

Protocole de Test d'Ébullition de l'Eau Comparatif

Ce protocole a été mis au point pour trouver une alternative aux tests internationaux qui ont fixé un postulat non compatible avec la variabilité des contextes d'utilisation : définir trois protocoles tests (Test ébullition de l'eau, test de cuisson contrôlée, test de terrain pour mesurer les consommations réelles) permettant de comparer les rendements énergétiques des foyers entre eux. Ces tests sont d'ailleurs revisités et modifiés régulièrement, ajoutant une réelle complexité opératoire, limitant ces tests à quelques laboratoires spécialisés.

Notre approche est autre. Nous avons défini deux tests simplifiés (au lieu de trois), plus précis (on limite les facteurs de variabilité) qui doivent être au préalable définis pour le contexte d'utilisation, accessibles à toute structure locale de développement concernée par la diffusion d'équipements de cuisson plus économes.

Celui que nous présentons ici est le test de laboratoire qui n'a pas la prétention de donner un rendement énergétique tellement aléatoire mais avec un protocole comparatif reproductible donner le potentiel d'économie de bois (ou de surconsommation) entre deux modèles (traditionnel/nouveau ou modèle avec des variantes : hauteur de la chambre combustion, type de grille,..).

Ce protocole a été validé à maintes reprises et a donné une parfaite corrélation entre le laboratoire et le terrain. Le test final pour juger un foyer de cuisson reste bien sûr le test de terrain présenté dans un autre document, le seul permettant de justifier une économie réelle de combustible et donc par exemple avoir accès au marché du carbone.

Nous donnerons les modèles pour le test d'ébullition de pour le Cambodge, le Maroc et le Mali en annexe.

Pour pallier cette inadaptation de ces protocoles, le postulat qui nous intéresse en tant que diffuseur de foyers améliorés est de définir pour chaque contexte un protocole parfaitement représentatif du mode de cuisson pour lequel le foyer sera majoritairement utilisé :

- du type de marmite la plus commune,
- de la quantité d'eau correspondante,
- du type de biomasse utilisé (à ce jour et dans l'avenir),
- dans des conditions géographiques et climatiques identiques. Tout technicien quelque peu rigoureux doit pouvoir avec un peu de pratique réaliser ce test comparatif

I) CONDITIONS INITIALES :

1) Choix du lieu pour les tests :

Les tests doivent normalement se faire en laboratoire. Toutefois si cela n'est pas possible, le lieu choisi doit respecter les conditions suivantes :

- Etre à l'abri du vent pour ne pas fausser les mesures (fluctuation incontrôlable des débits d'air)
- Etre à l'abri du soleil afin d'avoir une température ambiante mesurée significative
- Etre suffisamment isolé pour éviter les passages de gens qui pourraient créer des courants d'air ou gêner les testeurs
- Posséder une hotte d'extraction des fumées, a minima faire le test dans un lieu permettant une évacuation aisée des fumées afin d'éviter l'inhalation de ces dernières

2) Equipement nécessaire :

a) Equipement de mesure

- Chronomètre ou montre possédant une précision à la seconde
- Balance de cuisine de portée autour de 5 kg, précision 1 gramme (on peut accepter une balance de portée maximale de 2 kg pour une précision de 10 gramme, on aura une erreur sur des portées moyennes de 1 kg autour de 1%, mais plus on sera précis, plus les tests seront rigoureux et reproductibles)
- Thermomètre digital avec thermocouples ou thermomètre pouvant aller jusqu'à 100°C avec une précision de 1°C
- Humidimètre si possible pour vérifier humidité du bois

b) Ustensiles et biomasse

- Marmite/Casserole du même type que celui qui est utilisé par les familles auxquelles est destiné le foyer testé.
- Dispositif pour immerger les thermocouples dans l'eau (il s'agit de positionner à l'aide d'un morceau de bois/fer au dessus de la marmite le thermocouple pour qu'il soit immergé en partie centrale à 5 cm du fond de la marmite.
- Utiliser une biomasse identique a celle qui sera utilisée par les familles concernées. On maîtrisera l'uniformité de son humidité après un temps de stockage suffisamment long pour descendre en dessous de 20% en base humide. Idéal autour de 15 %. Pour des diamètres de 5 à 10 cm

un stockage bien aéré à l'air libre en saison sèche de 2 à 3 mois est suffisant.

b) Le starter

- Pour démarrer le feu de manière reproductible, utiliser par exemple de la biomasse, type brindilles, imprégnée d'alcool à brûler, toujours mêmes quantités.

c) L'eau à bouillir

- La quantité d'eau doit correspondre aux pratiques locales entre 3 et 5 litres en général, environ les deux tiers de la marmite utilisée pour le test.

d) Une feuille de relevés (cf modèle en annexe)

- Pour chaque test, l'opérateur remplira soigneusement cette fiche, il utilisera par la suite un tableur type Excel pour analyser les résultats obtenus

II) PROCEDURE DE TEST

Deux foyers sont systématiquement démarrés en simultané.

Nous présentons ici une procédure basée sur le bois, elle peut s'appliquer bien sur autre combustible. D'autre part, pour éviter les erreurs de manipulation avec le test standard (arrêt après phase haute température, pesage braises, relance combustion, pesage braises fin de test, ..), il est convenu après test préliminaires de fixer la quantité de combustible (elle doit correspondre à ce qu'il faut pour porter à ébullition l'eau initiale et la maintenir d'une durée proche à ce qui se pratique en situation réelle à une phase de frémissement/petite ébullition).

Par exemple au Cambodge, on a fixé cette quantité à 1 kg de bois, pour 3 litres d'eau, pour une durée totale du test autour d'une heure (15-20 minutes ébullition, poursuite à faible ébullition, température maintenue dans un écart maximal de trois degrés en dessous du point d'ébullition).

- 1) Mesurer la température ambiante
- 2) Peser le bois à la quantité fixée dans votre procédure de test pour être utilisée pour chaque foyer
- 3) Vérifier que les foyers sont à température ambiante et propres (enlever la cendre,...)
- 4) Positionner les marmites, ajouter l'eau correspondante à température ambiante
- 5) Démarrer le feu et le gérer de manière à atteindre le plus rapidement possible le point d'ébullition. Avec l'habitude, la quantité initiale de bois pour y

parvenir sera constante pour un même foyer. Mesurer la température toutes les 3 minutes jusqu'à ébullition. Le point d'ébullition est atteint quand la température est stabilisée pendant 10 secondes. Les test préliminaires auront fixé celle-ci (dépendante dureté de l'eau, altitude).

- 6) Enregistrer le temps mis pour atteindre l'ébullition (TTB)
- 7) Laisser l'eau frémir et maintenir la température dans un intervalle maximal de 3 °C en dessous du point d'ébullition (si une plus forte ébullition est recherchée on peut limiter cet intervalle à deux degrés). L'opérateur a ainsi un repère clair, si la température chute pendant le test de 5 à 6 degrés en dessous du point d'ébullition le test est rejeté. On démarre avec la moitié d'un kilogramme de bois, et on rajoute dès que la température baisse environ 200 grammes.
- 8) Enregistrer le temps total du test (TTT) lorsque les flammes ne peuvent plus être maintenue et la température chute au dessus de l'intervalle maximal fixé.
- 9) Peser la quantité d'eau restante. Peser la braise restante à titre indicatif, elle doit être quasi nulle (inférieure à 20 grammes). On cherche à utiliser des foyers utilisant les braises pour maintenir la phase frémissement. Le trois pierres sera défavorisé car il ne permet pas le maintien efficace de la combustion des braises. Généralement ces braises sont donc utilisées au mieux (préparation du thé, chauffage avec brasero). La conception du foyer peut très bien permettre de prendre en compte ces fonctions (cf concept de cuisinière multifonction)

III) ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

On réalise trois tests au minimum dans des conditions initiales identiques (température ambiante, foyers froids,..). Pour éviter tout biais, on peut aussi changer entre les deux foyers, les marmites instrumentées (elles doivent être équivalentes).

On va obtenir 4 informations pour chaque foyer :,le temps mis pour atteindre l'ébullition (TTB), le temps total du test (TTT), l'énergie utile fournie , et le potentiel d'économie entre les deux modèles.

- Calcul du temps total du test représentatif (TTT)

Au préalable on devra établir si les tests sont représentatifs, pour cela on utilise la notion de coefficient de variation, rapport entre l'écart type et la moyenne. Un bon opérateur doit être capable de travailler sur trois tests avec un coefficient de variation sur la durée totale du test inférieur à 10%, c'est à dire **plus ou moins 6 minutes pour une durée moyenne de 60 minutes** pour trois tests. Si ce n'est pas le cas, un quatrième test doit être réalisé, on retient les trois tests vérifiant cette règle du coefficient de variation.

- **Calcul de l'énergie utile (EU)**

Cette énergie utile est fonction de la quantité de chaleur accumulée par l'eau entre sa température initiale et sa température d'ébullition et de la chaleur latente de l'eau évaporée.

On a donc la formule,

$$\text{EU [in KJ]} = 4,18 * \text{masse eau initiale (Kg)} * (T_{\text{ébullition}} - T_{\text{initiale}}) + 2257 * (\text{masse eau initiale} - \text{eau restante [Kg]})$$

- **Calcul de l'économie potentielle de combustible (EPC)**

C'est le ratio défini à partir des énergies utiles, il permet de calculer l'économie potentielle de combustible si l'on remplaçait l'ancien modèle par ce foyer plus économe.

Cette valeur est significative si au-dessus de 10%.

$$\text{Soit, EPC [in \%]} = 100 * (\text{EU}_{\text{foyer économe}} - \text{EU}_{\text{foyer traditionnel}}) / \text{EU}_{\text{foyer économe}}$$

Il suffit de multiplier ce rapport par la quantité de bois consommée actuellement pour avoir une idée de l'économie théorique. Cette économie potentielle devra être validée en situation réelle après diffusion des nouveaux modèles. C'est l'objet du protocole Test de consommation réelle.

- le temps pour atteindre la température d'ébullition TTB

Ce temps est un bon indicateur pour connaître la puissance maximale dégagée par le foyer de cuisson, il s'agit de ne pas proposer un foyer performant mais de puissance trop faible, les femmes recherchent des équipements permettant des temps de surveillance réduits, des cuissons plus rapides pour certaines préparations. Le nouveau foyer doit donc avoir un TTB proche de l'existant.

Fiche de test

Nom du foyer testé

Producteur :

Date:

Lieu de test

température Air

Essence bois:

Nom botanique

nom local

Dimension (longueur

humidité du bois

diamètre,..)

Temps Ebullition - TTB	(minutes)
Temps Total du Test – TTT	(minutes)

temps Mn	TEMP eau	Remarques	Bois
0			Poids initial (kg)
3			
6			
9			
12			Poids final (kg)
			Charbon restant (kg)
			Eau
			Poids initial (kg)
			Poids final (kg)

Voir fichier Excel pour exploitation résultat