à du talc et à un composé à base d'aluminosilicate de magnésium.



Caractérisation d'une semelle composite

Caractérisation par ATG du liant

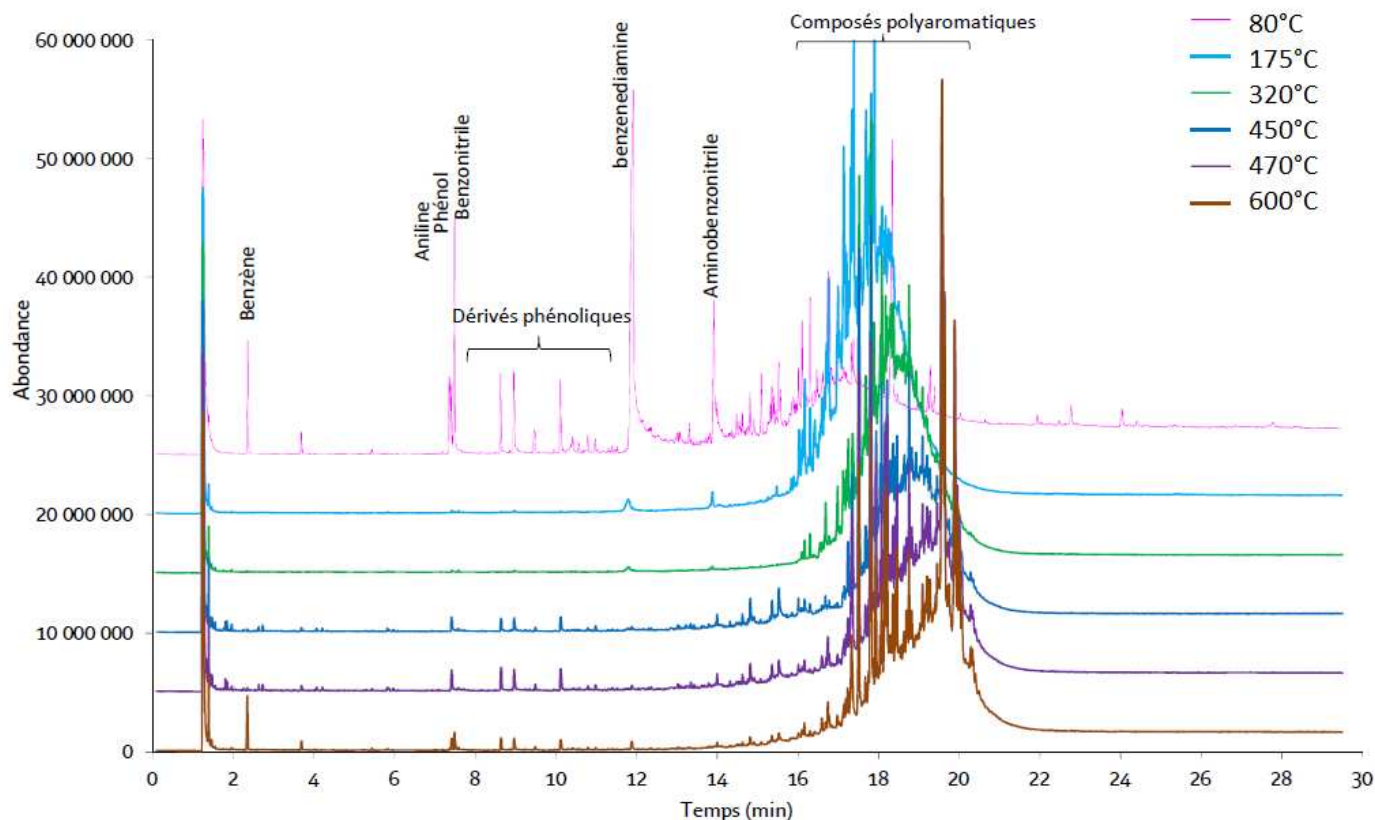


Thermogrammes de la semelle à 40°C/mi

→ Liant organique: teneur de l'ordre de 26 %

Caractérisation d'une semelle composite

COV - identification des composés émis par ATG/CG/MS sous azote

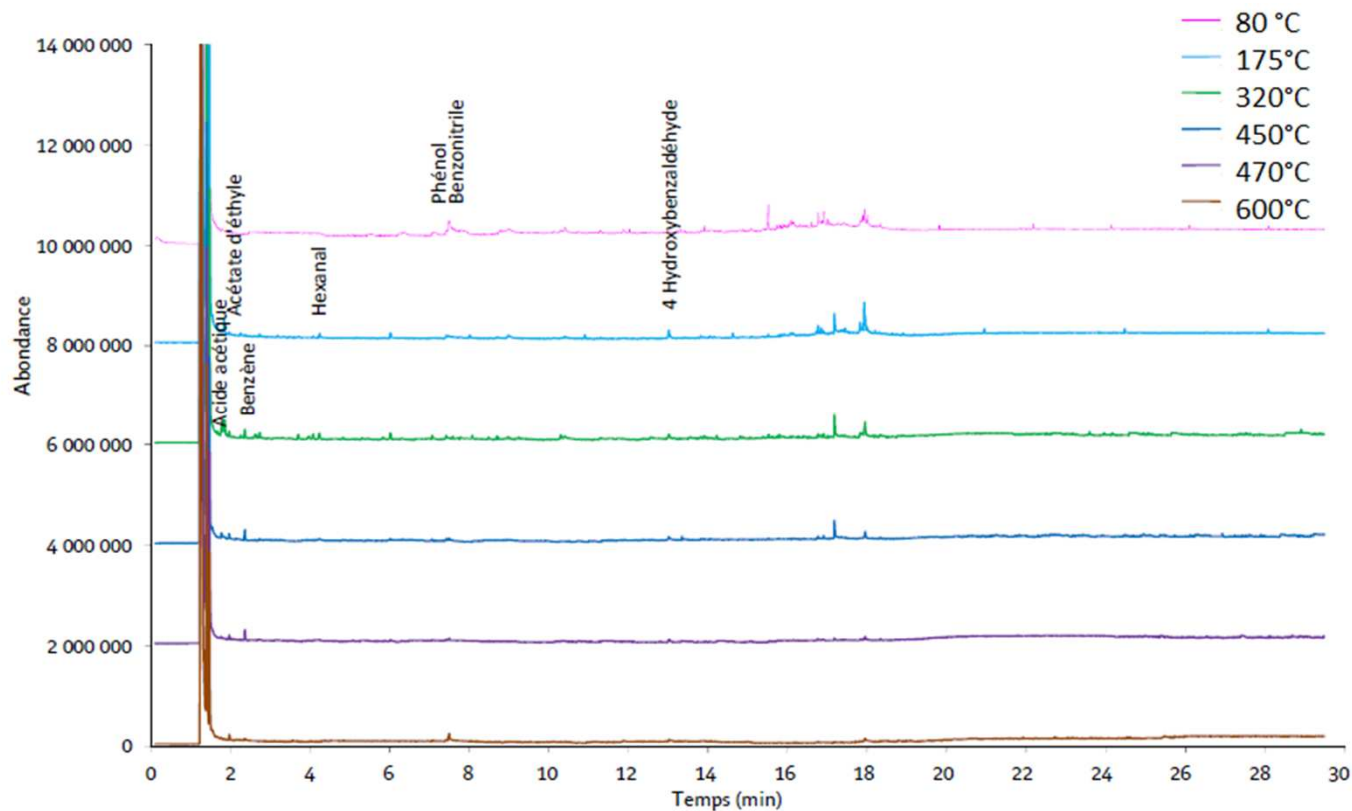


Chromatogramme des produits de dégradation sous azote

→ Liant organique de type phénolique

Caractérisation d'une semelle composite

COV - identification des composés émis par ATG/CG/MS sous air

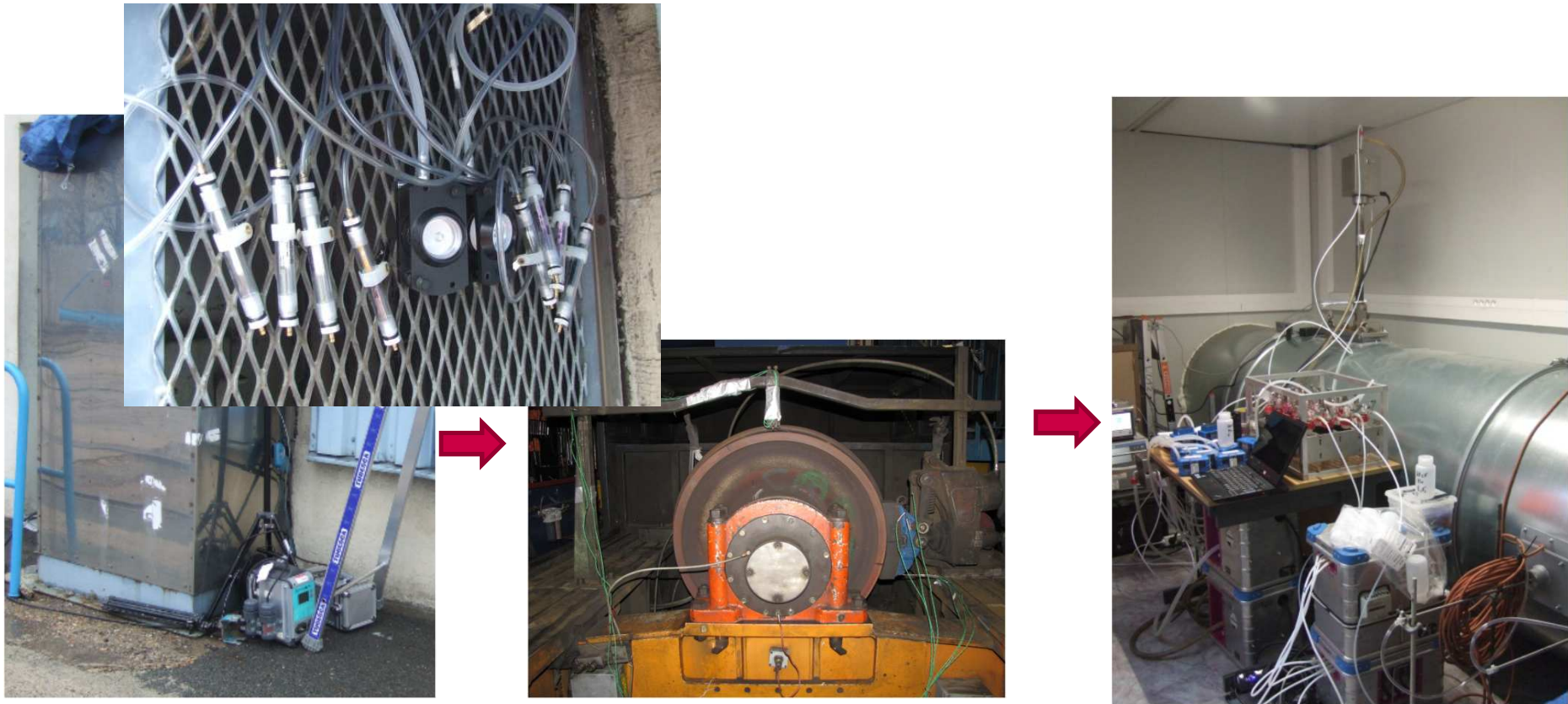


Chromatogramme des produits de dégradation sous air

→ Autres composés sous atmosphère oxydante: acide acétique, acétate d'éthyle, hexanal, 4-Hydroxybenzaldéhyde

Essais au banc de freinage

Montage



→ *Evaluation de la pollution en amont et en aval du banc*

Essais au banc de freinage

Séquences

- ESSAI 2015: 5 cycles classiques
- ESSAI 2017: 20 cycles classiques + 1 séquence énergétique

Cycles classiques: séquences de freinage représentatives des conditions de circulations des matériels concernés.

F: 6 à 21 kN, V: 40 à 140 km/h, masse simulée: 2,5 t

Séquence énergétique: conditions de freinage non réelles

F: 30 kN, V: 70 à 240 km/h, masse simulée: 5 t

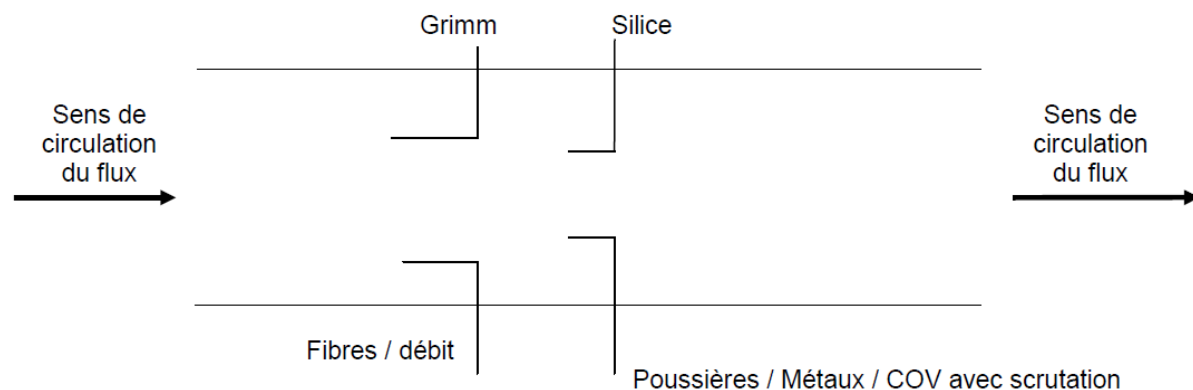
Conditions relevées

- Vitesse de l'air 4,5 m/s
- Perte de masse de la semelle:
 - 20 cycles classiques: 216 g
 - 1 séquence énergétique: 709 g

Essais au banc de freinage

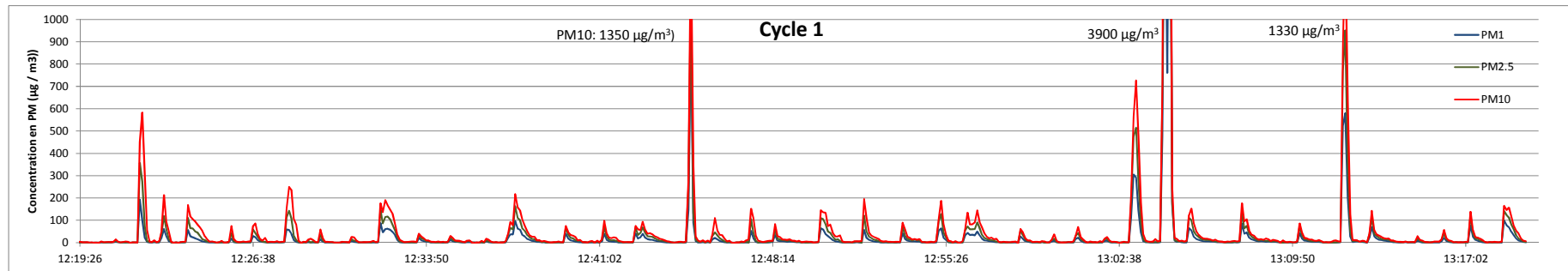
Prélèvements et analyses réalisées

- Mesure continue des particules avec compteur optique GRIMM
- Mesure gravimétrique de la concentration en particule avec analyse élémentaire des éléments par spectrométrie à plasma induit: optique (ICP-AES), ou de masse (ICP-MS)
- Mesure des COV (HAM, HAP et aldéhydes) émis par chromatographie liquide haute performance ou chromatographie gazeuse
- Comptage et analyse des fibres par MEB, MET,



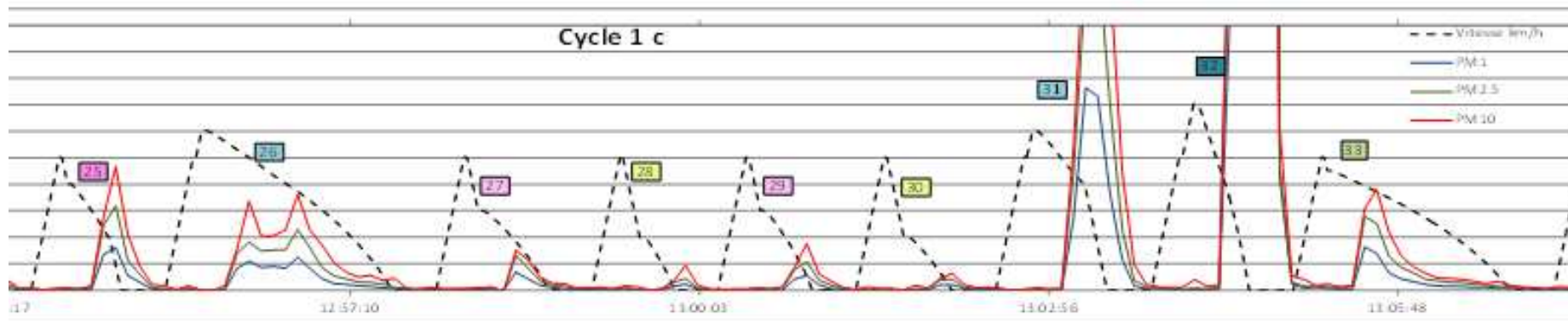
Essais au banc de freinage

Suivi en continu de la Concentration en particules: PM



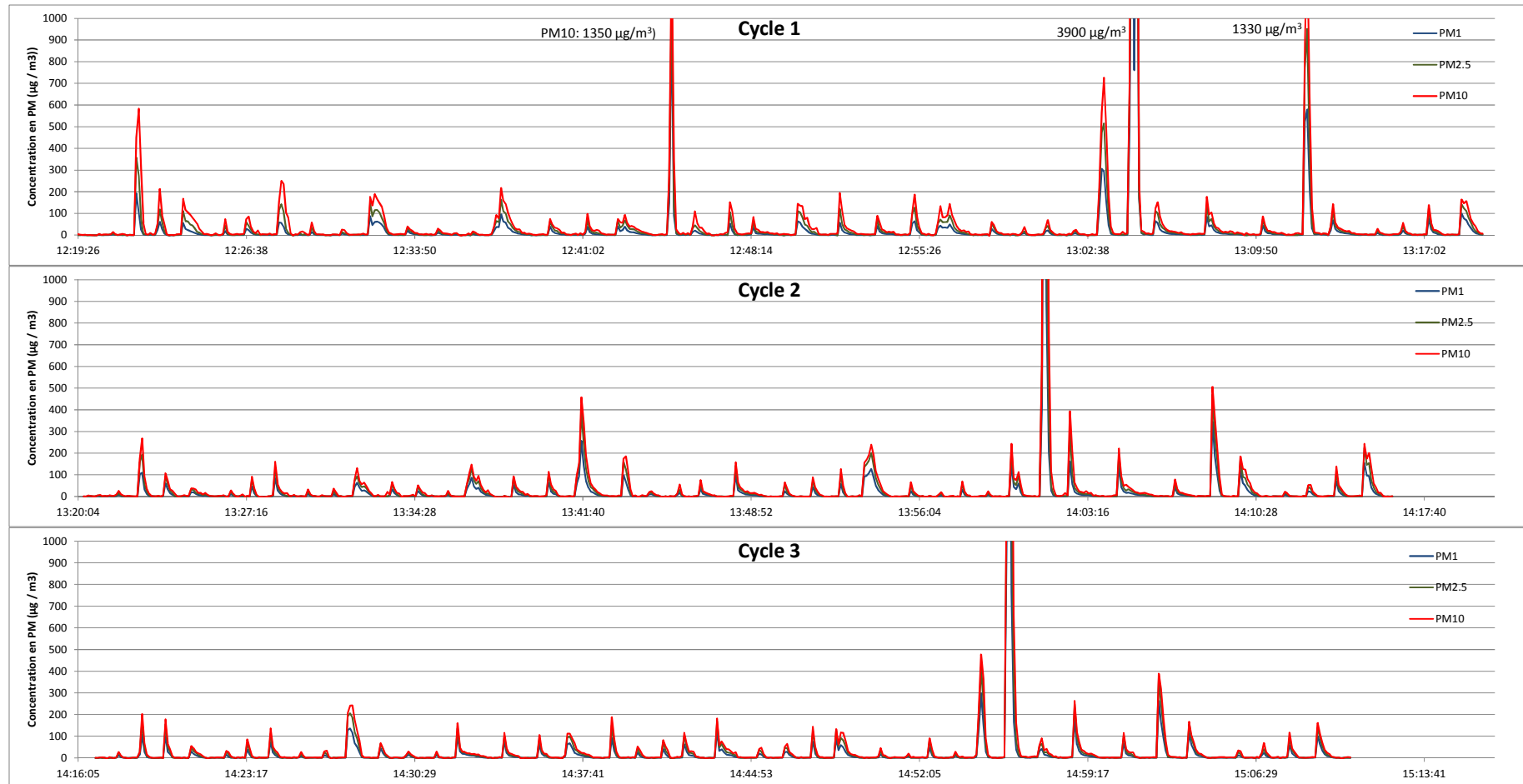
1 cycle classique complet (41 freinages)

→ Pics de concentrations dont l'intensité est associée aux paramètres de freinage (vitesse / Force)



extrait d'un cycle classique avec vitesse de la roue (0 à 140 km/h)

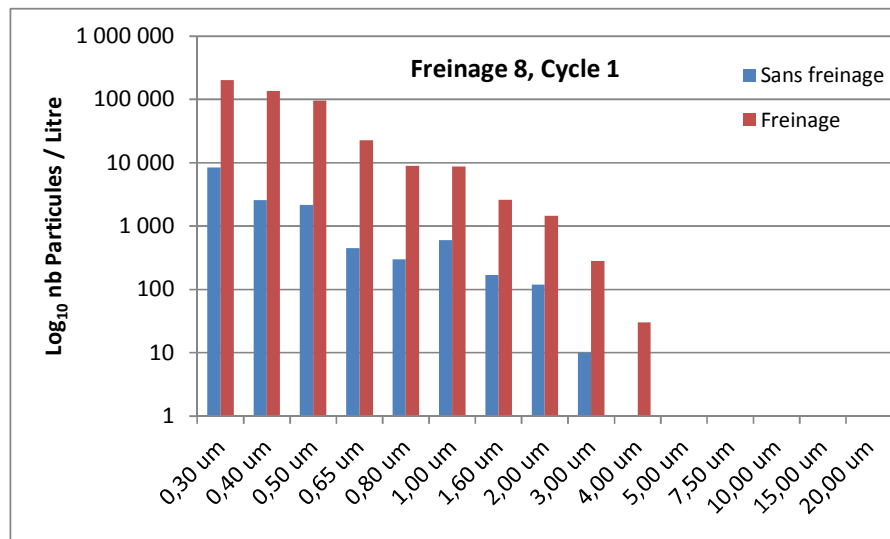
Essais au banc de freinage



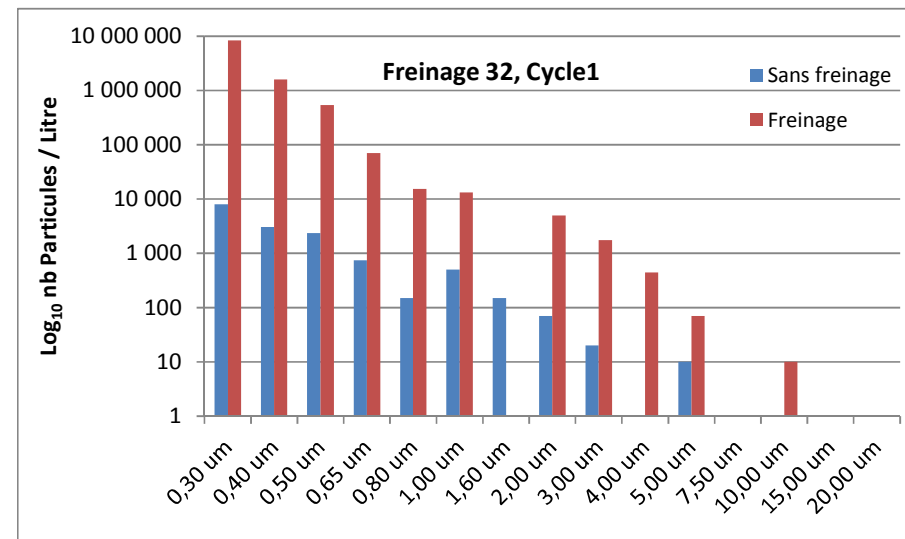
→ Variations d'intensité des pics entre cycles

Essais au banc de freinage

Suivi en continu de la Concentration en particules: nombre / L



V: 40 à 0 km/h
F: 6 kN

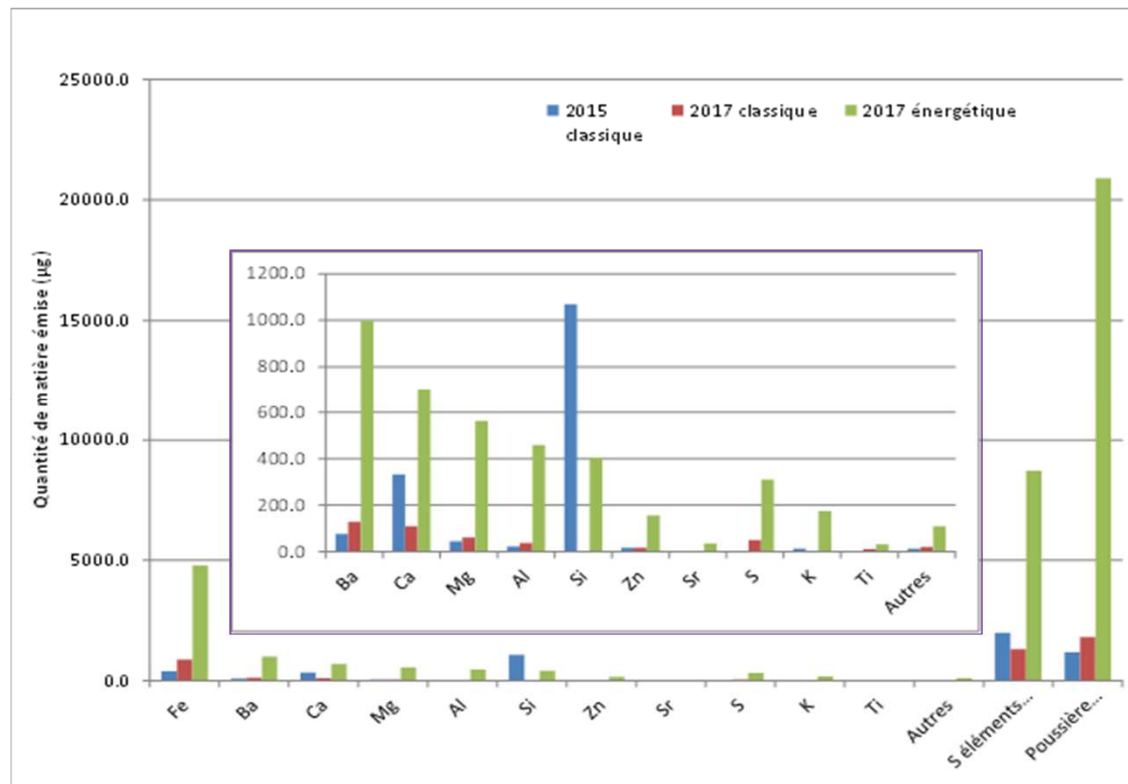


V: 140 à 0 km/h
F: 20 kN

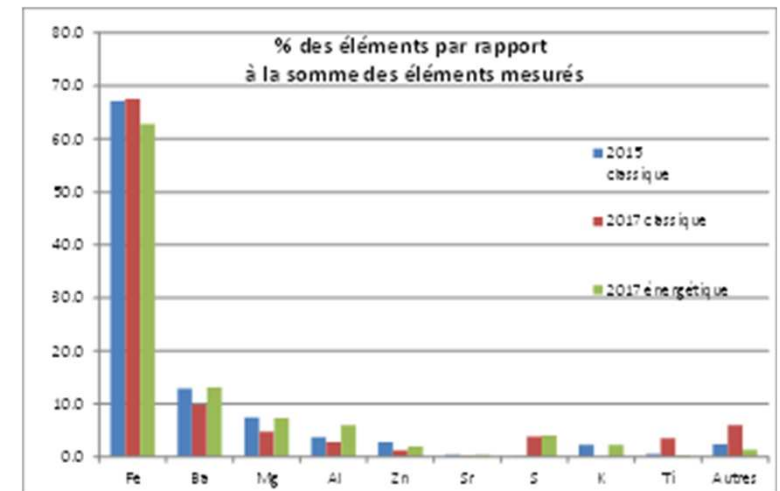
- Freinage intense: augmentation maximale pour les particules de diamètre $< 0,8 \mu\text{m}$ (x100 pour $0,8 \mu\text{m}$ / x 1 000 pour $0,3 \mu\text{m}$)
- Freinage faible: augmentation maximale pour les particules de diamètre $< 0,8 \mu\text{m}$ (x30 pour $0,8 \mu\text{m}$ / x 50 pour $0,4 \mu\text{m}$)

Essais au banc de freinage

Prélèvements sur filtre - quantité de matière émise (particulaire)



→ Le Fer est l'élément majoritaire mesuré, signe de l'usure de la roue



→ Éléments de la semelle retrouvés dans des proportions constantes

Essais au banc de freinage

Prélèvement des COV

→ Pas de COV détectés en 2015, d'où l'augmentation du nombre de cycle en 2017 et la réalisation d'une séquence énergétique (non représentative des conditions réelles).

| COV quantifiés (mg / m ³) | Programme classique | Séquence énergétique |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
| Benzène | 0.001 | 0.012 |
| Toluène | 0.001 | 0.009 |
| Ethylbenzène | 0.0002 | 0.0025 |
| o-Xylène | 0.0001 | 0.0015 |
| 1,2,4-Triméthylbenzène | 0.0001 | 0.0008 |
| Acétone | 0.003 | 0.031 |
| Naphtalène | 2.28E-05 | / |
| Formaldéhyde | 0.0002 | 0.0007 |
| Acétaldéhyde | 0.0002 | 0.005 |
| m-p-Xylène | / | 0.002 |
| Phénanthrène | / | 0.000091 |
| Pyrène | / | 0.000039 |
| Propionaldéhyde | / | 0.0013 |
| Butyraldéhyde | / | 0.0047 |
| Benzaldéhyde | / | 0.0013 |
| Hexaldéhyde | / | 0.0031 |
| Benzonitrile | / | 0.0063 |

→ Composés en lien avec ceux détectés sur la semelle:
Benzène, Benzonitrile,
Benzaldéhyde

→ Concentrations très faibles

Essais au banc de freinage

Prélèvement des Fibres (cycle classique)

| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Résultats du comptage de fibres inorganiques de composition compatible avec | les fibres de serpentines | Fibre(s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les fibres d'amphiboles | Fibre(s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les fibres de l'amiante | Fibre(s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les fibres de sulfate de calcium | Fibre(s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les autres fibres inorganiques | Fibre(s) | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 1 |
| | FCR | Fibre(s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Nombre de fibres <3µm | Fibre(s) | 11 | 21,5 | 50,5 | 71 | 100,5 | 100,5 |
| | Nombre de fibres >3µm | Fibre(s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Calcul des concentrations en fibres inorganiques de composition compatible avec | les fibres de serpentines | Fibres/m3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les fibres d'amphiboles | Fibres/m3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les fibres de l'amiante | Fibres/m3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les fibres de sulfate de calcium | Fibres/m3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | les autres fibres inorganiques | Fibres/m3 | 0 | 0 | 46 | 0 | 208 | 39 |
| | FCR | Fibres/m3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Nombre de fibres <3µm | Fibres/cm3 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,008 |
| | Nombre de fibres >3µm | Fibres/cm3 | < 0 | < 0 | < 0 | < 0 | < 0 | < 0 |

Les fibres dénombrées sont celles de longueur >0,5µm et de rapport longueur/diamètre >3.

Seules les fibres optiquement observables, c'est-à-dire d'un diamètre supérieur à 0,2µm sont comptées.

→ Fibres détectées essentiellement de nature inorganique

Synthèse et perspectives

ESSAIS

- Validation de la méthodes pour caractériser des polluants émis;
- Fer retrouvé comme élément prépondérant ce qui correspond aux mesures réalisées dans les ESF;
- La concentration en polluants émis augmente avec la force de freinage;

PERSPECTIVES

- Définition de critères de qualification des matériaux de freinage / recherche de matériaux moins émissifs
- Essais pour qualifier des méthodes innovantes (aspiration à la source, ...)
- Termes sources pour modélisation de la pollution:
 - *Valider un modèle numérique de la dispersion des poussières en fonction du trafic ferroviaire et de la ventilation*