

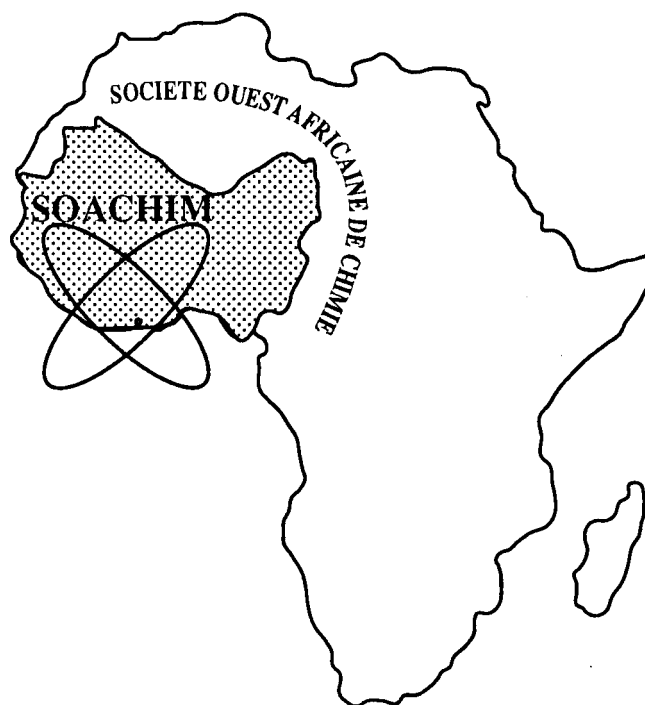
# *Analyse des gaz et des fumées issus d'un gazogène expérimentale couplé à un foyer alimenté à base de balle de riz*

**Oumar Sanogo, Ibrahim Harouna Gado , Tizane Daho,  
Serge Wendsida Igo**

*Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*

*J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2018), 046 : 15 - 22*

*23<sup>ème</sup> Année, Décembre 2018*



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2  
Cote INIST (CNRS France) : <27680>  
Site Web: <http://www.soachim.org>

## **Analyse des gaz et des fumées issus d'un gazogène expérimentale couplé à un foyer alimenté à base de balle de riz**

**Oumar Sanogo<sup>1</sup>, Ibrahim Harouna Gado<sup>2,\*</sup>, Tizane Daho<sup>3</sup>, Serge Wendsida Igo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies/Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (IRSAT /CNRST) – 03 BP 7047 Ouagadougou 03 Burkina Faso*

<sup>2</sup>*Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, BP: 465 MARADI, Niger*

<sup>3</sup>*Laboratoire de physique et Chimie de l'environnement – UFR/SEA – Université Ouaga I Joseph Ki-Zerbo – 03 BP 7043 Ouagadougou 03 Burkina Faso*

**(Reçu le 12/06/2017 – Accepté après corrections le 20/11/ 2018)**

**Résumé :** Un gazogène de type contre-courant a été utilisé pour la gazéification de la balle de riz dans la présente étude. Les gaz issus du gazogène ont été échantillonnés et analysés en ligne par chromatographie en phase gazeuse avant leur combustion dans un foyer. Après la combustion, les fumées sont aspirées puis analysées par chromatographie à phase gazeuse. Les taux spécifiques de gazéification (TSG) de  $152 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  et  $168 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  ont été utilisés pour les tests. La perte de masse des balles de riz, durant la gazéification, a été de l'ordre de  $46 \text{ g/mn}$ . L'analyse des goudrons avant la combustion a montré une prédominance du benzène et du toluène. Après la combustion, la majorité des goudrons ont été détruits. Les goudrons présents dans les fumées sont majoritairement constitués du Hydroxy acétone, o-xylène, naphthalène et 4-picoline. L'utilisation du TSG de  $152 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  a permis la destruction d'une plus grande quantité de goudrons. Par ailleurs la fraction du  $\text{CO}_2$  dans les fumées est plus faible pour le TSG de  $152 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$ . A défaut d'un redimensionnement du foyer, un TSG de l'ordre de  $150 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  doit être utilisé dans ce type de gazogène malgré le fort taux de CO observé lors de ce test.

**Mots clés:** gazéification, combustion, balle de riz, polluants

## **Analysis of the gases and smoke coming from an experimental gasifier coupled to a stove fed with rice husk**

**Abstract:** An updraft gasifier was used for the gasification of rice husk in the present study. The gases produced by the gasifier were sampled and analyzed on line by a gas chromatography before it's were burnt in a gas stove. After the combustion, the smoke are aspirated and then analyzed by gas chromatography. The specific gasification rates (TSG) of  $152 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  and  $168 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  were used for the tests. The mass loss of the rice husk during the gasification was approximately  $46 \text{ g/min}$ . Analysis of the tars composition before the combustion, has showed a predominance of benzene and toluene. After the gas combustion, the majority of the tars were destroyed. The tars in smoke are predominantly composed by Hydroxy acetone, o-xylene, naphthalene and 4-picoline. The use of TSG of  $152 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  allowed the destruction of more tars. Moreover, the fraction of  $\text{CO}_2$  in the smoke is lower for the TSG of  $152 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$ . In the absence of a rescaling of the stove, a TSG of the order of  $150 \text{ kg.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  must be used in this type of gasifier despite the high CO content observed during this test.

**Keywords:** gasification, combustion, rice husk, pollutants

---

\* **Auteur Correspondant :** E-mail address: [gado\\_foga@yahoo.fr](mailto:gado_foga@yahoo.fr) (Harouna Gado Ibrahim).

## 1. Introduction

Le bois de chauffe constitue près de 90% de l'énergie consommée pour la cuisson au Burkina Faso<sup>[1]</sup>. Les sources d'énergie moderne tel le gaz butane, ne sont pas disponibles, dans les zones rurales, et leur couts sont élevés malgré la subvention qui est fréquente dans beaucoup de pays africains. De plus, l'état tend à réduire la subvention progressivement. Il en résulte une augmentation soutenue des prix des combustibles modernes qui entraîne un appauvrissement des masses populaires vulnérables dans certains pays<sup>[2]</sup>. Ainsi, le bois de chauffe reste le combustible de choix de l'écrasante majorité de la population,<sup>[1-2]</sup>. Les foyers artisanaux utilisés sont rudimentaires et possèdent des faibles rendements. Plusieurs projets ont été initiés pour la conception, fabrication et diffusion des foyers améliorés. Récemment, la technique de la gazéification a été initiée pour valoriser les résidus agricoles, tel que la balle de riz. En effet, les ressources naturelles, y compris le bois, peuvent être utilisées de manière plus efficace et moderne. Près de 134 millions de tonnes de balle de riz sont produites annuellement dans le monde dont plus de 90% sont brûlés à l'air libre ou versés dans les rivières<sup>[3]</sup>. La valorisation de la balle de riz dans un système intégré de production de la chaleur et de l'électricité destiné à la filière de production du riz possède une grande efficacité énergétique et peut s'avérer assez rentable<sup>[4]</sup>. La présente étude s'inscrit dans le cadre de la gazéification des balles de riz pour les besoins de cuisson ou de chauffage. La gazéification consiste à la conversion d'un combustible solide en un combustible gazeux utilisable dans des foyers à gaz. Cependant, la combustion du gaz produit doit se faire en limitant la quantité des composés polluants, tels que les goudrons et le CO<sub>2</sub>. Plusieurs études ont été effectuées sur la gazéification des balles de riz<sup>[5-8]</sup>. L'étude sur la gazéification se limite souvent sur la détermination des conditions opératoires optimisant la qualité du gaz. Les études sur la combustion du gaz dans un foyer sont quasi-inexistantes, particulièrement pour le cas des balles de riz. Il ressort des rares études disponibles que la composition des fumées est fortement liée à la composition du gaz. Toutefois, le dimensionnement du foyer et la qualité du mélange d'air et du gaz jouent un rôle prépondérant sur la teneur des constituants des fumées<sup>[9]</sup>. L'émission des SO<sub>x</sub> est généralement négligeable lors de la combustion du gaz du fait de la faible teneur en soufre de la biomasse<sup>[10]</sup>. Les NO<sub>x</sub> augmentent si le prémélange combustible (air et du gaz) est riche en gaz<sup>[10]</sup>.

L'objectif de cette étude est d'analyser le taux de certains polluants dans les fumées en fonction des conditions opératoires de la gazéification. Les composés organiques volatiles (essentiellement composé des hydrocarbures aromatiques polycycliques...), le CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> sont les principaux polluants considérés dans l'étude. Le gazogène à lit fixe munie d'un foyer fabriqué localement a été utilisé pour les tests de gazéification. Ce type de gazogène a été largement développé dans la littérature, il est spécialement adapté pour les balles de riz dans les pays en voie de développement, comme le Burkina Faso<sup>[5]</sup>.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Balle de riz

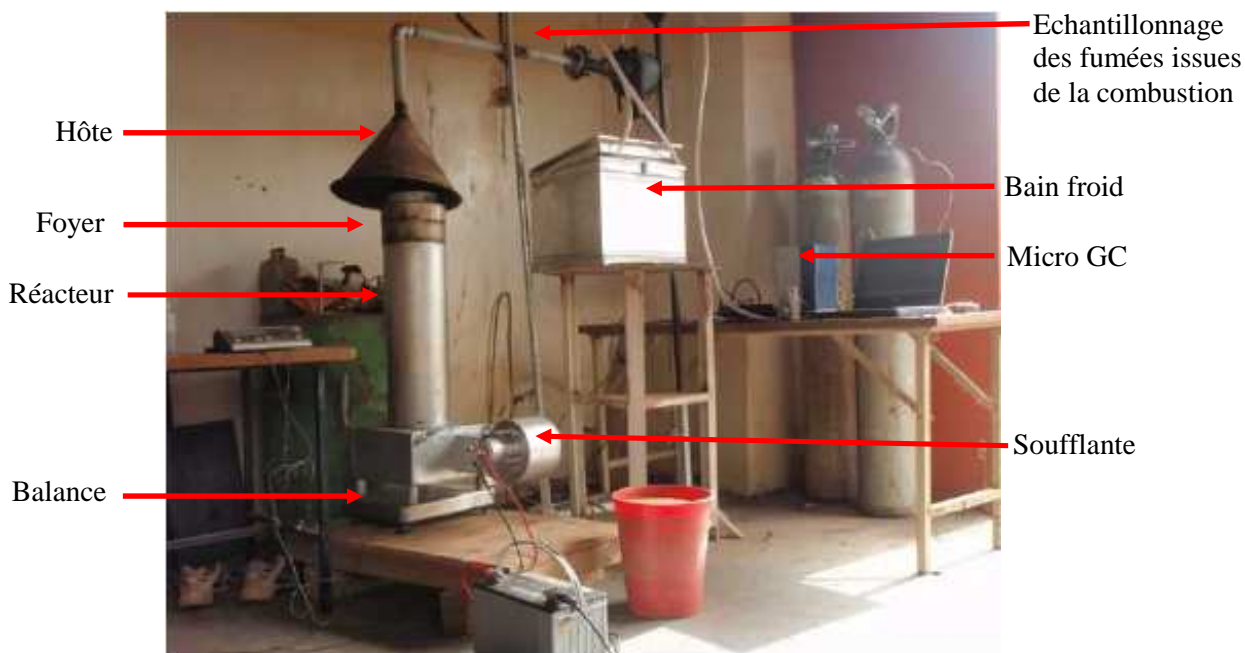
Les balles de riz utilisés dans la présente étude sont des résidus agricoles qui proviennent du décorticage du riz (**Figure 1**). De ce fait, les balles de riz sont disponibles en quantité importante et ne nécessite pas un grand conditionnement pour leur utilisation. Les balles de riz ont un pouvoir calorifique inférieur de l'ordre de 16,8 MJ/kg<sup>[11]</sup>.



**Figure 1** : Balles de riz utilisées

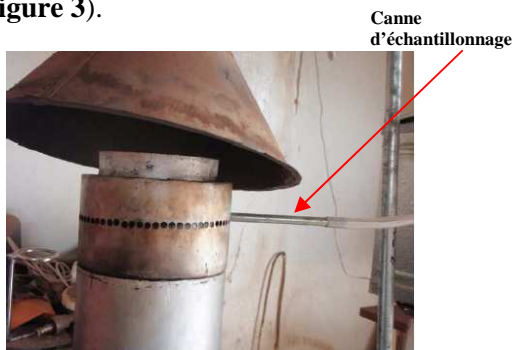
### 2.2. Matériels

Le réacteur et l'ensemble du dispositif expérimental de gazéification, sur lequel ont été effectuées les mesures, sont présentés sur la **Figure 2**. Le réacteur est positionné sur une balance permettant de suivre la perte de masse au cours de l'expérience. Un foyer est placé juste au-dessus du réacteur. Le dispositif a été équipé d'une hotte aspirante, afin de permettre d'une part, de canaliser les fumées en sortie du réacteur, et d'autre part, de condenser et d'analyser les gaz incondensables et les composés organiques volatiles (COVs) éventuellement présents dans les fumées.



**Figure 2 :** Réacteur équipé du système de prélèvement et d'analyse des fumées

Des essais de prélèvement en amont de la zone de combustion du réacteur ont été réalisés afin de connaître la composition des gaz issus de la réaction de gazéification. Ces expérimentations ont nécessité la mise en place d'un nouveau point de prélèvement au niveau de la tête du réacteur constituée par le foyer (**Figure 3**).



**Figure 3 :** Emplacement de la canne d'échantillonnage du gaz issu de la gazéification avant la combustion

### 2.3. Méthodes

Le mode opératoire consiste à remplir le gazogène de balle de riz. La réaction est initiée par le bas et la soufflante est activée pour l'alimentation en air du gaz par le bas. Il s'agit de ce fait d'une gazéification à lit fixe de type contre-courant. La soufflante dispose d'une petite plaque métallique permettant d'obstruer l'entrée d'air de manière à limiter le débit d'air. Deux manipulations ont été effectuées lors des travaux. Le premier test a été effectué en obstruant l'entrée d'air et le second a été effectué sans obstruction de l'entrée d'air. L'analyse des gaz incondensables est réalisée en

continu. La composition des gaz ainsi que la masse du réacteur ont été relevées toutes les 3 minutes pour le test 1 et toutes les 2 minutes pour le test 2.

L'analyse des gaz issus de la gazéification a été faite par chromatographie en phase gazeuse. Une micro-CPG VARIAN CP4900 équipée de 2 colonnes (CP-Poral PLOT et Molsieve 5A) et de deux détecteurs de type catharomètre (TCD). L'appareillage permet l'analyse en ligne des gaz suivant : azote, hydrogène, oxygène, monoxyde de carbone, méthane, dioxyde de carbone, éthane, éthylène. L'analyse des gaz après combustion a été faite par un analyseur de gaz de combustion de type TEMPEST 100. L'analyseur permet l'analyse de l'oxygène, du monoxyde de carbone, du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

Les composés organiques volatiles et l'eau présents dans les fumées ont été piégés dans des bulleurs maintenus à 0°C en présence d'un solvant organique (l'isopropanol). L'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans les fumées a été effectuée au laboratoire du CIRAD sur les échantillons liquides récupérés lors des prélèvements. Un chromatogramme couplé d'un spectromètre de masse de type agilent, a été utilisé à cet effet. La quantité d'eau présente dans les fumées est mesurée après condensation dans des bulleurs suivant la méthode Karl Fisher (méthode volumétrique). Un analyseur de type Karl Fisher CRISON volumétrique a été utilisé à cet effet. Les résidus des cendres issues des manipulations (**Figure 4**) ont été récupérés. L'analyse immédiate des échantillons

prélevés dans les cendres et les balles de riz a été effectuée.



**Figure 4 :** Evacuation de cendres accumulées en bas du gazogène après chaque test de gazéification

### 3. Résultats et analyses

#### 3.1. Analyse de la gazéification

Le **tableau I** présente les résultats de l'analyse immédiate sur les balles de riz et les cendres obtenues après la gazéification et les conditions expérimentales. Les conditions opératoires permettent le calcul du taux spécifique de gazéification (TSG) donné par l'équation 1. Le TSG donne la masse de la biomasse consommée par heure et par m<sup>2</sup> de la grille.

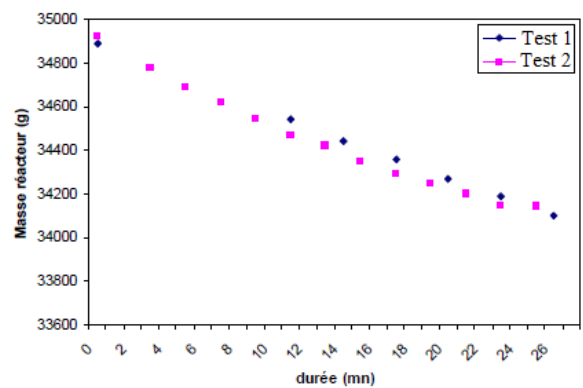
$$TSG = \frac{m_c}{t \times S_g} \quad (1)$$

$m_c$ ,  $S_g$  et  $t$  représentent respectivement la masse des balles de riz, la surface de la grille et la durée de la gazéification. Les résultats de l'analyse immédiate des balles de riz, sont proches de ceux obtenus dans la littérature [12]. Les résidus sont majoritairement constitués de cendres. De ce fait, les résidus sont difficilement valorisables sous forme de briquettes contrairement aux résidus issus d'un gazogène de type co-courant. Ceci est dû au fort taux de cendres contenues dans les balles de riz.

En effet, les cendres se retrouvent dans les résidus et augmentent la masse des résidus. De ce fait, la masse des résidus représente 32 % et 34 % de la masse de la balle de riz pour les tests 1 et 2 respectivement.

Les valeurs du TSG obtenues sont comparables à celles obtenues lors de la gazéification des balles de riz en mode co-courant [6]. La masse des balles de riz utilisée pour le test 2 est plus élevée par rapport à celle du test 1. Par contre, la durée du test 2 est faible. Par conséquent, le TSG du test 2 est plus grand lors du deuxième test. Plus le débit d'air augmente plus TSG augmente, [6,8]. En effet, plus de débit d'air est élevé plus la gazéification est plus rapide et plus la masse de la balle de riz consommée est plus importante. De ce fait, nous pouvons confirmer que le volume d'air est plus important lors du test 2 du fait que l'entrée d'air n'a pas été obstruée lors de ce test.

Les évolutions de la perte de masse lors des deux tests de la gazéification sont représentées sur la **figure 5**. La perte en masse est quasi-linéaire avec une pente moyenne de 46 g/mn pour les deux tests.



**Figure 5 :** Pertes de masse de l'ensemble du gazogène et de la charge lors du test 1 et du test 2 de la gazéification

**Tableau I :** Analyse immédiate (sur base humide) des balles de riz et des résidus de la gazéification et les conditions expérimentales des tests

Analyse immédiate					
Biomasse	Taux d'humidité (%)	MV (%)	TC (%)	CF (%)	
Balles de riz	6,1 ± 0,1	58,8 ± 0,2	22,2 ± 0,6	12,9 ± 0,9	
Résidus	3,1 ± 0,1	1,9 ± 0,1	83,1 ± 0,3	11,9 ± 0,5	
Conditions expérimentales					
Test	Masse balle de riz (g)	Durée Test (mn)	Durée échantillonnage (mn)	Masse résidus (g)	TSG (kg. h <sup>-1</sup> . m <sup>-2</sup> )
Test 1	1160	26	25	370	152
Test 2	1190	24	21	410	168

La composition du gaz issu de la gazéification est donnée dans le **tableau II**. La teneur importante en oxygène mesurée provient de l'air de fuite (provenant de la zone de combustion) et en partie de l'oxygène résiduel du gaz. De ce fait, les résultats sont difficilement comparables avec ceux de la littérature. Toutefois, la fraction du H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub> sont proches de certains résultats disponibles dans la littérature<sup>[13]</sup>. Notons que le test 2 est plus proche de l'optimum du fait de l'augmentation de la teneur

en H<sub>2</sub>, CO et la diminution du CH<sub>4</sub> observées lors de test 2 par rapport au test 1. Ceci confirme que le débit d'air est plus important lors du test 2, car plus le débit augmente plus les teneurs en H<sub>2</sub> et CO augmentent jusqu'à atteindre des valeurs optimales<sup>[14,15]</sup>.

Les résultats de l'analyse de la fraction condensable, composée de goudrons ou des HAP, sont reportés sur le **Tableau III**.

**Tableau II** : Composition du gaz issu de la gazéification avant la combustion

Test	Temps (min)	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	N <sub>2</sub>
Test 1	8	1,9	13,2	7,6	0,7	4,2	0,34	0,03	64,7
	16	1,8	13,9	6,8	0,6	3,7	0,29	0,03	65,4
	23	1,6	14,9	5,6	0,5	3,1	0,24	0,02	66,2
Test 2	2	2,8	14,2	6	0,5	2,9	0,18	0,01	64,8
	9	2,8	13,9	6,2	0,5	3,1	0,18	0,01	64,7
	16	2,8	13,9	6,3	0,5	3,2	0,19	0,01	64,5
	22	2,8	13,8	6,4	0,5	3,2	0,19	0,01	64,6

**Tableau III** : Nature et proportion de goudrons identifiés dans le gaz avant la combustion

Goudrons	Masse (µg)	Pourcentage (%)
Pyridine	1650,8	2,3
2-picoline	137,6	0,2
Phényléthylène	216,0	0,3
3-picoline	92,7	0,1
Benzofurane	2796,1	3,8
Indène	1290,1	1,8
Phénol	291,4	0,4
Gaïacol	56,0	0,1
2-Méthylindène	21,4	0,0
o-crésol	42,8	0,1
p-crésol	47,9	0,1
Quinoléine	29,6	0,0
4-picoline	74,4	0,1
2-cyclopentène-1-one	22,4	0,0
Naphthalène	2150,1	3,0
2-méthyl-naphthalène	83,6	0,1
1-méthyl-naphthalène	63,2	0,1
Acénaphthylène	38,7	0,1
Acénaphthène	16,3	0,0
Fluorène	22,4	0,0
Phénanthrène	28,5	0,0
Fluoranthène	60,1	0,1
Pyrène	67,3	0,1
Benzo(a)anthracène	26,5	0,0
Chrysène	18,3	0,0
Benzène	49244,2	67,8
Hydroxyacétone	802,0	1,1
Toluène	8509,7	11,7
Ethylbenzène	252,7	0,3
m+p xylène	431,0	0,6
o-xylène	191,6	0,3
Styrène	3896,7	5,4

**Tableau IV** : Constituants majoritaires des goudrons dans le gaz avant la combustion (% , massique)

Composé	Benzène	Toluène	Styrène	Benzofurane	Naphtalène	Pyridine	Indène
Fraction (% ,masse)	68	12	5	4	3	2	2

Les composés majoritaires des goudrons sont représentés dans le tableau IV. Le benzène et le toluène ont été identifiés par plusieurs auteurs comme étant les composés majoritaires des goudrons [16-18].

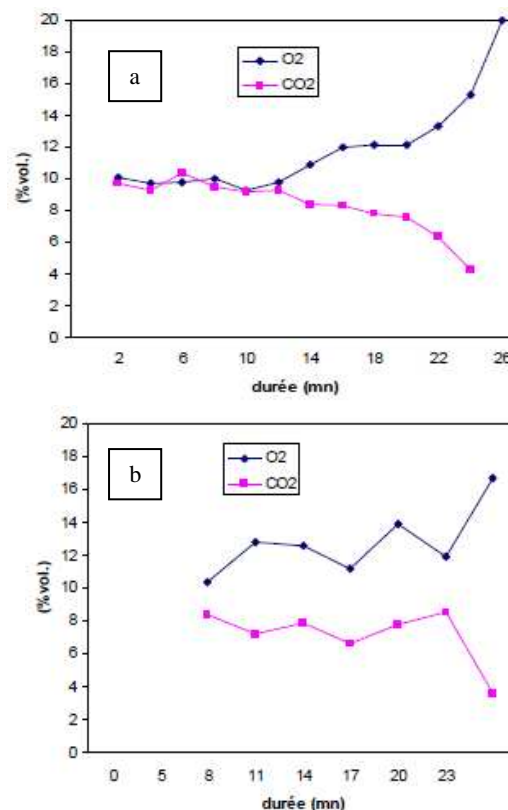
Le benzène ou le toluène sont souvent considérés comme modèle pour les goudrons. Pour le cas du présent réacteur, le benzène peut être considéré comme modèle des goudrons car il représente près de 70 % de la masse des goudrons. La production des goudrons n'est pas un problème pour un gazogène à contre-courant suivie d'un foyer. Cependant, une partie des goudrons peuvent se retrouver dans les fumées après combustion. Ceci peut causer des impacts environnementaux non négligeables. Des analyses sur les goudrons résiduels après la combustion ont été présentées dans la section suivante.

### 3.2. Analyse de la combustion

La composition des fumées est donnée par les figures 6 et 7. La composition des fumées est plus stable durant 17 mn et 13 mn pour les tests 1 et 2 respectivement. Les fractions volumiques du CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> sont proches de celles obtenues par d'autres auteurs [19]. Le taux d'oxygène résiduel des fumées issues du test 1 est supérieur au taux d'oxygène du test 2. De ce fait, la combustion du gaz issu du test 1 se fait avec un plus grand excès d'air. Ceci entraîne une dilution des fumées et des faibles proportions de certains composants tels que le CO<sub>2</sub>. Par ailleurs, la température est plus élevée et peut entraîner un meilleur craquage des goudrons. Toutefois, les fractions volumiques du NO<sub>x</sub> et NO<sub>2</sub> augmentent avec la température. Compte tenu de l'excès d'air, des fractions similaires du NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> ont été obtenues lors des deux tests malgré une probable augmentation des quantités de NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>.

La fraction du CO est plus faible dans le test 2. Ceci peut s'expliquer en partie par le TSG plus élevé lors du test 2. En effet, plus le TSG est élevé plus le débit d'air est élevé et le taux du CO et H<sub>2</sub> du gaz augmente [13]. Un gaz riche en CO et H<sub>2</sub> réduit la probabilité de production du CO après la combustion dans un brûleur [9].

Par conséquent un taux plus faible du CO peut être obtenu lors du test 2 bien que l'excès d'air doit être plus faible.



**Figure 6** : Pourcentages volumiques du CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> des fumées issues de la combustion du gaz en fonction du temps : test 1 (a) ; test 2 (b)

Toutefois, d'autres auteurs ont montré la diminution du CO en fonction de l'excès d'air lors de la combustion [20, 21]. La forte teneur en CO observée lors du test 1 est probablement due à une instabilité de la combustion vue l'instabilité du taux de O<sub>2</sub> résiduel et du CO<sub>2</sub> durant la combustion.

Le tableau V résume les émissions moyennes lors de la combustion des gaz issus de la gazéification pour le test 1 et le test 2.

Les émissions du CO<sub>2</sub> sont supposé neutre lors la combustion de la biomasse contrairement aux autres polluants dont les quantités émises doivent être réduit au maximum. Pour le cas du CO et du NO<sub>2</sub>, l'organisation mondiale de la santé a fixé des limites d'expositions en milieu confiné résumé dans le tableau VI [22]. Le taux de NO<sub>2</sub> obtenue dans la présente étude est au-dessus de la limite de 0,11 ppm.

Cependant les valeurs de la fraction du NO<sub>2</sub> ainsi que celles du NO<sub>x</sub> et NO sont très faibles et proches de celle obtenues durant l'incinération de la balle de riz [23].

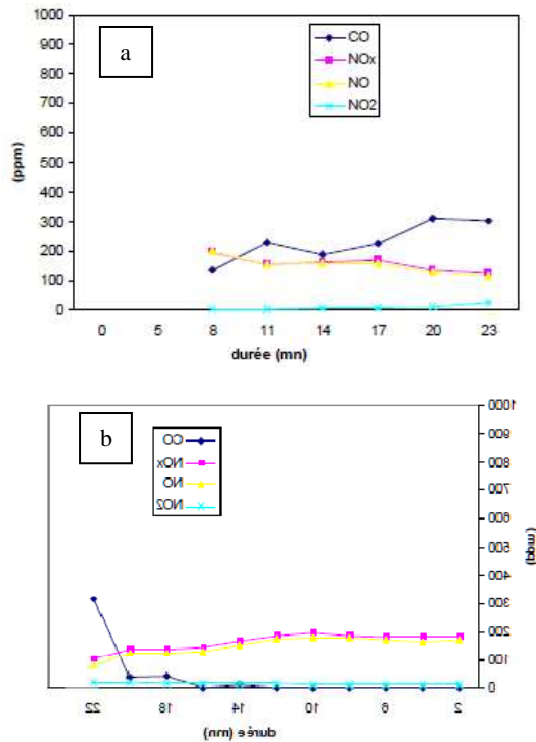


Figure 7 : Fractions volumique du CO, NO<sub>x</sub>, NO et NO<sub>2</sub> dans les fumées issues de la combustion en fonction du temps. (a) : test 1 ; (b) : test2

Les émissions du CO sont largement en-dessous de la limite pour le cas du test 2. Par contre pour le test 1, un taux moyen de CO égale à 233 ppm a été obtenu, soit plus de deux fois la limite. De plus, ce taux est supérieur à celui obtenu par d'autres auteurs lors de la combustion de la balle de riz dans un incinérateur à lit fluidisé<sup>[23]</sup>. Ainsi la combustion du gaz n'est pas plus émettrice de CO, NO<sub>2</sub>, NO et NO<sub>x</sub> que la combustion direct de la balle de riz. Toutefois, l'obstruction de l'entrée d'air (TGS= 152 kg.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>) lors de la gazéification a entraîné une forte production du CO lors de la combustion.

Tableau VI : Limite d'exposition en milieu confiné du CO et NO<sub>2</sub><sup>[22]</sup>

Tableau V : Moyenne des émissions lors de la combustion des gaz suivant le test 1 et le test 2

Test	TSG (kg. h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO (ppm)
test1	152	7.3	12.9	233	170	5	168
test2	168	8.4	11.1	40	173	8	170

Tableau VI : Limite d'exposition en milieu confiné du CO et NO<sub>2</sub><sup>[22]</sup>

Durée d'exposition	15 minutes	1 heure	8 heures	24 heures
CO (ppm)	87,5	30,6	8,73	6,11
NO <sub>2</sub> (ppm)	-	0,11	-	-

La figure 8 présente les masses des composés organiques volatiles (µg par MJ de la balle de riz) dans les fumées lors des deux tests. Une faible

masse des HAPs est obtenue suite à la combustion du gaz. La majorité des goudrons ne sont plus présents que sous forme de trace, dans les fumées issues des deux tests de gazéification. C'est le cas du benzène, styrène, toluène... Les principaux HAPs présents dans les fumées sont l'hydroxyacétone, o-xylène, naphthalène et 4-picoline. Le o-xylène et 4-picoline sont surtout présents dans les fumées issues du deuxième test. Notons que l'acénaphthylène est aussi présent dans les fumées issues du premier test. La masse totale des goudrons obtenus lors de la combustion du test 2 est deux fois plus élevée que celle du test 1. Ainsi, la combustion du gaz du test 1 est meilleure que celle du test 2 car elle émet moins de HAP.

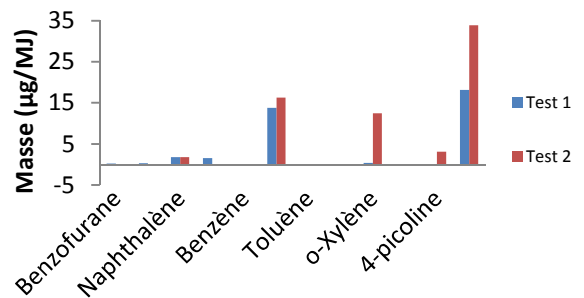


Figure 8 : Nature et quantité des COVs identifiés dans fumées issues de la combustion des gaz

Malgré une meilleure gazéification, les gaz issus du deuxième test brûlent mal dans le foyer. En effet, un mauvais prémélange d'air et du gaz dû à une faible quantité d'air, admise lors de la combustion, entraîne une combustion incomplète et des produits de divers types de composé organiques volatiles<sup>[24]</sup>. La combustion directe de plusieurs types de biomasses a donné des résultats similaires qui ont montrés une augmentation considérable des HAP lors de la combustion avec un défaut d'air<sup>[25]</sup>. Le rapport entre le gaz et l'air doit être proche d'une valeur optimale pour permettre une bonne combustion dans ce type de gazogène<sup>[14]</sup>. De ce fait, un meilleur dimensionnement du foyer (alimentation en air) doit être revu pour des débits d'air important (en gardant ouverte l'entrée d'air) dans ce type de gazogène.

#### 4. Conclusion

La gazéification est une voie prometteuse pour améliorer la fourniture en énergie moderne dans les pays africains. Des travaux sur la gazéification des balles de riz ont été entrepris dans le présent travail. Un banc d'essai constitué d'un gazogène fonctionnant en mode contre-courant et d'un dispositif d'analyse du gaz et des fumées. Les



prélèvements effectués ont permis d'identifier un certain nombre de composés organiques présents dans le gaz et les fumées en sortie du réacteur de gazéification et du foyer. Les goudrons majoritaires contenus dans le gaz sont le benzène (68%), toluène (12%), styrène (5%), benzofuran (4%) et naphthalène (3%). Le restant est constitué d'une trentaine de composés organiques. Les résultats obtenus indiquent qu'une très grande partie des composés organiques issus de la gazéification de la balle de riz est éliminée au niveau de la zone de combustion du réacteur. La combustion du gaz, à un faible TGS de  $152 \text{ kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ , a permis l'élimination de la plus part des goudrons. Cependant, un taux de CO largement supérieure à la norme a été obtenu lors de la gazéification avec un faible TGS ( $152 \text{ kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ) contrairement à la gazéification avec un TGS plus élevé ( $168 \text{ kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ). Pour les NO, NO<sub>x</sub> et NO<sub>2</sub> des taux similaires ont été obtenus lors des tests de gazéification. Les résultats ont montré la nécessité d'un meilleur ajustement des entrées d'air du foyer pour assurer une bonne combustion du gaz dans un tel gazogène.

#### Références

- [1] Ouedraogo B. Household energy preferences for cooking in urban Ouagadougou, Burkina Faso. *Energy Policy* (2006) 34, 3787–3795.
- [2] Oyerinde OU, Fawehinmi AS. Household Energy in Nigeria: The challenge of pricing and poverty in fuel switching. *Journal of Energy and Development* (2002) 27(2), 277–284.
- [3] Isabel Q, Navia R, Kahhat R. Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review. *Waste Management* (2017) 59, 200-210.
- [4] Murugan PC, Joseph SS. Species – Transport CFD model for the gasification of rice husk (*Oryza Sativa*) using downdraft gasifier. *Computers and Electronics in Agriculture* (2017) 139, 33–40.
- [5] Alexis TB. Rice husk gas stove handbook. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Philippines (2005).
- [6] Anil KJ, John RG. Determination of reactor scaling factors for throatless rice husk gasifier. *Biomass and Bioenergy* (2000) 18, 249-256.
- [7] Natarajan E, Nordin A, Rao AN. Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. *Biomass and bioenergy* (1998) 14, 533-546.
- [8] Valentino MT, Bryan MJ, John RG. Optimum specific gasification rate for static bed rice hull gasifiers. *Biomass and Bioenergy* (1996) 11(1), 51-62.
- [9] Whitty KJ, Zhang HR, Eddings EG. Emissions from syngas combustion. *Combustion Science and technology* (2008) 180(6), 1117-1136.
- [10] Van Loo S, Koppejan J. The Handbook of biomass [11] combustion and co-firing. Earthscan, London Sterling VA, (2008).
- [12] Alvarez J, Lopez G, Amutio M, Bilbao J, Olazar M. Bio-oil production from rice husk fast pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Fuel* (2014) 128, 162–169.
- [13] Peng F, Song H, Jun X, Weiming Y, Xueyuan B, Lushi S, Sheng S. Evolution of char structure during steam gasification of the chars produced from rapid pyrolysis of rice husk. *Bioresource Technology* (2012) 114, 691–697.
- [14] Mandl C, Obernberger I, Biedermann F. Modelling of an updraft fixed-bed gasifier operated with softwood pellets. *Fuel* (2010) 89, 3795–3806.
- [15] Xuebin W, Ben N, Shuanghui D, Yuanyi L, Houzhang T. Optimization study on air distribution of an actual agriculture up-draft biomass gasification stove. *Energy Procedia* (2014) 61, 2335 – 2338.
- [16] Darmawan A, Anggoro CF, Muhammad A, Koji T. Integrated system of rice production and electricity generation. *Applied Energy* (2018) 220, 672–680.
- [17] Zhang RZ, Chun-Yuan L, Ren-Hao Y, Jia D, Yong-Hao L. Experimental and kinetic study of the NO-reduction by tar formed from biomass gasification, using benzene as a tar model component. *Fuel Processing Technology* (2011) 92, 132–138.
- [18] Mirella V, Claire C, Alain K. Toluene steam reforming as tar model molecule produced during biomass gasification with an iron/olivine catalyst. *C. R. Chimie*(2010) 13, 1319–1325
- [19] Swierczynski D, Claire C, Alain K. Study of steam reforming of toluene used as model compound of tar produced by biomass gasification. *Chemical Engineering and Processing* (2008) 47, 508–513.
- [20] Dion LM, Mark L, Valérie O, Caroline C. Biomass gasification and syngas combustion for greenhouse CO<sub>2</sub> enrichment. *BioResources*(2013) 8(2), 1520-1538.
- [21] Snehasish P, Niraj KM, Subhash CM, Muthukumar P. Numerical and experimental analyses of LPG (liquefied petroleum gas) combustion in a domestic cooking stove with a porous radiant burner. *Energy* (2016) 95, 404 – 414.
- [22] Murari MR, Kenny WC. An experimental study of combustion and emissions of biomass briquettes in a domestic wood stove. *Applied Energy* (2012) 99, 206 – 212.
- [23] World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants”, Geneva: Switzerland World Health Organization (2010).
- [24] Feng D, Chiensong C, Yucheng C, Jim T. Pollutant emission characteristics of rice husk combustion in a vortexing fluidized bed incinerator. *Journal of Environmental Sciences* (2013) 25(2), 335–339.
- [25] De Nevers N. Air pollution control Engineering. Mc Graw-Hill, Boston (2000).
- [26] Rozanna A, Robin N, Robert L, Christoffer B, Roger W. Particulate hydroxy-PAH emissions from a residential wood log stove using different fuels and burning conditions. *Atmospheric Environment* (2016) 140, 1 - 9.