

SUIVI ENVIRONNEMENTAL DE LA PRODUCTION D'ENROBÉS BITUMINEUX DANS UNE CENTRALE AU GAZ NATUREL

E. CHÂTEAU*, M. LANGLET*, Y. BAUDRU**, P. MONÉRON**

* Station d'essai de Matériels Routiers, CETE Normandie-Centre, 31, rue Laplace - CS 2912, 41029 Blois cedex
eric.chateau@equipement.gouv.fr - michael.langlet@equipement.gouv.fr

** Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex
yvan.baudru@lpc.fr - pierre.moneron@lpc.fr

1. INTRODUCTION

La fabrication des enrobés à chaud s'accompagne d'émissions à l'atmosphère de composés organiques et inorganiques issues de la combustion de combustibles fossiles et de la présence de liants bitumineux chauds. La réduction de ces émissions polluantes, dont la nécessité est unanimement reconnue, passe par une connaissance précise des procédés de fabrication et nécessite la réalisation d'analyses de gaz. En effet, les connaissances actuelles présentent certaines lacunes dans les conditions opératoires et les données disponibles sont difficilement généralisables. Les analyses de gaz en continu n'étant pas réalisables à l'échelle d'une année, il est judicieux de passer par des valeurs d'indicateurs intermédiaires susceptibles d'orienter les futurs plans d'expérience selon des durées d'analyses à définir. Dans cette optique, le suivi en continu de la consommation énergétique en combustible de la centrale étant facile à réaliser, le paramètre consommation constitue un indicateur discriminant et cet article décrit l'instrumentation réalisée sur la centrale d'enrobage de type TSM 17 du parc routier de Blois, destinée à orienter les futurs plans d'expérience.

2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE L'INSTRUMENTATION

Suite au Grenelle de l'environnement, la lutte contre le changement climatique fait l'objet d'un engagement très ferme de la France et de l'Europe, avec entre autres pour objectif de diminuer de 20 % les émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie. Dans ce contexte, le travail sur la centrale d'enrobage constitue une approche sectorielle de l'analyse environnementale globale d'une infrastructure routière dans sa phase de construction. Il s'avère nécessaire de réaliser une base de données consommations/émissions représentatives du fonctionnement de la centrale d'enrobage. Ce fonctionnement étant variable (formules, cadences, températures...), il n'est en effet pas envisageable sans étude spécifique de quantifier des émissions polluantes sous la forme de flux annuels en se basant uniquement sur des mesures ponctuelles et un tonnage annuel d'enrobés fabriqués. Sur le site du parc routier, le but des expérimentations est de repérer les périodes intéressantes de fonctionnement de la centrale afin de cibler les moments stratégiques où il faudra réaliser des mesures

d'analyses de gaz, de manière à quantifier la variabilité des émissions en fonction de la variabilité de la consommation de combustibles fossiles.

La combustion est un phénomène d'oxydation violente qui se matérialise par des flammes au niveau de la chambre de combustion de l'installation. Dans nos applications, les combustions sont toujours incomplètes, et les gaz de combustion contiennent encore des composés combustibles comme le monoxyde de carbone (CO), le carbone C (suie) et divers composés organiques C_nH_m . En dehors des considérations économiques et de rendement, ces composés sont toxiques et nocifs pour l'environnement et des mesures s'imposent pour prévenir leurs émissions, par ailleurs réglementées (arrêté du 2 février 1998, voire dispositions spécifiques fixées dans l'arrêté d'autorisation de l'installation). Le fonctionnement annuel d'une centrale d'enrobage induit inéluctablement des variations de consommation. Une première approche à partir des relevés de consommation destinés à la gestion de l'installation avait mis en évidence à l'échelle de l'année des consommations en gaz naturel variant dans un rapport de 2 et des teneurs en eau variant dans un rapport de 1,4 (Ventura *et al.*, 2005), avec le sable fillérisé à l'abri des intempéries. Les émissions polluantes n'étant vraisemblablement pas proportionnelles à ces variations de consommation, et les mesures d'analyses de gaz étant longues et coûteuses, la première démarche consiste à mettre en évidence, pour une échelle de temps allant de la journée à l'année, les variations de consommation.

3. INSTRUMENTATION ET ACQUISITIONS RÉALISÉES

L'instrumentation réalisée a consisté à associer les mesures de consommation de gaz, de consommation électrique ainsi que la mesure de teneur en eau du sable roulé aux données fournies par le module classique de contrôle de fabrication en continu des enrobés (débits des granulats, débit de liant...), de manière à acquérir des données technico-environnementales se rapportant à la production d'enrobés à chaud. Jusqu'alors dispersées sur le site et issues de relevés périodiques, ces informations sont maintenant centralisées dans le système d'acquisition au niveau du poste de commande (figure 1).

Le débit de gaz naturel aux conditions de service est quantifié avec un émetteur d'impulsions installé sur le compteur à gaz, et fournissant une impulsion tous les 0,8 dm³ (figure 2). Ce débit de gaz est ensuite rapporté aux conditions normalisées de température et de pression, à l'aide de mesures issues actuellement de relevés manuels, mais qui seront à l'avenir aussi incorporées à l'acquisition centralisée. La teneur en eau du sable est mesurée à la sortie du tapis du doseur avec une sonde micro-ondes (figure 3). La méthode consiste à mesurer la valeur de l'atténuation que subit un champ magnétique de très haute fréquence (10 GHz) qui traverse un matériau humide. Cette atténuation varie en fonction de sa teneur en eau. La sonde (figure 3) comprend un émetteur micro-ondes qui envoie un faisceau à travers

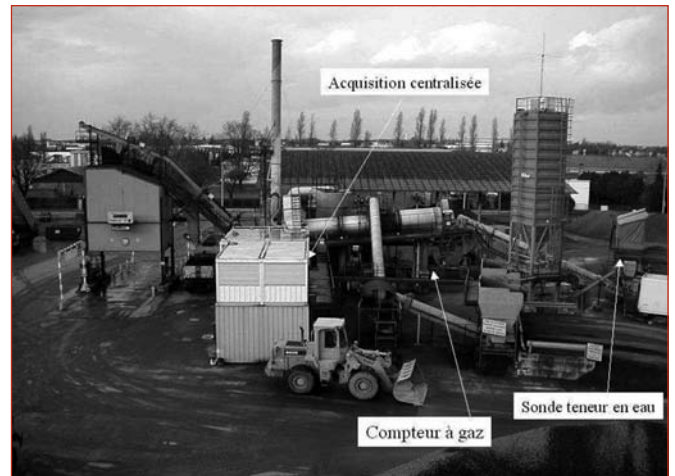


Figure 1: Implantation de l'instrumentation.

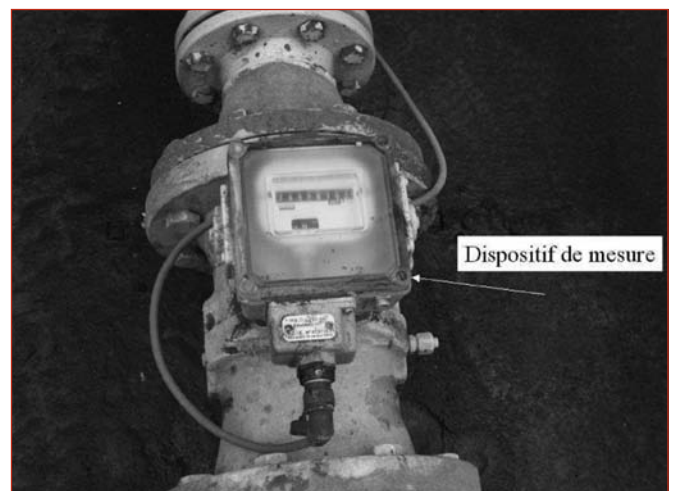


Figure 2: Compteur à gaz.



Figure 3: Sonde de teneur en eau.

le matériau et un récepteur qui mesure le faisceau réfléchi. Le stock de sables fillérisés étant protégé des intempéries, la sonde est installée sur les sables de Loire, sables alluvionnaires qui sont utilisés dans un petit nombre de fabrications mais qui ne sont pas stockés à l'abri et dont la teneur eau est dès lors variable. Pour l'ensemble des fabrications de la centrale, les informations sont enregistrées en continu (valeur moyenne

toutes les min) avec le système d'acquisition de données « Adline », développé par la Station d'Essais des Matériels Routiers et mis à jour avec de nouvelles fonctionnalités. Ces données comprennent :

- la chronologie des fabrications (h/min/s),
- la formule fabriquée, selon le code du catalogue de formule du parc routier,
- l'humidité des granulats (%): l'humidité prise en compte pour cette étude est uniquement celle des sables de Loire. Les sables fillérisés et le filler sont stockés à l'abri et la teneur en eau des gravillons n'est pas vérifiée en continu ;
- le débit des granulats (t/h) et du liant (t/h) selon la méthode normalisée (cf. norme NF P98-772-1) ;
- la cadence horaire (t/h) ;
- la température du liant (°C) : les bitumes doivent être stockés chauds en permanence. La température de stockage et d'utilisation est propre au type de bitume utilisé ;
- la température des enrobés (°C) ;
- la consommation en électricité (kWh) ;
- la consommation de gaz naturel (m³/h).

Ce système d'acquisition, développé pour les centrales de type TSE pour suivre la fabrication des enrobés à partir de la ligne informatisée de l'automate, ne peut dans la forme présentée ici pour la centrale du parc routier de Blois s'installer sur d'autres centrales sans instrumentation complémentaire de celles-ci.

4. RÉSULTATS

Les résultats sont compilés dans un fichier excel et accessible par formule ou par journée. Quelque soit le type d'enrobé produit, le fichier permet une exploitation comparative tant sur les consommations que sur les données de production. Après avoir résolu un problème de parasitage des données due à l'alimentation électrique du système de mise en trémie de stockage des enrobés chauds, l'acquisition présentée est opérationnelle depuis septembre

2007. Depuis, l'exploitation des résultats a porté sur les données enregistrées pour l'ensemble des fabrications.

À l'échelle de la journée, un exemple retenu pour illustrer les résultats obtenus avec ce type de démarche est présenté sur la figure 4. Cet exemple concerne deux fabrications très différentes, pour lesquelles les formules d'enrobés produits sont explicitées dans le tableau 1. Les évolutions des consommations (gaz naturel et électricité) et des principaux paramètres de contrôle définis ci-dessus sont présentées sur la figure 4. Les consommations énergétiques sont exprimées en kWh, unité habituelle de l'exploitant, et seront converties en J pour la prise en compte dans les évaluations globales.

Plusieurs points importants et qui mettent en évidence l'intérêt d'une telle instrumentation peuvent être relevés à la lecture de la figure 4.

Périodes transitoires

- la température des enrobés est disponible environ 4 min après le démarrage du brûleur (ceci correspond approximativement au temps de transfert des granulats dans le tambour sécheur à équicourant. Pendant cette période, c'est la température des gaz à la sortie du sécheur qui renseigne sur le réglage du débit en gaz naturel ;
- la cadence horaire est stabilisée environ 10 min après le démarrage du brûleur ;
- des surconsommations de gaz inévitables (augmentation d'environ 5 % pendant un temps de l'ordre de 10 min) au démarrage (en début de journée ou suite à un arrêt du brûleur) de la centrale. Ces surconsommations sont minimisées (voire supprimées dans l'exemple de la figure 4 lors du changement de formule à 11 h) lors d'un changement de formule sans arrêt du brûleur ;
- un temps de l'ordre de 15 min après le démarrage du brûleur nécessaire au chef de poste de la centrale pour obtenir la stabilisation de la température des enrobés, soit après une production de 20 tonnes environ pour les cadences concernées (critère retenu pour le démarrage

| Formule 66 Désignation BBSG 20 % recyclé | | | | | | | |
|--|----------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------------|
| MATÉRIEL | Pulv.1 | A.E.2 | Dos.1 | Dos.3 | Dos.4 | Bitume | Bitume A.E.2 |
| Type Doseur | Pondéral | Pondéral | Volumétrique | Volumétrique | Pondéral | | |
| Matériau | Filler | agrégats d'enrobé 0/10 | Granulats NOUBLEAU 6,3/10 | Granulats NOUBLEAU 2/6,3 | Sable broyé NOUBLEAU 0/2 | 50/70 | |
| Formule | 1,00 % | 20,00 % | 41,00 % | 15,00 % | 23,00 % | 5,35 % | 4,50 % |

| Formule 20 Désignation BBS | | | | | |
|----------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
| MATÉRIEL | Pulv.1 | Dos.2 | Dos.3 | Dos.4 | Bitume |
| Type Doseur | Pondéral | Volumétrique | Volumétrique | Pondéral | |
| Matériau | Filler | Sable roulé de Loire 0/4 | Granulats NOUBLEAU 2/6,3 | Sable broyé NOUBLEAU 0/2 | 50/70 |
| Formule | 2,00 % | 27,00 % | 46,00 % | 25,00 % | 6.30 ppc |

Tableau 1 : Formule des enrobés n°66 et 20.

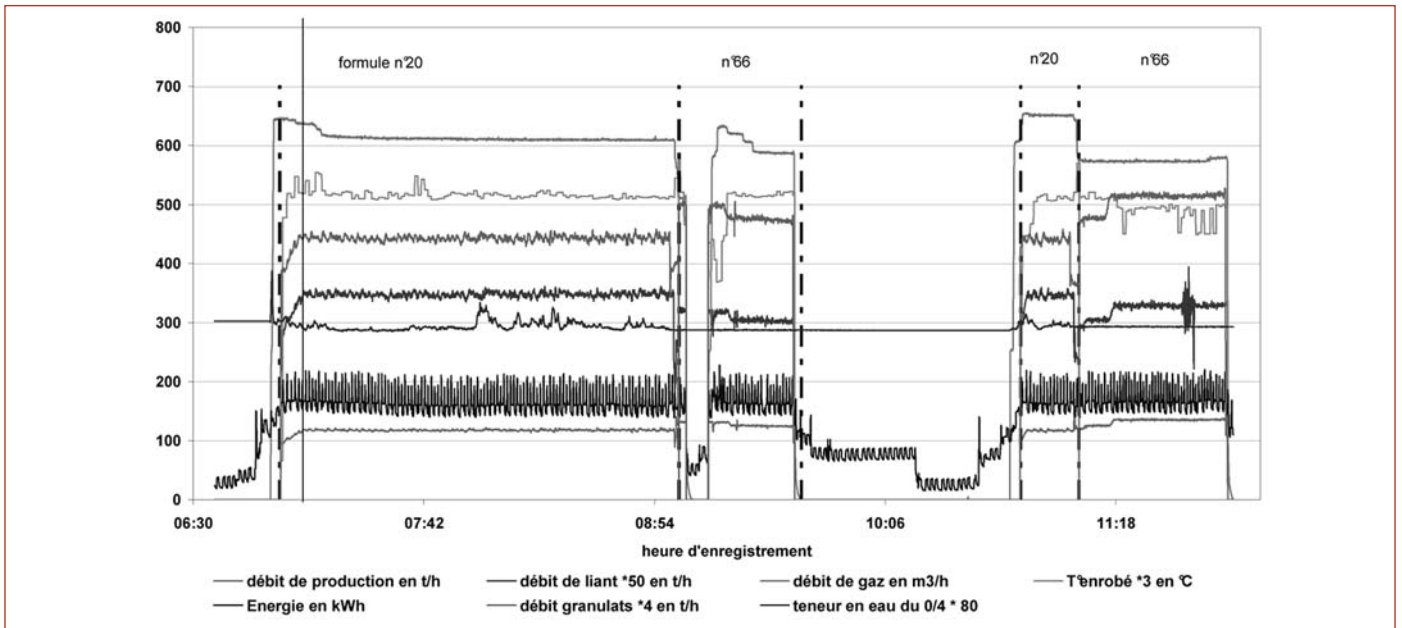


Figure 4 : Synthèse des paramètres relevés pour la journée du 07/09/07.

des échantillonnages gazeux dans les expérimentations précédentes Paranhos [2007]).

Périodes stabilisées

- une consommation en gaz variable en fonction de la formule (baisse d'environ 12 % en fin de matinée), et intégrant les changements de cadence horaire (hausse de 117 et 135 t/h) et de teneur en eau des granulats (baisse en passant des sables de Loire à $\approx 3,7$ % aux sables fillérisés à ≈ 1 %).

Un deuxième exemple est proposé afin d'illustrer les possibilités en matière de suivi annuel des consommations. A l'échelle de cinq mois de fabrication (juillet à novembre 2007), un exemple d'évolution de la consommation est présentée pour la fabrication de BBSG avec 20 % d'agrégats d'enrobés. Les valeurs moyennes calculées sur des périodes stabilisées pendant lesquelles la cadence horaire et la température des enrobés sont stables, sont présentées dans le tableau 2. Les dates correspondent aux jours où cette formule a été fabriquée par la centrale.

| Date | Temps période stabilisée (min) | Formule | Puissance (kW) | Débit gaz (m3/h) | Débit centrale (t/h) | Temp.enrobé (°C) | Débit pompe liant (t/h) |
|----------|--------------------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|-------------------------|
| 09/07/07 | 106 | F66 BBSG 20% recyclé | 174 | 642 | 136 | 172 | 5,6 |
| 09/07/07 | 15 | F66 BBSG 20% recyclé | 167 | 656 | 127 | 165 | 5,3 |
| 17/07/07 | 64 | F66 BBSG 20% recyclé | 177 | 622 | 150 | 153 | 6,2 |
| 18/07/07 | 47 | F66 BBSG 20% recyclé | 170 | 604 | 136 | 162 | 5,6 |
| 18/07/07 | 30 | F66 BBSG 20% recyclé | 160 | 513 | 120 | 156 | 4,9 |
| 18/07/07 | 30 | F66 BBSG 20% recyclé | 159 | 430 | 99 | 147 | 4,1 |
| 03/08/07 | 10 | F66 BBSG 20% recyclé | 169 | 528 | 121 | 152 | 4,8 |
| 03/08/07 | 38 | F66 BBSG 20% recyclé | 161 | 479 | 122 | 150 | 4,8 |
| 03/08/07 | 12 | F66 BBSG 20% recyclé | 171 | 630 | 141 | 173 | 5,6 |
| 06/08/07 | 211 | F66 BBSG 20% recyclé | 176 | 659 | 143 | 162 | 5,9 |
| 06/08/07 | 123 | F66 BBSG 20% recyclé | 179 | 680 | 150 | 167 | 6,2 |
| 07/09/07 | 40 | F66 BBSG 20% recyclé | 168 | 573 | 133 | 165 | 5,2 |
| 10/09/07 | 13 | F66 BBSG 20% recyclé | 163 | 608 | 120 | 180 | 4,8 |
| 17/09/07 | 26 | F66 BBSG 20% recyclé | 167 | 594 | 133 | 171 | 5,3 |
| 21/09/07 | 19 | F66 BBSG 20% recyclé | 175 | 586 | 139 | 167 | 5,5 |
| 24/09/07 | 30 | F66 BBSG 20% recyclé | 169 | 622 | 129 | 166 | 5,1 |
| 02/10/07 | 27 | F66 BBSG 20% recyclé | 172 | 593 | 123 | 171 | 4,9 |
| 19/10/07 | 54 | F66 BBSG 20% recyclé | 183 | 588 | 117 | 171 | 4,6 |
| 23/10/07 | 42 | F66 BBSG 20% recyclé | 187 | 593 | 126 | 170 | 5 |
| 23/10/07 | 18 | F66 BBSG 20% recyclé | 192 | 598 | 133 | 158 | 5,3 |
| 23/10/07 | 21 | F66 BBSG 20% recyclé | 191 | 605 | 133 | 167 | 5,1 |
| 09/11/07 | 9 | F66 BBSG 20% recyclé | 175 | 600 | 121 | 149 | 4,8 |
| 29/11/07 | 20 | F66 BBSG 20% recyclé | 172 | 594 | 111 | 172 | 4,4 |
| 16/11/07 | 117 | F66 BBSG 20% recyclé | 187 | 613 | 127 | 171 | 5 |
| | | Min | 159 | 430 | 99 | 147 | 4,1 |
| | | Max | 192 | 680 | 150 | 180 | 6,2 |
| | | Ecart | 33 | 250 | 51 | 33 | 2,1 |

Tableau 2 : Évolution des consommations énergétiques sur 5 mois.

La conduite d'une centrale d'enrobage s'accompagne de fluctuations des paramètres de fonctionnement (cadence horaire et température des enrobés) induites par les contraintes du chantier (quantité d'enrobés, distance du chantier, époque de réalisation). Ces fluctuations, traduites sous la forme des écarts mentionnés dans le tableau 2, conditionnent des variations de consommations énergétiques et de liant bitumineux. Obtenir des données représentatives du fonctionnement de la centrale va donc consister à quantifier globalement la conséquence de ces variations sur l'évolution des émissions de rejets polluants à l'atmosphère, en terme de concentrations volumiques et de flux horaires. Les représentations graphiques des évolutions des consommations énergétiques (gaz et électricité) en regard des évolutions de cadence horaire et de température des enrobés sont synthétisées sur la figure 5.

Déjà visible à l'échelle d'une journée de production en fonction de la formule fabriquée et des contraintes chantiers (arrêts/redémarrages et cadences horaire), la variation de consommation existe par ailleurs à l'échelle de l'année, sur une même formule, en fonction de la cadence horaire et de la période de fabrication (température extérieure et intempéries). L'exemple présenté (figure 5) montre sur 5 mois une augmentation d'environ 60 % entre les consommations mini et maxi. Sur la même période, l'étude de la consommation rapportée à la tonne d'enrobé (figure 6) montre un écart de l'ordre de 35 %, due essentiellement aux différences de températures (enrobés et ambiante) et aux intempéries (teneurs en eau des granulats). Par ailleurs, l'incidence de la teneur en eau est minimisée pour la fabrication du BBSG, puisque le sable fillérisé utilisé est stocké à l'abri des événements pluvieux.

À l'échelle de l'année, les différences de consommation sont donc importantes, du simple au double pour la centrale du parc routier (Ventura *et al.*, 2005). La quantité de polluants émis lors de la combustion du gaz naturel est liée à sa consommation mais ces deux paramètres ne sont pas proportionnels : il existe des différences de cinétique thermique conduisant à des évolutions d'émissions polluantes en composés organiques et inorganiques (Monéron *et al.*, 2006).

Conjointement aux mesures de consommations énergétiques, l'objectif est maintenant de réaliser des mesures d'analyses de gaz au niveau de la cheminée d'évacuation des rejets gazeux à l'atmosphère de manière à établir la corrélation entre la consommation, et donc le fonctionnement de la centrale d'enrobage, et les rejets polluants à l'atmosphère. Par ailleurs, la recherche d'une utilisation rationnelle de l'énergie passe par la maîtrise de la combustion. Dans ce domaine, le maintien d'une combustion optimisée nécessite de disposer d'un brûleur qui assure parfaitement et pour l'ensemble de la fabrication le mélange intime entre combustible et comburant. L'indice ICO/CO₂ (Paranhos, 2007) constitue un indicateur robuste du contrôle de ce dosage, garant de la qualité de la combustion, qui sera systématiquement pris en compte dans les expérimentations futures.

5. CONCLUSION

Sur une année, le fonctionnement normal d'une centrale d'enrobage s'accompagne d'importantes variations de la consommation en combustible. Sans incidence sur la qua-

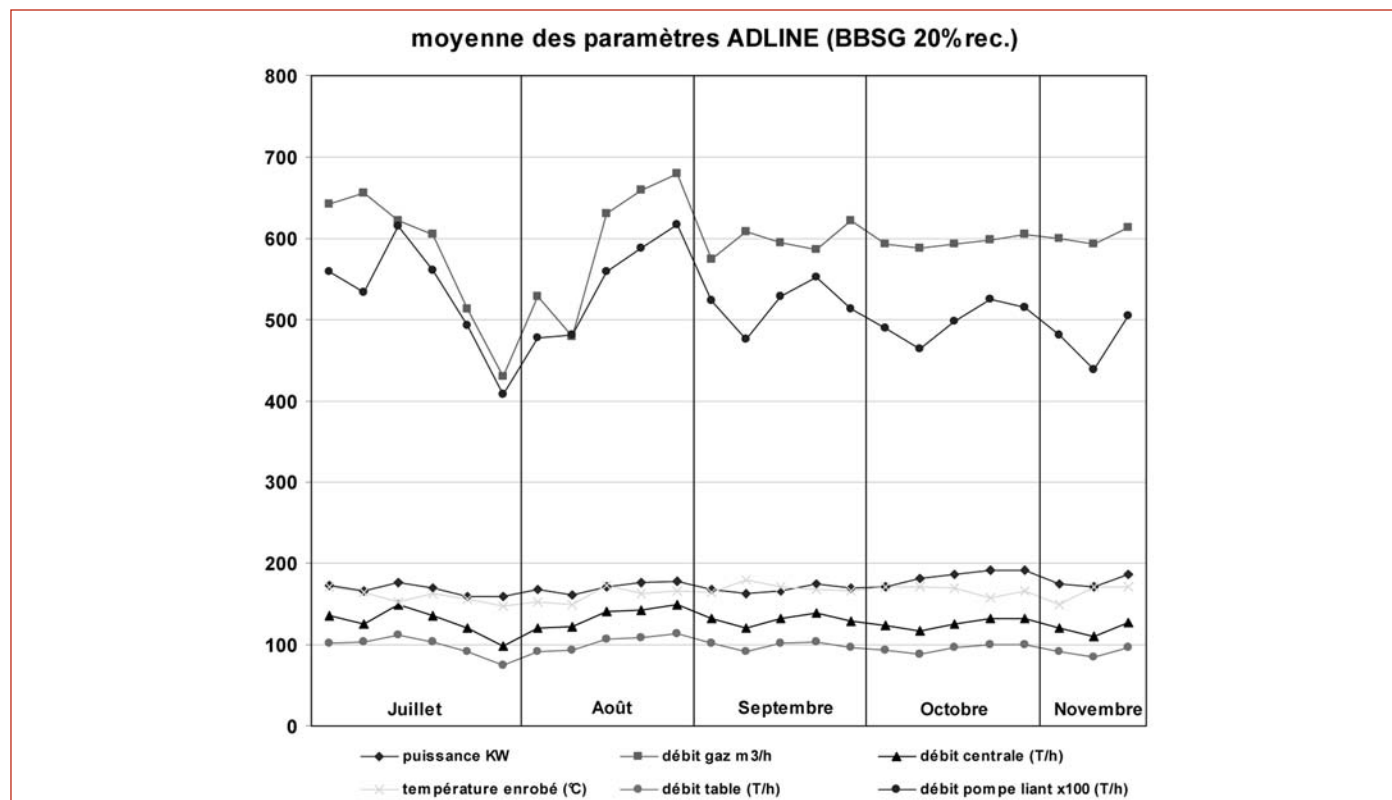


Figure 5 : Évolutions énergétiques et paramètres de fonctionnement en période stabilisée.

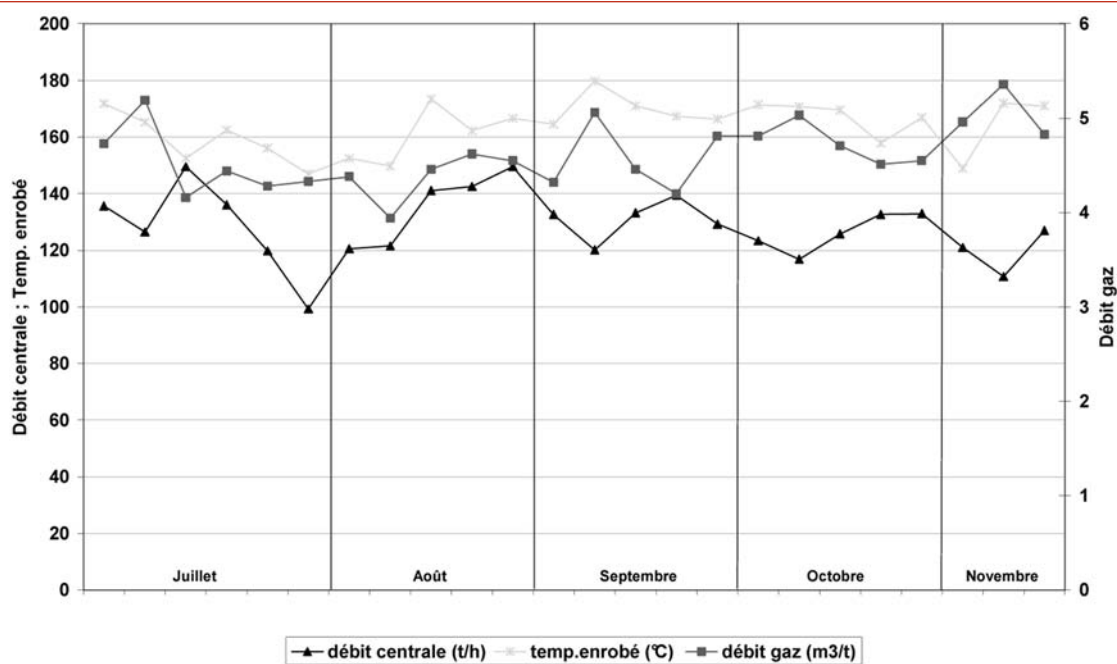


Figure 6 : Évolutions de la consommation à la tonne d'enrobé.

lité des enrobés fabriqués, ces différences présentent actuellement une importance accrue dans un contexte de développement durable appliqué aux procédés thermiques de fabrication d'enrobés bitumineux pour les infrastructures routières. Le présent projet consiste à mesurer et analyser les caractéristiques globales du procédé de centrale d'enrobage à Tambour Sécheur Enrobeur et d'obtenir des plages d'émissions polluantes (CO₂, CO, SO₂, NO_x, COT, CH₄ et HAP) en relation avec les consommations de combustible. La caractérisation et l'analyse des procédés sont envisagées à plusieurs échelles de temps, de manière à mettre en évidence des valeurs moyennes et des amplitudes de variation, pour permettre de prendre en compte la problématique de comparaisons à des valeurs réglementaires (échelle de la journée) ainsi que la quantification de flux annuels de polluants. Les variations de consommation s'accompagnent d'une modification des échanges thermiques à l'intérieur du tambour sécheur qui, pour la centrale d'enrobage du parc routier de Blois, s'apparente à un échangeur antiméthodique. En complément de l'instrumentation réalisée, il est proposé pour les expérimentations futures d'installer des mesures de températures des gaz selon l'axe longitudinal du tambour sécheur, de manière à corrélérer les émissions polluantes à ces températures. En terme d'intérêt pratique les problématiques consistent à aboutir à une évaluation technico-environnementale glo-

bale du procédé centrale d'enrobage pour permettre de mieux comprendre l'incidence des pratiques actuelles sur l'environnement afin de réduire les impacts dans les conditions industriellement acceptables et d'élaborer des méthodologies scientifiques conduisant à des solutions techniques intégrant un volet environnemental.

Les auteurs remercient Michel SCHEMID, chef du Parc Routier de la DDEA de Loir et Cher, et Jack OUDIN, directeur de la SEMR, pour leurs contributions tant matérielles qu'intellectuelles.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Monéron P., Jullien A., Ventura A., *Analyse des mesures d'émissions gazeuses sur le TSM 17 du Parc Routier de Blois – Inventaire de conditions de fabrication d'une grave bitume de classe 2, rapport de contrat n° TGCE/SDD/03-06, 55 p. +annexes, juin 2006.*
- Paranhos R. S., *Approche multi-échelles des émissions d'un procédé d'élaboration des enrobés à chaud, 294 p., février 2007.*
- Ventura A., Pierre Monéron, Agnès Jullien, Michel Schemid, Régis Paranhos, *Approche multi-échelle de la collecte des données sur une centrale d'enrobage, octobre 2005.*