

Réduction des émissions de HAP d'une entreprise de la région Rhône-Alpes et mise au point d'une méthode laboratoire de suivi cinétique de ces émissions

Decrease of the emissions released by a company located in Rhone-Alpes area and development of a laboratory method to follow-up the kinetic of release of these emissions

Bénédicte ALLARD
Caroline GOMMY
CARBONE SAVOIE, Vénissieux, France

Didier CHAPUIS
Air Rhône-Alpes, Bron, France

Karim MEDIMAGH
EXPLORAIR, Pont-Évêque, France

Résumé

Lors de la production de pièces en carbone ou en graphite, qui sont utilisées comme cathodes dans les cuves d'électrolyse de l'aluminium, des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont émis, notamment lors de la cuisson à 1 000 °C de ces pièces. Le site de Carbone Savoie sur Vénissieux dispose de quatre fours de cuisson pour cuire les pièces mises en forme sur le site de Savoie. Les tonnages de carbone ou graphite en jeu peuvent atteindre plus de 35 000 T/an. Les HAP émis pendant le procédé de cuisson, qui dure environ trois semaines, proviennent d'une des matières premières principales des carbones ou graphites : le brai, résidu de la distillation du goudron de houille.

Le traitement des gaz émis en cuisson a historiquement été effectué par des systèmes d'électrofiltres, qui ont été remplacés progressivement sur le site de Vénissieux par un système d'Oxydation Thermique Régénérative (OTR). En 2013, Carbone Savoie a investi 14 M€ dans un nouvel OTR traitant à lui seul

l'ensemble des émissions des quatre fours, et reconnu comme meilleure technique disponible.

L'impact de l'installation du nouvel OTR de Carbone Savoie sur Vénissieux a été détecté dans l'environnement urbain de façon très significative par les capteurs d'Air Rhône-Alpes. Les conséquences environnementales seront illustrées quantitativement via le suivi d'un hydrocarbure aromatique polycyclique spécifique, le Benzo[a]pyrène BaP, considéré comme traceur de l'ensemble des HAP, et dont la cible annuelle dans l'environnement a été fixée à 1 ng/m³ à partir de 2013.

En parallèle, par le biais d'un projet financé par l'ADEME dans le cadre de son programme R&D Cortea, Explorair, société experte en analyse de gaz sur sites industriels et laboratoires, a développé en collaboration avec Carbone Savoie, une méthode de suivi cinétique des dégagements de HAP, qui permet d'étudier les émissions du brai seul aussi bien que celles de produits cathodes à l'échelle laboratoire. Les développements expérimentaux et les résultats en laboratoire seront présentés.

Mots-clés

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, Benzo[a]pyrène, traitement des fumées, Oxydation Thermique Régénérative, impact environnemental, suivi cinétique, méthode de mesure.

Abstract

During the production of carbon and graphite blocks, used as cathode in the aluminium electrolysis pots, polycyclic aromatic hydrocarbons PAH are emitted, especially during the baking of the blocks at 1 000°C. Carbone Savoie site, in Vénissieux, is equipped with four baking furnaces to bake the pieces formed on Savoie site. The tons of carbon or graphite involved can reach more than 35 000 T/year. The polycyclic aromatic hydrocarbons emitted during the baking process, which lasts around three weeks, come from one of the main raw material of carbons and graphites : coal tar pitch, which is a residue from coal tar distillation.

The treatment of the fumes emitted during baking has historically been performed with electro-filters systems, which have progressively been replaced at Venissieux site by Regenerative Thermal Oxidation systems (RTO). In 2013, Carbone Savoie has invested close to 15 M€ in a new RTO system that treats alone all four furnaces and which is provided from an innovative technology.

The impact of the new Carbone Savoie RTO installed at Venissieux has been significantly detected in the urban environment, from Air Rhône-Alpes sensors. The environmental consequences will be quantitatively illustrated by the follow-up of a specific polycyclic aromatic hydrocarbon species, Benzo[a]pyrene BaP, which is considered as a tracer of all PAH. The annual target of the Benzo[a]pyrene in the environment is 1 ng/m³.

In parallel, via a Cortea project funded by ADEME, Explorair, a company expert in gas analysis on industrial sites and laboratories, has developed a method to follow-up the kinetic of release of PAH, together with Carbone Savoie, which allows to study the emissions of coal tar pitch alone, as well as those of the cathode products at laboratory scale. The experimental developments and the laboratory results will be presented.

Keywords

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Benzo[a]pyren, fume treatment, Regenerative Thermal Oxidation, environmental impact, kinetic follow-up, measurement method.

Introduction

Le traitement des émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques demande une technologie complexe, et un exemple d'une nouvelle installation sur un site industriel de Vénissieux est présenté. L'impact environnemental sur la qualité de l'air de la région lyonnaise du nouveau système de traitement des fumées est suivi par les mesures tri-journalières. En parallèle, une méthode de suivi des dégagements de HAP et COV en fonction de la température a été mise au point en laboratoire pour connaître les cinétiques d'émissions.

1. Investissement d'un nouveau système OTR sur Vénissieux

La cuisson permet la transformation du liant (cokéfaction du brai) pour assurer la stabilisation des propriétés mécaniques et chimiques, et permet de rendre le produit cuit conducteur de l'électricité (Legendre, 1991 ; Allard et Potier, 2013). Au cours de cette transformation, des matières sont dégagées et nécessitent le traitement des rejets gazeux.

Ces matières sont essentiellement des composés organiques, qu'ils soient volatils (exemple COV) et/ou particulaires (exemple HAP).

Les rejets gazeux des fours de cuisson de cathodes peuvent être traités par électrofiltre (EF), Oxydateur Thermique Conventionnel (OTC) ou Oxydateur Thermique Régénératif (OTR). L'avantage de l'oxydation thermique est de permettre le traitement de tous les composés organiques, qu'ils soient volatils ou particulaires, et sans générer de déchets, contrairement aux EF qui piègent les particulaires sous forme de goudrons à détruire ensuite.

Les oxydateurs thermiques traitent des effluents gazeux issus de la distillation du brai par dégradation des molécules organiques à une température voisine de 800 °C. Cette température est atteinte dans les chambres de combustion par apport de gaz.

Les OTR sont reconnus comme meilleures techniques disponibles de traitement des rejets gazeux des fours de cuisson de cathodes, et sont

décrits dans le document BREF sur le secteur de la métallurgie des non-ferreux, développé dans le cadre de la directive IED (*Industrial Emission Directive*).

Un OTR n'est équipé que d'une chambre de combustion, sans système de récupération de calories. De ce fait, il est plus adapté pour des fonctionnements discontinus.

L'OTR est dit régénératif car il récupère les calories des gaz traités (gaz chaud dans la chambre de sortie) pour préchauffer les gaz entrants (chambre entrante), limitant ainsi la consommation de gaz, parfaitement adapté aux fours de cuisson, qui fonctionnent en continu. La technologie OTR peut être déclinée sous deux formes : OTR à lit rotatif et OTR à lit fixe. Le premier à l'avantage d'être compact mais il est moins bien adapté pour les procédés nécessitant une pyrolyse en ligne (il faut pouvoir pyrolyser les lits de céramique sans arrêter le traitement) car cela nécessite une complexité de conception qui nuit à l'efficacité globale.

Le site Carbone Savoie de Vénissieux a investi 14 millions d'euros pour remplacer les traitements de fumées en place (3 électrofiltres et 1 OTR rotatif) par un OTR central à lit fixe, traitant les rejets des 4 fours de cuisson (figure 1). Le projet aura duré 5 ans, dont 18 mois de construction.

Les fumées des fours circulent dans des gaines (plus ou moins longues suivant la localisation des fours) jusqu'au collecteur principal. À ce niveau, les fumées sont mélangées entre elles et

réchauffées, permettant un maintien constant des températures. La dépression dans les fours est régulée par l'aspiration de l'OTR.

Afin d'améliorer encore le rendement de traitement des rejets gazeux, les OTR peuvent être équipés de préfiltres ou de postfiltres. Le traitement des gaz pour Carbone Savoie se fait en deux étapes : préfiltration et OTR.

Les préfiltres permettent la séparation des particules solides (poussières) et des condensats par passage sur des céramiques (dépôt sur céramiques de grosse taille type selle de cheval). En réalité, peu de particules solides sont présentes dans notre procédé et les préfiltres collectent surtout des vésicules, évitant ainsi un colmatage de la partie basse de l'OTR. À intervalle régulier, les préfiltres sont tour à tour traversés par un flux d'air à environ 450 °C, qui désorbe ces dépôts et les envoie pour qu'ils soient traités dans l'OTR. Le système compte 4 préfiltres, dont 3 sont en opération et 1 en attente ou en pyrolyse (nettoyage).

Les gaz passent ensuite dans l'OTR. Il y a en fait 3 unités OTR en parallèle qui fonctionnent en permanence. En cas de défaillance d'une des unités OTR, les deux autres assurent le débit nécessaire pour la continuité du traitement, évitant ainsi tout risque d'arrêt ou de diminution d'efficacité de traitement.

Chaque unité OTR est constituée de 4 chambres ou lits (figure 2) remplis de céramiques de type nid d'abeille (qui assurent le préchauffage des gaz par échange thermique

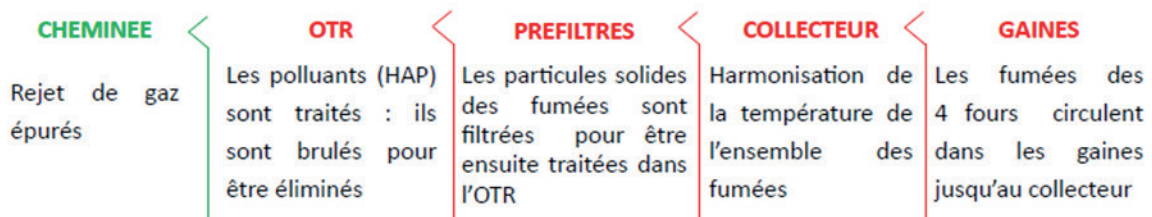


Figure 1.
Photo de l'OTR de Carbone Savoie, Vénissieux.
Picture of Carbone Savoie RTO, Vénissieux.

avec un minimum de pertes de charges), et d'une chambre de combustion équipée de deux brûleurs permettant d'atteindre la température d'oxydation. Le fonctionnement est le suivant : les gaz à traiter (gaz bruts) arrivent sur le lit d'entrée (chaud) où ils sont préchauffés avant d'atteindre la chambre de combustion. Les gaz traités (gaz propres) passent ensuite sur le lit de sortie (froid) et permettent son réchauffage, avant d'être évacués par la cheminée. Cet échange d'énergie continu rend l'oxydateur thermique régénératif efficace parce qu'une grande partie de l'énergie thermique est récupérée de l'air épuré grâce au garnissage céramique dans les lits.

L'unité OTR fonctionne en continu avec une inversion du flux d'air sur les lits (chaud/froid)

grâce à un jeu de vannes automatiques.

Le troisième lit est parcouru par un flux d'air de purge (air propre venant d'être traité), permettant d'entraîner l'air pollué qui reste dans le précédent lit d'entrée.

Le dernier lit est en nettoyage, lorsque la pression différentielle de l'équipement augmente, afin de brûler les dépôts des effluents sur les céramiques (pyrolyse réalisée par montée en température vers 450 °C). L'air chargé en polluant est envoyé dans la chambre de combustion pour y être traité.

Les 4 cycles suivis pour chaque lit (ou chambre) sont décrits dans le tableau suivant :

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4
Chambre 1	Gaz brut	Air de balayage	Gaz propre	-----
Chambre 2	Air de balayage	Gaz propre	-----	Gaz brut
Chambre 3	Gaz propre	-----	Gaz brut	Air de balayage
Chambre 4	-----	Gaz brut	Air de balayage	Gaz propre

Il n'y a pas de déchet produit, car les dépôts présents sur les céramiques des préfiltres et des unités OTR sont pyrolysés (brûlés), et les gaz sortants sont réinjectés dans une chambre de combustion.

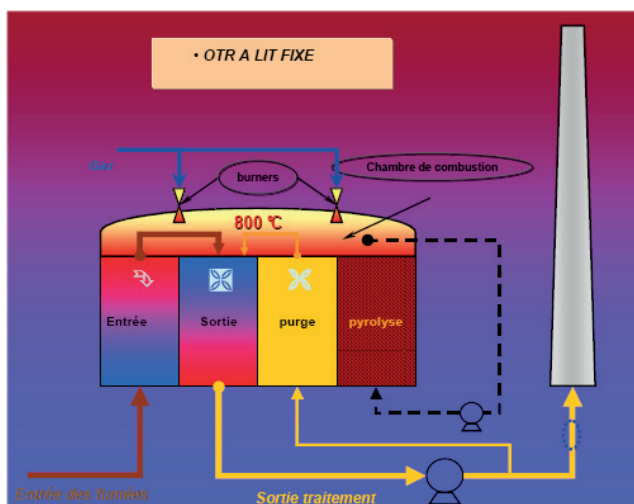


Figure 2.
Schéma d'un OTR à lits fixes.
Sketch of a fixed bed RTO.

Les rejets de BaP (Benzo(a)Pyrène), le HAP pris comme référence, ont fortement chuté depuis la mise en place du nouvel OTR. La figure 3 montre que par rapport à 2012 (pris comme base 100 en référence aux rejets avant les travaux) les rejets, mesurés chaque trimestre au niveau de la cheminée par un organisme accrédité extérieur, ont chuté de 40 % en 2013 (mise en place de l'OTR central en cours d'année) et de 70 % en 2014.

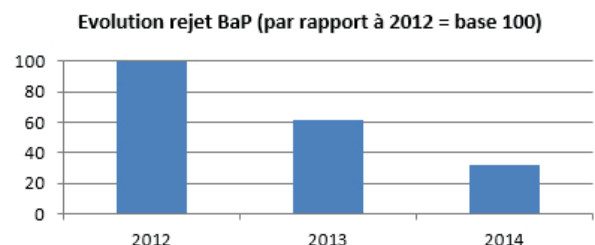


Figure 3.
Évolution des rejets de BaP en % depuis 2012 (année de référence) et l'installation du nouvel OTR courant 2013.

Evolution of BaP emissions in% since 2012 (reference year) and since the new RTO setting up in 2013.

2. Conséquences environnementales du nouvel OTR

Dans le cadre de la réglementation européenne, les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air doivent évaluer, sur leur territoire de compétence, les niveaux d'un certain nombre de polluants afin de vérifier le respect des valeurs réglementaires établies dans l'air ambiant.

Pour cela, les sites de mesure sont choisis suivant différents critères : densité de population, typologie d'environnement suivant les sources d'émissions proches, caractérisation de niveaux « moyens » (pollution « de fond ») ou au contraire de niveaux maximums pouvant être atteints.

En Rhône-Alpes, plusieurs territoires accueillent des industries importantes, potentiellement émettrices de composés en lien avec leurs activités ou avec les sources d'énergies utilisées : des mesures d'investigation sont alors nécessaires pour vérifier que ces rejets ne nuisent pas aux populations alentour.

Carbone Savoie est une industrie dont les activités génèrent des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) : cette famille de composés chimiques a fait l'objet d'une surveillance réglementée à partir de la directive européenne du 15 décembre 2004 (2004/107/CE), qui est actuellement toujours en application. Elle fixe une liste de 7 HAP à suivre obligatoirement, ainsi qu'une valeur cible pour le benzo(a)pyrène à 1 ng.m^{-3} à respecter à partir du 1^{er} janvier 2013.

Par conséquent et à partir de 2004, Air Rhône-Alpes a mis en place un plan de surveillance des HAP dans différents environnements (proximité industrielle, trafic routier, zones urbaines et rurales).

C'est dans ce cadre que la station de Vénissieux-Village a été créée en avril 2004, à 400 m au sud du site de Carbone Savoie, sous les vents dominants par rapport aux sources industrielles, comme le précisent les règles d'implantation d'un site de surveillance de typologie « proximité industrielle ».

Par la suite, le site urbain de fond de Lyon-centre a été équipé de la mesure des HAP en 2007 afin de connaître le niveau moyen dans l'agglomération lyonnaise, hors influence de sources particulières.

En collaboration avec Carbone Savoie, un 2^e site a été installé au nord de l'industrie à partir de 2008 (Lyon Mermoz, puis Lyon 8^e) afin d'évaluer une éventuelle exposition plus importante de la population : en effet, le site a été choisi dans le 8^e arrondissement de Lyon, dans une zone densément peuplée au regard de Vénissieux, et susceptible d'être touchée en régime de vents de sud, même si leur fréquence est moindre que les vents de nord.



Figure 4.
Implantation des sites de surveillance.
Implementation of monitoring sites.

Depuis la mise en place de la surveillance en 2004, un dépassement de la valeur cible réglementaire a été observé chaque année sur le site de Vénissieux jusqu'en 2012, résultats par conséquent déclarés lors des rapportages européens liés à l'application de la directive.

En revanche, bien que plus importants qu'à Lyon-centre, les niveaux observés sur les sites de Lyon Mermoz/Lyon 8^e restent en deçà de la valeur cible et rassurent quant à l'exposition de la population.

Les concentrations de benzo(a)pyrène sont fluctuantes d'une année sur l'autre car elles dépendent de plusieurs critères, qui se cumulent :

- les émissions de l'industrie ;
- d'autres sources potentielles (même si elles sont moins importantes), en particulier le secteur résidentiel avec les chauffages au bois non performants très émetteurs de HAP, tout comme les brûlages de déchets verts, pratique encore rencontrée malgré l'interdiction pour les particuliers, mais tolérée dans l'agriculture (cf. figure 6) ;
- des conditions météorologiques, qui peuvent être plus ou moins favorables à la dispersion de la pollution.

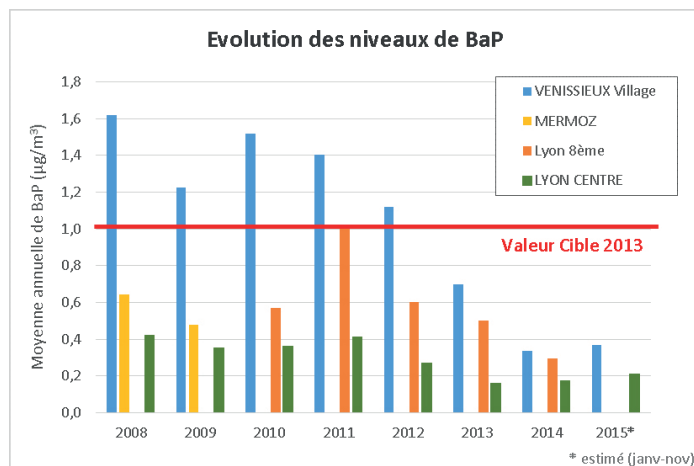


Figure 5.
Évolution du BaP mesuré sur les sites de surveillance.
Evolution of the BaP measured on the monitoring sites.

Comme on peut le voir sur la figure 5 avec les résultats du site de fond de Lyon centre, les niveaux moyens sur l'agglomération de Lyon ont diminué ces dernières années, pour se stabiliser à moins de 0,2 µg/m³ depuis 2013.

Concernant le site de Vénissieux, la diminution des concentrations est nettement plus importante et est nécessairement en lien avec la mise en œuvre d'actions de réduction des émissions industrielles.

Le système de réduction des émissions mis en œuvre par Carbone Savoie a démarré en juillet 2013 : les niveaux en 2013 sont déjà significativement en baisse, conduisant à une

moyenne annuelle sur le site de Vénissieux en dessous de la valeur cible, et ceci pour la 1^{ère} année.

En 2014 et 2015, les concentrations se stabilisent autour de 0,35 µg/m³, respectant largement la réglementation.

Cette réduction des émissions a aussi été traduite dans l'inventaire des émissions d'Air Rhône-Alpes, qui confirme la proportion plus faible de responsabilité de la part industrielle dans les sources de benzo(a)pyrène de l'agglomération lyonnaise (figure 6).

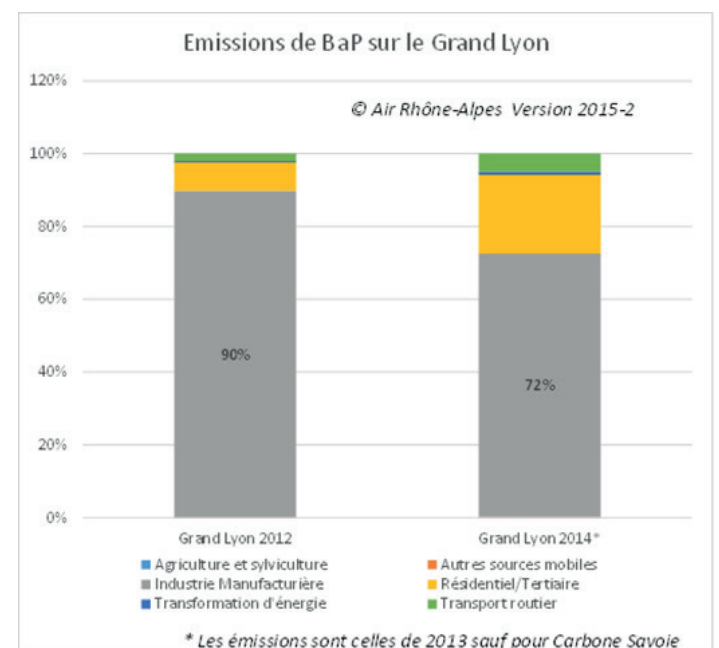


Figure 6.
Émissions de BaP sur le Grand Lyon.
BaP emissions on Grand Lyon area.

Fort de ces constats, la surveillance réglementaire des HAP est encore maintenue, mais a été allégée dans le Sud Lyonnais à partir de 2015 :

- le site de Lyon 8^e a été arrêté fin 2014 : en effet, les mesures ont montré que ce site était moins influencé par les émissions de Carbone Savoie que celui de Vénissieux. D'autre part, les concentrations annuelles sont restées conformes à la réglementation ;
- les mesures sur Vénissieux, site sous influence directe de l'industrie, sont maintenues afin de poursuivre la

surveillance et confirmer le maintien des concentrations à des niveaux faibles.

3. Développement d'une méthode laboratoire de suivi cinétique de dégagement des HAP

Pour mieux connaître à quelles températures se dégagent les différents HAP, Carbone Savoie a contacté Explorair, société spécialisée dans le domaine de l'analyse des gaz et des Composés organiques volatils. Cette collaboration entre Explorair et Carbone Savoie a fait l'objet d'un projet financé par l'ADEME dans le cadre de son programme R&D Cortea (COonnaissances, Réduction à la source, Traitement des Émissions dans l'Air) (Allard, 2015).

La méthode classique pour mesurer les HAP nécessite le passage par des prélèvements sur filtre, sur adsorbant et en solution, le tout devant être ramené en laboratoire pour extraction par voie solvant et analyse. L'approche qu'Explorair a souhaité expérimenter et mettre en place, avait pour but de simplifier l'échantillonnage en raccourcissant le temps de prélèvement et surtout d'optimiser les rendements d'extraction sur l'analyse en remplaçant la voie solvant par la voie thermique (Van Drooge, 2009 ; Wauters *et al.*, 2008). En plus, sachant que ces molécules sont

sensibles à l'UV, l'idée était que les prélèvements se fassent directement sur des supports opaques et directement analysables sans prétraitement de l'échantillon. En parallèle de la mesure des HAP, il a été mis en place l'analyse complète des COV et gaz permanents et ceci d'une manière continue et en temps réel grâce à la μ GC/MS.

La première phase du projet consistait à mettre au point le dispositif expérimental qui permettait de simuler la courbe de cuisson laboratoire de Carbone Savoie, en étudiant des échantillons de brai seul, puis des produits composites carbonés ou graphites préparés en laboratoire. Un four tubulaire a été utilisé afin de caractériser les émissions générées par les brais et composites carbonés (COV, gaz permanents, HAP gazeux et particulaires) (figure 7). Ce four peut monter jusqu'à une température de 1 200 °C et peut contenir des masses de plusieurs grammes en vue d'étudier des échantillons homogènes et représentatifs.

L'échantillon à chauffer est positionné au centre d'un réacteur en quartz, qui est placé dans le four. Le gaz vecteur balaye le réacteur à un débit fixe entre 250 et 300 ml/min (débit primaire). Le gaz vecteur employé pour conduire ces tests est un gaz neutre, l'azote. L'absence d'oxygène est importante afin d'éviter l'oxydation des matériaux et générer ainsi des composés oxygénés. Sous gaz neutre, seules les molécules émises par les matériaux sont prélevées et analysées.

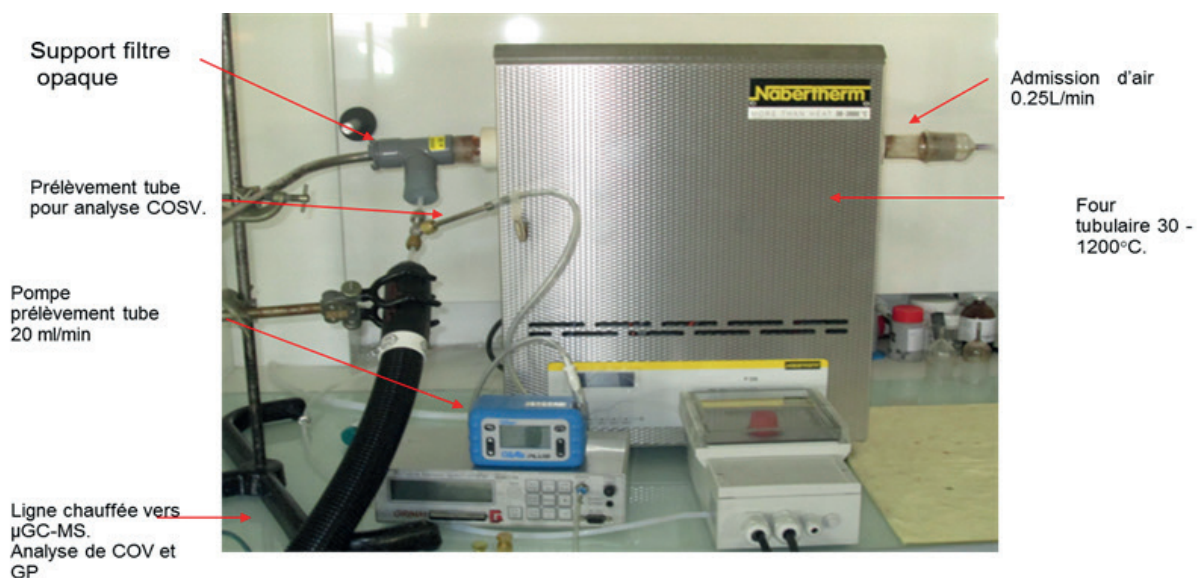


Figure 7.

Four tubulaire développé.

Tubular furnace which has been developed.

Les différents prélèvements sont schématisés figure 8.

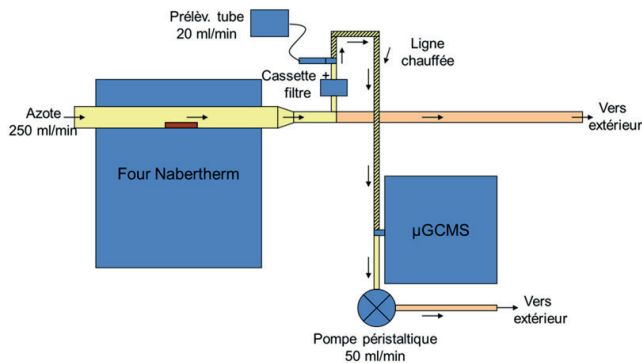


Figure 8.

Schéma des prélèvements en sortie de four.

Sampling at the output of the furnace.

Les COV et gaz permanents sont analysés en direct et en semi-continu par le µGCMS, à raison d'une analyse toutes les 4 à 5 minutes (temps minimum nécessaire pour une analyse exhaustive des COV et gaz permanents). Le prélèvement est effectué dans le flux secondaire. Ces analyses permettent un suivi fin des émissions en COV et gaz permanents.

Les HAP gazeux et les COV lourds sont collectés sur un tube rempli d'adsorbant et remplacé tous les 100 °C. Ces tubes sont directement placés dans la chaîne analytique et analysés, sans solvant et sans exposition de l'échantillon, par thermodésorption et injection dans une colonne de chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (TD-GCMS).

Les HAP particulaires sont prélevés sur des filtres placés en début de flux secondaire à raison de huit prélèvements, le premier de la température ambiante à 200 °C, puis un filtre tous les 100 °C. Après prélèvement, ces filtres sont pesés et découpés en poinçons selon la concentration suspectée, sans prétraitement particulier. Ces portions de filtre sont ensuite placées dans un tube vide et analysées par TD-GCMS. Les débits de flux primaire et secondaire étant connus, il est possible de calculer une charge de HAP émise par le matériau. Les équipements d'analyse sont en figure 9.



Figure 9.

Équipements d'analyse avec, à gauche, µGC/MS pour l'analyse des gaz permanents et COV légers et, à droite, TD/GCMS pour l'analyse des HAP gazeux et particulaires.

Analysis equipment with on the left, µGC/MS for permanent gases and light COV determination and on the right, TD/GCMS for gaseous and particulates PAH.

Les figures 10 et 11 illustrent le suivi par µGC/MS d'un gaz émis par un brai en fonction de la température (exemple de l'hydrogène), du profil de distribution des HAP gazeux émis par ce brai et de la concentration des HAP gazeux/particulaires émis jusqu'à 1 000 °C. Les émissions de HAP sont exprimées en mg par kg d'échantillon testé (ce qui équivaut à 1 ppm).

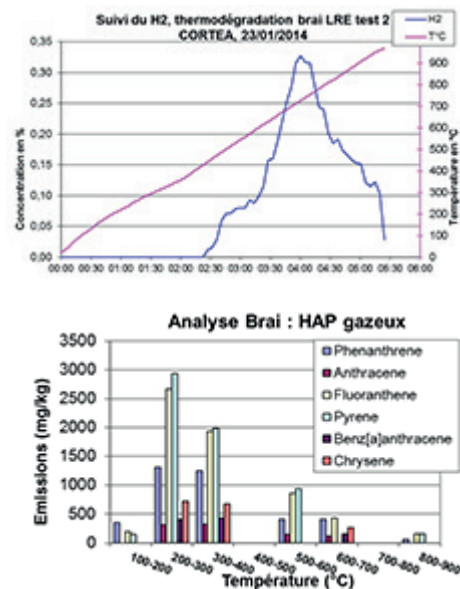


Figure 10.

Exemple de suivi cinétique par µGCMS de l'hydrogène émis par un brai lors de sa cuisson à 1 000 °C (à gauche) et profil des émissions de HAP gazeux (à droite).

Example of a kinetic follow-up by µGCMS of the hydrogen released by a coal tar pitch during its baking at 1000°C (on the left) and gaseous PAH emission profile (on the right).

Le même type d'analyse peut être effectué sur des échantillons de carbones ou graphites fabriqués avec ce brai, entre 15 et 30 g, et quelques résultats sont illustrés figures 12 et 13.

Emission en mg/kg	Brai de houille
HAP	159000
HAP fraction volatile	28284
- dont Naphthalene	36
- dont Acenaphthene	328
- dont Phenanthrene	3804
- dont Fluoranthene	6260
- dont Pyrene	6170
- dont Benz[a]anthracene	1006
- dont Benzo[b]fluoranthene	0
- dont Benzo[a]pyrene	0
HAP fraction particulaire	130586
- dont Naphthalene	1799
- dont Acenaphthene	1714
- dont Phenanthrene	13329
- dont Fluoranthene	21335
- dont Anthracene	3546
- dont Pyrene	26223
- dont Benz[a]anthracene	8926
- dont Benzo[k]fluoranthene	1637
- dont Benzo[a]pyrene	386
- dont Chrysene	19417

Figure 11.

Composition des HAP émis par le brai pendant sa cuisson.

Composition of the PAH emitted by coal tar pitch during its baking.

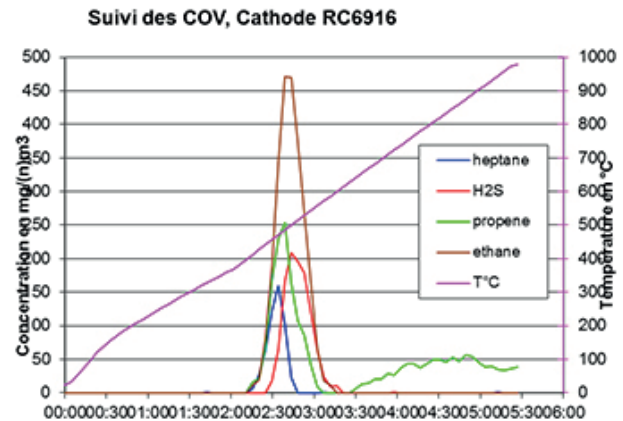


Figure 12.

Exemples de COV émis par un échantillon de cathode.

Examples of VOC emitted by a cathode sample.

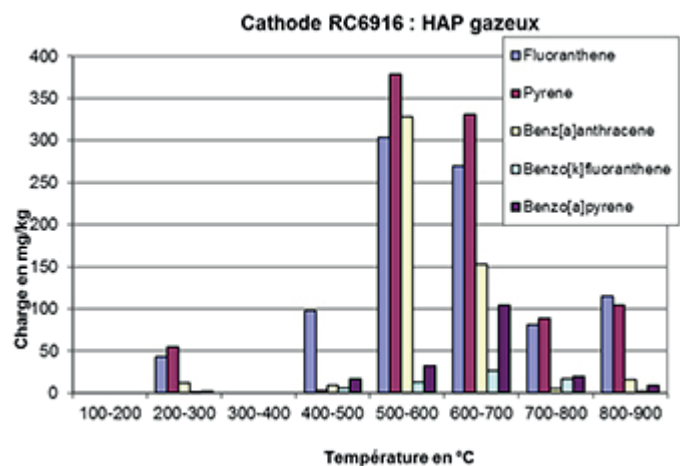


Figure 13.

Profil des HAP gazeux émis par un échantillon de cathode.

Gaseous PAH emitted by a cathode sample.

Le protocole développé par Explorair permet de suivre en laboratoire les émissions organiques en fonction de la température, avec des prélèvements optimisés, propres et sans prétraitement de l'échantillon.

Conclusion

Une nouvelle technologie de traitement des HAP émis lors de la cuisson de produits carbone et graphite a été installée sur le site de Vénissieux. Les mesures internes montrent une forte réduction des émissions. L'impact environnemental sur la qualité de l'air autour de Vénissieux s'est révélé positif.

En parallèle, une méthode de suivi cinétique en laboratoire des émissions de HAP et COV en fonction de la température a été développée par la société Explorair et a permis de mieux

connaître à quelles températures se dégagent les différents HAP.

Références

- Allard B. (2015). *Réduction à la source des HAP et COV émis lors de la production d'électrodes pour les cuves d'électrolyse d'aluminium*, Rapport ADEME 1381C0047, janvier.
- Allard B, Potier A. (2013). « Les matériaux carbonés », dans Fantozzi G *et al.*, *Les céramiques industrielles. Propriétés, mise en forme et applications*, Paris, Dunod.
- Legendre A. (1991). *Le Matériau Carbone*, Paris, éditions Eyrolles.
- Joint Research Centre. (2015). Best Available Techniques (BAT), reference document for the non-ferrous metals industries, European IPPC Bureau, final draft (October).
- Van Drooge BL, Nikolova L, Ballesta PP. (2009). Thermal desorption gas chromatography-mass spectrometry as an enhanced method for the quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons from ambient air particulate matter, *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, Issue 18, p. 4030-4039.
- Wauters E. et al. (2008), Improved accuracy in the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in air using 24 h sampling on a mixed bed followed by thermal desorption capillary gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*, vol. 1190, Issue 1-2, p. 286-293.