

Estimation de la réduction des émissions de dioxyde de carbone par les méthodes CCT et WBT: Cas des foyers de cuissons en R.D. Congo.

Lomena M. A^{*1}, Ndaye N. B.¹, Ilenda T. C.¹, Mulu K. T.¹, Bakajika K.Z.¹, Kola D.P.¹

Paper History

Received:
October 18, 2016

Revised:
March 3rd, 2017

Accepted:
April 20, 2017

Published:
September 2017

Keywords:

Greenhouse gases, certify emission reduction, CER, carbon credit ,Improved cookstove, controlled cooking tests (CCT), water boiling tests (WBT)

ABSTRACT

Estimation of the carbon dioxide emission reduction based on CCT and WBT methods: a study case of cooking stoves in the D.R. Congo.

Wood is the main source of households energy needs in many developing countries. Introduction and dissemination of “improved cookstoves” that burn biomass more cleanly and efficiently help to mitigate deforestation which is known today as one of the most important sources of greenhouse gases in sub-Saharan regions. Implementation of AMS II G small-scale methodology of the Clean Development Mechanism of the United Nations Framework allows calculation of wood and carbon dioxide savings of improved cooking stoves based on different options of performance tests. In this paper comparison between carbon dioxide savings based both on Controlled Cooking Tests and on Water Boiling Tests was applied systematically on eight models of stoves in use in the two biggest cities of the Democratic Republic of the Congo (Kinshasa and Lubumbashi/ex-Katanga). In all cases, CCT based calculations on “improved cookstoves” lead to CO₂ savings between 20 and 40% higher than WBT based results. The “battery stove” appeared to be a less efficient or “non- improved cookstove” as it presents unlike other devices CO₂ savings higher in WBT. Finally, this study provides data showing that in a carbon finance project, stoves performance assessment limited to the WBT can lead to false conclusions. Specific consumption and time to cook in CCT are additional criteria to ensure cookstoves pollutants mitigation potential

¹Institut Supérieur des Techniques Appliquées ISTA-Kinshasa CERERK : Avenue Aérodrome N° 3930 Commune de Barumbu B.P. 6593 Kinshasa 31

* To whom correspondence should be addressed: augustinlomena@gmail.com, lomena.mulenda@ista.ac.cd

INTRODUCTION

Le bois est la principale source d'énergie de nombreux ménages des pays en développement en général et ceux de l'Afrique sub-saharienne en particulier. En conséquence, la déforestation et la dégradation des forêts autour des grandes agglomérations constituent les plus importantes sources des émissions des gaz à effet de serre [CHRISTOPH A. R. et al. 2008 ; CIRAD;SHRIMALI G., 2011].

La consommation annuelle de bois, à Kinshasa (10 millions d'habitants) et à Lubumbashi (2,7 millions d'habitants) en République Démocratique du Congo peut être estimée au-delà des 3 millions de tonnes [CIRAD, 2011 ; INS, 2014]. Par ailleurs, les prévisions soutiennent que cette consommation essentiellement sous forme de charbon de bois au cours des prochaines années dans les deux plus grandes villes du pays, va continuer à augmenter surtout en raison de l'accroissement démographique et du niveau de pauvreté élevé [MCCARTHY N. et al ;MD. SHAWKAT I. S., 2008 ;MECNT RDC, 2009 ; SCHORREJ, et al, 2011].

Pour atténuer les impacts de la surconsommation du bois sur l'environnement dans le monde, plusieurs stratégies ont été adoptées [WETSHOFF B. et al, 1995 ; GACC ALLIANCE, 2016]. Parmi elles, la diffusion des foyers améliorés et des moyens de cuisson propres, lesquels ont permis depuis quelques années de

réduire la consommation de combustibles ligneux et les émissions polluantes (CO₂, CO, particules fines,..).

Les calculs des réductions des émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation de bois d'origine non renouvelable sur les foyers de cuisson sont faits en recourant à la méthodologie AMS-II G inscrite dans le Mécanisme de Développement Propre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) [UNFCCC, 2014]. Ainsi certains projets peuvent générer des crédits carbone particuliers appelés CERs (Certified Emission Reductions), et ces derniers peuvent à leur tour aider à atteindre les objectifs fixés au Protocole de Kyoto, ou encore être vendues sur les marchés du carbone. Soulignons qu'un crédit-carbone est l'unité qui correspond à une tonne de GES exprimée en équivalent CO₂ évité.

La réduction des émissions de CO₂ d'un foyer par rapport au scénario de référence ne dépend pas seulement des caractéristiques techniques du prototype amélioré mais aussi de la procédure mise en œuvre pour en évaluer les performances énergétiques. La méthode la plus simple pour mesurer l'efficacité des foyers est le Test d'Ébullition d'Eau en anglais Water Boiling Test(WBT) [PCIA, 2014]. Le test consiste à simuler la cuisson des aliments en chauffant en différentes phases une quantité donnée d'eau. Comme test de laboratoire, le WBT ne permet pas de saisir la

complexité d'une vraie cuisine Bailis R. et al. [2007A, B] ont d'ailleurs montré que les mesures de laboratoire ne corroborent toujours pas avec les véritables mesures sur terrain évaluées à partir des Kitchen Performance Tests (KPT). Entre les KPT très coûteux et les WBT, il est possible de recourir à des Tests de Cuisine Contrôlée ou Controlled Cooking Tests (CCT) [BAILIS R., 2004]. Ceux-ci approchent le fonctionnement réel d'un foyer qui cuisine un repas standard dans des conditions contrôlées de laboratoire.

L'objectif de ce papier est d'estimer les réductions des émissions de CO₂ par différents modèles de foyers utilisés à Kinshasa et Lubumbashi, soit, de quelle manière varient les résultats de deux méthodes différentes de tests des performances énergétiques (CCT ou WBT) et quelles interprétations donner aux écarts dans un projet de finance carbone ?

MÉTHODES DE CALCUL DES ÉMISSIONS.

Pour estimer les réductions des émissions du CO₂ par les foyers de cuissons à Kinshasa et à Lubumbashi, on a eu recourt à la méthodologie AMS II-G qui montre que la quantité des émissions du CO₂ réduite par an et par foyer notée ERy est [UNFCCC, 2014],

$$ER_y = B_{(y,savings)} \times f_{(NRB,y)} \times NCV_{biomasse} \times EF_{(pr)} \times N_{(y,i)} \quad (1)$$

- ER_y (Tonnes de CO₂ par foyer et par année) : Quantité des émissions du CO₂ réduite par an et par foyer
- B_(y,savings) : Quantité annuelle de bois économisé par foyer calculable à partir des données des tests KPT, CCT ou WBT
- f_{NRB,y} : Fraction de bois économisé par le projet au cours de l'année y, considérée comme de la biomasse d'origine non-renouvelable. Sa valeur spécifique par défaut est 0,90
- NCV_{biomasse} : Pouvoir calorifique inférieur de la biomasse d'origine non renouvelable substituée. La valeur par défaut de l'IPCC (Intergovernmental Panel on climate Change) est 0,015 TJ/tonne
- EF_{projected profil fuel} : Facteur d'émission des combustibles fossiles en remplacement de la biomasse d'origine non renouvelable. Sa valeur par défaut est celle de la méthodologie AMS II-G
- N_{y,i} : Nombre de foyers en opération durant l'année, soit 81,6 CO₂/TJ, c'est la valeur du projet

Dans cette relation, le tonnage annuel de l'équivalent de bois économisé dépend de la méthode du test.

La méthode Controlled Cooking Test (CCT) est un test de laboratoire réalisé en préparant une version standardisée d'un repas local [BAILIS R., 2004 ; 2007A ; BAILIS R. et al, 2007B]. Les tests de cuisson contrôlée suivent le protocole du Partnership For Indoor Clean Air [PCIA, 2013]. Ils consistent à mesurer la quantité de charbon consommée et le temps qu'il a fallu pour terminer la cuisson. La consommation spécifique est calculée comme la quantité de charbon utilisée ramenée à la quantité de nourriture préparée. Elle est exprimée en g de combustible par kg de nourriture (g.kg⁻¹).

Les tests CCT ont pour finalité de dégager l'économie en combustible du foyer amélioré par rapport au modèle de référence. L'économie en combustible ou amélioration (%) à l'issue des CCT au laboratoire est déterminée par la formule suivante:

Economie en combustible (%) =

$$(1 - \frac{\text{Poids combustible utilisé par le Foyer Amélioré}}{\text{Poids combustible utilisé par le Foyer de Référence}}) \times 100 \quad (2)$$

Dans la méthode des Controlled Cooking Tests (CCT) [BAILIS R., 2004], le tonnage annuel de l'équivalent de bois économisé en sigle BySavings par rapport au scénario de référence est :

$$B_{(y,Savings)} = B_{old} - B_{(y,new,CCT)} \quad (3)$$

Avec :

B_{old} et B_(y,new,CCT) : les tonnages annuels de l'équivalent de bois consommé par le modèle de référence (foyer traditionnel) et celui consommé par le nouveau foyer étudié (l'un des modèles améliorés). Notons qu'on peut aussi déterminer le tonnage annuel de l'équivalent de bois économisé à l'aide de la formule:

$$B_{(y,Savings)} = B_{old} \times \text{change \%} \quad (4)$$

Avec

change (%) : L'amélioration ou l'économie du foyer en combustible.

Dans la méthode des Water Boiling Tests en sigle WBT, le tonnage annuel de l'équivalent de bois économisé par rapport au scénario de base est décrit par la relation,

$$B_{(y,Savings)} = B_{old} \times (1 - (n_{old}/n_{(new,y)})) \quad (5)$$

Avec :

et : le rendement thermique du foyer traditionnel en phase haute-puissance et celui du nouveau foyer.

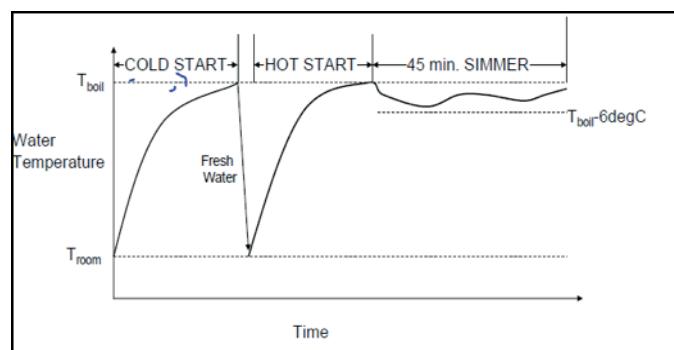


Figure 1| Evolution de la température durant les trois phases du WBT [N. MACCARTY, 2014]

Faisons remarquer que la méthode du Water Boiling Test (WBT), en français Test d'Ébullition d'Eau (TEE) est un test de laboratoire dont le principe consiste à mesurer l'efficacité avec laquelle un foyer utilise du combustible pour chauffer de l'eau dans une marmite et d'autre part la quantité des émissions nocives produites pendant la cuisson [PCIA, 2014]. Le test se déroule en trois phases dont : la phase de démarrage à froid (cold start), la phase de démarrage à chaud (hot start) et la phase de basse-puissance ou phase de mijotage(simmer). Les deux premières phases sont dites phases haute-puissance. La méthode est donc une simulation simplifiée du processus de cuisson. La **Figure 1** donne l'évolution de la température de l'eau durant les trois phases d'un test WBT.

L'efficacité énergétique ou rendement thermique en phase haute-puissance (en anglais High Power Thermal Efficiency) est le ratio entre la chaleur transmise à la marmite pour porter l'eau à ébullition (chaleur utile) et la chaleur totale libérée par le combustible. La consommation spécifique en mijotage (Low Power SpecificConsumption) est le rapport entre la quantité de combustible consommé et la quantité d'eau chauffée par unité de temps.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Foyers de cuisson exploités à Kinshasa et à Lubumbashi testés

En RDC, la population urbaine recourt au bois comme ressource énergétique des ménages, notamment 90% de la population de Kinshasa et de Lubumbashi [CIRAD ; SCHORREJ, et al, 2011]. Les foyers à charbon de bois testés au CERERK /ISTA dans le cadre de cette étude sont présentés dans les **Figure 2** et **3**. Les tôles utilisées pour la construction des foyers traditionnels sont souvent

récupérés des épaves de véhicules ou des usines. A part les foyers traditionnels, les kinois exploitent aussi les foyers améliorés dont : le foyer KINSTOVE (PPN) fabriqué localement par l'ASBL « Pourquoi Pas Nous : PPN ». C'est un foyer de modèle JIKO avec une insertion céramique d'argile. Il fut introduit depuis deux ans sur le marché à Kinshasa et il est commercialisé à un prix plus abordable par

rapport aux foyers importés. Le foyer PRAKTI (Figure 2c) produit en Inde par la société PRAKTI Design est l'un des premiers foyers améliorés importés à avoir été mis sur le marché de Kinshasa à travers la SNV. Le modèle testé PRAKTI LC 06/13 de 23 X 23 X 17 cm est un foyer en acier inoxydable et la grille coulée en fonte [BOSSUET et al, 2013]. Une enquête effectuée par l'Organisation



a



b



c



d

Figure 2| Les foyers de cuisson de Kinshasa testés au CERERK-ISTA Kinshasa: **(a)** Traditionnel de Kin; **(b)** Foyer KINSTOVE (PPN); **(c)** Foyer PRAKTI LC 06/13; **(d)** Foyer à piles.



a



b



c



d

Figure 3| Les foyers de cuisson du Katanga testés au CERERK-ISTA Kinshasa: **(a)** Traditionnel de Lubumbashi; **(b)** JIKO MAMA AFRICA; **(c)** JIKO AD VV; **(d)** HALT BANK

Tableau 1| Fréquences d'utilisation des foyers de cuisson à Kinshasa [CIRAD, 2011]

Type de foyer de cuisson	Brasero traditionnel	Foyer traditionnel à Trois pierres	Brasero à piles	Foyer amélioré
Fréquence (%)	73	14	9	4

Tableau 2| Caractéristiques physico-chimiques et composition du charbon de bois de Mampu [CERERK, OCTOBRE 2014]

Densité (kg.dm ⁻³)	Humidité (%base humide)	Matières Volatiles (% base sèche)	Cendres (%base sèche)	Pouvoir calorifique (MJ. kg ⁻¹)
0.365	7	98	2	27

Néerlandaise de Développement SNV [DELHONGA, 2015] a montré qu'une fois adopté, le foyer amélioré entre dans les habitudes de consommation des ménages. Certaines innovations qui apparaissent auprès des artisans de Kinshasa comme les braseros à piles (**Figure 2d**) permettent d'utiliser des petits morceaux de charbon et de réduire les coûts de combustible .Pour rendre possible la combustion du charbon à des dimensions très réduites, le foyer est équipé d'une ventilation forcée au moyen d'un petit moteur d'environ 3 milliwatts généralement alimenté par 3 piles sèches de 1,5 V (d'où le nom de « foyer à piles »).

Le **Tableau 1** donne la tendance de l'utilisation des foyers de cuisson à Kinshasa en 2011 parmi différents modèles de foyers de cuisson répandus. Il montre que le modèle le plus utilisé est le braséro traditionnel (73%). Toutefois les braseros traditionnels ont des rendements énergétiques médiocres.

Les foyers de cuisson exploités à Lubumbashi sont regroupés sur la **Figure 3**. Le foyer métallique sur la **Figure 3a** est le braséro traditionnel de Lubumbashi. Les trois autres foyers sur les **Figures 3b, 3c et 3d** sont utilisés dans la même ville et dans

**Figure 4| Echantillon de charbon de bois de l'essence Acacia**

plusieurs autres endroits dans l'ex-Province du Katanga. Ces foyers sont les modèles JIKO avec une isolation thermique en argile. Ces foyers ont été fabriqués et développés en 2015 par des artisans

**Figure 5| Le Portable Emissions Measurement System PEMS. auriculiformis venant de Mampu**

dans l'ex-Province du Katanga grâce à l'appui du programme de développement du secteur privé Elan RDC.

Caractéristiques du charbon de bois utilise comme combustible

Le charbon de bois utilisé pour tester les foyers dans le cadre de cette étude a été fabriqué artisanalement à partir de l'essence Acacia auriculiformis à Mampu, une localité du plateau de Batéké. La **Figure 4** montre les échantillons du dit charbon de bois de Mampu. C'est un charbon noir luisant, dur et de texture feuilletée. Le **Tableau 2** reprend sa composition et ses caractéristiques physico-chimiques. Ces données ont été obtenues au cours du mois d'octobre 2014 au laboratoire du CERERK-ISTA hormis le pouvoir calorifique inférieur du charbon de bois dont la valeur a été tirée de la littérature [PCIA, 2014].

Equipement pour les tests WBT.

C'est le Portable Emissions Measurement System (PEMS) d'APROVECHO montré à la **Figure 5**.

Méthodologie

Pour tester les foyers échantillons, le protocole suivi est le protocole WBT 4.2.3 de la GACC complété par les directives « Guidelines for Testing Charcoal Stoveswith WBT 4.2.2. » [GACC, 2013].

RÉSULTATS

Résultats de la méthode Controlled Cooking Tests

Les Tests de Cuisine Contrôlée ou CCT sur les foyers de Kinshasa ont été réalisés durant les mois de septembre, octobre 2014 et juillet, août 2015 au CERERK-ISTA Kinshasa. Le mets préparé était un plat de riz suivi de celui de haricot à la sauce, très prisé à Kinshasa. La nourriture était suffisante pour répondre aux besoins d'une famille de 7 personnes, taille moyenne que nous avons adoptée pour les milieux urbains en R.D.Congo [INS, 2014].

Les CCT sur les foyers de Lubumbashi ont été aussi réalisés au mois de février 2015 au CERERK de l'ISTA/Kinshasa. Le repas préparé conforme aux habitudes de Lubumbashi était composé de « Ugali + Sombe ou feuille de manioc + Poisson salé (Bitoyo) » suffisant aux besoins de 7 personnes comme justifié ci-haut.

La même recette est reprise plusieurs fois en prenant soin de permutez les foyers après chaque test entre les différentes ménagères.

Les résultats détaillés des tests CCT sur foyers de cuisson de Kinshasa et de Lubumbashi sont respectivement repris dans les **Figures 6 et 7**. Sur les axes, on a repris le temps de cuisson t_c (min) et la consommation spécifique du combustible par unité de masse de la nourriture préparée Csc (gKg^{-1}).

Le **Tableau 3** synthétise les principaux résultats des tests CCT dont : les valeurs statistiques (moyenne et écart type) des consommations spécifiques du combustible (Csc), les temps de cuisson et le nombre des tests effectués sur chaque foyer noté n .

Définissons la consommation annuelle comme la quantité de combustible utilisée pour cuire un repas sur un foyer traditionnel multiplié par le nombre de jours. Comme les tests ont dégagés qu'une ménagère à Kinshasa dépense en moyen, 5 kg de

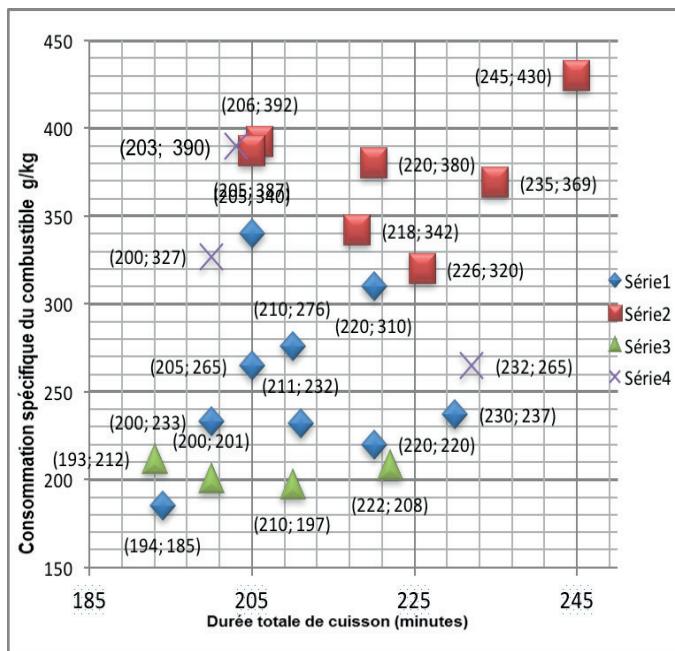


Figure 6| Comparaison des résultats des CCT sur différents foyers de Kinshasa

Série1 : Foyer PPNS
Série2 : Traditionnel
Série3 : Foyer Prakti
Série4 : Foyer à piles

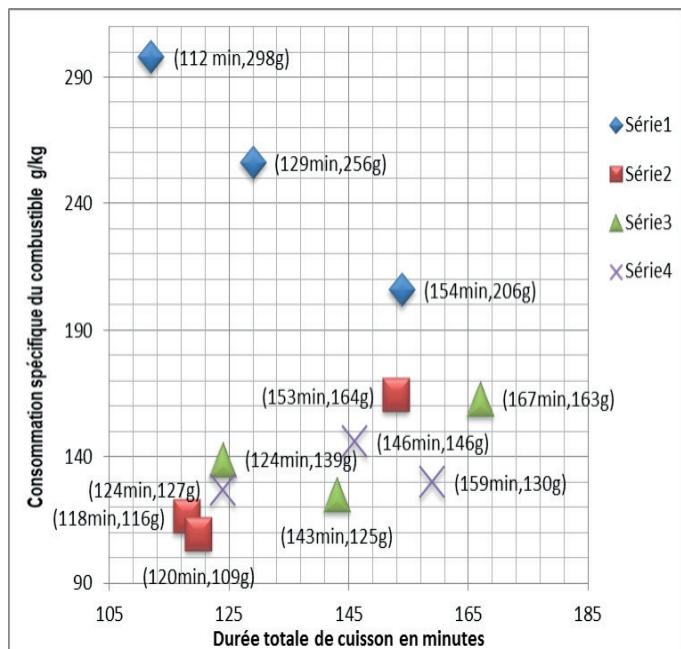


Figure 7| Résultats des CCT sur différents foyers fabriqués à Lubumbashi

Série1 : Brasero traditionnel
Série 2 : JIKO MAMA
Série 3 : HALT BANK
Série 4:JIKO ADVV

Tableau 3b| Principaux résultats des tests CCT sur les foyers de Lubumbashi

Type de foyer	Traditionnel	JIKO MAMA	JIKO ADVV	HALT BANK
n	7	3	3	3
C _{sc} (g.Kg ⁻¹)	253±46	130±30	134±19	142±10
t _c (min)	132±21	130±20	143±22	147±18

Tableau 3a| Principaux résultats des tests CCT sur les foyers de Kinshasa

Type de foyer	Traditionnel	PRAKTI	KINSTOVE PPN	FOYER A PILE
n	7	4	9	9
C _{sc} (g.Kg ⁻¹)	374±36	205±7	255±48	327±63
t _c (min)	222±15	206±13	211±11	212±18

Tableau 4a| Amélioration (%) du temps de cuisson et de la consommation spécifique en CCT.

Modèle	Traditionnel	PRAKTI	KINSTOVE PPN	foyer à piles
Temps de cuisson (min)		-7	-5	-5
Consommation spécifique (%)	-	45	31	13

Tableau 4b| Amélioration (%) du temps de cuisson et de la consommation spécifique en CCT.

Modèle	Traditionnel	JIKO MAMA	JIKO ADVV	HALT BANK
Temps de cuisson (min)		2	-8	-11
Consommation spécifique (%)	-	49	31	13

charbon de bois sur le braséro traditionnel pour apprêter un repas d'environ 4 Kg composé de « riz + haricot à la sauce ». A ce rythme, sa consommation annuelle de charbon de bois atteint 0,548 tonne.

Les mêmes tests CCT sur foyers de Lubumbashi ont dégagé que pour un repas de 5 kg de « Ugali + Sombe + Poisson salé » (cake à base de farine de manioc + une recette à base de feuille de manioc + une recette de poisson salé) pour 7 personnes, les ménagères utilisent en moyenne 1,25 Kg de charbon de bois sur le foyer traditionnel de Lubumbashi. La consommation annuelle de charbon de bois atteint 0,456 tonnes. L'équivalent de bois consommé vaut 2,281 tonnes.

Les Tableaux 4a et 4b reprennent le change en fonction du

temps. Ces valeurs sont les accroissements en pourcentage que marque chacun des foyers par rapport au scénario de référence (braséro traditionnel). Les variations positives de la consommation spécifique tout comme les variations négatives dans la durée de cuisson correspondent évidemment à des améliorations.

Notons que l'amélioration de la consommation spécifique ou économie en combustible est déductible de la relation :

$$\text{change (\%)} = (1 - C_{(s,cold)} / C_{(s,cnew,y)}) \times 100 \quad (6)$$

Cette dernière en fonction de la durée de cuisson devient

$$\text{change (\%)} = (1 - t_{cold} / t_{(cnew,y)}) \times 100 \quad (7)$$

Des valeurs de l'économie de combustible (change %) dans les Tableaux 4a et 4b et des relations (6) et (7), on montre que le

Tableau 5a| Tonnage annuel de bois économisé By,sayings par rapport au braséro traditionnel sur la base des tests CCT à Kinshasa

Foyer de cuisson amélioré	PRAKTI	KINSTOVEPPN	FOYER A PILES
B _{y, saying} (tonne)	1,229	0,850	0,355

Tableau 5b| Tonnage annuel de bois économisé By,sayings par rapport au braséro traditionnel sur la base des tests CCT à Lubumbashi

Foyer de cuisson amélioré	JIKO MAMA	JIKO ADVV	HALT BANK
B _{y, saying} (tonne)	1,106	1,071	1,002

Tableau 6a| Principaux résultats des tests WBT sur les foyers de Kinshasa

Type de foyer	Traditionnel	PRAKTI	KINSTOVE PPN	FOYER A PILE
h _{thhp} (%)	24,9±1,3	39,8±1,8	36,2±1,9	32,4±0,9
C _{scbp} (MJ.min ⁻¹ .L ⁻¹)	0,035±0,00	0,005±0,00	0,009±0,00	0,014±0,00

Tableau 6b| Principaux résultats des tests WBT sur les foyers de Lubumbashi

Type de foyer	Traditionnel	JIKO MAMA	JIKO ADVV	HALT BANK
h _{thhp} (%)	23,7±1,5	39,4±3,1	35,8±2,1	34,5±0,9
C _{scbp} (MJ.min ⁻¹ .L ⁻¹)	0,05±0,00	0,014±0,00	0,013±0,00	0,008±0,00

Tableau 7a| Amélioration du rendement thermique pour les foyers de Kinshasa.

Modèle	Traditionnel	PRAKTI	KINSTOVE PPN	foyer à piles
Change (%)	-	37	34	23

Tableau 7b| Amélioration du rendement thermique amélioré pour les foyers de Lubumbashi.

Modèle	Traditionnel	JIKO MAMA	JIKO ADVV	HALT BANK
Change (%)	-	40	31	31

Tableau 8a| Tonnage annuel de bois économisé By,sayings, WBT par rapport au braséro traditionnel sur la base des tests WBT à Kinshasa

Foyer de cuisson amélioré	PRAKTI	KINSTOVEPPN	FOYER A PILES
B _{y, saying} (tonne)	1,023	0,853	0,628

Tableau 8b| Tonnage annuel de bois économisé By,sayings, WBT par rapport au braséro traditionnel sur la base des tests WBT à Lubumbashi

Foyer de cuisson amélioré	JIKO MAMA	JIKO ADVV	HALT BANK
B _{y, saying} (tonne)	0,909	0,771	0,714

tonnage annuel de l'équivalent de bois économisé sur chaque foyer de Kinshasa et de Lubumbashi est :

$$B_{y,Sav} \text{ CCTKin} = 2,735 - B_{y,new,CCT} = 2,735 \times \text{change} (\%) \quad (8)$$

$$B_{y,Sav} \text{ CCT Kat} = 2,281 - B_{y,new,CCT} = 2,281 \times \text{change} (\%) \quad (9)$$

Le **Tableau 5** rassemble les tonnages de bois économisés au regard des résultats des CCT.

Résultats de la méthode Water Boiling Tests

Les WBT ont suivi le protocole 4.2.3 sous le PEMs du laboratoire du CERERK à l'ISTA/Kinshasa.

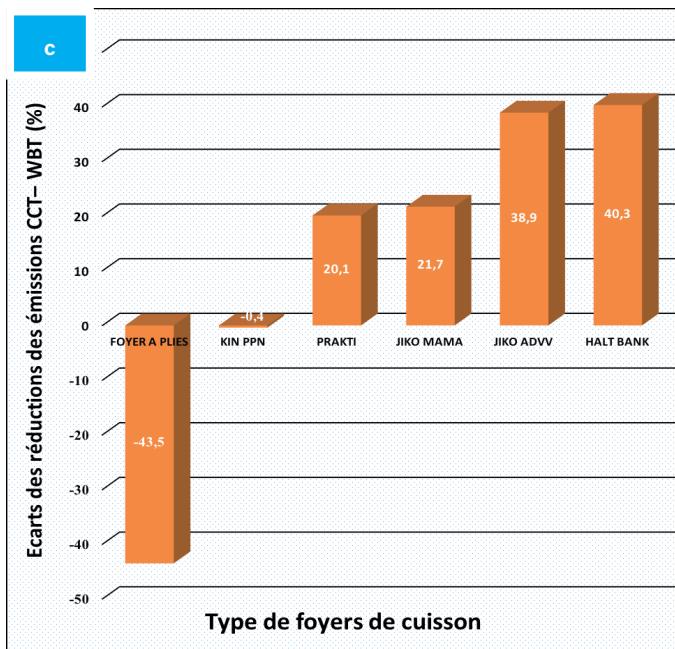
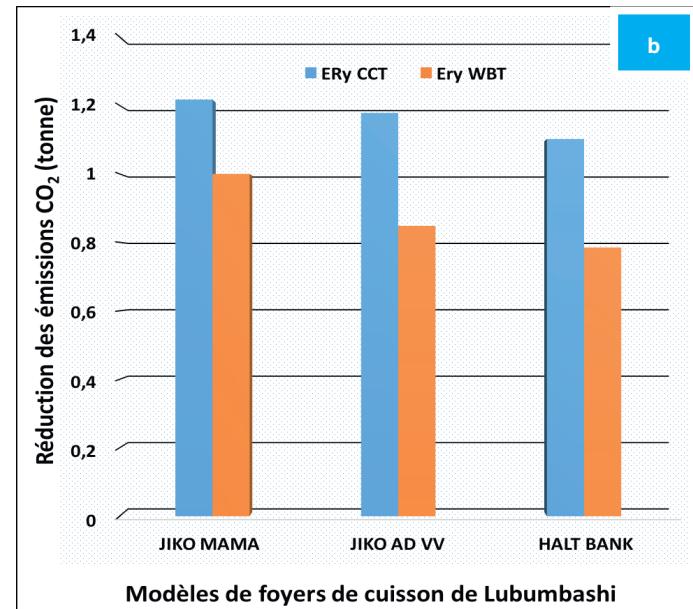
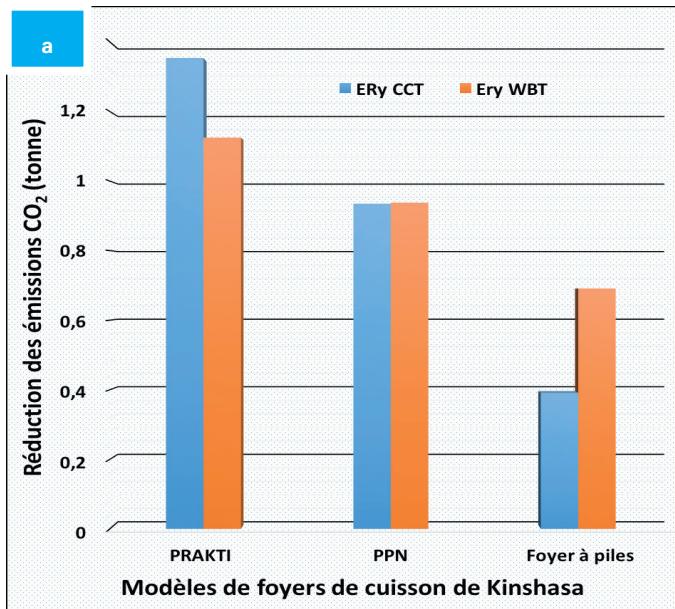
Le **Tableau 6** récapitule les principaux résultats des WBT réalisés sur les foyers de Kinshasa et de Lubumbashi.

Notons aussi que dans la méthode l'amélioration du rendement est calculée par la relation :

$$\text{change} (\%) = (1 - (n_{old}/n_{(new,y)})) \times 100 \quad (10)$$

De même le rendement thermique de la phase haute puissance est ici défini comme la moyenne des rendements thermiques au démarrage à froid (cold start) et à chaud (hot start).

Enfin, la consommation spécifique prise en compte est la consommation de combustible durant la phase de mijotage. L'accroissement du rendement thermique de la phase haute puissance marque l'amélioration du foyer par rapport au braséro traditionnel. La formule du tonnage annuel de bois économisé sur base de la méthode WBT devient donc pour les foyers de Kinshasa :



$$B_{y,Savings} \text{ WBT Kin} = 2,735 \times (1 - n_{Tradit}/n_{new,y}) \quad (11)$$

Et ensuite pour les foyers de Lubumbashi :

$$B_{y,Savings} \text{ WBT LUB} = 2,281 \times (1 - n_{Tradit}/n_{new,y}) \quad (12)$$

Les quantités de bois qu'économise annuellement chacun des foyers sont répertoriées dans les **Tableaux 8a et 8b**.

Les réductions des émissions de CO_2 par foyer et par année ERy viennent d'être calculées en des données des et de la formule (1), suivant chacune des deux options (CCT et WBT). Les résultats sont comparés dans les histogrammes des **Figures 8a et 8b**.

DISCUSSION

Les résultats des **Figures 8a et 8b** montrent clairement que le tonnage de charbon de bois économisé et donc la réduction des émissions de CO_2 pour un foyer donné, varie suivant la nature du test utilisé. Le foyer PRAKTI est celui qui réduit le plus les émissions de CO_2 , jusqu'à 1,354 tonnes par an lorsqu'on considère les CCT tandis que le foyer à piles est celui qui en réduit le moins avec seulement 0,391 tonnes.

On note cependant que pour tous les foyers « améliorés » modèle JIKO ou foyer PRAKTI, les réductions des émissions en CCT sont

Figure 8| (a) Réductions comparées des émissions de CO_2 par foyer et par année - CCT vs WBT - sur foyers de Kinshasa (scénario de référence : Braséro traditionnel); (b) Réductions comparées des émissions de CO_2 par foyer et par année - CCT vs WBT - sur foyers Lubumbashi (scénario de référence : Braséro traditionnel); (c) Écarts des réductions des émissions de CO_2 - CCT- WBT comparés en pourcentage

plus élevées que celles en WBT. La **Figure 8c** fournit les écarts en pourcentage. Ces derniers se situent entre 20,1 et 40,3 % plus élevé en CCT, exceptions faites pour le foyer PPN où les réductions des émissions de CO_2 en CCT et WBT sont quasiment équivalentes (écart 0,4%) ; le foyer à piles présente à la différence des autres modèles des réductions des émissions de CO_2 plus élevées en WBT (écart -43,5%).

Cette inversion de la tendance s'explique par le fait que le rendement thermique en WBT ne reflète pas toujours le comportement du foyer lorsqu'il est soumis à une cuisine réelle. Préparer comporte généralement plusieurs phases de chauffage qui peuvent varier en intensité (haute puissance ou basse puissance) et/ou en temps (longue durée ou courte durée), selon le type d'aliment préparé. La notion du rendement thermique se limite à donner une idée du transfert de chaleur et de la puissance au démarrage du foyer qui chauffe une quantité donnée d'eau, tandis que la notion de la consommation spécifique renseigne plutôt sur la manière dont le foyer gère le combustible tout le temps d'une vraie cuisine.

Le cas atypique du foyer à piles démontre que malgré son rendement thermique en WBT élevé (23% par rapport au traditionnel), il ne réalise pas une économie significative de combustible quand on l'évalue en CCT.

Le foyer à piles a en effet un mode de fonctionnement différent. La combustion dans celui-ci est entretenue au moyen d'un souffleur. Le courant forcé d'air attise certes le feu mais il entraîne tout de même le charbon à se consumer rapidement. Il est aussi difficile à la ménagère de régler le feu à sa guise pour par exemple cuire à petit feu pendant le mijotage des légumes. Sous un tel régime, le foyer gaspille du combustible.

On remarque cependant que contrairement au rendement thermique des foyers, les consommations spécifiques pendant le mijotage (phase basse puissance) des WBT (**Tableau 6**) et les consommations spécifiques des CCT (**Tableau 4**) dégagent des

tendances similaires. Par conséquent, il paraît facile de prédire à partir de la consommation spécifique des WBT, la manière dont le foyer économise le combustible pendant une cuisson réelle surtout quand cette dernière est de longue durée.

Nous pourrons aussi déterminer et donner un sens à la consommation spécifique horaire des CCT. C'est la quantité de charbon de bois utilisée (g) rapportée à la quantité de nourriture préparée (Kg) et à la durée totale de cuisson (min). En utilisant les valeurs du **Tableau 4**, la consommation spécifique horaire de tous les foyers améliorés est presque égale à $1\text{g.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Le foyer PPN a une consommation spécifique horaire de $1,2\text{ g.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; le foyer à piles $1,5\text{ g.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, tandis que celles des foyers traditionnels vont au-delà de $1,7\text{ g.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

CONCLUSION

La méthodologie AMS-II G inscrite dans le Mécanisme de Développement Propre (MDP) des Nations Unies a permis de calculer les réductions des émissions de CO_2 des foyers de cuisson utilisés à Kinshasa et Lubumbashi en République Démocratique du Congo.

Les résultats obtenus montrent que les Réductions Certifiées des Emissions changent avec la nature des tests effectués. Il ressort en effet un écart significatif des valeurs suivant que l'on s'appuie dans les calculs sur les mesures des CCT (consommations spécifiques) ou sur les mesures des WBT (rendements thermiques haute-puissance) pour déterminer le tonnage annuel de bois économisé par rapport au foyer de référence.

Ainsi, pour tous les foyers améliorés, les économies des émissions de CO_2 en CCT sont plus élevées que celles en WBT. L'écart se situant entre 20 à 40 %, à part le foyer PPN où les réductions des émissions de CO_2 en CCT et WBT sont quasi équivalentes et le foyer à piles qui présente à la différence des autres modèles des économies des émissions de CO_2 plutôt plus élevées en WBT.

Cette étude montre par ailleurs que dans un projet de finance carbone, le potentiel d'atténuation des émissions sur base du seul critère du rendement thermique suivant le protocole Water Boiling Test peut être erroné. On constate que les économies en combustible des foyers améliorés établies sur les WBT sont sous-évaluées. Par contre la consommation spécifique horaire en CCT et la durée totale de cuisson paraissent des indications plus explicites du comportement des foyers. Le cas atypique est celui du foyer à piles ; il passerait pour un foyer amélioré au regard des résultats des WBT alors que les résultats des CCT démontrent tout le contraire.

A un autre niveau interviendraient la nature des produits alimentaires et les pratiques culinaires propres à chaque région. Nous ferons la recommandation d'étendre cette étude à l'intégration des résultats des tests de terrain tels que les Kitchen Performance Tests.

RÉSUMÉ

Le bois est la principale source d'énergie pour les besoins des de nombreux pays en développement. L'introduction des foyers améliorés en remplacement des dispositifs traditionnels de chauffage est l'un des moyens pour assurer une cuisson plus propre, et limiter la déforestation qui constitue parmi les plus importantes sources d'émissions des gaz à effet de serre en Afrique sub-saharienne. D'après la méthodologie AMS II-G inscrite dans le Mécanisme de Développement Propre de la Convention-cadre des Nations unies, la réduction des émissions de dioxyde de carbone sur un foyer amélioré dépend de l'option de test de performance énergétique réalisé. Dans le cadre de cette étude nous comparons les résultats issus des Controlled Cooking Tests (CCT) et des Water Boiling Tests (WBT) effectués au CERERK/ISTA sur huit modèles de foyers utilisés dans les deux plus grandes villes de la R.D.Congo (Kinshasa et Lubumbashi/ex-Katanga). Dans tous les cas, les « foyers améliorés » ont présenté des économies de CO_2 en CCT 20 à 40 %

plus élevées que celles déterminées sur base des WBT. Le brasero à piles demeure un « foyer non amélioré » ; à la différence des autres, il présente une réduction des émissions plus importantes en WBT. Au final, l'étude démontre que dans un projet de finance carbone, une évaluation des performances limitée au WBT peut conduire à des conclusions erronées ; la consommation spécifique et la durée de cuisson en CCT sont des critères supplémentaires pour s'assurer du potentiel d'atténuation des émissions polluantes.

Mots-clés : Réduction Certifiée des Emissions du CO_2 , Foyer de cuisson amélioré, Tests de Cuisine Contrôlée (CCT), Tests d'Ébullition d'Eau (WBT), République Démocratique du Congo

Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à l'Organisation Néerlandaise de Développement SNV République Démocratique du Congo qui a financé les tests sur les foyers de cuisson au CERERK-ISTA et spécialement Monsieur Samuel Martin et Madame Laetitia Bonsange pour leur accompagnement durant les années 2014 et 2015. Les foyers de cuisson de Lubumbashi ont été fournis par le programme de développement du secteur privé Elan RDC. Nous leur exprimons toute notre gratitude.

Enfin, nos remerciements s'adressent naturellement aux membres du Comité de gestion de l'Institut Supérieur des Techniques Appliquées I.S.T.A-Kinshasa pour leur soutien moral.

REFERENCES ET NOTES

- APROVECHORESEARCH CENTER [2011], Test Results of Cookstove Performance (Washington, D.C.: Partnership for Clean Indoor Air)
- BAILIS R. [2007a], *Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the Household Energy and Health Project, Energy for Sustainable development, Volume XI No. 2*
- BAILIS R. [2004]. *Controlled Cooking Test (CCT) version 2.0*, Household Energy and Health Programme, Shell Foundation, Janvier 2007 pdf online http://www.pciaonline.org/files/CCT_Version_2.0_0.Pdf
- BAILIS R., KIRK R. S., EDWARDS R. [2007b]. *KPT version 3.0*, Household Energy and Health Programme, Shell Foundation, Janvier 2007
- BOSSUET J., SERRAR M. [2013], « *PRAKTI DESIGN : LE DÉFI DE LA COMBUSTION PROPRE POUR LES POPULATIONS PAUVRES », FIELD ACTIONS SCIENCE REPORTS* [Online], Special Issue 9 | 2014, Online since 27 December 2013, connection on 22 January 2014. URL :<http://factsreports.revues.org/2763>
- CHRISTOPH A. R., BOND C.T., CONWAY S., PINEL A.B.O., MACCARTHY N., STILL D. [2008], *Laboratory and field investigations of particulate and carbonmonoxide emissions from traditional and improved cookstoves, Atmospheric Environment*, doi:10.1016/j.atmosenv.2008.05.041
- CIRAD [2011], *Les notes de perspectives du Projet Makala, N°2* Aout 2011,
- CIRAD [2012], *Les notes de perspectives du Projet Makala, N°3* Mars 2012,
- DELUVI PATRICK [2015], Enquête Ménages de Suivi des Foyers Améliorés Rapport d'enquête – EMSFA, SNV, Kinshasa
- DELHONGA V. FRANCE- P. [2015], Enquête Ménages de Suivi des Foyers Améliorés Rapport d'enquête n°2 – EMSFA, SNV, Kinshasa
- GACC [2013], *Guidelines for Testing Charcoal Stoves with WBT 4.2.2*, Phnom Penh, Cambodge
- GLOBAL ALLIANCE FOR CLEAN COOKSTOVES (ALLIANCE) [2016], information online <http://www.cleancookstoves.org> (consulté le 06 juin 2015)
- Institut National de la Statistique (2014), Enquêtes 1-2-3 : Résultats de l'enquête sur l'emploi, le secteur informel et sur la consommation des ménages/2012, septembre
- MACCARTY N., STILL D., OGLE D., DROUIN T. [2008], *Assessing Cook Stove Performance: Field and Lab Studies of Three Rocket Stoves Comparing the Open Fire and Traditional Stoves in Tamil Nadu, India on Measures of Time to Cook, Fuel Use, Total Emissions, and Indoor Air Pollution*, Aprovecho Research Center, January 200
- MD. SHAWKAT I. S., MD. PARVEZ R. and SAYMA A. [], *Linking Biomass Fuel Consumption and Improve Cooking Stove: A Study from Bangladesh*, Department

of Forestry and Environmental Science, Shahjalal University of Science and Technology, Sylhet-3114, Bangladesh

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, CONSERVATION DE LA NATURE et TOURISME MECNT RDC, [2009], Potentiel REDD+ de RDC, Kinshasa, Décembre.

PARTNERSHIP FOR CLEAN INDOOR AIR (PCIA), GLOBAL ALLIANCE FOR CLEAN COOKSTOVES (ALLIANCE) [2014], *The Water Boiling Test Version 4.2.3*, pdf online <http://www.cleancookstoves.org/our-work/standards-and-testing/learn-about-testing-protocols/protocols/downloads/wbt-protocol.pdf>.(consulté le 24juin 2014)

SCHORREJ., VERINA I., AKALAKOU-MAYIMBAC. [2011], *Bois énergie en RDC: Analyse de filière des villes de Slaski X., Thurber M.C., Zerrifi H.* (2011), Improved

stoves in India: A study of sustainable business models. *Energy Policy* (2011), doi:10.1016/j.enpol.2011.07.031

UNFCCC [2014], *AMS-II.G Small-scale Methodology: Energy efficiency measures in thermal applications of non-renewable biomass Version 06.0 Sectoral scope(s): 03*. Online <http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>(31 juillet 2016)

WETSHOFF B., GERMANN D. [1995], Foyers en image :une documentation sur les foyers améliorés et traditionnels en Afrique, Asie et Amérique Latine/Commission des Communautés Européennes; SfE – Sozialtät für Entwicklungsplanung GmbH].



This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>