

Etude expérimentale d'un gazogène de type Imbert avec différents types de combustible bois.

Philippe AUDEBERT¹, Sébastien SAILLER¹

¹ Clermont Université, Université Blaise Pascal, EA 3867, Laboratoire de Mécanique et Ingénieries, BP 10448, F-63000 CLERMONT-FERRAND

Résumé - La présente communication décrit la gazéification dans un gazogène de type Imbert de plusieurs types de combustibles bois: plaquettes, granulés, morceaux de bois d'un point de vue expérimental avec le suivi des températures et l'analyse du gaz pauvre par chromatographie en phase gazeuse. Les résultats permettent de mieux cerner les paramètres de fonctionnement du gazogène: débit d'air, qualités du bois, optimisation du profil des températures, concentration des gaz à la sortie. Ces mesures ouvrent la voie d'un couplage optimum avec un groupe électrogène et le raccordement au réseau. Une bibliographie met en évidence d'une part l'actualité de la gazéification malgré son utilisation ancienne et d'autre part les recherches en cours dans ce domaine.

1. Introduction

La très forte augmentation des émissions de CO₂ avec comme conséquence l'élévation de la température moyenne de la Terre met au premier plan les techniques produisant de l'énergie thermique ou électrique avec une faible émission de CO₂. Parmi les solutions, l'utilisation de la biomasse et du bois en particulier comme source d'énergie pour la production d'électricité est d'actualité. Notre travail est de contribuer à la recherche de solutions viables tant d'un point de vue économique qu'environnemental, pour la production d'électricité de petite puissance (40 à 100 kW). Sur le principe les solutions existent (exemple : gazogènes pendant la Seconde Guerre Mondiale), mais nous souhaitons les examiner avec les moyens actuels d'investigations, de productions et de régulations et les contraintes règlementaires et environnementales actuelles. Cette communication présente les premiers résultats obtenus sur un gazogène de type Imbert.

2. Bibliographie

L'utilisation de la biomasse comme matière première pour l'industrie chimique ou la production d'énergie (électrique et thermique) est toujours d'actualité. Régulièrement des auteurs proposent un panorama de l'état de l'art dans ce domaine comme par exemple P. Mc Kendry [1] qui après une vue globale de la biomasse passe en revue les types de technologies utilisables pour finir sur le cas particulier de la gazéification. Parmi les deux techniques: lit fixe et lit fluidisé, cette dernière présente les avantages techniques d'assurer une production continue et des conditions de transferts de chaleur et de masse de qualité au sien de la matière ainsi la bibliographie sur cette technique est-elle beaucoup plus développée [2,3]. L'utilisation comme combustible pour la gazéification de déchets (bois de démolition, bois d'élagage, herbes, boues,...) présente l'avantage d'un coût de la matière première peu élevée mais le gaz obtenu a des proportions et des propriétés spécifiques, et le traitement des résidus (gaz, cendres et particules) peut poser de problèmes d'un point de vue environnemental [4]. L'étude de la pyrolyse éclair de solides divisés dans un réacteur continu [5,6] caractérise l'influence de la température et du taux d'humidité sur la pyrolyse-éclair des déchets ligno-cellulosiques (matériau, granulométrie, humidité, essence) et proposent des modèles pour prévoir les mécanismes mis en jeu: pyrolyse, compétition entre transfert de masse transfert de chaleur, production de goudrons, de particules.

L'utilisation courante de la chromatographie et de la spectrographie permet une analyse beaucoup plus fine des essais réalisés. L'analyse des principaux gaz en fin de gazéification (CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , ...) n'a besoin d'être aussi complète que R.J. Evans [7] pour apporter de précieuses informations sur le déroulement des phénomènes. La modélisation des systèmes de gazéification de la biomasse peut s'effectuer de façon plus ou moins complète. D. Brown et al. [8] propose une modélisation utilisant une description chimique très détaillée développée par R.J. Evans [7] un modèle utilisant les équilibres non stœchiométriques ainsi que les modèles de réseaux neuronaux [9]. U. Henriksen et al. [10] décrivent un gazéificateur deux étages de 75 kW et présentent les résultats du fonctionnement de celui-ci après 400h de marche. Les copeaux de bois sont introduits et préchauffés en partie supérieure par une vis sans fin ; l'air introduite est également préchauffée en co-courant par rapport au bois. Les niveaux de gaz obtenus sont les suivants: H_2 : 33%, N_2 : 29%, CO_2 : 20% CO : 16% et CH_4 : 2%. Les rejets de goudron sont faibles et bien maîtrisés dans un système de filtration. Y. Wang et al [11] présentent une étude de gazéification de plaquettes de cèdre avec l'évolution des caractéristiques des gaz obtenus en fonction de l'admission d'air, des niveaux de températures. La gazéification est physiquement partagée en deux: une zone de gazéification et une zone de reformage permet de réduire les goudrons par l'introduction d'air et de vapeur d'eau. La gazéification du bois par pulvérisation est une technique qui est également développée. N. Kobayashi et al. [12] décrivent cette technique en mettent en évidence le ratio de transformation O/C pour différents paramètres de la gazéification (température, teneur en air). Pour augmenter le pouvoir calorifique du gaz pauvre produit par gazéification, l'introduction de matière à base de calcium peut permettre de réduire la production de CO_2 . L'étude de P. Weerachanchai et al. [13] examine l'impact de différents matériaux dérivés de la chaux (calcined limestone, calcined waste concrete, silica sand) sur le niveau de CO_2 avec injection ou non de vapeur d'eau et suivant les niveaux de température. Les conséquences sur l'attrition, l'agglomération des résidus sont également examinés.

3. Présentation du gazogène et types de combustible utilisés.

Le gazogène expérimental (voir la figure 1) est de type Imbert à co-courant avec une partie centrale formée d'un venturi où se déroule la gazéification. La zone supérieure correspond à l'arrivée de l'air distribué par 8 orifices de 0,02 m de diamètre, une couronne permet de distribuer l'air sur les orifices de façon régulière; viens ensuite le bois sous différentes formes qui a été réchauffé puis le bois humide. Le gaz produit passe autour de ces zones pour être refroidi avant d'aller successivement dans un cyclone, un échangeur et un filtre. La partie basse du gazogène permet de recueillir les cendres et éventuellement les imbrûlés. Après le filtre, un extracteur permet de contrôler le débit d'air dans le gazogène. La quantité de bois déposée dans le gazogène est de l'ordre 20 kg pour un fonctionnement de 4 à 6 h.

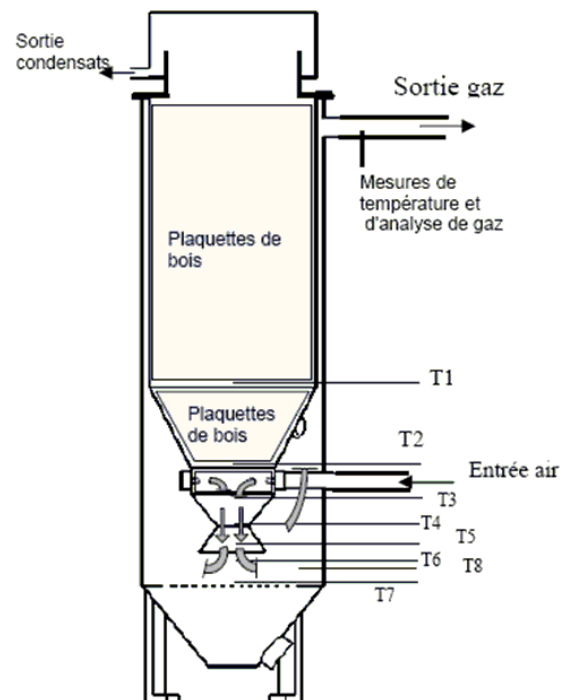


Figure 1: Gazogène expérimental

L'analyse des gaz se fait avec un chromatographe VARIAN μ GC 4900 à 2 voies. Une centrale d'acquisition AOIP LC20 permet d'enregistrer les températures au sein de gazogène (T1 à T8).

Plusieurs types de bois différents ont été utilisés dans cette étude. Dans un premier temps, des expérimentations ont été menées sur des plaquettes forestières de 0,02m x 0,01m x 0,004 m. Par la suite l'étude a porté sur l'utilisation de bloc de bois de taille diverse (de 0.11m x 0.055 m x 0.015 m à 0.11 m x 0.055 m x 0.055 m). Enfin le dernier type de combustible utilisé est composé de granulés de forme cylindrique de 6 mm de diamètre et 11 mm de longueur.

4. Résultats expérimentaux et caractérisation.

4.1. Analyse des températures.

La Figure 2 présente l'évolution de différentes températures au sein du gazogène pour les différents types de combustible utilisés au cours du temps.

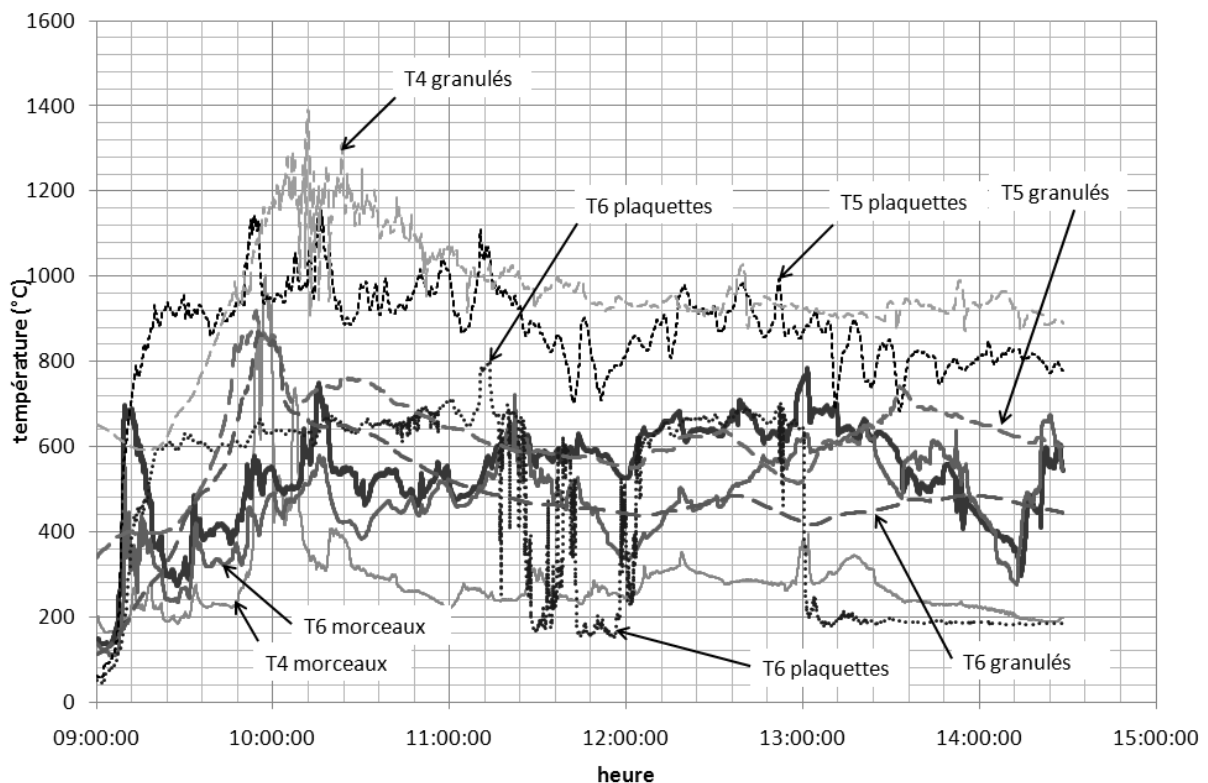


Figure 2: évolution des températures dans le gazogène

On peut voir que dans le cas de plaquettes forestières, le thermocouple 6 présente la température la plus élevée alors que dans le cas de morceaux de bois, la température la plus élevée est mesurée par le thermocouple 5. Ces deux mesures se situent dans la partie la basse l'anneau d'injection d'air, on peut en déduire que la pyrolyse du bois se déroule au niveau du col du gazogène soit au niveau de la mesure 4 de température. On peut aussi observer qu'une fois la phase de démarrage passée, le gazogène présente un profil de température relativement stable pour les plaquettes et les granulés (entre 10h30 et 12h30).

Cette différence entre la position de zone chaude peut aussi s'expliquer par la taille des combustibles, en effet, les plaquettes ont des dimensions telles qu'elles peuvent facilement s'écouler entre le haut et le bas du gazogène. Pour les morceaux de bois, les dimensions de ceux-ci sont telles qu'au niveau du convergent, une accumulation de combustible puisse se produire. Après pyrolyse d'une partie du bois, le combustible s'écoule vers le bas du gazogène entraînant la formation d'une voûte ; celle-ci explique les baisses de température observées au niveau du thermocouple 6. La Figure 3 présente l'évolution du profil de température du gazogène au cours du temps pour des morceaux de bois. On peut voir que celui-ci présente des variations. La Figure 4 quant-à-elle présente le profil des températures au sein du gazogène pour un combustible de type plaquettes et granulés.

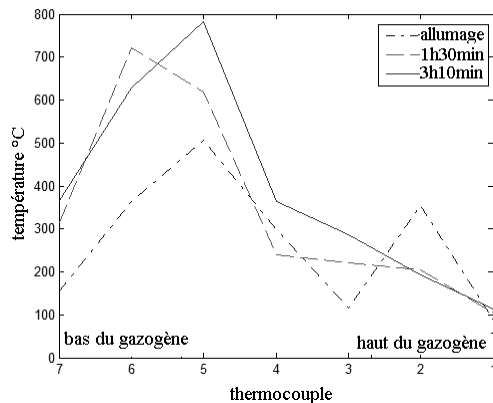


Figure 3 : évolution du profil de température du gazogène au cours du temps (morceaux de bois)

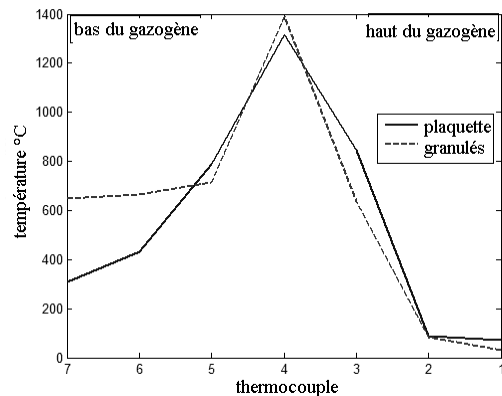


Figure 4 : profil de température au sein du gazogène ($t=1h10$ de fonctionnement)

Tout d'abord, sur la Figure 3, le pic de température est situé au niveau du thermocouple 4 soit au niveau du col du gazogène. Par la suite, lorsque le bois non consommé présente des dimensions compatibles avec le diamètre du col, il s'écoule vers le bas déplaçant ainsi la zone de pyrolyse vers le bas du gazogène. De même, on a pu observer un déplacement de la zone de pyrolyse vers le haut lorsque du bois non consommé s'écoule vers le bas du gazogène et reste bloqué au niveau du col. Ce comportement n'est pas observé dans le cas de plaquettes forestières puisque les plaquettes sont de dimension telle qu'elles peuvent se déplacer plus facilement vers le bas du gazogène permettant ainsi une meilleure définition de la zone de pyrolyse.

La géométrie du combustible est donc importante dans le fonctionnement du gazogène, en comparant les courbes de la Figure 2, on peut noter que l'utilisation de plaquettes entraîne une température mesurée plus importante que dans le cas de morceaux de bois. Ceci peut s'expliquer par le fait que les dimensions des plaquettes assurent un meilleur contact entre les thermocouples et la zone de pyrolyse, contrairement aux morceaux de bois dont l'empilement introduit des zones sans bois et donc non propices à la pyrolyse. Ce phénomène peut aussi être une cause des variations de températures importantes observées au cours du temps (les hautes températures correspondraient au contact entre le thermocouple et la zone de pyrolyse, et les faibles températures à des moments où une couche de gaz est présente entre le thermocouple et la zone de pyrolyse).

On peut voir que pour des combustibles de faibles tailles, le profil de température au sein du gazogène présente une allure identique. Une zone de haute température est présente au niveau des thermocouples 7 à 3 (c.-à-d. en dessous du col du gazogène) et une zone de températures plus faibles (thermocouples 2 et 1) correspondant à la zone où le bois est stocké et n'est pas consommé.

4.2. Analyse des gaz.

L'analyse des gaz en sortie du gazogène est effectuée grâce à l'utilisation d'un chromatographe en phase gaz (modèle Varian CP4900) équipé de deux voies d'analyse (Molsieve 5A et Poraplot Q) permettant de séparer les différents type de gaz. Les analyse de gaz sont effectuées avec une température au niveau des injecteurs de 110°C et une température de 100°C dans la colonne de type Molsieve et de 80°C dans la colonne de Type Poraplot. Les gaz vecteur utilisés sont l'hélium pour la colonne Molsieve et l'argon pour la colonne Poraplot. L'analyse ne porte que sur les composés gazeux intéressant pour notre étude, c'est-à-dire l'azote, l'oxygène, l'hydrogène, le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone et le méthane. Cette analyse de gaz effectuée périodiquement lors de la pyrolyse ne présente que très peu de variations de composition. Le Tableau 1 présente les pourcentages volumiques corrigés des gaz les plus importants obtenus par chromatographie en sortie du gazogène pour deux types de combustible différents (plaquette et granulés).

Composé	Temps de rétention (s)	plaquettes (%)	Granulés (%)
Vitesse entrée air		1,5 m/s	1 m/s
Taux d'humidité		15%	<8%
H ₂	55	9,4	8,15
N ₂	73	55,3	47,2
O ₂	65	0	0
CO	45	12,56	20,58
CO ₂	28	12,05	12,84
CH ₄	95	7,89	1,63
Autres (C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈)		2,77	9,58

Tableau 1 : pourcentage des composés en sortie du gazogène

Les expérimentations ont été effectuées en imposant la vitesse d'admission de l'air grâce à un extracteur. De part la géométrie du bois, l'écoulement de gaz à l'intérieur du gazogène peut être différent. Le Tableau 1 montre que la réaction de pyrolyse au sein du gazogène produit majoritairement du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone. On observe aussi une production de dihydrogène ainsi que de méthane. D'autres composés gazeux sont aussi formés lors des réactions, comme C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈.

Dans le cas de plaquettes forestières, on peut voir que l'on forme des quantités équivalentes de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone, alors que dans le cas de granulés, la production de monoxyde de carbone est plus importante que celle de dioxyde de carbone. De même, le pourcentage volumique d'azote en sortie du gazogène est plus important pour l'utilisation de plaquettes que pour celle de granulés. Ceci provient de la vitesse d'air en entrée plus faible, et induit l'augmentation de la production de monoxyde de carbone. L'utilisation de plaquettes forestières permet de former plus de méthane que dans le cas de granulés.

5. Conclusion

En conclusion, nous avons pu montrer que le gazogène permet de former, à partir de différents combustibles tels que plaquettes forestières, morceaux de bois, granulés, des gaz de pyrolyse variés: monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, hydrogène, méthane. L'humidité

du combustible n'entraîne pas de modification importante de la composition des gaz en sortie du gazogène.

Suivant le type de combustible utilisé, les ratios des différents gaz obtenus sont différents de même que le profil des températures au sein du gazogène. Pour un combustible dont les dimensions sont importantes, ici des morceaux de bois, les températures mesurées sont plus faibles (1000°C au maximum) que pour des combustibles plus petits (1400°C environ). De même une variation du profil des températures peut être observée pour un combustible dont les dimensions sont importantes. La taille du combustible a donc une grande incidence sur le fonctionnement du gazogène. En effet, un combustible de faible taille permet d'obtenir une zone de pyrolyse bien définie et qui ne se déplace pas au cours du process contrairement à un combustible de taille plus importante. Ceci est un avantage pour la surveillance et le contrôle du gazogène.

Références

- [1] P. McKendry, Energy production from biomass (part 1,2 and 3): overview of biomass, *Bioresource Technology* 83 (2002) 37–63
- [2] P. Garcia-Ibanez, A. Cabanillas, J.M. Sanchez, 2004, Gasication of leached orujillo (olive oil waste) in a pilot plant circulating fluidised bed reactor. Preliminary results, *Biomass and bioenergy* 27 (2004) 183-194
- [3] M.B.Nikooa, N. Mahinpeya, Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPENPLUS, *Biomass and bioenergy* 32 (2008) 1245-1254
- [4] A. Van Der Drifta, J. Van Doorna, J.W. Vermeulenb, Ten residual biomass fuels for circulating uidized-bed gasication, *Biomass and bioenergy* 20 (2001)45-56
- [5] J. Villermaux, F. Verzaro et J. Lédé, Pyrolyse-éclair de solides divisés dans un réacteur continu, *Revue Générale de Thermique* n° 227 (1980) p 861-860
- [6] B. Cagnon, X. Py, A. Guillot, F. Stoeckli, G. Chambat, Contributions of hemicellulose, cellulose and lignin to the mass and the porous properties of chars and steam activated carbons from various lignocellulosic precursors, *Bioresource Technology* 100 (2009) 292–298
- [7] R. J. Evans and T. A. Milne, Molecular characterization of pyrolysis of biomass. 1. fondamentals *Energy & Fuels* 1 (1987)
- [8] Brown,D. Fuchino,F. Maréchal, Solid fuel decomposition modelling for the design of biomass gasification systems, *16th European symposium on computer aided process engineering*(2006)
- [9] A.Gamil Azim Neural Networks for Solving Quadratic Assignment Problems, *Neural Information Processing-Letters and Reviews* Vol.10, No.3, (2006)
- [10] U.Henriksen, J. Ahrenfeldt, T.K. Jensen, B. Gobel, J.D. Bentzen, C. Hindsgaul, L.H. Sorensen, The design, construction and operation of a 75 kW two-stage gasifier, *Energy* 31 (2006)1542-1533
- [11] Y. Wang, K. Yoshikawa, T. Namioka, Y. Hashimoto, Performance optimization system for woody biomass. *Fuel Processing Technology* 88 (2007) 243-250
- [12] N. Kobayashi, M. Tanaka, G. Piao, J. Kobayashi, S. Hatano, Y. Itaya, S. Mori, 2009, High temperature air-blown woody biomass gasification model for the estimation of an entrained down-flow gasifier, *Waste Management* 29 (2009) 245-251.
- [13] P. Weerachanchai, M. Horio, C. Tangsathitkulchai, Effects of gasifying conditions and bed materials on fluidized bed steam gasification of wood biomass, *Bioresource technology*,100 (2009) 1419-1427