

INFLUENCE DU MODE OPERATOIR EN LES EMISSIONS GAZ ET PARTICULES DANS UNE CHAUDIERE DOMESTIQUE PAR CHUTE

A. Martinez*¹, A. Coppalle², J. Yon³, C. Lacour⁴

Normandie University, INSA Rouen, UNIROUEN, CNRS, CORIA, 76000 Rouen, France
Martinea@coria.fr

TITLE

Influence of operation mode of a drop-feed-pellet domestic boiler on gaseous and particulate emissions

RESUME

L'objectif de cette étude est d'analyser l'influence du mode d'alimentation sur la qualité des émissions. Différentes méthodes d'alimentation sont considérées pour les expériences (alimentation pulsée et continue) dans une chaudière à granules avec une alimentation par chute de 20 kW. Les émissions gaz et particules ont été échantillonnées à proximité de la sortie de la chaudière. La concentration massique est mesurée avec un PPS et la taille des particules pour les particules submicronique grâce à un analyseur de diamètre de mobilité (SMPS). Enfin, un analyseur de gaz (TESTO) est utilisé. Les résultats montrent une augmentation des émissions entre 400 et 800 ppm de monoxyde de carbone dans le mode d'alimentation pulsé. Alors que les valeurs observées pour l'alimentation en continue étaient de 100 à 200 ppm. La taille typique des particules semble être comprise entre 50 et 60 nm, c'est-à-dire ses particules de suie ultrafines.

ABSTRACT

The goal of this study is to investigate the influence of the feeding mode on the quality of the emissions. Different feeding operating conditions are considered (pulsed and continuous alimentation) in a drop-feed-pellet boiler (20kW). Gaseous and particulate emissions were sampled at the vicinity of the boiler outlet. Mass concentrations is measured with a PPS and submicronic particle sizes thanks to a Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS). Finally, a gas analyzer (TESTO) is used. Results show an increase of the carbon monoxide emissions for pulsed feeding mode between 400-800 ppm, whereas the maximum pics observed for the continuous feeding were 100-200 ppm. The typical size for particles appears to be in the range 50-60 nm, i.e ultra-fine soot particles, for all the operating conditions.

MOTS-CLÉS : chaudière, particules, emission / **KEYWORDS**: boiler, particles, emission

1. INTRODUCTION

Due aux efforts de réduction des émissions de gaz à effet serre, l'utilisation de sources d'énergie alternative a augmenté dans les dernières années (Vicente, 2017). Parmi les sources d'énergie renouvelable, une des plus prometteuses est la biomasse. La biomasse résulte d'un processus biologique, spontané ou provoqué. C'est une matière utilisable comme source d'énergie (EL-Saved, 2018). La biomasse peut s'utiliser pour la production d'énergie par combustion directe ou comme moyen de production d'autres biocombustibles. La combustion de la biomasse est la plus utilisée actuellement par rapport aux autres techniques, à cause notamment de son utilisation pour le chauffage des bâtiments (Vicente, 2017). Il est souvent considéré que la combustion de la biomasse est un cycle vertueux dépourvu d'émission de CO₂ (Wielgosiński, 2017). Mais, en réalité, les fumées produites par la combustion de la biomasse sont un mélange hétérogène qui contient dans la phase gaz du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote (NO_x) et des particules. Les NO_x sont des contaminants qui ont des effets sur la santé et qui fonctionnent comme un catalyseur dans l'atmosphère pour la formation des autres contaminants. On trouve également des traces d'hydrocarbures imbrulés et parfois des oxydes de soufre dont la teneur dépend de la concentration initiale de soufre dans la biomasse et des températures rencontrées au court de la combustion. Dans les chaudières domestiques, différentes méthodes sont utilisées pour l'alimentation du foyer. Ils existent des chaudières qui sont alimentées par introduction des pellets par le bas de la chambre, d'autres par introduction par le côté ou encore par la chute des pellets. Le système le plus stable au niveau des émissions polluantes est celui dont l'introduction se fait par le bas comme montré par Qieu (Qieu, 2013). Actuellement, les fabricants de chaudières continuent d'utiliser les trois modes d'alimentation à cause des bénéfices spécifiques de chaque système. Notre système utilise une alimentation par chute pour laquelle les pellets sont légèrement chauffés avant d'atteindre la couche de braises. Dans le cadre d'une alimentation par chute, nous pouvons avoir un apport continu ou pulsé et cyclique. L'objectif de ce travail est de comprendre s'il y a des différences entre ces deux méthodes d'alimentation à chute et de mener une étude paramétrique sur les propriétés des fumées.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Les pellets utilisés

Nous avons choisi d'utiliser un pellet commercial avec les paramètres suivants, les paramètres sauf la concentration a été fourni par le fabricant, la concentration a été fait par TGA :

Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques du pellet

Diamètre	6mm±1	Azote	≤0.3%
Longueur	3.15-40mm	Soufre	≤0.03%
Humidité	6%	Chlore	≤0.02%
Cendres	≤0.7%	Carbonne	46.68%
Résistance mécanique	≥97.5%	Hydrogène	5.71%
Quantité de fines	≤1%		
additifs	≤2%		
PCI	4.6-5.3 kWh/kg		
Masse volumique	≥		
Origine	Bois vierge		

2.2. Banc d'essais

Le banc d'essais est représenté dans la figure 1. La chaudière a une puissance nominale de 20kW. La chambre de combustion dans la chaudière a approximativement les dimensions d'un cube de 15 cm de côté, L'ignition se fait par une résistance électrique qui est située en bas de la chambre de combustion, l'air entre dans la chambre par les 4 côtés, par des trous situés à différentes hauteurs. Cette disposition permet d'utiliser un étagement d'air. Les pellets sont manuellement chargés dans une trémie qui alimente une vis sans fin. Cette dernière travaille de deux façons différentes : pulsée ou en continu. L'alimentation pulsée travaille en cycles de 10 secondes de fonctionnement de la vis sans fin afin de réguler la température de la chaudière. Par exemple, si la chaudière travaille à 80% de la puissance nominale, la vis sans fin travail 8 secondes et s'arrête pendant 2 secondes. Dans l'alimentation en continue, le débit des pellets est régulé par la vitesse de rotation de la vis sans fin. Nous avons étalonné la vis sans fin, afin de déterminer la consommation de pellet. Nous pouvons contrôler le débit d'air entrant dans la chaudière à l'aide d'un ventilateur placé à la sortie de la chaudière pour extraire les fumées de la cheminée. La chaudière travaille donc en légère dépression et l'entrée d'air de combustion est faite par aspiration.

Notre installation dispose d'un dispositif de récupération de chaleur (figure 1). En sortie de la chaudière, l'eau circule en circuit fermé dans un échangeur de chaleur à plaques (E-1 sur la figure1), qui est refroidi par de l'eau extérieur. La vanne VT-1 est utilisée pour faire la régulation de la température d'entrée de l'eau dans la chaudière en mélangeant l'eau de sortie de la chaudière avec de l'eau refroidie par l'échangeur avant d'entrer dans la chaudière. La pompe P-1 est une pompe en ligne qui peut être régulée. Les débits d'eau (chaudière et refroidissement) sont mesurés grâce à 2 débitmètres magnétiques (D-1, D-2). Les mesures de débits et de températures permettent de faire un bilan thermique complet du banc d'essai afin de vérifier son bon fonctionnement. Il est possible de changer la circulation de l'eau dans la chaudière en changeant le débit de la pompe P-1. Dans le circuit de la chaudière, la température d'entrée et sortie de l'eau est mesurée par les thermocouples T5-T6, et dans l'échangeur de chaleur par T1 et T2, voir figure 1. Toutes les thermocouples sont type k avec 1 mm de diamètre. Il y a aussi un thermocouple type k de 0.25 mm dans la chambre de combustion pour pouvoir observer les variations rapides de température. Dans la cheminée il y a un thermocouple qui fait la mesure en continue de la température des fumées. Les sorties analogiques des thermocouples et des débitmètres sont transmises via un panneau A/D à l'ordinateur, en utilisant une carte National Instrument, la valeur moyenne de paramètres est calculée sur un seconde

Des expériences concernant la stabilité du fonctionnement de la chaudière et du système de récupération chaleur ont été réalisées. Il a été remarqué que, pour le deux types d'alimentation, la variation des paramètres du système (températures et débits) est faible (inférieure à 1%) en fonction du temps. Une fois le débit d'entraînement des pellets étalonné et la collection de chaleur quantifiée, la caractérisation des émissions a été entreprise. La composition des fumées est mesurée en continu. La concentration dans les fumées en O₂, CO₂, CO, NO, NO₂, NO_x et H a été déterminée en utilisant un analyseur de marque TESTO 350, avec un temps de réponse de 10 secondes. Le prélèvement gazeux est assuré par une sonde juste au niveau de la sortie des fumées de la chaudière. Les analyses de la concentration sont menées sans considérer la vapeur d'eau. Pour la mesure des particules, le prélèvement a été fait avec une sonde FPS (Marque Dekati) dans

laquelle nous pouvons faire une dilution spécifique, chauffer la sonde à une température fixée et restituer des échantillons à la pression atmosphérique. L'échantillon fourni par la sonde FPS est envoyé dans un analyseur PPS (Pegasor). Ce dernier permet de mesurer de façon résolue en temps la concentration massique des particules dans les fumées, mais nécessite une calibration qui a été fait par comparaison avec une microbalance (TEOM). Le temps de réponse du PPS est inférieur à une seconde. Pour la taille des particules on a utilisé un analyseur de diamètre de mobilité (SMPS 3080 de marque TSI).

3. RESULTATS

3.1. Emissions des particules et des gaz.

Pour les deux méthodes d'alimentation (pulsée et continue), la comparaison a été faite à puissance égale. Les températures de fonctionnement sont reportées dans le tableau 2. Pour le mode « pulsé », la puissance choisie correspond à 90% de la vitesse maximale de rotation de la vis sans fin. En mode continue, la vitesse de la vis a été adaptée afin de produire un débit de pellet identique.

Dans le tableau 2 le rendement de la chaudière est défini par le rapport entre la puissance U délivrée et la puissance apporté par les pellets (PCI, donné dans le tableau 1). On remarque que, à puissance égale, les rendements sont égaux. Mais il faut se rappeler que le régime pulsé est à 90% du régime nominal et donc proche du régime d'alimentation continu.

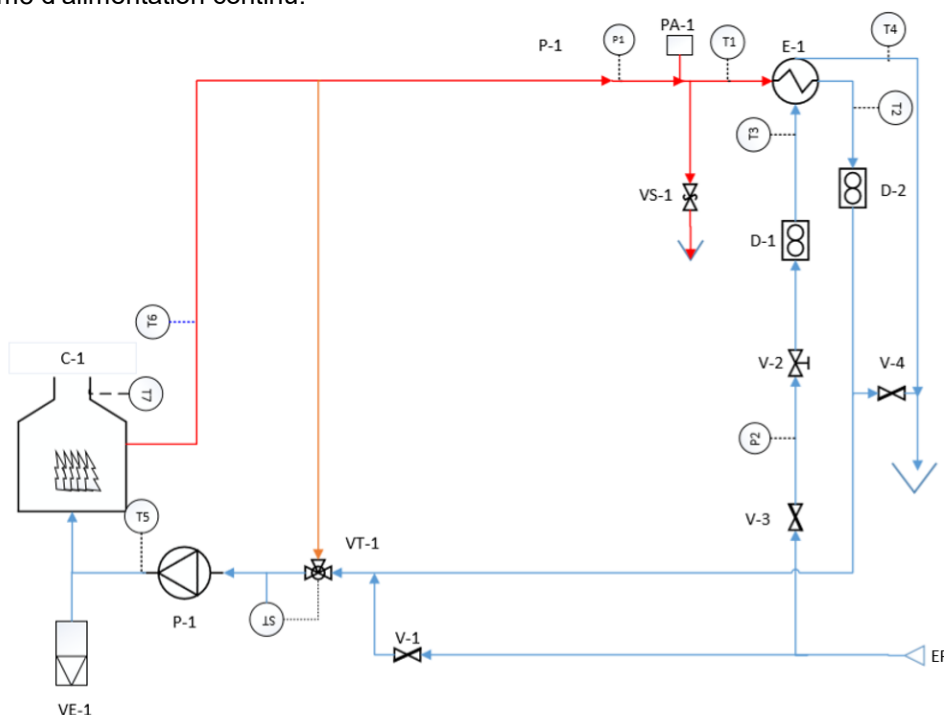


Figure 1. Configuration expérimentale

Tableau 2. Données expérimentales

Température	Continu	Pulsé
T1	61.88	61.99
T2	19.55	19.60
T3	16.52	16.53
T4	31.18	31.12
T5	54.30	54.21
T6	61.59	62.05
T7	149.22	150.57
Puissance U kWh/h	14.70	14.64
Rendement	0.65	0.63

Dans la figure 2, nous pouvons voir une comparaison entre les émissions de CO et de NOx, pour les deux régimes de fonctionnement. Nous observons que l'émission en CO est fortement variable dans le cas de régime pulsé, alors que pour les NOx il a peu de différence.

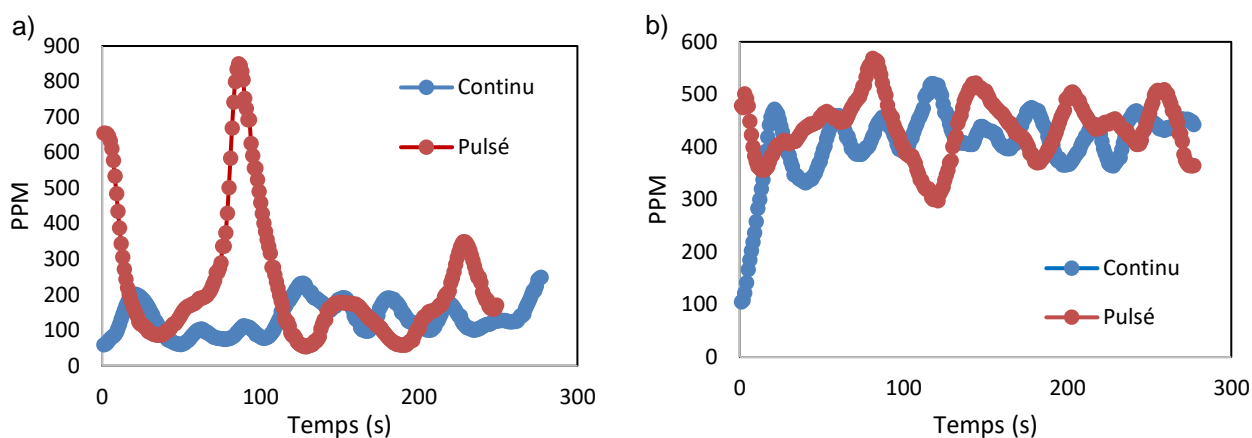


Figure2. a) Concentration de CO dans les fumées pour le mode en continu et pulsé b) Concentration de NOx dans les fumées

Sur la figure 3a, on peut observer les distributions en taille des particules. Pour la mesure de la taille des particules nous avons utilisé la sonde FPS avec une dilution de 38 et une température de la sonde de 200 °C. En la figure 3b nous pouvons voir la variation relative de la concentration des particules en fonction du temps déjà corrigé avec la dilution pour pouvoir comparé avec des valeurs des autres auteurs, pour les deux régimes d'alimentation. On observe que le régime d'alimentation n'a pas beaucoup d'influence sur les émissions en particules pour la puissance choisi (90% du nominal). D'autre part, nous observons que le mode d'émission des particules est de l'ordre de 50 nm, ce qui est faible comparé à d'autres types des particules générées par la combustion (moteur diesel par exemple).

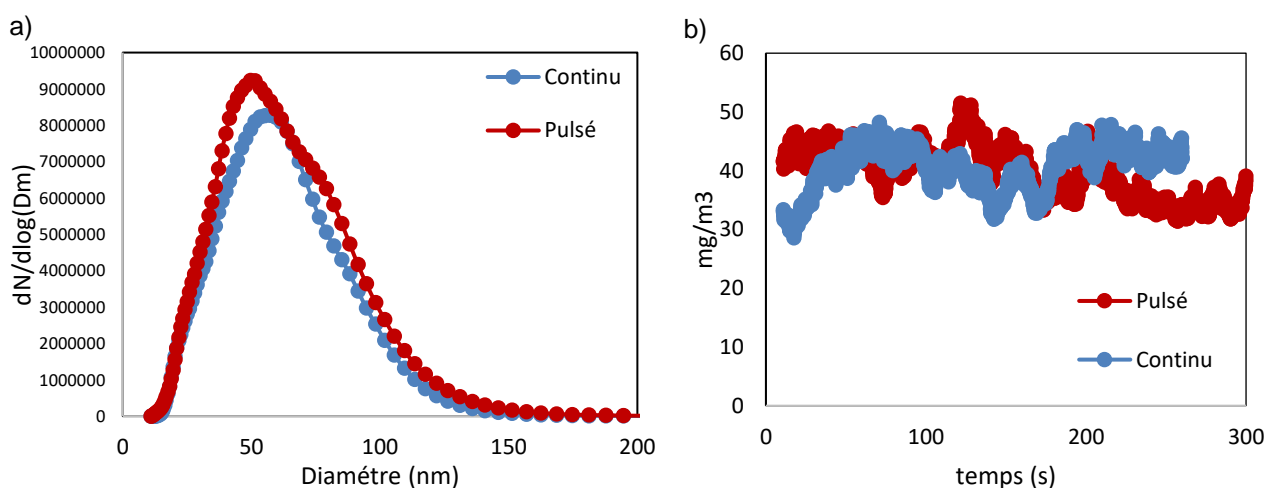


Figure3. a) Distribution de taille de particules submicroniques b) Concentration massique des particules

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous avons comparé nos résultats sur le niveau et la stabilité des émissions de CO avec ceux de Quiu (Quiu,2013) qui a utilisé une alimentation par le bas (les deux installations ayant la même puissance). Nos résultats montrent que, l'alimentation par chute et pulsée entraine plus des fluctuations sur les concentrations de CO qu'une alimentation par le bas. Ceci peut s'expliquer par l'altération de la couche de pellets en cours de combustion lors de la chute d'un groupe de pellets. En revanche, on constate que, pour le régime

d'alimentation par chute et continue, les fluctuations sont moins importantes et on retrouve les caractéristiques d'une alimentation par le bas. Dans le même cadre en faisant une comparaison avec les valeurs spécifiques de Qiu (Qiu, 2013), nous pouvons percevoir que nos valeurs de NOx sont élevées par rapport à ceux qu'il a trouvés mais en émission particules nous sommes beaucoup plus au-dessous de ses valeurs.

Pour les émissions en NOx, nous pouvons observer qu'il n'y a pas beaucoup de différences entre les deux modes d'alimentation, continue ou pulsé. On sait que les émissions NOx sont très sensibles à la température de la flamme et du foyer. Comme peu de différences entre l'alimentation pulsée et continue ne sont observées, cela semble indiquer que les températures dans la chambre de combustion sont proches. Nous observons la même tendance pour les particules, c'est à dire peu d'influence du mode d'alimentation sur l'intensité des fluctuations. D'autres travaux sont nécessaires pour améliorer la connaissance sur l'influence de la température sur les émissions particule.

En conclusion, les émissions de CO sont sensibles au régime d'alimentation, ce qui peut être relié à un effet d'empilement. Lors d'une alimentation irrégulière (en régime pulsé), l'augmentation brutale et intermittente en CO est certainement due au manque d'oxygène dans le centre du lit. Pour améliorer le système d'alimentation par chute, il faut favoriser un mode d'alimentation le plus continu possible.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- Qiu, Guoquan. "Testing of flue gas emissions of a biomass pellet boiler and abatement of particle emissions." *Renewable energy*50 (2013): 94-102.
- 2- Obaidullah, M., et al. "A review on particle emissions from small scale biomass combustion." *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* 2.1 (2012): 147-159.
- 3- Hamelinck, Carlo N., Roald AA Suurs, and André PC Faaij. "International bioenergy transport costs and energy balance." *Biomass and Bioenergy* 29.2 (2005): 114-134.
- 4-El-Sayed, Saad A., and M. Khairy. "An experimental study of combustion and emissions of wheat straw pellets in high-temperature air flows." *Combustion Science and Technology*190.2 (2018): 222-251.
- 5-Favez, Olivier, et al. "Evidence for a significant contribution of wood burning aerosols to PM2. 5 during the winter season in Paris, France." *Atmospheric Environment* 43.22-23 (2009): 3640-3644.
- 6-Hu, Zhongfa, et al. "Aggravated fine particulate matter emissions from heating-upgraded biomass and biochar combustion: The effect of pretreatment temperature." *Fuel Processing Technology*171 (2018): 1-9.
- 7-Khodaei, Hassan, et al. "Air staging strategies in biomass combustion-gaseous and particulate emission reduction potentials." *Fuel Processing Technology* 157 (2017): 29-41.
- 8-Vicente, E. D., and C. A. Alves. "An overview of particulate emissions from residential biomass combustion." *Atmospheric Research* 199 (2018): 159-185.
- 9-Wang, Xuebin, et al. "Effect of biomass/coal co-firing and air staging on NOx emission and combustion efficiency in a drop tube furnace." *Energy Procedia* 61 (2014): 2331-2334.
- 10-Wielgosiński, Grzegorz, Patrycja Łechtańska, and Olga Namiecińska. "Emission of some pollutants from biomass combustion in comparison to hard coal combustion." *Journal of the Energy Institute* 90.5 (2017): 787-796.
- 11-Wijayanta, Agung Tri, et al. "Optimized combustion of biomass volatiles by varying O2 and CO2 levels: A numerical simulation using a highly detailed soot formation reaction mechanism." *Bioresource technology* 110 (2012): 645-651.
- 12-Babu, B. V., and A. S. Chaurasia. "Modeling for pyrolysis of solid particle: kinetics and heat transfer effects." *Energy Conversion and Management* 44.14 (2003): 2251-2275.
- 13-Xue, Aijun, et al. "Pyrolysis model of single biomass pellet in downdraft gasifier." *Transactions of Tianjin University* 22.2 (2016): 174-181.