

Bjorn Larsen

Environmental Economist

Alexandra V. D. PIERRE, Ing. Arch

Consultante
Ministère de l'environnement

Analyse des coûts et des avantages

Les **avantages** et les **coûts** des **modes de cuisson** pour le contrôle de la pollution atmosphérique des ménages

Design by Etika Prosper • identity@gmail.com



Un plan de développement alternatif

Bénéfices et coûts des modes de cuisson dans le contrôle de la pollution de l'air des foyers

Haiti Priorise

Bjorn Larsen

Économiste environnemental, Freelance

Version préliminaire de travail en date du 17 février 2017.

Traduit de l'anglais par Jean-Louis Morel, traducteur professionnel.

© 2017 Copenhagen Consensus Center

info@copenhagenconsensus.com

www.copenhagenconsensus.com

Cet ouvrage a été produit dans le cadre du projet Haïti Priorise.

Ce projet est entrepris avec le soutien financier du gouvernement du Canada. Les opinions et interprétations contenues dans cette publication sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du gouvernement du Canada.

Canada

Certains droits réservés



Cet ouvrage est disponible sous la licence internationale Creative Commons Attribution 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)). Selon les termes de la licence Creative Commons Attribution, vous êtes libre de copier, distribuer, transmettre et adapter ce travail, y compris à des fins commerciales, dans les conditions suivantes :

Attribution

Veillez citer l'ouvrage comme suit : #NOM DE L'AUTEUR#, #TITRE DU RAPPORT#, Haïti Priorise, Copenhagen Consensus Center, 2017. Licence : Creative Commons Attribution CC BY 4.0.

Contenu d'un tiers

Copenhagen Consensus Center ne possède pas nécessairement chaque élément du contenu figurant dans l'ouvrage. Si vous souhaitez réutiliser un élément de l'ouvrage, il est de votre responsabilité de déterminer si l'autorisation est nécessaire pour cette réutilisation et d'obtenir l'autorisation du détenteur des droits d'auteur. Par exemple les tableaux, les illustrations ou les images font partie de ces éléments mais ne s'y limitent pas.

Acronymes

| | |
|--------------------------|--|
| FA | Fraction attribuable |
| ALRI | Infection aiguë des voies respiratoires inférieures |
| BC | Bronchite chronique |
| AVC | Maladie cérébro-vasculaire |
| CCC | Copenhagen Consensus Center |
| BPCO | Broncho-pneumopathie chronique obstructive |
| MCP | Maladie cardio-pulmonaire |
| DALY | Années de vie corrigées de l'incapacité |
| CMM | Charge mondiale de morbidité |
| PIB | Produit intérieur brut |
| PAF | Pollution de l'air des foyers |
| CA | Cuisinière améliorée |
| CPI | Cardiopathie ischémique |
| CP | Cancer du poumon |
| GPL | Gaz de pétrole liquéfié |
| $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | microgramme par mètre cube |
| PF | Particules fines |
| PPA | Parité du pouvoir d'achat |
| RR | Risque relatif |
| VVS | Valeur d'une vie statistique |
| YLD | Années potentielles de vie perdues par maladie |
| YLL | Années potentielles de vie perdues par mort prématurée |
| OMS | Organisation mondiale de la Santé |

Résumé

Contexte

Selon des études du *Global Burden of Disease (GBD) Project* (Projet sur la charge mondiale de morbidité), près de 2,9 millions de personnes sont mortes en 2015 à cause des émissions nocives de particules fines PM2.5 dues à l'utilisation domestique de combustibles solides tels que le bois, le charbon, le charbon de bois et de déchets agricoles pour la cuisson des aliments. Cela fait de la pollution de l'air des foyers (PAF), un des facteurs de risque principaux des pays en voie de développement.

Selon les estimations de cette étude, plus de 8 200 personnes en Haïti sont mortes à cause du PAF en 2016. Cela fait du PAF le quatrième facteur de risque le plus grave en termes de décès et d'invalidité, après la malnutrition de la mère et de l'enfant, le sexe non-protégé et l'hypertension, selon le *Global Burden of Disease Project 2015*.¹

Environ 95% de la population en Haïti dépendaient des combustibles solides pour cuisiner en 2012 (bois et charbon de bois en quantités semblables), au lieu de 40% à l'échelle mondiale. Le taux de progression des combustibles propres pour cuisiner, tel que le GPL, est le plus faible des Amériques.

Très peu de foyers en Haïti ont adopté les cuisinières améliorées à bois et à charbon de bois qui possèdent une combustion plus efficace et plus propre et polluent moins. À en juger par les études sur l'exposition aux Amériques et dans d'autres régions, l'exposition moyenne aux particules fines PM2.5 en Haïti des membres d'un foyer peut être donc de l'ordre de 100-200 µg/m³ lors de l'utilisation d'une cuisinière à bois et de l'ordre de 50-100 µg/m³ lors de l'utilisation d'une cuisinière à charbon de bois, en fonction de l'emplacement de la cuisinière au sein du foyer. Ces niveaux d'exposition sont 5 à 20 fois supérieurs à celui de 10 µg/m³ préconisé par l'OMS dans sa directive annuelle relative à la qualité de l'air ambiant (AQG) ; ils provoquent des effets graves sur la santé tels que maladie cardiaque, crise cardiaque, cancer du poumon et maladies respiratoires.

Opérations

L'objectif de cette étude est d'apprécier les avantages et les coûts des installations de cuisinières améliorées qui permettent de réduire la pollution de l'air aux particules fines PM2.5 des foyers haïtiens due à l'emploi des combustibles solides pour cuisiner. Les bénéficiaires, qui représentent plus de 90% de la population, sont les foyers qui cuisinent à l'aide de combustibles solides dans des fourneaux traditionnels ou à même le feu.

Concrètement, les opérations sont des programmes de promotion pour l'adoption :

¹ <http://www.healthdata.org/haïti>

- i) De cuisinières à bois ou à charbon et
- ii) De cuisinières utilisant le GPL ou l'éthanol

Le succès de tels programmes de promotion, à savoir des taux élevés d'adoption par les foyers et un usage durable des différents types de cuisinière, dépendra de facteurs tels que l'acceptation par les foyers des caractéristiques des différents types de cuisinière préconisés, des conditions de financement, de la perception des avantages que procurent ces cuisinières, du programme de suivi concernant le contrôle et la promotion de l'emploi durable des cuisinières ainsi que leur entretien et leur réparation.

Cette étude se concentre exclusivement sur les avantages et les coûts des différents types de cuisinière afin de déterminer si de tels programmes de promotion sont à même de fournir plus de bénéfices que de coûts, à condition d'être conçus et mis en œuvre convenablement et aussi que les foyers, au moins dans une certaine mesure, adoptent et utilisent les cuisinières recommandées.

Coûts et bénéfices

Les bénéfices évalués sont l'amélioration de la santé des foyers grâce aux cuisinières recommandées, une économie des biocombustibles, un temps de cuisson plus rapide et une production potentielle par les familles de combustible à base d'éthanol en Haïti. Les avantages non-évalués sont : les bénéfices sur le climat global dus à une consommation moindre de biomasse, les bénéfices écologiques résultant d'une récolte moindre de biomasse et la réduction des impacts environnementaux provenant d'une production réduite de charbon de bois. Les rapports avantages-coûts (*BCR*) présentés dans cette étude restent donc prudents selon cette perspective.

Les coûts estimés correspondent à l'achat des cuisinières, à leur entretien, à l'achat du GPL ou de l'éthanol et aux frais des campagnes de promotion. Les avantages et les coûts sont exprimés comme étant la valeur du total des avantages divisée par celle du total des coûts (*BCR*).

Les avantages des cuisinières améliorées utilisant de la biomasse (*ICS-W* et *ICS-C*) sont près de quatre fois plus importants que les coûts, tandis que ceux des cuisinières à GPL ou éthanol sont 1.2 à 2.2 fois supérieurs aux coûts.² Toutefois, les bénéfices sur la santé d'une cuisson au GPL ou à l'éthanol sont près de 2,5 fois plus importants qu'avec une cuisinière améliorée à bois et 50% plus élevés qu'avec une cuisinière améliorée au charbon de bois. Ainsi, les modes de cuisson propres utilisant le GPL et l'éthanol sont les seules solutions sur le long terme pour lutter contre le PAF.

² Ces *BCR* sont des estimations moyennes basées sur un taux d'actualisation de 5% et une évaluation des bénéfices sur la santé de 3 fois le PIB per capita par années potentielles de vies perdues évitées par maladie, par mort prématurée ou de maladie ajustée de l'incapacité.

TABLEAU 1. RECAPITULATIF DES RAPPORTS AVANTAGES-COUTS MOYENS DES OPERATIONS DE CUISINIÈRES, 2016*

| Interventions | BCRs |
|---|------|
| Improved charcoal and wood stoves (ICS-C and ICS-W) | 3.85 |
| LPG and ethanol stoves for households currently cooking with wood (W) | 1.25 |
| LPG and ethanol stoves for households currently cooking with charcoal (C) | 2.15 |

* Avantages et coûts sont annualisés au taux d'escompte de 5%. Source : Estimations de l'auteur.

Tous les *BCR* sont classés « élevé » en ce qui concerne « la qualité des preuves » sauf pour la cuisinière améliorée au charbon de bois (*ICS-C*), à cause des mesures réduites des niveaux d'exposition aux PM2.5 avant et après l'opération. Toutefois, cette preuve incomplète n'a pas d'influence majeure sur le *BCR* car les bénéfices sur la santé représentent une part modérée de l'ensemble des avantages. La « qualité des preuves » du *BCR* de l'opération est donc classée « moyenne à élevée ».

TABLEAU 2. RAPPORTS AVANTAGES-COUTS MOYENS DES OPERATIONS DE CUISINIÈRES, 2016 (GOURDES/FOYER/AN)*

| | Benefits | Costs | BCR | Quality of evidence |
|-------------|----------|-------|-----|---------------------|
| ICS-W | 3,529 | 910 | 3.9 | Strong |
| ICS - C | 6,312 | 1,643 | 3.8 | Medium to Strong |
| LPG - W | 8,462 | 6,916 | 1.2 | Strong |
| Ethanol - W | 9,056 | 6,864 | 1.3 | Strong |
| LPG - C | 14,441 | 6,916 | 2.1 | Strong |
| Ethanol - C | 15,035 | 6,864 | 2.2 | Strong |

* Avantages et coûts sont annualisés au taux d'escompte de 5%. Source : Estimations de l'auteur.

Programmes d'intervention

Les *BCR* estimés dans cette étude sont des « possibilités » et dépendent de la qualité, de l'ampleur et de la durée des programmes de promotion. Les *BCR* des opérations dépendent aussi énormément des niveaux d'exposition aux PM2.5 avant l'intervention et de l'ampleur des réductions de PM2.5 obtenues après les opérations. Cela se trouve influencé par de nombreux facteurs tels que : les caractéristiques des habitations, l'emplacement des cuisines, les façons de cuisiner et les habitudes des membres des familles. Ces facteurs peuvent être corrigés positivement grâce aux programmes de promotion afin de renforcer les bénéfices des cuisinières améliorées.

Les niveaux d'exposition aux PM2.5 après l'intervention résultent aussi de l'état des cuisinières améliorées. Par conséquent, les programmes de promotion doivent enseigner et encourager l'utilisation correcte des cuisinières, ainsi que leur entretien et leur réparation.

L'utilisation de biocombustibles solides pour la cuisine par un foyer affecte aussi les familles voisines. La fumée est emportée par le vent jusqu'à l'intérieur des autres habitations et contamine aussi l'air ambiant extérieur. Il y a donc beaucoup d'avantages à retirer de programmes de promotion qui se consacrent à atteindre une situation libre de toute cuisinière

traditionnelle et éventuellement de tout biocombustible solide, cela en synergie avec les autres programmes communautaires d'assainissement et d'éradication des latrines sauvages.

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 2. EMPLOI DOMESTIQUE DES BIOCOMBUSTIBLES SOLIDES | 2 |
| 3. EXPOSITION AUX PARTICULES FINES PM2.5 | 5 |
| 4. EFFETS SUR LA SANTE ET COUT DES PM2.5 D'ORIGINE DOMESTIQUE | 9 |
| 5. OPERATIONS DE CONTROLE DE POLLUTION | 12 |
| 6. EXPOSITION AUX PARTICULES FINES PM2.5 APRES OPERATION | 14 |
| 7. BENEFICES SUR LA SANTE DES OPERATIONS | 16 |
| 8. INCONVENIENTS SUR LA SANTE DES OPERATIONS | 17 |
| 8.1 ÉCONOMIES DE COMBUSTIBLE | 18 |
| 8.2 ÉCONOMIES DE TEMPS DE CUISSON | 20 |
| 8.3 PRODUCTION D'ETHANOL | 20 |
| 9. COUTS DES OPERATIONS | 21 |
| 9.1 COUT DES CUISINIÈRES | 21 |
| 9.2 COÛTS DU GPL ET DE L'ETHANOL | 22 |
| 9.3 COUT DE L'ENTRETIEN DE LA CUISINIÈRE ET DES PROGRAMMES DE PROMOTION | 23 |
| 10. RAPPORTS COÛTS-BENEFICES | 23 |
| 10.1 ÉVALUATION DES BENEFICES SUR LA SANTE | 23 |
| 10.2 BENEFICES ET COÛTS | 24 |
| 10.3 QUALITÉ DES PREUVES | 26 |
| 11. CONCLUSIONS | 28 |
| REFERENCES | 29 |
| ANNEX 1. HEALTH EFFECTS OF PARTICULATE MATTER POLLUTION | 34 |
| 1.1 OUTDOOR PARTICULATE MATTER AIR POLLUTION | 34 |
| 1.2 HOUSEHOLD PARTICULATE MATTER AIR POLLUTION | 34 |
| 1.3 AN INTEGRATED EXPOSURE-RESPONSE FUNCTION | 35 |
| ANNEX 2. BENEFIT-COST RATIOS | 37 |

1. Introduction

L'objectif de cette étude est d'évaluer les avantages et les coûts des opérations de cuisinières améliorées en Haïti qui favorisent la réduction de la pollution de l'air aux particules fines PM2.5 due à l'emploi de combustibles solides pour la cuisine.

L'usage de combustibles solides pour cuisiner provoque une grave pollution de l'air des foyers (PAF) à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. Selon des études du *Global Burden of Disease (GBD) Project* (Projet sur la charge mondiale de morbidité), près de 2,9 millions de personnes sont mortes en 2015 à cause des émissions nocives de particules fines PM2.5 dues à l'emploi de combustibles solides (Forouzanfar et al, 2016). Cela fait du PAF l'un des premiers facteurs de risque sur la santé dans les pays en développement.

PAF est aussi un problème de santé majeur en Haïti. Selon les estimations de cette étude, plus de 8 200 personnes en Haïti sont mortes à cause du PAF en 2016. Cela fait du PAF le quatrième facteur de risque le plus grave en termes de décès et d'invalidité, après la malnutrition de la mère et de l'enfant, le sexe non-protégé et l'hypertension, selon le *Global Burden of Disease Project 2015*.¹

Environ 95% de la population en Haïti dépendaient des combustibles solides pour cuisiner en 2012 (bois et charbon de bois en quantités semblables), selon l'enquête Haïti *DHS 2012*. Très peu de foyers ont adopté les cuisinières améliorées qui possèdent une combustion plus efficace et plus propre et polluent moins. De plus, le taux de progression du GPL, est le plus faible des Amériques.

Haïti est gravement déboisé et la couverture forestière représente moins de 4% du territoire (Banque mondiale, 2016a). Près de 7 tonnes de bois sont nécessaires pour produire 1 tonne de charbon de bois (Ashden, 2013). Une cuisinière à charbon de bois consomme environ 0,5-0,8 tonne de charbon de bois par an (Ashden, 2013 ; Bossuet et Serar, 2014). Cela est équivalent à 3,5-5,5 tonnes de bois. Cela représente plusieurs fois la quantité de bois approximative de 1,4 tonnes que consomme une cuisinière améliorée à bois.

Les biocombustibles sont chers étant donné la rareté des forêts Un kilo de charbon de bois coûte environ 0,5 \$. Ainsi, un foyer peut dépenser 0,75 – 1 \$ de charbon de bois quotidiennement, sachant que 54% de la population vit avec moins d'1 \$ par jour selon une étude de 2012 (Banque mondiale, 2016a).

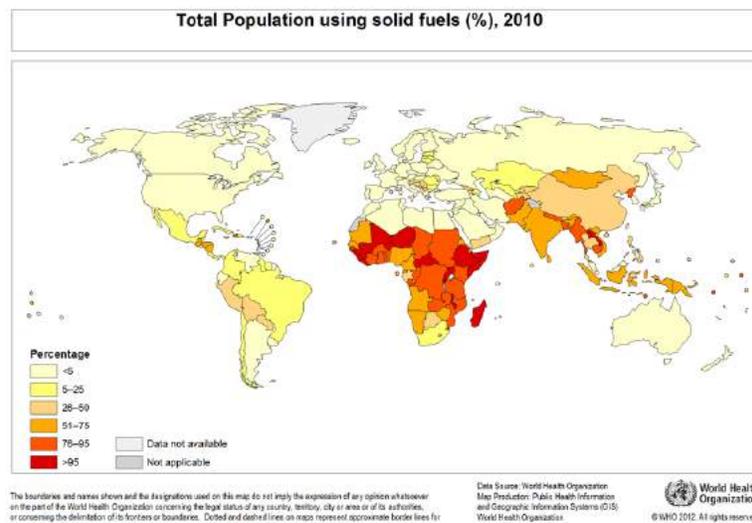
¹ <http://www.healthdata.org/haiti>

Au cours des dernières années, plusieurs projets, organisations et entreprises ont commencé à faire la promotion des cuisinières améliorées (CA) et des combustibles propres. Plusieurs cuisinières améliorées au charbon de bois ont été recommandées par différentes entreprises et ont bénéficié de donations internationales. Un projet fait également la promotion de fourneaux et de cylindres au GPL pour les foyers haïtiens (*SWITCH Project*). Des fourneaux à l'éthanol sont aussi recommandés (*Project Gaia*) dans certains pays d'Afrique avec une éventuelle production d'éthanol. Une première étude indique qu'il est compétitif avec le GPL.

2. Emploi domestique des biocombustibles solides

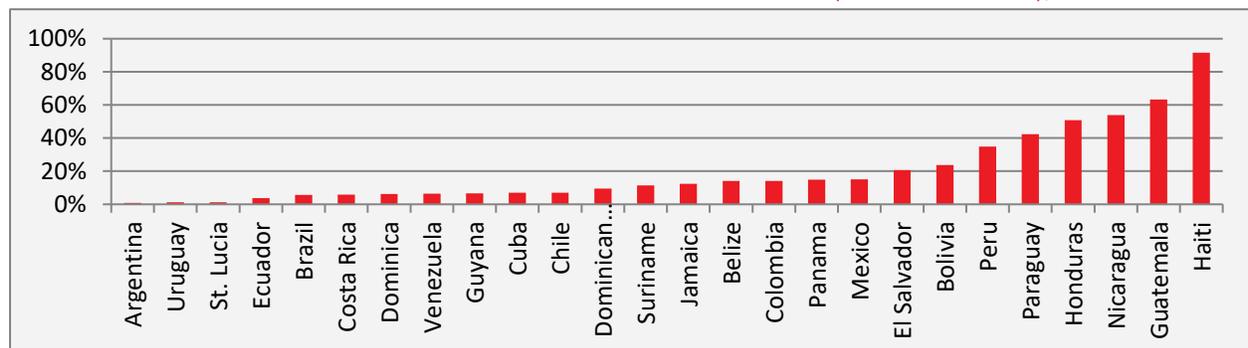
Globalement, jusqu'à 41% des foyers dépendent principalement des combustibles solides pour la cuisine en 2010 (Bonjour et al, 2013). Les taux de fréquence d'utilisation des combustibles solides sont particulièrement élevés en Afrique sub-saharienne et dans plusieurs pays d'Asie (figure 2.1). La fréquence est aussi élevée dans plusieurs pays d'Amérique latine et des Caraïbes (ALC) et dépasse les 90% en Haïti (figure 2.2).

FIGURE 2.1 FREQUENCE D'EMPLOI DES COMBUSTIBLES SOLIDES, 2010



Source : Présenté dans Smith et al (2014).

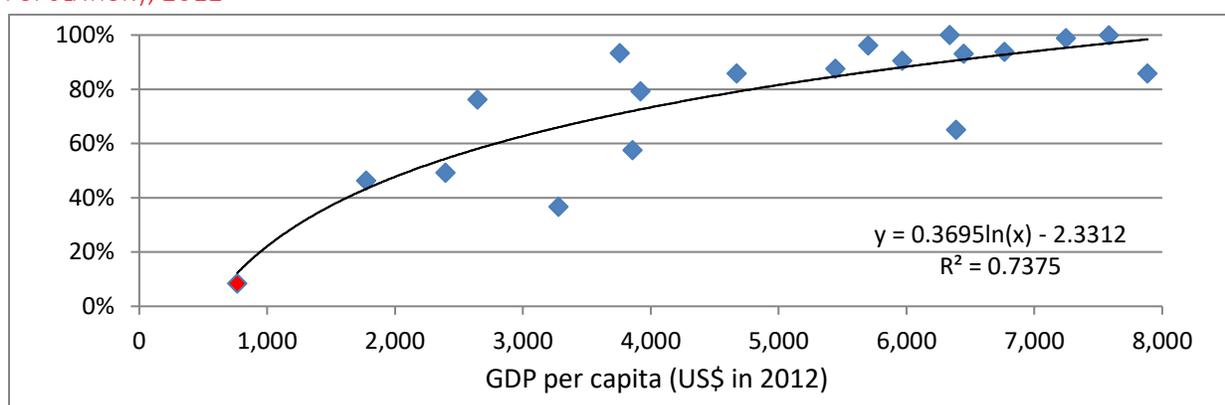
FIGURE 2.2. EMPLOI DES COMBUSTIBLES SOLIDES POUR LA CUISINE DANS ALC (% DE POPULATION), 2012



Remarque : Pays de ALC en 2012 avec PIB per capita < 16 000 \$ ou emploi de combustibles solides > 1%. Source : Banque mondiale (2016a).

En général, l'utilisation de combustibles modernes (à savoir GPL, gaz naturel, électricité) à la place de combustibles solides pour cuisiner augmente avec le PIB per capita comme le démontre la figure 2.3 en ce qui concerne les pays de la zone ALC.² Les pays situés au-dessus de la ligne continue ont une fréquence d'utilisation de combustibles modernes plus élevée que celle correspondant à leur PIB per capita, et les pays situés au-dessous de la ligne continue ont une fréquence d'utilisation de combustibles modernes plus faible que celle correspondant à leur PIB per capita. La fréquence d'utilisation de combustibles modernes en Haïti est très proche de celle correspondant à son PIB per capita.

FIGURE 2.3. EMPLOI DES COMBUSTIBLES SOLIDES POUR LA CUISINE DANS ALC EN RAPPORT AVEC LES REVENUS (% DE POPULATION), 2012

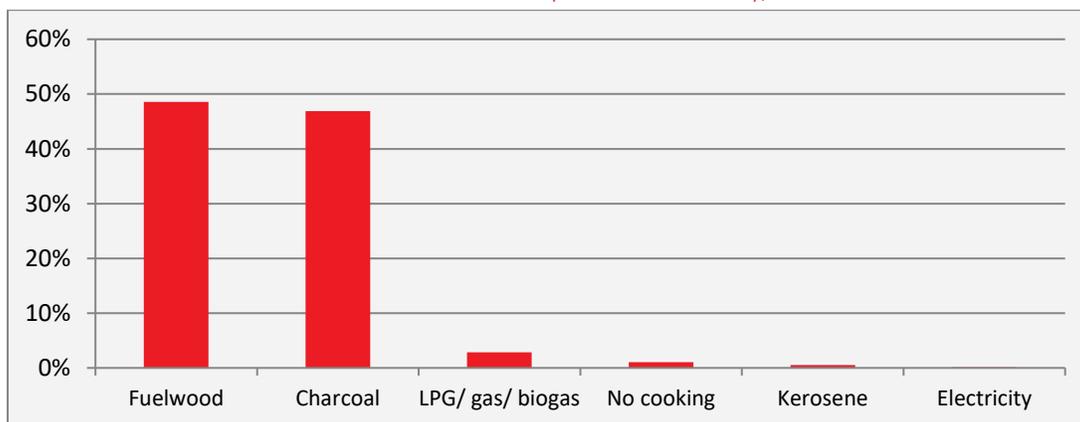


Remarque : Haïti en rouge. Source : Données de la Banque mondiale (2016a).

Environ 95.5% de la population en Haïti vivaient dans des habitations où la cuisine aux combustibles solides prédominait en 2012 selon le *Haïti DHS 2012* (figure 2.4). Les combustibles solides étaient presque à égalité entre le bois et le charbon de bois, ce dernier étant le combustible principal dans les zones urbaines tandis que le bois l'était dans les zones rurales.

²² La plus forte relation dans ALC entre les taux de fréquence d'utilisation des combustibles modernes pour la cuisine et le PIB per capita est chez les pays avec un PIB per capita < 8,000 \$, avec R²=0.74 (19 pays). Le rapport est également fort pour des revenus plus élevés avec R²=0.68 chez les pays avec un PIB per capita < 16,000 (31 pays). Le rapport entre la Parité du Pouvoir d'Achat (PPA) ajustée au PIB per capita et l'utilisation des combustibles modernes est semblable à celui avec un PIB per capita aux prix de marché avec R²=0.70.

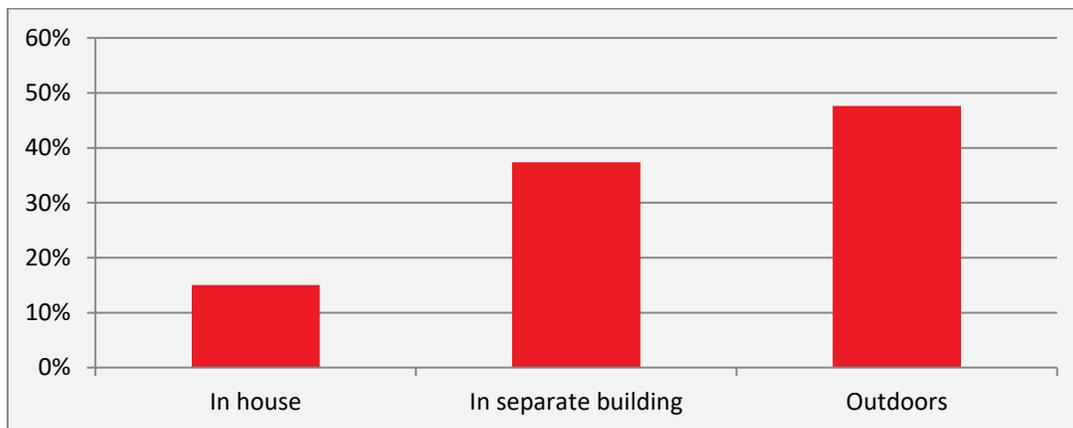
FIGURE 2.4 COMBUSTIBLE PRINCIPAL DE CUISINE EN HAÏTI (% DE POPULATION), 2012



Source : Données des auteurs du *Haiti DHS* 2012.

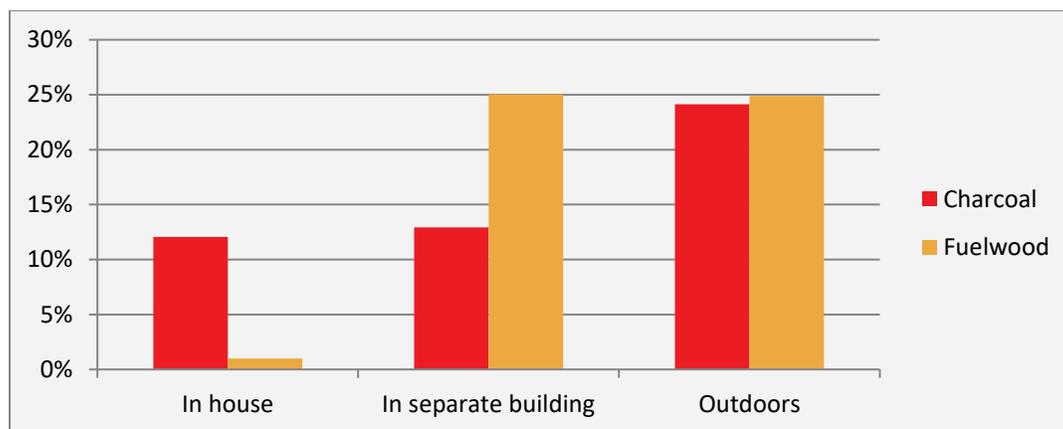
Près de la moitié de la population cuisinait en plein air, plus d'un tiers dans un bâtiment séparé et 15% cuisinaient dans leur maison en 2012 (figure 2.5). Parmi les foyers qui utilisaient des combustibles solides, presque tous ceux qui cuisinaient dans leur maison employaient principalement le charbon de bois, alors que la moitié des foyers utilisant le bois cuisinaient dans un bâtiment séparé et l'autre moitié en plein air (figure 2.6). La fréquence d'utilisation des combustibles solides en 2016 est évaluée à 94% à partir des projections historiques (table 2.1).

FIGURE 2.5. EMPLACEMENT DE LA CUISINE EN HAÏTI (% DE POPULATION), 2012



Source : Données des auteurs du *Haiti DHS* 2012.

FIGURE 2.6. EMBLACEMENT DE LA CUISINE PARMIS LES UTILISATEURS DE COMBUSTIBLES SOLIDES EN HAÏTI (% D'UTILISATEURS DE COMBUSTIBLES SOLIDES), 2012



Source : Données des auteurs du *Haiti DHS* 2012.

TABEAU 2.1. ESTIMATION DE L'EMPLOI DES COMBUSTIBLES SOLIDES EN FONCTION DE L'EMPLACEMENT DE LA CUISINE EN HAÏTI, 2016 (% DE POPULATION)

| | In house | In separate building | Outdoors | Total |
|--------------|----------|----------------------|----------|--------------|
| Charcoal | 11.3% | 12.1% | 22.8% | 46.2% |
| Fuelwood | 0.9% | 23.5% | 23.4% | 47.8% |
| Total | 12.2% | 35.6% | 46.2% | 94.0% |

Source : Estimations de l'auteur.

3. Exposition aux particules fines PM2.5

Les concentrations de l'air en particules fines PM2.5 provenant de l'emploi de biocombustibles solides pour cuire les aliments atteignent souvent plusieurs centaines de microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans la cuisine, et dépassent largement les cent microgrammes dans les autres pièces. Ces valeurs proviennent de recherches effectuées dans le monde entier, notamment dans plusieurs pays d'Amérique latine et des Caraïbes (ALC) (OMS, 2014). Malheureusement il n'existe pas de recherches exhaustives sur le PAF en Haïti. Aussi, ce chapitre présente des études provenant d'autres pays d'ALC, ainsi que d'autres régions du globe.

Des études chiffrées de cinq pays d'ALC ont trouvé des concentrations moyennes de PM2.5 dans les cuisines égales à 130-1020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période de 24-48 heures dans les familles qui cuisinent directement sur le foyer ou dans des fourneaux traditionnels. Les mêmes études ont montré que les concentrations moyennes avaient baissé à 50-340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les mêmes cuisines après y avoir installé des cuisinières améliorées, souvent équipées de cheminées (table 2.1).

Plusieurs études ont également mesuré sur une période de 24-48 heures l'exposition aux PM2.5

des personnes qui cuisinent. L'exposition individuelle moyenne atteignait 116-260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avant et 58-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ après l'installation des cuisinières améliorées (table 2.2).

Certaines recherches se sont concentrées sur les effets de masse d'une cuisine aux combustibles solides. Ainsi une étude effectuée dans une zone rurale du Mexique a mesuré les concentrations extérieures de PM2.5. Ainsi dans les cours extérieures des maisons, on a trouvé une valeur moyenne de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période de 48 heures et de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la place communautaire avec une différence minimale de concentration avant et après l'installation de cuisinières améliorées munies de cheminées (Zuk et al, 2007). Une autre étude réalisée au Honduras dans une zone semi-urbaine et une zone rurale de communautés utilisant les combustibles solides pour la cuisine, a mesuré des concentrations moyennes de PM2.5 de 215 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une journée de 8 heures à l'extérieur des habitations avec des cuisinières améliorées équipées de cheminées et de 358 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec des foyers ou des fourneaux traditionnels (Clark et al, 2010).

D'autres études mettent en exergue le rôle des technologies et de l'entretien des cuisinières améliorées et des cheminées. Une étude au Pérou a montré que plus de 20% des foyers avaient une cheminée au-dessus du feu. Cependant, les concentrations de PM2.5 n'étaient pas plus basses statistiquement que celles des familles ne possédant pas de cheminées, ce qui laisse penser qu'une grande partie de la fumée se répandait dans la cuisine depuis le feu avant d'atteindre la cheminée et/ou que les cheminées étaient inefficaces (Pollard et al, 2014). Également au Pérou, Hartinger et al (2013) prouvèrent que l'utilisation correcte des cuisinières améliorées ainsi que leur entretien et leur réparation convenables étaient essentiels pour réduire les concentrations de PM2.5 à l'intérieur des habitations et ce, dès la première année. Au Honduras, les niveaux d'exposition personnelle aux PM2.5 et leurs concentrations intérieures diminuaient nettement après une amélioration de la qualité des cuisinières (Clark et al, 2010).

TABLEAU 3.1. CONCENTRATIONS MOYENNES DE PM2.5 DANS LES CUISINES DES FOYERS UTILISANT DES COMBUSTIBLES SOLIDES EN AMERIQUE LATINE ($\mu\text{G}/\text{M}^3$)

| Country | Unimproved stoves | | Improved stoves | | Source |
|-----------|-------------------|---------|-----------------|--------------------------|---|
| | | | | | |
| Guatemala | Open fire | 900 | 340 | Improved chimney stove | Northcross et al (2010) |
| Honduras | Open fire/UCS | 1002 | 266 | Justa chimney stove | Clark et al (2009)* |
| Honduras | Open fire | 310 | 60 | ECO-Stove | Lam et al (2012) |
| Mexico | Open fire | 257 | 101 | Patsari chimney stove | Cynthia et al (2010) |
| Mexico | Open fire | 1020 | 350 | Patsari chimney stove | Cynthia et al (2008); Masera et al (2007) |
| Mexico | Open fire | 658 | 255 | Patsari chimney stove | Zuk et al (2007) |
| Nicaragua | Open fire | 1801 | 416 | Eco-Stove with chimney | Clark et al (2013) |
| Nicaragua | Open fire | 514 | 53 | Closed Eco-Stove | Terrado and Eitel (2005) |
| Nicaragua | Open fire | 639 | 121 | Semi-open Eco Stove | Terrado and Eitel (2005) |
| Peru | Open fire | 130 | | | Pollard et al (2014) |
| Peru | Various | 173-207 | 50-84 | Improved stove | Fitzgerald et al (2012) |
| Peru | Various | 189 | 136 | OPTIMA | Harteringer et al (2013) |
| Peru | Open fire | 680 | 200 | Inkawasina chimney stove | Winrock (2008) |
| Peru | Open fire | 380 | 130 | HNP 3-pot metal stove | Li et al (2011) |
| Peru | Open fire | 320 | 110 | BGC 3-pot metal stove | Li et al (2011) |

Remarques : Les mesures sont des moyennes sur 24-48h. UCS = cuisinière traditionnelle. * Moyenne de temps journalier = 8h.

TABLEAU 3.2. EXPOSITION INDIVIDUELLE MOYENNE AUX PM2.5 DANS LES FOYERS UTILISANT DES COMBUSTIBLES SOLIDES EN AMERIQUE LATINE ($\mu\text{G}/\text{M}^3$)

| Country | Unimproved stoves | | Improved stoves | | Source |
|-----------|-------------------|---------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| | | | | | |
| Guatemala | Open fire | 264 | 102 | Plancha chimney stove | McCracken et al (2007)* |
| Guatemala | Open fire | 273 | 174 | Plancha chimney stove | McCracken et al (2007)** |
| Guatemala | Open fire | 200 | 70 | Plancha chimney stove | McCracken et al (2013)* |
| Honduras | Open fire/UCS | 198 | 74 | Justa chimney stove | Clark et al (2009) |
| Mexico | Open fire | 156 | 78 | Patsari chimney stove | Cynthia et al (2010) |
| Mexico | Open fire | 240 | 160 | Patsari chimney stove | Cynthia et al (2008) |
| Nicaragua | Open fire | 374 | 49 | Closed Eco-Stove | Terrado and Eitel (2005) |
| Nicaragua | Open fire | 355 | 96 | Semi-open Eco Stove | Terrado and Eitel (2005) |
| Peru | Various | 116-126 | 58-68 | Improved stove | Fitzgerald et al (2012) |
| Peru | Open fire | 190 | 80 | HNP 3-pot metal stove | Li et al (2011) |
| Peru | Open fire | 150 | 70 | BGC 3-pot metal stove | Li et al (2011) |

Remarques : Les mesures sont des moyennes sur 24-48h sauf pour le Honduras (Moyenne de temps journalier = 8h). UCS = cuisinière traditionnelle * Groupe de contrôle (foyer ouvert) versus groupe d'intervention (cuisinière équipée de cheminée). ** Avant (foyer ouvert) versus après (cuisinière équipée de cheminée) l'intervention. Voir aussi McCracken et al (2011).

Les études concernant les concentrations de PM2.5 dans les cuisines et l'exposition individuelle de la personne qui cuisine sont regroupées dans le tableau 3.3. Les cuisinières améliorées réduisent les concentrations de PM2.5 dans les cuisines de plus de 65% et l'exposition individuelle bien au-dessus de 55%.

L'exposition individuelle est l'indicateur important en termes d'effets sur la santé des PM2.5 domestiques. Dans les habitations où l'on cuisine sur un foyer ouvert, l'exposition individuelle moyenne⁶ de la personne qui cuisine était de 200 µg/m³, soit 20 fois le seuil de PM2.5 recommandé dans la directive annuelle de l'OMS relative à l'air ambiant extérieur. L'exposition individuelle moyenne après l'installation d'une cuisinière améliorée était proche de 80 µg/m³, soit encore huit fois supérieur au seuil de l'OMS.

TABLE 3.3. CONCENTRATIONS DE PM2.5 ET EXPOSITION INDIVIDUELLE DANS LES FOYERS UTILISANT DES COMBUSTIBLES SOLIDES EN AMERIQUE LATINE (µG/M3)

| | Stat | No of studies | Open fire (µg/m ³) | Improved stove (µg/m ³) | Reductions from Improved stove |
|------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Kitchen concentrations | Mean | 14 | 633 | 186 | 68% |
| | Median | 14 | 577 | 133 | 66% |
| Personal exposure | Mean | 11 | 229 | 92 | 57% |
| | Median | 11 | 200 | 78 | 58% |

Source : Calculées dans les études exposées ci-dessus.

L'exposition des femmes adultes est utilisée comme point de référence pour l'exposition individuelle dans l'estimation des effets sur la santé de la pollution de l'air des foyers, ainsi que pour les avantages et les coûts des types de cuisinière dans le chapitre suivant de ce rapport. Cela s'explique par le fait que la personne qui cuisine est le plus souvent une femme et parce que les études chiffrées présentées ci-dessus et concernant l'exposition sont basées sur la personne qui cuisine à l'aide d'une cuisinière traditionnelle ou d'un foyer ouvert.

L'exposition des hommes adultes et des jeunes enfants a été établie à 60-85% de celle des femmes adultes (tableau 3.4). Cela s'explique par le fait que les hommes adultes et les jeunes enfants passent généralement moins de temps dans l'environnement domestique et/ou dans la cuisine que les femmes adultes (Smith et al, 2014).

La cuisine de la maison est employée comme emplacement de référence car les études sur l'exposition individuelle présentées ci-dessus tiennent compte de lui. Les expositions individuelles à une cuisson en pleine air ou dans un bâtiment séparé ont été établies à 60-80% de celle à une cuisson à l'intérieur de la maison (tableau 3.4). Les niveaux d'exposition prennent en compte le fait qu'une partie de la fumée provenant d'une cuisson en pleine air ou d'un bâtiment séparé entrent à l'intérieur des habitations et des chambres.

TABLEAU 3.4. NIVEAUX D'EXPOSITION RELATIVE PAR MEMBRE DE LA FAMILLE ET EMPLACEMENT DE LA CUISINE

| | | Household member (H) | | Location (L) |
|---|--------------------|----------------------|-------------------|--------------|
| 1 | Adult women | 100% | In house | 100% |
| 2 | Adult men | 60% | Separate building | 80% |
| 3 | Children < 5 years | 85% | Outdoors | 60% |

Source : Estimations de l'auteur.

Un niveau d'exposition moyen de 200 µg/m³ s'applique aux femmes adultes qui cuisinent dans leur maison avec du bois sur un foyer ouvert ou une cuisinière traditionnelle. Cela correspond au niveau d'exposition moyen de la personne qui cuisine visible dans le tableau 2.3. Les niveaux d'exposition moyens des hommes adultes et des enfants de moins de cinq ans dans des emplacements variés sont calculés par rapport à celui des femmes adultes cuisinant dans la maison en appliquant les facteurs d'exposition relative du tableau 3.4. Ainsi par exemple, le niveau d'exposition des hommes adultes d'une famille qui cuisine à l'extérieur avec du bois est de 200 µg/m³ * H2 * L3 = 200 µg/m³ * 60% * 60% = 72 µg/m³ (table 3.5).

Très peu d'études chiffrées ont été menées sur l'exposition individuelle à une cuisson au charbon de bois. Cela est dû au fait qu'il est utilisé comme combustible principal de cuisine seulement dans une petite minorité de pays. La cuisson au charbon de bois est généralement liée à des niveaux d'exposition individuelle aux PM2.5 plus faibles que la cuisson au bois. Les expositions individuelles à la cuisson au charbon de bois ont été établies à 60%, 65% and 75% de celles à la cuisson au bois dans la maison, dans un bâtiment séparé et en plein air respectivement (tableau 3.5).

TABLEAU 3.5 EXPOSITION INDIVIDUELLE DE LONGUE DUREE AUX PM2.5 EN FONCTION DE L'EMPLACEMENT DE LA CUISINE DANS LES FOYERS UTILISANT LES CUISINIERS TRADITIONNELLES AU BOIS OU AU CHARBON DE BOIS (µG/M3)

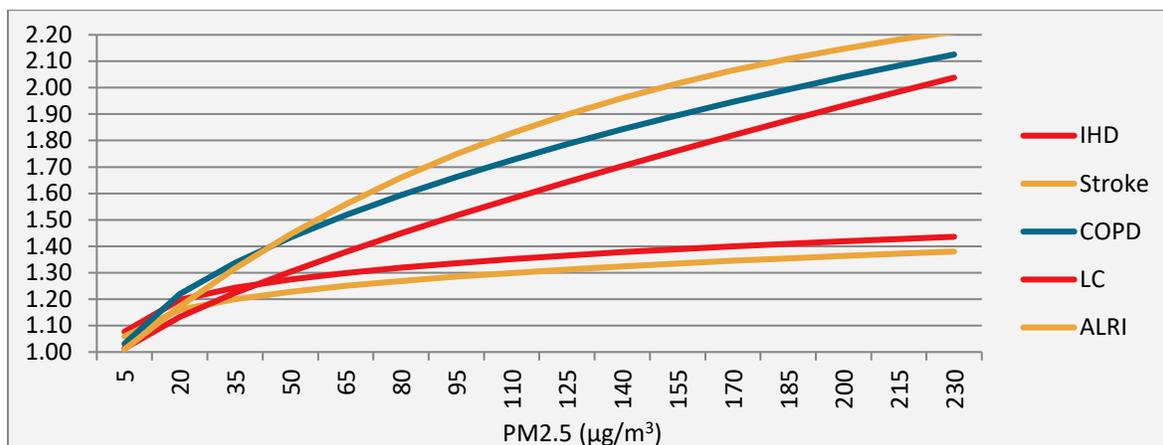
| | Fuelwood - Traditional stove or open fire | | | Charcoal - Traditional stove | | |
|-------------------|--|-----------|--------------------|---------------------------------|-----------|--------------------|
| | Adult women | Adult men | Children < 5 years | Adult women | Adult men | Children < 5 years |
| In house | 200 | 120 | 170 | 120 | 72 | 102 |
| Separate building | 160 | 96 | 136 | 104 | 62 | 88 |
| Outdoors | 120 | 72 | 102 | 90 | 54 | 77 |

Source : Estimations de l'auteur.

4. Effets sur la santé et coût des PM2.5 d'origine domestique

Les effets sur la santé d'une exposition de longue durée aux PM2.5 dans un environnement domestique provenant de l'utilisation de combustibles solides comprennent : (i) la cardiopathie ischémique (CPI), (ii) la maladie cérébro-vasculaire (crise cardiaque), (iii) le cancer du poumon (CP) et (iv) la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) chez les adultes, et (v) l'Infection aiguë des voies respiratoires inférieures (ALRI) chez les enfants de moins de cinq ans et les adultes. Ce sont tous des effets majeurs sur la santé mis en évidence par le *Global Burden of Disease (GBD) Project* (Forouzanfar et al, 2016). La figure 4.1 montre comment le risque provenant de ces cinq effets sur la santé en matière de mortalité augmente avec l'accroissement des niveaux d'exposition aux PM2.5.

FIGURE 4.1 RISQUE DE MORTALITE RELATIF A UNE EXPOSITION DE LONGUE DUREE AUX PM2.5



Remarque : Risques relatifs en fonction de l'âge. Source: Fournie par Forouzanfar et al (2016).

Les taux de fréquence d'utilisation de combustibles solides du tableau 2.1, les niveaux d'exposition aux PM2.5 du tableau 3.5 et les risques relatifs aux effets sur la santé de la figure 4.1 sont regroupés afin d'évaluer les effets sur la santé de la pollution de l'air aux PM2.5 d'origine domestique provenant de l'utilisation de combustibles solides. Les résultats montrent que 22 à 24% de tous les CPI et les crises cardiaques, 32 à 42% de tous les BPCO, cancers du poumon et ALRI dans les pays proviennent de la pollution de l'air par les PM2.5⁶. Les pourcentages imputables traduits en nombre de décès annuel s'élève à 8 241 morts en 2016 (tableau 4.1). C'est plus de 9% du nombre absolu de décès dans le pays.

TABLEAU 4.1. MORTALITE ESTIMEE IMPUTABLE A LA POLLUTION DE L'AIR PAR LES PM2.5 D'ORIGINE DOMESTIQUE EN HAÏTI, 2016

| | % of total cause-specific mortality | Annual cases of deaths |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Ischemic heart disease (IHD) | 24% | 2,667 |
| Cerebrovascular disease (stroke) | 22% | 2,125 |
| COPD | 39% | 676 |
| Lung cancer | 32% | 229 |
| ALRI | 42% | 2,544 |
| Total | | 8,241 |

Source : Estimations de l'auteur.

Les décès et les maladies résultant du PAF représentent près de 263 000 années de vie corrigées de l'incapacité (DALY) perdues au sein de la population d'Haïti en 2015 (tableau 4.2).

TABLEAU 4.2. NOMBRE D'ANNEES DE VIE CORRIGÉES DE L'INCAPACITE PERDUES RESULTANT DE LA POLLUTION DE L'AIR PAR LES PM2.5 D'ORIGINE DOMESTIQUE EN HAÏTI, 2016

| | Per death | Total |
|---|-----------|----------------|
| Years of life lost to premature mortality (YLL) | 31.33 | 258,187 |
| Years lost to disease (YLD) | 0.57 | 4,692 |
| Disability adjusted life years (DALY) | | 262,879 |

Source : Estimations de l'auteur.

Les effets sur la santé provenant de la pollution de l'air d'origine domestique peuvent être évalués comme un coût pour la société en employant des méthodes d'évaluation économique. Dans le cadre du *Haiti Priorities Project*, le *Copenhagen Consensus Center (CCC)* applique une valeur par *DALY* de 1, 3, et 8 fois le PIB per capita, avec une actualisation des *DALY* au taux annuel de 3, 5, et 12%. L'actualisation du *DALY* traduit le fait qu'un décès qui survient ou qui est évité aujourd'hui représente des années de vie en bonne santé dans le futur. Ainsi l'actualisation exprime la « valeur présente » ou celle de ces années aujourd'hui.

Le point médian du coût annuel de la pollution de l'air par les PM2.5 d'origine domestique en Haïti est évalué à 14.5 milliards de Gourdes, soit 3.6% du PIB.³ La fourchette de coûts est comprise entre 2.6 et 49.2 milliards de Gourdes, soit 0.6 à 12.3% du PIB (tableau 4.3).⁴

Par comparaison, la Banque mondiale (2016b) propose l'emploi d'une "valeur de la vie statistique" ou *VVS* pour évaluer les coûts sociaux d'une mort prématurée.⁵ Cela implique un coût annuel de 16.7 milliards de Gourdes, soit 4.2% du PIB. Celui-ci est pratiquement identique au coût résultant d'une évaluation du *DALY* à 3 fois le PIB per capita et d'un taux d'actualisation de 4%.

³ *DALY* évalué à 3 fois le PIB per capita, avec un taux d'actualisation annuel de 5%.

⁴ Le coût de la maladie en termes de traitement médical et de jours de travail perdus peut être ajouté au coût estimé. Cela peut être obtenu d'abord en convertissant les *YLD* en jours de maladie ajustés de l'incapacité. Toutefois, il y a très peu d'informations sur le nombre de ces jours qui se traduisent par un traitement médical et des jours de travail perdus. Si chaque jour est évalué sur la base des taux de rémunération moyenne, le coût total est d'environ 1.8 milliard de Gourdes, soit légèrement plus de 10% de l'estimation du coût principal de 14.5 milliards de Gourdes.

⁵ Selon la méthodologie de la Banque mondiale (2016b), *VVS* est évaluée par le biais d'une "fonction de transfert de bénéfice" pour les pays qui ne disposent d'aucune estimation d'une *VVS*. En conséquence, la *VVS* pour Haïti est de 2 028 214 Gourdes soit 56 fois le PIB per capita, elle est basée sur un PIB per capita de 2016 aux prix de 2014. Cette valeur est multipliée par le nombre de décès afin d'évaluer le coût social d'une mort prématurée. La fonction de transfert de bénéfice est : $VVS_{c,n} = VVS_{OECD} * (\frac{Y_{c,n}}{Y_{OECD}})^\epsilon$ où $VVS_{c,n}$ est la *VVS* du pays *c* en année *n*, VVS_{OECD} est la *VVS* moyenne de référence dans l'exemple des pays de l'*OECD* (OCDE) qui ont des études de *VVS* (3,83 millions de dollars), $Y_{c,n}$ est le PIB per capita du pays *c* en année *n*, et Y_{OECD} est le PIB moyen per capita pour l'exemple des pays de l'*OECD* (OCDE) (37 000\$), et ϵ une élasticité par rapport au revenu de 1.2 pour les pays à revenu faible ou intermédiaire et de 0.8 pour les pays à revenu élevé. Toutes les valeurs sont en prix basés sur la Parité du Pouvoir d'achat (PPA).

TABEAU 4.3. COUT ANNUEL DE LA POLLUTION DE L’AIR PAR LES PM2.5 D’ORIGINE DOMESTIQUE EN HAÏTI, 2016 (MILLIARDS DE GOURDES, % DU PIB)

| Discount rate/Value of DALYs | 1*GDP/capita | 3*GDP/capita | 8*GDP/capita |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 3% | 6.1 | 18.4 | 49.2 |
| 5% | 4.8 | 14.5 | 38.6 |
| 12% | 2.6 | 7.7 | 20.6 |
| | | | |
| 3% | 1.5% | 4.6% | 12.3% |
| 5% | 1.2% | 3.6% | 9.7% |
| 12% | 0.6% | 1.9% | 5.2% |

Remarque : Les figures correspondent à 2016 et sont exprimées en prix réels de 2014. Source : Estimations de l’auteur

5. Opérations de contrôle de pollution

L’objectif de ce rapport est d’évaluer les avantages et les coûts des opérations de cuisinières améliorées qui permettent de réduire la pollution de l’air aux PM2.5 d’origine domestique provenant de l’utilisation de combustibles solides pour la cuisine en Haïti. Concrètement, les opérations sont des campagnes de promotion pour l’adoption domestique de cuisinières améliorées aux biocombustibles ou de cuisinières utilisant des combustibles propres, à savoir GPL et éthanol.

Le succès de telles campagnes de promotion, à savoir des taux élevés d’adoption par les foyers et un usage durable des différents types de cuisinière, dépendra de facteurs tels que l’acceptation par les foyers des caractéristiques des différents types de cuisinière préconisés, des conditions de financement, de la perception des avantages que procurent ces cuisinières, du programme de suivi concernant le contrôle et la promotion de l’emploi durable des cuisinières ainsi que leur entretien et leur réparation. (Hanna et al, 2016; Miller and Mobarak, 2015; Mobarak et al, 2012).

Ainsi, pour qu’il y ait une adoption de cuisinières plus propres à grande échelle en Haïti, plusieurs critères influençant les taux d’adoption doivent être examinés tels que :

- i) Coût initial élevé des cuisinières améliorées au charbon de bois, ainsi que des cuisinières au GPL et à l’éthanol ;
- ii) Coût annuel élevé du GPL et de l’éthanol ;
- iii) Personnalisation des cuisinières en fonction des préférences des utilisateurs ;
- iv) Crédit échelonné des cuisinières ;
- v) Campagnes d’information bien ciblées et
- vi) Approche communautaire semblable aux programmes d’assainissement complet et de suppression des latrines sauvages.

Cette étude se concentre exclusivement sur les avantages et les coûts des différents types de cuisinière afin de déterminer si de tels programmes de promotion sont à même de fournir plus de bénéfices que de coûts, à condition d'être conçus et mis en œuvre convenablement et aussi que les foyers, au moins dans une certaine mesure, adoptent et utilisent les cuisinières recommandées.

La situation de l'emploi des combustibles solides en Haïti est un peu différente de celle de la majorité des pays en développement dans la mesure où le charbon de bois est largement utilisé pour la cuisine. Cela justifie le fait que les cuisinières améliorées à bois et au charbon de bois soient évaluées séparément, afin de fournir une perspective correcte des mérites économiques et de santé publique des stratégies de réduction de pollution de l'air d'origine domestique. De plus, étant donné qu'il existe une campagne de promotion pour les fourneaux à l'éthanol en Haïti (et il y a peut-être une option viable pour le GPL), le choix de l'éthanol est également évalué en comparaison avec le GPL.

En résumé, ce rapport évalue les avantages et les coûts des programmes faisant la promotion de quatre opérations de cuisinières domestiques dans le but de contrôler la pollution de l'air dans les foyers (PAF) parmi les familles qui cuisinent aux combustibles solides à même le feu, avec un fourneau ou une cuisinière traditionnelle. Les interventions et les arguments qui étayent les évaluations sont présentés dans le tableau 5.1.

TABLEAU 5.1. OPERATIONS DE PROMOTION DE CUISINIÈRES

| | Interventions | Rationale for interventions |
|---|---------------------------------|---|
| 1 | Improved wood stove (ICS-W) | 48% of the population use fuelwood as primary fuel for cooking |
| 2 | Improved charcoal stove (ICS-C) | 46% of households use charcoal as primary fuel for cooking |
| 3 | LPG stove | Haiti is severely deforested. Clean fuels such as LPG are by far most effective in protecting health. |
| 4 | Ethanol stove | Haiti is severely deforested. Clean fuels such as LPG are by far most effective in protecting health. Haiti needs local industry/agricultural development and employment generation (e.g., ethanol production). |

Les cuisinières qui sont évaluées possèdent deux feux au minimum afin de dissuader les familles d'utiliser leur fourneau traditionnel.

Les campagnes de promotion de cuisinières sont évaluées en fonction :

- (1) Des bénéfices pour la santé dus à une exposition réduite aux PM2.5 ;
- (2) Des avantages non liés à la santé, à savoir les économies de combustible et de temps de cuisson ;
- (3) Des coûts des cuisinières et des combustibles des opérations de promotion ;
- (4) Des programmes de promotion de cuisinières et de l'entretien de celles-ci ; et
- (5) De la comparaison des avantages et des coûts des campagnes, à savoir les rapports

avantages-coûts.

Chaque opération de promotion est évaluée en fonction de trois emplacements pour la cuisine :

- (1) Dans la maison ;
- (2) Dans un bâtiment séparé ; et
- (3) En plein air.

Les opérations sont appréciées selon deux scénarios définis en ce qui concerne leur taux d'adoption par les communautés :

- (1) *Adoption partielle* avec une pollution communautaire élevée et persistante ;
- (2) *Adoption totale* avec une réduction notable de la pollution communautaire.

L'usage domestique des combustibles solides a des effets sur la communauté. La fumée provenant de l'utilisation des combustibles entre dans les habitations d'autres familles et contribue à la pollution de l'air extérieur ambiant. Une cuisinière améliorée munie d'une cheminée ou simplement une hotte permettant de ventiler la fumée provenant d'un foyer ouvert ou de n'importe quel fourneau peut être efficace pour les familles ayant installé ces accessoires, mais cela contribue à augmenter la pollution de l'air extérieur ainsi que celle des habitations voisines. Seuls les combustibles qui ne dégagent pas de fumée et les technologies qui le permettent peuvent éviter ces conséquences.

Afin d'obtenir les bénéfices maximum par unité de frais engagés en énergie domestique et en opérations de promotion de cuisinières, toutes les familles devraient participer et ainsi créer une communauté libre de combustibles solides ou, pour le moins, une communauté sans fourneaux traditionnels. Ce concept peut s'appliquer aux zones rurales où chaque communauté est un hameau isolé des autres et s'apparente à une communauté libre de latrines sauvages comme dans les programmes d'assainissement globaux dont on fait souvent la promotion ou gérés par les communautés.

6. Exposition aux particules fines PM2.5 après opération

On s'attend à ce que l'emploi de cuisinières améliorées à bois ou au charbon de bois (CA), au GPL ou à l'éthanol réduise notablement l'exposition des membres d'une famille aux PM2.5. Dans le chapitre 3, l'examen des études sur l'exposition individuelle en Amérique latine avant et après l'installation d'une CA au bois indiquait une réduction moyenne de plus de 55% des valeurs comprises entre 200 µg/m³ et 80 µg/m³ environ.

Les réductions de l'exposition furent mesurées peu de temps après l'installation des CA. Il est probable qu'elles soient inférieures au cours de la durée de vie des CA si l'on tient compte de leur détérioration dans le temps.

Ainsi, une réduction de l'exposition de 40% au cours de la durée de vie d'une CA est probablement plus réaliste et ce taux a été appliqué ici pour les familles cuisinant dans la maison⁶. Les réductions de l'exposition avec une CA pour les familles cuisinant dans un bâtiment séparé ou dehors doivent être moindres que pour celles cuisinant dans la maison. Cela provient du fait que la part relative d'exposition à une pollution provenant des autres familles de la communauté cuisinant aux combustibles solides est plus importante pour les familles cuisinant dans un bâtiment séparé ou dehors que pour celles cuisinant dans la maison. Ainsi, on applique des réductions d'exposition de 35% et 25% respectivement aux familles cuisinant dans un bâtiment séparé ou dehors.⁷

Le tableau 6.1 résume les réductions d'exposition aux CA. Elles concernent à la fois les CA au bois et au charbon de bois. Les réductions prennent comme référence les niveaux d'exposition aux cuisinières traditionnelles (CT) présentés dans le tableau 3.5, et qui s'appliquaient aux adultes et aux enfants.

TABLEAU 6.1. REDUCTION D'EXPOSITION DES MEMBRES D'UNE FAMILLE AUX CA A BOIS ET AU CHARBON DE BOIS

| | |
|-------------------|-----|
| In house | 40% |
| Separate building | 35% |
| Outdoors | 25% |

Source : Auteur.

La combustion du GPL et de l'éthanol produit très peu d'émissions de PM et par conséquent, ils sont considérés comme étant des combustibles pour la cuisine relativement propres. Toutefois, des études ont montré que les concentrations de PM_{2.5} d'origine domestique parmi les utilisateurs de GPL restent comprises entre 40 et 60 µg/m³, probablement à cause de la pollution communautaire provenant principalement des familles voisines employant les combustibles solides. Aussi, il est considéré ici que les niveaux d'exposition à une cuisson utilisant le GPL ou l'éthanol atteignent une valeur moyenne de 50 µg/m³. Ce niveau d'exposition s'applique aux femmes adultes et aux enfants et n'est pas lié à l'emplacement de la cuisine. Un niveau d'exposition légèrement inférieur de 35 µg/m³ s'applique aux hommes adultes car ce groupe de membres familiaux passent souvent énormément de temps loin des abords de la communauté et sans doute dans des lieux moins pollués.

Dans le cas où la communauté adopte pleinement le GPL ou l'éthanol, un niveau d'exposition individuel de 25 µg/m³ s'applique à tous les membres du foyer. Cette valeur est la conséquence d'autres sources de PM_{2.5} situées dans l'environnement proche du foyer et de l'utilisation de combustibles non-solides en lien avec les PM_{2.5} de l'air ambiant extérieur.

⁶ Une réduction de 40% au cours de la vie utile d'une CA au bois traduit une détérioration linéaire de la réduction d'exposition de 55% la première année à 25% la quatrième année, période après laquelle la cuisinière est soit remplacée soit rénovée.

⁷ Ces réductions d'exposition en fonction de l'emplacement de la cuisine donnent en fait un pourcentage de réduction d'exposition à la pollution très proche entre les différents emplacements, ceci après avoir soustrait l'exposition à la pollution d'origine communautaire.

Les niveaux d'exposition individuels dans les foyers utilisant le GPL ou l'éthanol peuvent baisser jusqu'à des valeurs au-dessous 25 µg/m³. Joon et al (2011) ont trouvé un niveau d'exposition moyen aux PM2.5 sur 24 heures de 25 µg/m³ chez les familles rurales employant du GPL à Haryana, en Inde. Titcombe et Simcik (2011) ont mesuré un niveau d'exposition moyen aux PM2.5 de 14 µg/m³ chez les familles des hauts plateaux du sud de la Tanzanie employant du GPL et cuisinant à l'intérieur des habitations.

Les niveaux d'exposition individuelle aux PM2.5 avant et après les opérations de promotion sont présentés dans le tableau 6.2 et expriment les réductions d'exposition obtenus avec les CA, ainsi que les niveaux associés au GPL et à l'éthanol discutés ci-dessus. Les niveaux d'exposition sont des moyennes grossières qui peuvent différer sensiblement selon les foyers

TABLEAU 6.2. EXPOSITION A LA POLLUTION DE L'AIR DES MEMBRES D'UNE FAMILLE SELON LE TYPE D'OPERATION ET L'EMPLACEMENT DE LA CUISINE (µG/M3)

| | Pre-Intervention | | Post-Intervention | | | |
|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | TCS -Wood | TCS -Charcoal | ICS - Wood | ICS - Charcoal | LPG or Ethanol - Partial Adoption | LPG or Ethanol - Full Adoption |
| Adult female | | | | | | |
| Outdoors | 120 | 90 | 90 | 68 | 50 | 25 |
| Separate building | 160 | 104 | 104 | 68 | 50 | 25 |
| In house | 200 | 120 | 120 | 72 | 50 | 25 |
| Adult male | | | | | | |
| Outdoors | 72 | 54 | 54 | 41 | 35 | 25 |
| Separate building | 96 | 62 | 62 | 41 | 35 | 25 |
| In house | 120 | 72 | 72 | 43 | 35 | 25 |
| Children | | | | | | |
| Outdoors | 102 | 77 | 77 | 57 | 50 | 25 |
| Separate building | 136 | 88 | 88 | 57 | 50 | 25 |
| In house | 170 | 102 | 102 | 61 | 50 | 25 |

Remarque : TCS = Fourneau traditionnel (foyer ouvert et cuisinière traditionnelle); ICS = Cuisinière améliorée; LPG = Gaz de pétrole liquéfié. Source : Auteur.

7. Bénéfices sur la santé des opérations

Les bénéfices sur la santé qui résultent de la variation des niveaux d'exposition avant et après les opérations de promotion sont évalués en utilisant la méthode intégrée « exposition aux PM2.5 – action sanitaire » du *GBD 2015 Project* présenté en annexe 1 et les risques sanitaires regroupés dans la figure 4.1.

Les réductions estimées en pourcentage des effets sur la santé dues aux opérations sont présentées dans le tableau 6.1. Les réductions – ou bénéfices sur la santé – sont plus importants pour les familles qui cuisinent dans la maison que pour celles cuisinant dans un bâtiment séparé

ou en plein air ; cela provient d'une plus grande protection contre la pollution pour le premier groupe de familles.

Il est à noter que la réduction en pourcentage des effets sur la santé provenant de l'usage d'une CA est sensiblement plus faible que celui de l'exposition aux PM2.5, comme on peut le voir en comparant les tableaux 6.1 et 7.1. Cela résulte de la relation non-linéaire qui existe entre le niveau d'exposition et les risques sur la santé comme on le distingue sur la figure 4.1.

De plus, le fait de passer au GPL ou à l'éthanol aura deux fois plus d'effets sur la santé que d'adopter une CA chez les utilisateurs de bois de chauffage, (colonne 3 vs. 1 dans le tableau 7.1), et environ 50% de plus chez les utilisateurs de charbon de bois (colonne 4 vs. 2).

TABEAU 7.1 REDUCTION DES EFFETS SUR LA SANTE EN FONCTION DU TYPE D'OPERATION ET DE L'EMPLACEMENT DE LA CUISINE

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|--------------|------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | ICS -Wood | ICS -Charcoal | LPG or ethanol -From wood | LPG or ethanol -From charcoal |
| In house | 26% | 23% | 60% | 34% |
| In separate building | 21% | 19% | 48% | 27% |
| Outdoors | 13% | 12% | 34% | 20% |

Source : Estimations de l'auteur

Les réductions en pourcentage des effets sur la santé dans le cas d'une adoption totale du GPL ou de l'éthanol par la communauté sont sensiblement plus importantes que dans le cas d'une adoption partielle (tableau 7.2). Cela provient d'une pollution communautaire réduite due à l'adoption totale et par conséquent d'une diminution de l'exposition individuelle aux PM2.5 de 35-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ comme exprimé dans le tableau 6.2. Au total, plus de 4 150 décès peuvent être évités chaque année par l'adoption entière du GPL ou de l'éthanol par la communauté. Si après une totale adoption, le niveau d'exposition tombe à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors ce sont 5 900 décès qui sont évités annuellement.

TABLE 7.2 REDUCTION DES EFFETS SUR LA SANTE DES OPERATIONS DE CUISINIERES –ADOPTION PARTIELLE/TOTALE

| | LPG or ethanol |
|--|----------------|
| Partial community adoption* | 34% |
| Full community adoption* | 52% |
| Annual deaths avoided (full community adoption of intervention) | 4,152 |

* Moyenne pondérée par les combustibles solides et l'emplacement de la cuisine. Source : Estimations de l'auteur

8. Inconvénients sur la santé des opérations

Le fait de passer à une cuisinière améliorée (CA), au GPL ou à l'éthanol a aussi des inconvénients. Les principaux avantages sont la consommation réduite de bois ou de charbon de bois, qu'ils

soient ramassés ou achetés, ainsi que la réduction du temps de cuisson. L'ampleur de ces bénéfices dépendra des modalités actuelles de cuisson, du type de cuisinière améliorée, des habitudes culinaires des familles, du coût des combustibles et de l'appréciation des économies de temps par les membres du foyer. L'utilisation de l'éthanol présente aussi un avantage financier s'il existe une production locale de ce combustible.

8.1 Économies de combustible

Les rendements énergétiques courants pour les cuisinières traditionnelles ou la cuisson à même le feu sont de l'ordre de 13-18% pour le bois et de 9-12% pour les déchets agricoles et les déjections animales. Les rendements signalés pour les cuisinières améliorées utilisant les biocombustibles sont de 23-40% pour le bois et de 15-19% pour les déchets agricoles (Malla et Timilsina, 2014). Cela signifie que les gains d'efficacité obtenus en utilisant une CA au lieu d'un fourneau traditionnel ou du foyer ouvert dépassent les 25% et peuvent dépasser les 100% selon le type de cuisinière, les pratiques de cuisson et le genre de nourriture cuisinée. En conséquence, les économies de biocombustibles dépassent généralement les 20% et peuvent s'approcher des 70% si on utilise du bois.

Pour ce qui est du charbon de bois, deux cuisinières améliorées commercialisées en Haïti ont la réputation de fournir des économies de combustible de 43-55%. Il s'agit de la cuisinière *D&E Eco Recho* (Ashden, 2013) et de la *Prakti Wouj* (Bossuet et Serrar, 2014).

Il est admis ici que les économies moyennes de combustible obtenues sont de 40% avec une cuisinière améliorée au bois ou au charbon de bois par rapport au fourneau traditionnel ou au foyer ouvert. L'utilisation du GPL ou de l'éthanol entraîne 100% d'économie de biocombustibles.

La plupart des familles urbaines achètent tout ou une partie des biocombustibles qu'elles utilisent pour cuisiner, alors que la majorité des foyers ruraux les ramassent eux-mêmes. Il est important d'imputer une valeur à ces combustibles récoltés. Une approche courante est d'imputer une valeur fondée sur le temps que passent les familles à récolter ces biocombustibles.

En ce qui concerne le bois de chauffage, principalement utilisé dans les zones rurales, la valeur des économies peut être évaluée en se basant sur un temps de récolte de 30 minutes par famille et par jour chez les familles utilisant des fourneaux traditionnels ou des foyers ouverts, sur le salaire horaire d'une femme égal à 10 Gourdes et sur une valeur de temps égale à 50% du taux de rémunération d'une femme. Ce critère a été retenu car la plupart du temps, ce sont les femmes (ou les enfants) qui se consacrent au ramassage du bois.

D'un autre côté, la valeur du bois de chauffage peut être estimée en se fondant sur le prix du bois en zone rurale qui était d'environ 5 Gourdes/kg en 2016 ou 4.3 Gourdes/kg au prix réel de

2014. La consommation de bois de chauffage est estimée à 1 400 kg par famille et par an.⁸

La valeur estimée des économies de bois de chauffage est présentée dans le tableau 8.1. Une moyenne de l'auto-récolte et de l'achat est appliquée dans ce rapport car la valeur des économies de bois de chauffage est intégrée au rapport coûts-bénéfices. En effet, certaines familles achètent le bois, alors qu'en principe elles pouvaient vendre le bois qu'elles ramassaient.

TABLEAU 8.1 VALEUR ESTIMEE DES ECONOMIES DE BOIS DE CHAUFFAGE AVEC UNE CUISINIERE AMELIOREE, 2016

| | Self-collection | Purchase |
|--|-----------------|----------|
| Fuelwood collection time (minutes/household/day) | 30 | |
| Female rural wage rate (Gourdes/hour)* | 10 | |
| Value of time (% of wage rate) | 50% | |
| Rural market price of fuelwood (Gourdes/kg)* | | 4.25 |
| Fuelwood consumption (kg/household/year) | | 1,400 |
| Value of fuelwood (Gourdes/household/year) | 900 | 6,000 |
| Value of fuelwood savings (Gourdes/household/year) | | |
| Improved cookstove (40% savings) | 360 | 2,400 |
| LPG and ethanol stove (100% savings) | 900 | 6,000 |

* Prix réels de 2014. Source : Estimations de l'auteur.

En ce qui concerne le charbon de bois, principalement employé dans les zones urbaines, la valeur des économies peut être évaluée en se basant sur le prix du marché qui était d'environ 20,5 Gourdes/kg et une consommation de charbon de bois estimée à 1,5 kg par famille et par jour chez les familles utilisant une cuisinière traditionnelle.⁹ Les économies de combustible sont présentées dans le tableau 8.2.

Bien que la valeur ou le coût de la consommation annuelle de charbon de bois soit très élevée, il n'est « seulement » que 17% supérieur à celui de l'utilisation du bois de chauffage dans les zones urbaines, en se basant sur un prix du bois d'environ 8 Gourdes/kg (6,8 Gourdes/kg aux prix réels de 2014) et sur une consommation estimée à 1 400 kg par famille et par an.

TABLEAU 8.2 VALEUR ESTIMEE DES ECONOMIES DE CHARBON DE BOIS AVEC UNE CA, 2016

| | |
|--|--------|
| Charcoal market price (Gourdes per kg)* | 20.5 |
| Charcoal consumption (kg/household/day) | 1.5 |
| Value of charcoal consumption (Gourdes/household/year) | 11,200 |
| Value of fuelwood savings (Gourdes/household/year) | |
| Improved cookstove (40% savings) | 4,480 |
| LPG and ethanol stove (100% savings) | 11,200 |

* Prix réels de 2014. Source : Estimations de l'auteur.

⁸ Estimation basée sur une consommation de GPL de 30 kg par personne et par an, un rendement énergétique du bois de chauffage de 15 MJ par kg et une efficacité énergétique des cuisinières traditionnelles et du foyer ouvert de 15%.

⁹ On signale une consommation de 1.3-2.3 kg par famille et par jour en zone urbaine en Haïti (Ashden, 2013 ; Bossuet et Serrar, 2014).

8.2 Économies de temps de cuisson

Typiquement, les familles des pays en développement passent 3 à 5 heures par jour à cuisiner. Hutton et al (2006) signalent qu'il faut 11 à 14% moins de temps pour bouillir de l'eau avec une cuisinière améliorée *Rocket* ou avec une au GPL qu'avec un foyer ouvert. Habermehl (2007) rapporte que des études de suivi ont révélé que le temps de cuisson diminue de 1,8 heures par jour en utilisant une cuisinière *Rocket Lorena*. Habermehl considère qu'un quart de ce temps, soit 27 minutes, représente vraiment une économie, car la personne qui cuisine accomplit souvent plusieurs tâches à la fois. Siddiqui et al (2009) rapportent que la durée quotidienne de combustion pour la cuisine dans une communauté semi-rurale de Karachi était inférieure de 30 minutes chez les familles utilisant le gaz naturel que chez celles employant le bois, et que le temps passé à cuisiner était réduit de 40 minutes. Jeuland et Pattanayak (2012) considèrent qu'une cuisinière améliorée au bois permet d'économiser environ 10 minutes par jour et qu'une cuisinière au GPL diminue le temps de cuisine de 1 heure. Garcia-Frapolli et al (2010) signalent que le temps passé à cuisiner avec une cuisinière *Patsari* équipée d'une cheminée au Mexique est réduit d'environ une heure par famille et par jour. 15-30 minutes de temps effectif sont économisées.

Ce rapport admet une économie de temps de cuisine de 15 minutes par jour avec une cuisinière améliorée au bois ou au charbon de bois et de 30 minutes si le GPL ou l'éthanol est utilisé, par comparaison avec une cuisinière traditionnelle ou un foyer ouvert. Pour ce qui est des économies de temps de ramassage du bois de chauffage, une valeur de temps égale à 50% des taux de rémunération des femmes est appliquée pour évaluer les économies du temps passé à cuisiner. Les valeurs annuelles des économies de temps entre familles urbaine et rurale sont regroupées dans le tableau 8.3.

TABLE 8.3. ESTIMATION DES ECONOMIES DE TEMPS PASSE A CUISINER, 2016

| | Gourdes/household/year | |
|----------------------------------|------------------------|-------|
| | Rural | Urban |
| Female wage rate (Gourdes/hour)* | 10 | 20 |
| Improved cookstove | 450 | 900 |
| LPG and ethanol stove | 900 | 1,800 |

* Prix réels de 2014. Source : Estimations de l'auteur.

8.3 Production d'éthanol

L'éthanol utilisé pour la cuisson peut être produit localement en Haïti, contrairement au GPL. Cela représente un avantage économique supplémentaire. Une famille haïtienne peut consommer environ 220 litres par an pour la cuisine. Cette estimation se base sur une consommation de 30 kg de GPL par personne et par an et sur les rendements énergétiques relatifs et l'efficacité des cuisinières au GPL et à l'éthanol. Le coût de l'éthanol est signalé à

environ 0,6 par litre.¹⁰ Si les avantages économiques d'une production locale sont assimilés à une marge bénéficiaire de 10%, alors le bénéfice d'une production locale est de 2,7 Gourdes par litre, soit 594 Gourdes par an (tableau 8.4).

1.4. ESTIMATION DES AVANTAGES ECONOMIQUES D'UNE PRODUCTION D'ETHANOL EN HAÏTI, 2016

| | |
|--|-------|
| Ethanol consumption (liters/household/year) | 220 |
| Value of ethanol (Gourdes/liter)* | 27 |
| Value of annual ethanol consumption (Gourdes/household/year) | 5,940 |
| Economic benefit of production | 10% |
| Economic benefit (Gourdes/household/year) | 594 |

* Prix réels de 2014. Source : Estimations de l'auteur.

Les bénéfices qui n'ont pas été pris en compte dans ce rapport sont : les avantages sur le climat global dus à une consommation réduite de biomasse, les bénéfices écologiques provenant d'une récolte moindre de biomasse et la diminution des impacts environnementaux résultant d'une production réduite de charbon de bois. Par conséquent, les rapports avantages-coûts exposés dans cette étude sont modérés par cette approche.

9. Coûts des opérations

9.1 Coût des cuisinières

Le coût des cuisinières améliorées au bois varie énormément en fonction du rendement énergétique du combustible et du taux d'émission, de sa durabilité, des matériaux et de la technologie. Les modèles de base peuvent coûter moins de 10 \$, mais souvent ils ne permettent pas d'économiser plus de 25 % de combustible, la réduction des émissions est faible et leur durée de vie est limitée. Les modèles de qualité moyenne coûtent entre 25 et 35 \$ et sont de la marque *Rocket*. Ces cuisinières peuvent permettre d'économiser plus de 50 % de combustible et assurent une réduction notable des émissions.

Plusieurs marques de cuisinières améliorées au charbon de bois sont recommandées par différentes entreprises et bénéficient de dons internationaux. On distingue la cuisinière *Prakti Wouj* conçue pour le marché haïtien et dont le prix est de 50 \$, sa durée de vie utile est de 5 ans (Bossuet et Serrar, 2014) ; la cuisinière *D&E Eco Recho* qui coûte entre 12 et 14 \$ et dont la durée de vie utile est de 2 ans (Ashden, 2013).

Les cuisinières améliorées au bois et au charbon de bois citées ci-dessus ne possèdent qu'un seul feu. Les familles nécessitent au moins deux feux pour pouvoir abandonner leur fourneau traditionnel ou le foyer ouvert. Malheureusement, cela double au moins le prix des cuisinières.

Une cuisinière de quatre feux au GPL munie d'un réservoir de 12 litres et d'un détendeur coûte 125 \$ en Haïti. Le projet *SWITCH* fait la promotion de cuisinières et de cylindres au GPL pour les

¹⁰ <http://cleancookstoves.org/about/news/01-29-2015-partner-spotlight-novogaz.html>

foyers haïtiens. Pour surmonter le problème que pose le prix élevé par rapport au revenu moyen, les organisateurs du projet se sont tournés vers les Haïtiens vivant à l'étranger (3 millions de personnes) qui peuvent se permettre de payer cet investissement initial pour leur famille restée en Haïti.

Le projet *Gaïa* réalise aussi la promotion des cuisinières à l'éthanol comme dans certains pays d'Afrique, avec éventuellement une production locale d'éthanol. Les premiers retours du projet indiquent que l'éthanol est compétitif avec le GPL.¹¹

Le prix et la durée de vie des cuisinières considérés dans cette étude sont regroupés dans le tableau 9.1. Le coût correspond à des cuisinières munies de deux feux ou à celui de deux munies d'un seul feu afin de dissuader les familles d'utiliser leur fourneau traditionnel ou le foyer ouvert.

TABLEAU 9.1. ESTIMATION DU PRIX DES CUISINIÈRES, 2016

| | Improved Cookstove -Wood | Improved Cookstove -Charcoal | LPG stove** | Ethanol stove |
|---|-----------------------------|---------------------------------|-------------|---------------|
| Cost of stove (Gourdes)* | 2,200 | 4,500 | 5,600 | 4,500 |
| Useful life of stove (years) | 4 | 4 | 10 | 10 |
| Annualized cost of stoves (3%, 5% and 12% discount rates) | 575 | 1,175 | 637 | 512 |
| | 591 | 1,209 | 691 | 555 |
| | 647 | 1,323 | 885 | 711 |

* Prix réels de 2014. ** comprenant un réservoir de 12 l et un détendeur Source : Estimations de l'auteur.

9.2 Coûts du GPL et de l'éthanol

On admet ici que la consommation de GPL est de 30 kg par personne et par an pour les familles qui cuisinent uniquement au GPL. Cette valeur se base sur les estimations faites dans plusieurs pays en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud (Kojima et al, 2011). L'estimation de la consommation d'éthanol tient compte de son rendement énergétique et de l'efficacité de la cuisinière pour une consommation énergétique équivalente à celle de GPL. Les coûts annuels de GPL et d'éthanol par famille sont très semblables si on se base sur les tarifs considérés ici (tableau 9.2). Le coût du combustible est globalement 10 fois le coût annualisé d'une cuisinière au GPL ou à l'éthanol.

TABLEAU 9.2. COÛTS ESTIMÉS DES COMBUSTIBLES, 2016

| | LPG | Ethanol |
|------------------------------------|-----------|--------------|
| Fuel consumption (person/year) | 30 kg | 50 liters |
| Fuel consumption (household/year) | 130 kg | 220 liters |
| Cost (Gourdes)* | 45 per kg | 27 per liter |
| Fuel cost (Gourdes/household/year) | 5,800 | 5,940 |

* Prix réels de 2014. Basés sur 1\$/kg de GPL et de 0.6\$/l d'éthanol. Source : Estimations de l'auteur.

¹¹ <http://cleancookstoves.org/about/news/01-29-2015-partner-spotlight-novogaz.html>

9.3 COUT DE L'ENTRETIEN DE LA CUISINIÈRE ET DES PROGRAMMES DE PROMOTION

Le coût des opérations inclue aussi l'entretien et les réparations des cuisinières améliorées, ainsi que de celles au GPL et à l'éthanol. Le montant annuel de l'entretien et des réparations est estimé à 5% du prix d'achat de la cuisinière

Le succès d'une adoption de combustibles modernes et de cuisinières améliorées exige une activité de promotion, une participation de la communauté et des programmes de changement comportemental. De tels programmes coûtent de l'argent et font partie du prix à payer pour que les familles adoptent complètement les cuisinières recommandées.

Le coût d'une campagne de promotion pourra augmenter sensiblement si les programmes qu'elle comprend nécessitent plus d'ampleur pour obtenir une adhésion totale de la population envers les énergies modernes ou les cuisinières améliorées. Aussi, est-il très difficile d'avancer un prix unique pour ces campagnes.

On admet que le montant de ces programmes s'élève à 10 \$ par famille la première année (promotion et suivi) et à 2 \$ pour les années suivantes (suivi).¹² Ces coûts correspondent aux familles qui adoptent les cuisinières préconisées.

10. Rapports coûts-bénéfices

10.1 Évaluation des bénéfices sur la santé

Il est peu probable que le contrôle de la pollution de l'air des foyers résolve immédiatement les problèmes de santé résultant d'une exposition aux PM2.5 sur de longues périodes, à savoir les maladies du cœur, les crises cardiaques, les broncho-pneumopathies chroniques obstructives et les cancers du poumon. Il est donc admis que l'incidence positive sur les décès résultant de ces maladies s'exprime progressivement sur une période supérieure à dix ans. Toutefois, en ce qui concerne l'infection aiguë des voies respiratoires inférieures (ALRI) chez les jeunes enfants, on constate une guérison totale de la maladie dans l'année qui suit la réduction de l'exposition aux PM2.5. Cela signifie que sur une période de plus de 20 ans, les bénéfices annualisés représentent 77 à 85% de la totalité des bénéfices, à savoir des avantages estimés sur la santé présentés dans le chapitre 7.¹³

Les bénéfices sur la santé exprimés en nombre de décès et de maladies associées qui ont été évités grâce à l'emploi de cuisinières plus propres peuvent être monétisés par le biais de plusieurs mesures d'évaluation des avantages. Le *Copenhagen Consensus Center (CCC)* applique une valeur par « années de vie corrigées de l'incapacité » évitées ou *DALY* qui est 1, 3, et 8 fois le PIB per capita dans le *Haiti Priorities Project*, comme indiqué dans le chapitre 4. Ainsi, les bénéfices

¹² Garcia-Frapolli et al (2010) appliquent un coût similaire pour l'entretien et la réparation d'une cuisinière *Patsari* dans la région de Mexico de Purepecha, et un coût de programme de 25 \$ par cuisinière.

¹³ Taux d'actualisation de 3%, 5% et 12%.

sur la santé sont calculés en convertissant les décès et les maladies évités grâce aux campagnes de promotion des cuisinières en DALY (comme vu dans le chapitre 4) actualisés au taux annuel de 3, 5, et 12% et multipliés par 1, 3, et 8 fois le PIB per capita.

10.2 Bénéfices et coûts

Les bénéfices et les coûts des opérations de promotion se comparent en utilisant leurs rapports. Un rapport avantages-coûts (*BCR*) supérieur à un indique que les avantages dépassent les coûts des opérations. Le rapport peut être calculé en tenant compte de la valeur actuelle des bénéfices par rapport à celle des coûts, ou encore de la valeur des bénéfices annualisés par rapport à celle des coûts annualisés. Des taux d'actualisation de 3, 5, et 12% sont utilisés pour ces calculs.

Les *BCR* des cuisinières améliorées (CA) et de celles au GPL et à l'éthanol sont regroupés dans les tableaux 10.1-2 pour le cas des bénéfices sur la santé exprimés en DALY évalués à 3 fois le PIB per capita et actualisés à 5%.¹⁴ Ces *BCR* sont des moyennes englobant les trois emplacements des cuisines. Les *BCR* correspondant à chacun des emplacements sont présentés dans les tableaux 10.3a-c. Les *BCR* basés sur des DALY multipliés par 1 et 8 fois le PIB per capita et des taux d'actualisation de 3% et 12% sont regroupés dans l'annexe 2. Les gains de temps de cuisson et d'économies de combustibles sont identiques dans chaque scénario.

Les avantages des cuisinières améliorées utilisant de la biomasse sont en moyenne près de quatre fois supérieurs aux coûts (tableau 10.1). Les *BCR* des cuisinières améliorées au bois (*ICS-W*) sont très proches de ceux des cuisinières améliorées au charbon de bois (*ICS-C*). Cela provient du fait que les plus faibles bénéfices obtenus sur la santé des *ICS-C* sont compensés par les plus grands avantages non liés à la santé résultant des économies de combustibles.

Les avantages des cuisinières au GPL et à l'éthanol sont en moyenne près de 1,25 à 2,15 fois supérieurs aux coûts (tableau 10.1). Les *BCR* résultant d'un passage du charbon de bois au GPL ou à l'éthanol sont plus importants que pour les anciens utilisateurs de bois de chauffage. Cela provient des plus grands avantages non liés à la santé résultant des économies de charbon de bois. Les *BCR* de l'éthanol sont légèrement supérieurs à ceux du GPL, grâce à l'avantage économique supplémentaire d'une production locale d'éthanol.

Les *BCR* d'une cuisson au GPL ou à l'éthanol sont beaucoup plus faibles que ceux obtenus avec une CA à cause du coût de ces combustibles. Cependant, les bénéfices sur la santé d'une cuisson au GPL ou à l'éthanol sont deux fois plus importants qu'avec une CA au bois de chauffage et environ 50% supérieurs à une CA au charbon de bois. Par conséquent, les énergies propres telles que le GPL et l'éthanol sont la seule option pour combattre efficacement les conséquences sur la

¹⁴ Dans ce cas, les bénéfices sur la santé monétisés sont seulement un peu plus faibles qu'en utilisant la VVS pour les décès évités dans la méthodologie proposée par la Banque mondiale (2016b) (voir chapitre 4).

santé des combustibles solides. En d'autres termes, les CA peuvent représenter la solution la plus rentable comme le montre les rapports coûts-bénéfices élevés, mais non la stratégie la plus efficace.

TABLEAU 10.1. RECAPITULATIF DES BCR MOYENS DES OPERATIONS DE CUISINIERS, 2016*

| Interventions | BCRs |
|---|------|
| Improved charcoal and wood stoves (ICS-C and ICS-W) | 3.85 |
| LPG and ethanol stoves for households currently cooking with wood (W) | 1.25 |
| LPG and ethanol stoves for households currently cooking with charcoal (C) | 2.15 |

* Bénéfices et coûts sont annualisés au taux d'actualisation de 5%. Source : Estimations de l'auteur

Les moyennes annuelles des avantages et des coûts par famille et des *BCR* sont regroupées en détails dans le tableau 10.2. Ces *BCR* sont des moyennes tirées des trois emplacements de cuisines.

Concernant les emplacements de cuisines, les *BCR* des familles cuisinant à l'extérieur sont seulement plus faibles de 10-20% que ceux des familles cuisinant dans la maison à cause des avantages notables non liés à la santé (tableaux 10.3a-c).

TABLEAU 10.2 MOYENNES DES BENEFICES ET DES COUTS DES OPERATIONS DE CUISINIERS, 2016 (GOURDES/FAMILLE/ANNEE)*

| | Benefits | Costs | BCR |
|-------------|----------|-------|-----|
| ICS-W | 3,529 | 910 | 3.9 |
| ICS - C | 6,312 | 1,643 | 3.8 |
| LPG - W | 8,462 | 6,916 | 1.2 |
| Ethanol - W | 9,056 | 6,864 | 1.3 |
| LPG - C | 14,441 | 6,916 | 2.1 |
| Ethanol - C | 15,035 | 6,864 | 2.2 |

* Bénéfices et coûts sont annualisés au taux d'actualisation de 5%. Source : Estimations de l'auteur

TABLE 10.3A. BENEFICES ET COUTS DES OPERATIONS DE CUISINIERS POUR UNE CUISINE SITUEE DANS LA MAISON, 2016 (GOURDES/FAMILLE/ANNEE)*

| | Benefits | Costs | BCR |
|-------------|----------|-------|------------|
| ICS-W | 4,017 | 910 | 4.4 |
| ICS - C | 6,674 | 1,643 | 4.1 |
| LPG - W | 9,508 | 6,916 | 1.4 |
| Ethanol - W | 10,102 | 6,864 | 1.5 |
| LPG - C | 14,912 | 6,916 | 2.2 |
| Ethanol - C | 15,506 | 6,864 | 2.3 |

* Bénéfices et coûts sont annualisés au taux d'actualisation de 5%. Source : Estimations de l'auteur

TABLEAU 10.3B. BÉNÉFICES ET COÛTS DES OPÉRATIONS DE CUISINIÈRES POUR UNE CUISINE SITUÉE DANS UN BATIMENT SEPARÉ, 2016 (GOURDES/FAMILLE/ANNEE)*

| | Benefits | Costs | BCR |
|-------------|----------|-------|------------|
| ICS-W | 3,741 | 910 | 4.1 |
| ICS - C | 6,433 | 1,643 | 3.9 |
| LPG - W | 8,848 | 6,916 | 1.3 |
| Ethanol - W | 9,442 | 6,864 | 1.4 |
| LPG - C | 14,529 | 6,916 | 2.1 |
| Ethanol - C | 15,123 | 6,864 | 2.2 |

* Bénéfices et coûts sont annualisés au taux d'actualisation de 5%. Source : Estimations de l'auteur

TABLE 10.3C. BÉNÉFICES ET COÛTS DES OPÉRATIONS DE CUISINIÈRES POUR UNE CUISINE SITUÉE À L'EXTÉRIEUR, 2016 (GOURDES/FAMILLE/ANNEE)*

| | Benefit | Cost | BCR |
|-------------|---------|-------|------------|
| ICS-W | 3,296 | 910 | 3.6 |
| ICS - C | 6,066 | 1,643 | 3.7 |
| LPG - W | 8,032 | 6,916 | 1.2 |
| Ethanol - W | 8,626 | 6,864 | 1.3 |
| LPG - C | 14,158 | 6,916 | 2.0 |
| Ethanol - C | 14,752 | 6,864 | 2.1 |

* Bénéfices et coûts sont annualisés au taux d'actualisation de 5%. Source : Estimations de l'auteur

L'utilisation par une famille de combustibles solides pour cuisiner affecte les autres familles voisines. La fumée est emportée par le vent jusqu'aux habitations environnantes et pollue aussi l'air ambiant extérieur. Par conséquent, on a tout intérêt à développer des programmes de promotion qui cherchent à supprimer complètement les cuisinières traditionnelles et éventuellement celles utilisant les combustibles solides, sur le modèle des programmes d'assainissement et de suppression des latrines sauvages gérés par les communautés. Les BCR calculés dans ce rapport résultant d'une adoption totale du GPL ou de l'éthanol sont environ 10% plus élevés que ceux issus d'une adoption partielle ; ce gain traduit la moindre pollution des communautés et l'accroissement des bénéfices sur la santé de l'ordre de 50% dans le cas d'une adoption totale.

10.3 Qualité des preuves

La solidité de l'analyse coûts-bénéfices et la fiabilité des BCR des campagnes de promotion dépendent fondamentalement des coûts et des bénéfices de chacun des composants.

La plus grande part des bénéfices provient des économies de biocombustibles suivies des bénéfices sur la santé puis des temps de cuisson (tableau 10.4). Les économies de biocombustibles sont particulièrement importantes pour les utilisateurs de charbon de bois qui adoptent une cuisinière améliorée avec ce combustible ou bien une cuisinière au GPL ou à l'éthanol.

La plus grande part des coûts des campagnes de promotion provient de l'achat des cuisinières lorsqu'il s'agit de CA au bois ou au charbon de bois (*ICS-W* ou *ICS-C*) et de l'achat du combustible quand il s'agit de cuisinières au GPL et à l'éthanol (tableau 10.5). Le coût de ces opérations est modéré dans le cas des cuisinières améliorées et négligeable pour celles utilisant les combustibles propres.

TABEAU 10.4. ESTIMATION DE LA REPARTITION DES BENEFICES DES OPERATIONS

| | Improved wood stove (ICS-W) | Improved charcoal stove (ICS-C) | LPG and Ethanol Stove (from wood) | LPG and Ethanol Stove (from charcoal) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Health benefits | 23-37% | 11-19% | 22-36% | 8-13% |
| Fuel savings | 52-63% | 67-74% | 52-65% | 72-79% |
| Time savings | 11-14% | 14-15% | 9-11% | 12-13% |

Remarque : Répartition des bénéfices pour un taux d'actualisation de 5% et des avantages sur la santé évalués à 3 fois le PIB per capita et par DALY. Source : Estimations de l'auteur

TABEAU 10.5. ESTIMATION DE LA REPARTITION DES COUTS DES OPERATIONS

| | Improved wood stove (ICS-W) | Improved charcoal stove (ICS-C) | LPG and Ethanol Stove (from wood) | LPG and Ethanol Stove (from charcoal) |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Stove purchase | 65% | 74% | 8-10% | 8-10% |
| Fuel purchase | - | - | 84-87% | 84-87% |
| Stove maintenance | 12% | 14% | 3-4% | 3-4% |
| Promotion program | 23% | 13% | 2% | 2% |

Remarque : Répartition des coûts pour un taux d'actualisation de 5%. Source : Estimations de l'auteur

La répartition des bénéfices et des coûts peut être utilisée pour estimer leur importance relative dans l'analyse des coûts-bénéfices, allant de « faible » importance pour les parts réduites à importance « élevée » pour les parts conséquentes (tableau 10.5). Cela peut alors être associé à la « qualité des preuves » de l'estimation des parts pour classer les *BCR* des opérations en termes de « qualité des preuves » (tableau 10.6).

Le problème principal concerne l'opération de promotion des cuisinières améliorées au charbon de bois (*ICS-C*) à propos des bénéfices sur la santé car il existe une preuve limitée de l'exposition avant et après l'opération. Toutefois, puisque la part des bénéfices sur la santé n'est que d'importance ou de taille « moyenne », la « qualité des preuves » globale de l'opération de promotion des *ICS-C* reste « moyenne-forte », tandis que la « qualité des preuves » est « forte » pour les opérations de promotion des CA au bois (*ICS-W*), de celles au GPL et à l'éthanol.

TABLEAU 10.6. IMPORTANCE ET QUALITE DES PREUVES DE LA REPARTITION DES COUTS ET DES BENEFICES DES OPERATIONS

| | Importance | | | Quality of evidence | | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| | Improved wood stove (ICS-W) | Improved charcoal stove (ICS-C) | LPG and Ethanol stove | Improved wood stove (ICS-W) | Improved charcoal stove (ICS-C) | LPG and Ethanol stove |
| Health benefits | Medium-High | Medium | Medium-High | Strong | Limited-Medium | Strong |
| Fuel savings | High | High | High | Strong | Strong | Strong |
| Time savings | Low | Low | Low | Medium | Medium | Medium |
| Stove, fuel purchase | High | High | Very High | Strong | Strong | Strong |
| Stove maintenance | Low | Very Low | Very low | Limited | Limited | Limited |
| Promotion program | Medium | Low | Very Low | Medium-Limited | Medium-Limited | Medium-Limited |
| Benefit-cost ratio | | | | Strong | Medium-Strong | Strong |

Source : Estimations de l'auteur

11. Conclusions

Pas moins de 94% de la population en Haïti cuisinent avec des combustibles solides, bois de chauffage et charbon de bois étant à parts égales. Près de la moitié des familles cuisinent à l'extérieur, plus d'un tiers dans un bâtiment séparé et 15% dans la maison. Presque toutes les familles employant des combustibles solides cuisinent à même le feu ou avec une cuisinière traditionnelle. Cela fait de la pollution de l'air des foyers provoquée par les combustibles solides un problème majeur de santé publique en Haïti avec plus 8 200 décès en 2016.

Les cuisinières améliorées (CA) au bois ou charbon de bois apportent des bénéfices qui sont 3.7 à 4.1 fois supérieurs à leurs coûts quand les DALY sont évalués à 3 fois le PIB per capita avec un taux d'actualisation de 5%. Cuisiner au GPL ou à l'éthanol est beaucoup plus cher à cause du prix des combustibles. Toutefois, les bénéfices sur la santé sont 1.5 à 2.5 fois plus importants que lorsque l'on cuisine avec une CA, aussi cette option est-elle la seule à pouvoir combattre sur le long terme les conséquences sur la santé des combustibles solides.

L'utilisation par une famille de combustibles solides pour cuisiner affecte les autres familles voisines. La fumée est emportée par le vent jusqu'aux habitations environnantes et pollue aussi l'air ambiant extérieur. Par conséquent, on a tout intérêt à développer des programmes de promotion de cuisinières qui cherchent à éradiquer les cuisinières traditionnelles et éventuellement celles utilisant les combustibles solides, sur le modèle des programmes d'assainissement et de suppression des latrines sauvages gérés par les communautés.

References

- Ashden (2013). G&E Green Enterprises Haiti. Case Study.
- Baumgartner, J., Schauer, J., Ezzati, M., et al. (2011). Indoor air pollution and blood pressure in adult women living in rural China. *Environmental Health Perspectives*, 119(10): 1390-95.
- Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Wolf, J., Bruce, N.G., Mehta, S., et al. (2013). Solid fuel use for household cooking: Country and regional estimates for 1980-2010. *Environmental Health Perspectives*, 121(7): 784-90.
- Bossuet, J. and Serrar, M. (2014). Prakti design: the challenge of clean combustion for the poor. *Field Actions Science Report*. Vol 7.
- Burnett, RT., Pope, CA III., Ezzati, M., Olives, C., Lim, SS., et al. (2014). An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environmental Health Perspectives*, 122: 397-403.
- Clark, M., Bachand, M., Heiderscheidt, J., Yoder, S., Luna, B., et al. (2013). Impact of a cleaner-burning cookstove intervention on blood pressure in Nicaraguan women. *Indoor Air*, 23(2): 105-14.
- Clark, M., Reynolds, S., Burch, J., et al. (2010). Indoor air pollution, cookstove quality, and housing characteristics in two Honduran communities. *Environmental Research*, 10: 12-18.
- Clark, M., Peel, J., Burch, J., Nelson, T., Robinson, M., Conway, S., Bachand, A., and Reynolds, S. (2009). Impact of improved cookstoves on indoor air pollution and adverse health effects among Honduran women. *International Journal of Environmental Health Research*, 19(5): 357-368.
- Cynthia, AA., Edwards, RD., Johnson, Rosas, IA., et al. (2010). Indoor particle size distributions in homes with open fires and improved Patsari cook stoves. *Atmospheric Environment*, 44: 2881-86.
- Cynthia, AA., Edwards, RD., Johnson, M., Zuk, M., et al. (2008). Reduction in personal exposures to particulate matter and carbon monoxide as a result of the installation of a Patsari improved cook stove in Michoacan Mexico. *Indoor Air*, 18(2): 93-105.
- Desai, MA., Mehta, S., and Smith, K., (2004): Indoor Smoke from Solid Fuels: Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels. Environmental Burden of Disease Series, No. 4. World Health Organization.
- Dherani, M., Pope, D., Mascarenhas, M., Smith, K., Weber, M., and Bruce, N. (2008). Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 86:390-98.
- Fitzgerald, C., Aguilar-Villalobos, M., Eppler, AR., et al. (2012). Testing the effectiveness of two improved cookstove interventions in the Santiago de Chuco Province of Peru. *Sci Total Environ*, 420: 54-64.

Forouzanfar, M., Afshin, A., Alexander, L., Anderson, HR., et al. (2016). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 388: 1659-724.

Forouzanfar, MH., Alexander, L., Anderson, HR., et al. (2015). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*, 386: 2287–323.

Garcia-Frapolli, E., Schilman, A., Berrueta, V., et al. (2010). Beyond fuelwood savings: Valuing the economic benefits of introducing improved biomass cookstoves in the Purépecha region of Mexico. *Ecological Economics*, 69(12): 2598–2605.

Habermehl, H. (2007). Economic evaluation of the improved household cooking stove dissemination programme in Uganda. German GTZ.

Hanna, R., Duflo, E., and Greenstone, M. (2016). Up in Smoke: The Influence of Household Behavior on the Long-Run Impact of Improved Cooking Stoves. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(1): 80-114.

Hartinger, SM., Commodore, AA., Hattendorf, J., Lanata, CF., et al. (2013). Chimney stoves modestly improved indoor air quality measurements compared with traditional open fire stoves: results from a small-scale intervention study in rural Peru. *Indoor Air*, 23(4): 342-52.

Helen, St G., Aguilar-Villalobos, M., Adetona, O., et al. (2015). Exposure of pregnant women to cookstove-related household air pollution in urban and periurban Trujillo, Peru. *Arch Environ Occup Health*, 70(1):10-8. doi: 10.1080/19338244.2013.807761.

Hutton, G., Rehfuess, E., Tedioso, F., and Weiss, S. (2006). Evaluation of the costs and benefits of household energy and health interventions at global and regional levels. World Health Organization.

Jeuland, M. and Pattanayak, S. (2012). Benefits and costs of improved cookstoves: Assessing the implications of variability in health, forest and climate impacts. *PLoS ONE* 7(2): e30338. doi:10.1371/journal.pone.0030338.

Joon, V., Kumari, H., Chandra, A., and Bhattacharya, M. (2011). Predicting exposure levels of respirable particulate matter (PM_{2.5}) and carbon monoxide for the cook from combustion of cooking fuels. International Conference on Chemistry and Chemical Process 2011. IPCBBE vol. 10: 229-32. Singapore.

Kojima, M., Bacon, R., and Zhou, X. (2011). Who uses bottled Gas? Evidence from households in developing countries. Policy Research Working Paper 5731. World Bank.

- Kurmi, OP., Semple, S., Simkhada, P., Smith, WC., and Ayres, JG. (2010). COPD and chronic bronchitis risk of indoor air pollution from solid fuel: a systematic review and meta-analysis. *Thorax*, 65: 221-228.
- Lam N, Africano S, Humphrey S, Pennise D. (2012). Indoor Air Quality Impact of an Improved Chimney Wood Stove in Peri- Urban Honduras.
- Li, Z., Sjodin, A., Romanoff, L., Horton, K., et al. (2011). Evaluation of exposure reduction to indoor air pollution in stove intervention projects in Peru by urinary biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites. *Environment International*, 37: 1157–1163.
- Lim, S.S., Vos, T., Flaxman, A.D., Danaei, G., et al. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 380: 2224-60.
- Malla, S. and Timilsina, G. (2014). Household cooking fuel choice and adoption of improved cookstoves in developing countries: A review. Policy Research Working Paper 6903. World Bank.
- Masera, O., Edwards, R., Armendariz-Arnez, C., et al. (2007). Impact of Patsari improved cookstoves on indoor air quality in Michoacan, Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 11(2): 45-56.
- McCracken, JP., Schwartz, J., Diaz, A., Bruce, N., Smith, KR. (2013). Longitudinal relationship between personal CO and personal PM2.5 among women cooking with woodfired cookstoves in Guatemala. *PLOS ONE*, 8(2): e55670.
- McCracken J, Smith KR, Stone P, Díaz A, Arana B, Schwartz J. (2011). Intervention to lower household wood smoke exposure in Guatemala reduces ST-Segment depression on electrocardiograms. *Environ Health Perspect*, 119: 1562-68.
- McCracken, JP., Smith, KR., Díaz, A., Mittleman, MA., Schwartz, J. (2007). Chimney stove intervention to reduce long-term wood smoke exposure lowers blood pressure among Guatemalan women. *Environmental Health Perspectives*, 115(7): 996-1001.
- Mehta, S., Shin, H., Burnett, R., North, T., and Cohen, A. (2013). Ambient particulate air pollution and acute lower respiratory infections: a systematic review and implications for estimating the global burden of disease. *Air Qual Atmos Health*, 6: 69-83.
- Miller, G., and Mobarak, A.M. (2015). Learning about New Technologies through Social Networks: Experimental Evidence on Non-Traditional Stoves in Rural Bangladesh. *Marketing Science*, 34 (4): 480-499.
- Mobarak, A.M., Dwivedi, P., Bailis, R., Hildemann, L., and Miller, G. (2012). The Low Demand for New Cookstove Technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(27): 10815-20.

Northcross, A., Chowdhury, Z., McCracken, J., Canuz, E., and Smith, K. (2010). Estimating personal PM_{2.5} exposures using CO measurements in Guatemalan households cooking with wood fuel. *J Environ Monitoring*, 12: 873-78.

Po, JYT., FitzGerald, JM., and Carlsten, C. (2011). Respiratory disease associated with solid biomass fuel exposure in rural women and children: systematic review and meta-analysis. *Thorax*, 66: 232-239.

Pollard, S., Williams, D'A., Breyse, P., Baron, P., et al. (2014). A cross-sectional study of the determinants of indoor environmental exposures in households with and without chronic exposure to biomass fuel smoke. *Environmental Health*, 13: 21.

Pope CA III, Burnett RT, Turner, M, et al. (2011). Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationships. *Environmental Health Perspectives*, 119(11): 1616-21.

Pope CA III, Burnett RT, Krewski D, et al. (2009). Cardiovascular mortality and exposure to airborne fine particulate matter and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationship. *Circulation*, 120: 941-948.

Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ, Calle, E., Krewski, D., Ito, K., and Thurston, G. (2002). Lung cancer, Cardiopulmonary mortality, and Long-term exposure to Fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287: 1132-1141.

Shin, H., Cohen, A., Pope III, C., Ezzati, M., et al. (2013). Critical issues in combining disparate sources of information to estimate the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. Working Paper prepared for Methods for Research Synthesis: A Cross-Disciplinary Workshop. October 3, 2013. Harvard Center for Risk Analysis.

Siddiqui, AR., Lee, K., Bennett, D., Yang, X., Brown, KH., Bhutta, ZA., and Gold, EB. (2009). Indoor carbon monoxide and PM_{2.5} concentrations by cooking fuels in Pakistan. *Indoor Air*, 19:75-82.

Smith KR, Bruce N, Balakrishnan K, Adair-Rohani H, Balmes J, Chafe Z, Dherani M, Hosgood DH, Mehta S, Pope D, Rehfuess E, et al. (2014). Millions Dead: How Do We Know and What Does It Mean? Methods Used in the Comparative Risk Assessment of Household Air Pollution. *Annu. Rev. Public Health*, 35: 185-206.

Smith, K., Mehta, S., and Feuz, M. (2004). Indoor air pollution from household use of solid fuels. In: Ezzati, M. et al. (eds): Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. World Health Organization.

Terrado, E. and Eitel, B. (2005). Pilot commercialization of improved cookstoves in Nicaragua. ESMAP Technical Paper 085. World Bank. Washington DC. USA.

Titcombe, M., and Simcik, M. (2011). Personal and indoor exposure to PM2.5 and polycyclic aromatic hydrocarbons in the southern highlands of Tanzania: a pilot-scale study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180: 461-476.

WHO (2014). WHO guidelines for indoor air quality: household fuel combustion. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

WHO (2009). Estimated deaths and DALYs attributable to selected environmental risk factors, by WHO member states, 2004. World Health Organization. *Downloadable at:*

http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/intro/en/index.html

WHO (2004). Comparative quantification of health risks: Global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

Winrock (2008). Peru healthy kitchen/healthy stove pilot project. Winrock International under cooperative agreement with USAID. December 2008.

World Bank (2016a). World Development Indicators. World Bank. Washington DC. USA.

World Bank (2016b). Methodology for valuing the health impacts of air pollution: Discussion of challenges and proposed solutions. Prepared by Urvashi, N. and Sall, C. World Bank. Washington DC. USA.

Zuk, M., Rojas, L., Blanco, S., Serrano, P., et al. (2007). The impact of improved wood-burning stoves on fine particulate matter concentrations in rural Mexican homes. *J Exposure Sci and Environ Epidemiology*, 17:224-32.

Annex 1. Health effects of particulate matter pollution

Health effects of PM exposure include both premature mortality and morbidity. The methodologies to estimate these health effects have evolved as the body of research evidence has increased.

1.1 Outdoor particulate matter air pollution

Over a decade ago, Pope et al (2002) found elevated risk of cardiopulmonary (CP) and lung cancer (LC) mortality from long term exposure to outdoor ambient PM_{2.5} in a study of a large population of adults 30 or more years of age in the United States. CP mortality includes mortality from respiratory infections, cardiovascular disease, and chronic respiratory disease. The World Health Organization used the study by Pope et al when estimating global mortality from outdoor ambient air pollution (WHO 2004; 2009). Since then, recent research suggests that the *marginal increase* in relative risk of mortality from PM_{2.5} declines with increasing concentrations of PM_{2.5} (Pope et al 2009; 2011). Pope et al (2009; 2011) derive a shape of the PM_{2.5} exposure-response curve based on studies of mortality from active cigarette smoking, second-hand cigarette smoking (SHS), and outdoor ambient PM_{2.5} air pollution.

1.2 Household particulate matter air pollution

Combustion of solid fuels for cooking (and in some regions, heating) is a major source of household air pollution (HAP) in developing countries. Concentrations of PM_{2.5} often reach several hundred micrograms per cubic meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in the kitchen and living and sleeping environments. Combustion of these fuels is therefore associated with an increased risk of several health outcomes, such as acute lower respiratory infections (ALRI), chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and chronic bronchitis (CB), and lung cancer (LC). The global evidence is summarized in meta-analyses by Desai et al (2004), Smith et al (2004), Dherani et al (2008), Po et al (2011), and Kurmi et al (2010). Risks of health outcomes reported in these meta-analyses are generally point estimates of relative risks of disease (with confidence intervals) from the use of fuel wood, coal and other biomass fuels¹⁵ relative to the risks from use of liquid fuels (e.g., LPG).

A randomized intervention trial in Guatemala found that cooking with wood using an improved chimney stove, which greatly reduced PM_{2.5} exposure, was associated with lower systolic blood pressure (SBP) among adult women compared to SBP among women cooking with wood on open fire (McCracken et al, 2007). Baumgartner et al (2011) found that an increase in PM_{2.5} personal exposure was associated with an increase in SBP among a group of women in rural households using biomass fuels in China. These studies provide some evidence that PM air

¹⁵ Other biomass fuels used for cooking is mostly straw/shrubs/grass, agricultural crop residues and animal dung.

pollution in the household environment from combustion of solid fuels contributes to cardiovascular disease.

1.3 An integrated exposure-response function

The Global Burden of Disease (GBD) Project takes Pope et al (2009; 2011) some steps further by deriving an integrated exposure-response (IER) relative risk function (RR) for disease outcome, k , in age-group, l , associated with exposure to fine particulate matter pollution (PM_{2.5}) both in the outdoor and household environments:

$$RR(x)_{kl} = 1 \quad \text{for } x < x_{cf} \quad (A1.1a)$$

$$RR(x)_{kl} = 1 + \alpha_{kl}(1 - e^{-\beta_{kl}(x-x_{cf})^{\rho_{kl}}}) \quad \text{for } x \geq x_{cf} \quad (A1.1b)$$

where x is the ambient concentration of PM_{2.5} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and x_{cf} is a counterfactual concentration below which it is assumed that no association exists between PM_{2.5} exposure and assessed health outcomes (theoretical minimum risk exposure level). The function allows prediction of RR over a very large range of PM_{2.5} concentrations, with $RR(x_{cf}+1) \sim 1+\alpha\beta$ and $RR(\infty) = 1 + \alpha$ being the maximum risk (Shin et al, 2013; Burnett et al, 2014).

The parameter values of the risk function are derived based on studies of health outcomes associated with long term exposure to ambient particulate matter pollution, second hand tobacco smoking, household solid cooking fuels, and active tobacco smoking (Burnett et al, 2014). This provides a risk function that can be applied to a wide range of ambient PM_{2.5} concentrations around the world as well as to high household air pollution levels of PM_{2.5} from combustion of solid fuels.

The health outcomes assessed in the GBD Project are ischemic heart disease (IHD), cerebrovascular disease (stroke), lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and acute lower respiratory infections (ALRI) (Lim et al, 2012; Mehta et al, 2013; Smith et al, 2014; Forouzanfar et al, 2015; Forouzanfar et al, 2016). The risk functions for IHD and cerebrovascular disease are age-specific with five-year age intervals from 25 years of age, while singular age-group risk functions are applied for lung cancer (≥ 25 years), COPD (≥ 25 years), and ALRI for children and adults in GBD 2013 and 2015.

An x_{cf} between 2.4 and 5.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is applied in the GBD 2015 Project (Forouzanfar et al, 2016).

The population attributable fraction of disease from PM_{2.5} exposure is then approximated by the following expression:

$$PAF = \sum_{i=1}^n P_i [RR\left(\frac{x_i+x_{i-1}}{2}\right) - 1] / (\sum_{i=1}^n P_i [RR\left(\frac{x_i+x_{i-1}}{2}\right) - 1] + 1) \quad (A1.2)$$

where P_i is the share of the population exposed to PM2.5 concentrations in the range x_{i-1} to x_i .¹⁶ This attributable fraction is calculated for each disease outcome, k , and age group, l . The disease burden (D) in terms of annual cases of disease outcomes due to PM2.5 exposure is then estimated by:

$$D = \sum_{k=1}^t \sum_{l=1}^s m_{kl} PAF_{kl} \quad (\text{A1.3})$$

where m_{kl} is the total annual number of cases of disease, k , in age group, l , and PAF_{kl} is the population attributable fraction of these cases of disease, k , in age group, l , due to PM2.5 exposure.

The potential impact fraction is applied to estimate the reduction in disease burden from a change in the population exposure distribution that can result from an intervention to control PM2.5 exposure levels among a sub-set of the population:

$$PIF = [\sum_{i=1}^n P_i RR\left(\frac{x_i+x_{i-1}}{2}\right) - \sum_{i=1}^n P'_i RR\left(\frac{x_i+x_{i-1}}{2}\right)] / (\sum_{i=1}^n P_i RR\left(\frac{x_i+x_{i-1}}{2}\right)) \quad (\text{A1.4})$$

where P'_i is the population exposure distribution after the intervention. The reduction in annual cases of disease outcomes is then estimated by:

$$\Delta D = \sum_{k=1}^t \sum_{l=1}^s m_{kl} PIF_{kl} \quad (\text{A1.5})$$

This approach is applied in this paper to estimate the reduction in the disease burden from improved household cooking options.

¹⁶ With a non-linear RR function, the precision of the calculation of PAF increases as $x_i - x_{i-1}$ approaches zero, or “n” approaches infinity.

Annex 2. Benefit-cost ratios

TABLE A2.1 BENEFITS AND COSTS OF INTERVENTIONS, 2016 (GOURDES/HOUSEHOLD/YEAR) – HEALTH BENEFITS VALUED AT DALY=3*GDP PER CAPITA

| Cooking in house | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
|-------------------------------------|------------------|-------|------------|------------------|-------|------------|-------------------|-------|------------|
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 4,461 | 890 | 5.0 | 4,017 | 910 | 4.4 | 3,275 | 977 | 3.4 |
| LPG - W | 10,525 | 6,858 | 1.5 | 9,508 | 6,916 | 1.4 | 7,809 | 7,125 | 1.1 |
| Ethanol - W | 11,119 | 6,817 | 1.6 | 10,102 | 6,864 | 1.5 | 8,403 | 7,036 | 1.2 |
| ICS - C | 7,062 | 1,606 | 4.4 | 6,674 | 1,643 | 4.1 | 6,025 | 1,768 | 3.4 |
| LPG - C | 15,485 | 6,858 | 2.3 | 14,912 | 6,916 | 2.2 | 13,955 | 7,125 | 2.0 |
| Ethanol - C | 16,079 | 6,817 | 2.4 | 15,506 | 6,864 | 2.3 | 14,549 | 7,036 | 2.1 |
| Cooking in separate building | | | | | | | | | |
| | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 4,101 | 890 | 4.6 | 3,741 | 910 | 4.1 | 3,138 | 977 | 3.2 |
| LPG - W | 9,666 | 6,858 | 1.4 | 8,848 | 6,916 | 1.3 | 7,480 | 7,125 | 1.0 |
| Ethanol - W | 10,260 | 6,817 | 1.5 | 9,442 | 6,864 | 1.4 | 8,074 | 7,036 | 1.1 |
| ICS - C | 6,748 | 1,606 | 4.2 | 6,433 | 1,643 | 3.9 | 5,905 | 1,768 | 3.3 |
| LPG - C | 14,986 | 6,858 | 2.2 | 14,529 | 6,916 | 2.1 | 13,764 | 7,125 | 1.9 |
| Ethanol - C | 15,580 | 6,817 | 2.3 | 15,123 | 6,864 | 2.2 | 14,358 | 7,036 | 2.0 |
| Cooking outdoors | | | | | | | | | |
| | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 3,523 | 890 | 4.0 | 3,296 | 910 | 3.6 | 2,917 | 977 | 3.0 |
| LPG - W | 8,605 | 6,858 | 1.3 | 8,032 | 6,916 | 1.2 | 7,075 | 7,125 | 1.0 |
| Ethanol - W | 9,199 | 6,817 | 1.3 | 8,626 | 6,864 | 1.3 | 7,669 | 7,036 | 1.1 |
| ICS - C | 6,271 | 1,606 | 3.9 | 6,066 | 1,643 | 3.7 | 5,723 | 1,768 | 3.2 |
| LPG - C | 14,504 | 6,858 | 2.1 | 14,158 | 6,916 | 2.0 | 13,580 | 7,125 | 1.9 |
| Ethanol - C | 15,098 | 6,817 | 2.2 | 14,752 | 6,864 | 2.1 | 14,174 | 7,036 | 2.0 |

TABLE A2.2 BENEFITS AND COSTS OF INTERVENTIONS, 2016 (GOURDES/HOUSEHOLD/YEAR) – HEALTH BENEFITS VALUED AT DALY=1*GDP PER CAPITA

| Cooking in house | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
|-------------------------------------|------------------|-------|------------|------------------|-------|------------|-------------------|-------|------------|
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 3,181 | 890 | 3.6 | 3,033 | 910 | 3.3 | 2,786 | 977 | 2.9 |
| LPG - W | 7,594 | 6,858 | 1.1 | 7,255 | 6,916 | 1.0 | 6,689 | 7,125 | 0.9 |
| Ethanol - W | 8,188 | 6,817 | 1.2 | 7,849 | 6,864 | 1.1 | 7,283 | 7,036 | 1.0 |
| ICS - C | 5,943 | 1,606 | 3.7 | 5,814 | 1,643 | 3.5 | 5,598 | 1,768 | 3.2 |
| LPG - C | 13,834 | 6,858 | 2.0 | 13,643 | 6,916 | 2.0 | 13,324 | 7,125 | 1.9 |
| Ethanol - C | 14,428 | 6,817 | 2.1 | 14,237 | 6,864 | 2.1 | 13,918 | 7,036 | 2.0 |
| Cooking in separate building | | | | | | | | | |
| | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 3,062 | 890 | 3.4 | 2,941 | 910 | 3.2 | 2,740 | 977 | 2.8 |
| LPG - W | 7,308 | 6,858 | 1.1 | 7,035 | 6,916 | 1.0 | 6,579 | 7,125 | 0.9 |
| Ethanol - W | 7,902 | 6,817 | 1.2 | 7,629 | 6,864 | 1.1 | 7,173 | 7,036 | 1.0 |
| ICS - C | 5,839 | 1,606 | 3.6 | 5,734 | 1,643 | 3.5 | 5,558 | 1,768 | 3.1 |
| LPG - C | 13,668 | 6,858 | 2.0 | 13,515 | 6,916 | 2.0 | 13,260 | 7,125 | 1.9 |
| Ethanol - C | 14,262 | 6,817 | 2.1 | 14,109 | 6,864 | 2.1 | 13,854 | 7,036 | 2.0 |
| Cooking outdoors | | | | | | | | | |
| | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 2,869 | 890 | 3.2 | 2,793 | 910 | 3.1 | 2,667 | 977 | 2.7 |
| LPG - W | 6,954 | 6,858 | 1.0 | 6,763 | 6,916 | 1.0 | 6,444 | 7,125 | 0.9 |
| Ethanol - W | 7,548 | 6,817 | 1.1 | 7,357 | 6,864 | 1.1 | 7,038 | 7,036 | 1.0 |
| ICS - C | 5,679 | 1,606 | 3.5 | 5,611 | 1,643 | 3.4 | 5,497 | 1,768 | 3.1 |
| LPG - C | 13,507 | 6,858 | 2.0 | 13,392 | 6,916 | 1.9 | 13,199 | 7,125 | 1.9 |
| Ethanol - C | 14,101 | 6,817 | 2.1 | 13,986 | 6,864 | 2.0 | 13,793 | 7,036 | 2.0 |

TABLE A2.3 BENEFITS AND COSTS OF INTERVENTIONS, 2016 (GOURDES/HOUSEHOLD/YEAR) – HEALTH BENEFITS VALUED AT DALY=8*GDP PER CAPITA

| Cooking in house | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
|-------------------------------------|------------------|-------|------------|------------------|-------|------------|-------------------|-------|------------|
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 7,660 | 890 | 8.6 | 6,476 | 910 | 7.1 | 4,498 | 977 | 4.6 |
| LPG - W | 17,851 | 6,858 | 2.6 | 15,140 | 6,916 | 2.2 | 10,609 | 7,125 | 1.5 |
| Ethanol - W | 18,445 | 6,817 | 2.7 | 15,734 | 6,864 | 2.3 | 11,203 | 7,036 | 1.6 |
| ICS - C | 9,858 | 1,606 | 6.1 | 8,823 | 1,643 | 5.4 | 7,094 | 1,768 | 4.0 |
| LPG - C | 19,613 | 6,858 | 2.9 | 18,086 | 6,916 | 2.6 | 15,533 | 7,125 | 2.2 |
| Ethanol - C | 20,207 | 6,817 | 3.0 | 18,680 | 6,864 | 2.7 | 16,127 | 7,036 | 2.3 |
| Cooking in separate building | | | | | | | | | |
| | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 6,701 | 890 | 7.5 | 5,739 | 910 | 6.3 | 4,131 | 977 | 4.2 |
| LPG - W | 15,560 | 6,858 | 2.3 | 13,379 | 6,916 | 1.9 | 9,733 | 7,125 | 1.4 |
| Ethanol - W | 16,154 | 6,817 | 2.4 | 13,973 | 6,864 | 2.0 | 10,327 | 7,036 | 1.5 |
| ICS - C | 9,022 | 1,606 | 5.6 | 8,181 | 1,643 | 5.0 | 6,775 | 1,768 | 3.8 |
| LPG - C | 18,281 | 6,858 | 2.7 | 17,062 | 6,916 | 2.5 | 15,024 | 7,125 | 2.1 |
| Ethanol - C | 18,875 | 6,817 | 2.8 | 17,656 | 6,864 | 2.6 | 15,618 | 7,036 | 2.2 |
| Cooking outdoors | | | | | | | | | |
| | 3% discount rate | | | 5% discount rate | | | 12% discount rate | | |
| | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR | Benefit | Cost | BCR |
| ICS-W | 5,159 | 890 | 5.8 | 4,554 | 910 | 5.0 | 3,542 | 977 | 3.6 |
| LPG - W | 12,733 | 6,858 | 1.9 | 11,206 | 6,916 | 1.6 | 8,653 | 7,125 | 1.2 |
| Ethanol - W | 13,327 | 6,817 | 2.0 | 11,800 | 6,864 | 1.7 | 9,247 | 7,036 | 1.3 |
| ICS - C | 7,748 | 1,606 | 4.8 | 7,202 | 1,643 | 4.4 | 6,288 | 1,768 | 3.6 |
| LPG - C | 16,996 | 6,858 | 2.5 | 16,074 | 6,916 | 2.3 | 14,532 | 7,125 | 2.0 |
| Ethanol - C | 17,590 | 6,817 | 2.6 | 16,668 | 6,864 | 2.4 | 15,126 | 7,036 | 2.1 |

Le mode de cuisson des aliments, facteur de risques sanitaires en Haïti

Haiti Priorise

Alexandra V. D. Pierre

Consultante, Ministère de l'environnement

Les combustibles de cuisson les plus utilisés par les ménages en Haïti sont le bois énergie et les produits pétroliers. Le bois énergie représente 71 des 80 % de la demande énergétique nationale couverte par les ressources locales (Jean René Marcoux, 2014), soit 9 % du produit intérieur brut du pays en 2003 (Jean-Pierre Angelier, 2005) et plus de 4 fois la quantité de pétrole consommée. En effet, le bois de feu fait l'objet d'une consommation annuelle de 3.4 à 3.7 millions de tonnes métriques, soit 1.6 à 1.7 millions de tonnes d'équivalent en pétrole. De ce total, jusqu'à 37 % sont transformés en charbon de bois pour un rendement de 18 % en poids de carbonisation (Jean-Pierre Angelier, 2010) et pour une consommation annuelle de 250 à 280 mille tonnes (Peter Young, 1997). De ce fait, il devient envisageable que 95,5 % des ménages haïtiens se servent, seul ou accompagné, du bois énergie dans la cuisson de leurs aliments (Bjorn Larsen, 2012).

Les produits pétroliers quant à eux répondent à une demande nationale en combustible fossile de 24 % par an (Jean René Marcoux, 2014). Ils bénéficient d'un taux annuel d'accroissement d'importation de 7,3 % pour le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) et de 9,3 % pour le kérosène depuis 1999 (Jean-Pierre Angelier, 2005). Le GPL, un mélange de propane et de butane, provient surtout de la République dominicaine par camions-citernes et du Trinidad par petits bateaux-citernes. Le kérosène est lui aussi importé par bateaux-citernes surtout du Vénézuéla (Alexandre Racicot, 2011). À eux deux, ils sont distribués sur le territoire national via des opérateurs tels Total, Nationale, Texaco, Esso et dans des commerces généralistes. Même si Haïti consacre jusqu'à 50 % de ses devises d'exportation à leur importation (Alexandre Racicot, 2011), les produits pétroliers ne participent qu'à hauteur de 8 % aux activités domestiques. De plus, la consommation de kérosène est 2 fois plus élevée que celle de GPL, plus prisée dans l'éclairage à cause d'une insuffisance d'accès à l'électricité.

Ce taux élevé d'utilisation de bois énergie notamment dans la cuisson des aliments a généré une économie de devise de l'État haïtien estimée à 88 millions de dollars américains (Jean-Pierre Angelier, 2005). Car visiblement, ce combustible solide soutient une réponse locale se substituant aux produits pétroliers par rapport à une demande énergétique nationale grandissante. Il génère un revenu de subsistance pour 150 mille personnes : travailleurs ruraux, distributeurs, revendeurs urbains impliqués dans la filière énergétique marchande. Et malgré 80 % plus cher en marmite que par sac, il entretient une commercialisation au détail qui conserve l'accessibilité aussi à ses dérivés. Toutefois, cette thésaurisation se heurte à un coût économique estimé à 1.6 milliards de dollars américains (Alexandre Racicot, 2011), en raison de répercussions sociales et environnementales non négligeables en Haïti.

Car, le bois énergie nécessite indubitablement une matière première bois dont le rythme de collecte est désormais supérieur au rythme de régénération ligneuse du pays. Ce qui diminue fortement le potentiel de terres arables et fragilise grandement l'ensemble des écosystèmes

d'une Haïti à 1,2 % de couverture forestière (Ministère de l'environnement, 2013). Il accuse une perte de 80 % d'énergie au moment de sa production (Mildred D. Régis et Wilfrid St-Jean, 2001), aggravée par des pratiques d'utilisation de combustibles et des appareils de cuisson de faible rendement. De plus, sa combustion incomplète dégage des polluants aériens nocifs auxquels sont particulièrement exposés les femmes et les enfants. Si le perpétuel recours au bois énergie par les ménages issus du seul pays en développement de l'Amérique semble soutenir une meilleure nutrition, il affecte néanmoins un droit fondamentalement humain : le droit à la santé. Sachant que 58,5 % d'Haïtiens en situation de pauvreté n'arrivent pas à satisfaire leurs besoins de base et que 23,8 % en pauvreté extrême leurs besoins alimentaires (Institut haïtien de statistique et d'informatique, 2014), l'incidence du mode de cuisson sur la santé des ménages mériterait donc d'être élucidée.

Selon la Banque mondiale, la pollution atmosphérique, aux côtés de l'agriculture, de l'eau et des catastrophes écologiques, constitue un des problèmes environnementaux les plus graves auxquels sont confrontés les pays en développement. Partant de ce constat, il en résulte à travers le monde que « plus de 4 millions de personnes meurent prématurément de maladies imputables à la pollution de l'air domestique due à la cuisine à base de combustibles solides » (Organisation mondiale de la santé, 2016). Sachant que plus de 90 % du bois énergie est consommé dans le Sud économique, les ménages en situation de pauvreté ou de pauvreté extrême des pays à revenu faible ou intermédiaire comme ceux d'Haïti sont plus susceptibles d'être affectés. Manifestement, ils se servent d'équipements de cuissons rudimentaires qui, en brûlant mal le bois énergie, produisent des fumées de composants fort toxiques. Ces fumées contiennent des polluants atmosphériques dont l'exposition prolongée est néfaste pour le système respiratoire, les yeux, le système immunitaire (Dr. Vinod Mishra, recueilli dans le numéro : La santé, la pauvreté, l'environnement du magazine numérique : Notre planète d'ONU environnement). Et, plus ou moins accentués par la sensibilité des personnes (Direction santé publique de Montréal-Centre, 2017), ces polluants sont également à la base de décès prématurés d'accidents vasculaires cérébraux, de cardiopathie ischémique, de Bronchopneumopathie Chronique Obstructive (BPCO), de pneumonie et de cancer du poumon (Organisation mondiale de la santé, 2016).

Ce sont :

- le monoxyde de carbone (CO) qui peut provoquer des maux de tête, des nausées, des étourdissements et une aggravation de l'angine chez les personnes ayant des problèmes cardiaques;
- les Composés Organiques Volatils (COV) qui peuvent provoquer des irritations des voies respiratoires, des maux respiratoires, le cancer (exemple du benzène) et contribuent au smog;

- l'acroléine et le formaldéhyde qui peuvent provoquer des irritations des yeux et des voies respiratoires;
- les particules fines (PM_{2,5}) qui peuvent provoquer des irritations des voies pulmonaires, des aggravations des maladies cardiorespiratoires et une mortalité plus hâtive;
- les oxydes d'azote (NO_x) qui peuvent provoquer des irritations du système respiratoire, des douleurs lors de l'inspiration, de la toux, des œdèmes pulmonaires et aussi des pluies acides;
- les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dont certains sont soupçonnés ou considérés mutagènes ou cancérigènes;
- les dioxines et furannes, probablement cancérigènes (Direction santé publique de Montréal-Centre, 2017).

De cette liste, les particules fines de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) sont les plus préoccupantes. Elles sont si petites qu'elles se déposent directement à la surface des alvéoles pulmonaires en cas d'inhalation. Elles affectent ainsi le système respiratoire et cardiovasculaire en causant l'irritation et l'inflammation des bronches (Direction santé publique de Montréal-Centre, 2017). Puis, lorsque les pièces de cuisson sont insuffisamment ventilées, leur teneur dans les fumées domestiques peut atteindre une concentration 100 fois supérieure aux niveaux acceptables (Organisation mondiale de la santé, 2016). Dès lors, 12,2 % des 95,5 % des ménages en Haïti utilisant le bois énergie deviennent particulièrement vulnérables aux PM_{2,5} lorsqu'ils cuisinent dans une pièce interne à l'habitation principale, exposés à 100 %; contre 46,2 % qui le font encore à l'extérieur, exposés à 60 % et 35,6 % dans une pièce séparée de l'habitation principale, exposés à 80 % (Bjorn Larsen, 2016). D'autre part, la cuisson au bois de feu, premier combustible des ménages, est généralement associée à un degré d'exposition plus important que celle au charbon de bois. L'exposition au feu de charbon de bois est connue pour dégager 60%, 65% et 75% du feu de bois en PM_{2,5} selon que le feu ait effectivement été allumé à l'extérieur, dans une pièce de cuisson séparée de l'habitation principale ou dans l'habitation. Ces résultats confirment donc que même si la teneur en PM_{2,5} diminue à mesure que la pièce de cuisson est ventilée, elles n'en demeurent pas moins présentes dans l'environnement immédiat de tout espace de cuisson, incriminant le type de combustible adopté.

En outre, les femmes haïtiennes subissent à 100 % l'exposition aux PM_{2,5} dans la cuisson des aliments, contrairement aux hommes qui subissent 60 % et les enfants de plus de 5 ans 85 % de celles des femmes (Bjorn Larsen, 2016). Mais, les enfants de moins de 5 ans auront tendance à subir le même degré d'exposition que leur mère, étant plus dépendants d'elle. D'ailleurs, chez eux, plus de la moitié des décès par pneumonie sont dus à l'inhalation de matières particulaires

provenant de la pollution de l'air intérieur (Organisation mondiale de la santé, 2016). Ensuite, puisque les femmes préparent généralement les repas en Haïti, elles sont les premières victimes désignées de maladies imputables aux PM2,5. De même, elles sont les premières victimes à pâtir d'un coût social extrêmement important. Car, elles passent beaucoup de temps à ramasser et à transporter le bois énergie souvent éloigné de leur habitation. Elles passent beaucoup de temps à faire cuire les aliments à cause d'appareils de cuisson de faible efficacité et de combustibles de faible rendement. Elles consacrent une grande partie des revenus du ménage à l'achat de combustibles solides. Elles souffrent souvent de problèmes respiratoires chroniques du fait de la pollution de l'air dans l'espace de cuisson. Elles sont plus sujettes aux attaques vu la distance à parcourir avec le bois énergie et aux traumatismes tels brûlure, douleur, yeux rougis, vu qu'elles allument régulièrement le feu de cuisson. Elles rendent vulnérables leur fœtus ou leurs enfants de moins et de plus de 5 ans à cause de leur notable exposition.

Tout compte fait, si 22 % des membres des 95,5% des ménages utilisant le bois énergie dans la cuisson sont morts d'accidents vasculaires cérébraux, 24 % de cardiopathie ischémique, 39 % de BPCO, 42 % de pneumonie et 32 % de cancer du poumon, en 2016, Haïti a compté 8.241 morts prématurés de maladies imputables aux PM2,5 (Bjorn Larsen, 2016). En se référant aux estimations locales d'Année de Vie Corrigée de l'Incapacité (AVCI), ces 8.241 morts ont chacun perdu 31,9 années de bonne santé. Ce qui est relatif à un coût économique moyen de 14.5 milliards de gourdes, soit l'équivalent de 3,6 % du Produit Intérieur Brut (PIB) par habitant d'Haïti (Bjorn Larsen, 2016). Cette estimation a été obtenue en croisant des taux d'actualisation de 3 %, 5 % et 12 % à des valeurs arbitraires de 1, 3, et 8 fois le PIB par habitant, applicables à la méthodologie de calcul de l'AVCI. Cependant, par pleine utilisation d'appareils de cuisson aux produits pétroliers, il serait possible de sauver au moins 4.152 Haïtiens sur les 8.241, soit 51 % de morts en moins par an (Bjorn Larsen, 2016). L'exposition aux PM2,5 serait donc réduite de 52 % par pleine adoption et de 34 % par partielle adoption. Ce qui implique que sur 20 ans, il y aurait un gain sanitaire de 77 à 85 % (Bjorn Larsen, 2016), amplement profitable aux femmes et aux enfants. Les appareils de cuisson améliorés au bois énergie n'ont pas été pris en compte dans cette évaluation puisqu'ils ne prônent des résultats de réduction qu'entre 12 et 26 %.

L'adoption entière et partielle d'appareils de cuisson aux produits pétroliers favorise également l'égalité des chances et promeut l'autonomisation des femmes en Haïti. Elles gagnent jusqu'à une heure par jour sur le temps de cuisson (Jeuland and Pattanayak, cités par Bjorn Larsen, 2016) grâce à des appareils et à des combustibles plus performants, à des ustensiles sans dépôt de particules de suie. Ce gain de temps est équivalent à un taux de rémunération de 10 gourdes par heure par ménage en milieu rural et de 20 gourdes par heure par ménage en milieu urbain. Avec plus de temps à consacrer à leur développement personnel, elles peuvent donc exercer des activités génératrices de revenus autres. En prime, sur le long terme, elles économisent jusqu'à 900 gourdes par ménage par an en milieu rural et jusqu'à 1.800 gourdes par ménage par an en

milieu urbain qui peuvent désormais être allouées à d'autres dépenses du foyer. Ensuite, avec la valeur ajoutée santé, elles passent plus de temps de qualité avec les autres membres du ménage, sans oublier combien leurs enfants plus robustes, sevrés de tâches domestiques de collecte et d'achat de combustibles, pourront mieux s'épancher sur leur éducation.

Si l'utilisation d'appareils de cuisson aux produits pétroliers semble bénéfique à l'atténuation de la vulnérabilité des ménages et à la santé des usagers en terme de réduction d'exposition aux PM2,5, elle se heurte néanmoins à un défi de taille qui nuit à leur popularisation : leur coût. En Haïti, l'achat d'appareils et de bonbonne au GPL nécessite un investissement de départ trop important pour des ménages urbains qui utilisent 23 fois plus de charbon de bois (Jean-Pierre Angelier, 2005). Leur transport et leur réapprovisionnement ne sont pas commodes, davantage pour les marchandes de rue, étant donné qu'ils sont plus encombrants, que l'achat de combustibles est trop peu fractionnable et que les fournisseurs sont soumis à des horaires fixes de fonctionnement. Mais malgré ces inconvénients, le GPL est considéré comme socialement valorisant dans la cuisson pour les ménages urbains tandis que pour les ménages ruraux, le kérosène est mal accepté (Jean-Pierre Angelier, 2005). Ce qui explique pourquoi il est consommé à hauteur de 1 % dans ce milieu malgré une disponibilité, un achat, un transport, un stockage très favorable à des ménages habituellement en situation de pauvreté. À noter que l'achat d'un appareil de cuisson au kérosène est 10 fois moindre que celui à la bonbonne au GPL (Jean-Pierre Angelier, 2005) et que le combustible est facilement accessible à partir de détaillants. Cependant, la collecte de bois permet un approvisionnement en énergie même lorsque les ménages ruraux ne disposent pas de revenus monétaires, confirmé par une utilisation 44 fois plus importante que le kérosène (Jean-Pierre Angelier, 2005). En revanche, que ce soit pour les appareils de cuisson au GPL priorisés en milieu urbain et pour ceux au kérosène priorisés en milieu rural, à l'ensemble de ces produits pétroliers subsiste une fluctuation de prix à la hausse rudement pénalisante pour les consommateurs finaux.

Haiti, ayant adopté les objectifs de développement durable, combattre la pauvreté, la faim, l'illettrisme, la dégradation de l'environnement et la discrimination envers les femmes impliquerait de garantir l'accès à une énergie de cuisson propre et efficace. Agir sur le mode de cuisson des aliments, facteur de risques sanitaires d'exposition aux PM2,5 pour des ménages généralement en situation de pauvreté ou de pauvreté extrême nécessiterait la prise de mesures énergiques de court, moyen et long termes :

1. mise en œuvre d'une campagne de sensibilisation tout public

Il s'agit avant tout de faciliter la transition des ménages vers une énergie propre par le truchement d'une campagne de sensibilisation qui mette l'accent sur la déforestation causée par l'utilisation non rationnelle du bois énergie, sur le témoignage avéré de ménages cibles ordinaires ayant effectivement réalisé des économies de temps et d'argent en passant à des

appareils de cuisson plus performants, sur l'impact d'une exposition continue aux PM2,5 à effet recrudescant de voisinage en voisinage sur la qualité de l'air dans les espaces de vie. La société haïtienne étant culturellement très attachée à la famille, il serait plus sûr de toucher l'opinion publique en présentant l'impact d'une cuisson aux combustibles traditionnels sur les femmes et les enfants. Lancer des messages positifs même en dénonçant des réalités navrantes est une stratégie adaptée pour sensibiliser sans culpabiliser.

2. production d'appareils de cuissons traditionnels améliorés

La pauvreté énergétique constitue l'une des causes majeures favorisant l'exposition combinée de 82,3 % d'Haïtiens en situation précaire aux PM2,5. Ce polluant atmosphérique influe négativement sur l'espérance de vie locale en bonne santé et positivement sur les changements climatiques. Même si l'amélioration des appareils traditionnels de cuisson ne permet pas une réduction notable des expositions, c'est déjà un premier pas vers la réduction de l'usage de combustibles. Toutefois, il ne s'agit pas seulement de favoriser de massifs investissements financiers du secteur privé, des institutions à but non lucratif, et des investissements techniques contextuels des centres de recherche locaux. Il s'agit de former les ferblantiers à la production d'appareils améliorés et de les encadrer par des mesures incitatives dans l'acquisition de matières premières nécessaires à leur fabrication. Car, ces artisans ont développé une proximité si grande avec les populations locales que, grâce à une production moins gourmande en énergie et facilement accessible dans le commerce informel, la pression sur la ressource bois s'en trouverait amplement réduite. Des combustibles de substitution à prix compétitifs tels les briquettes, le charbon minéral peuvent également être introduits. Puis, parallèlement, une partie des tenants de la filière énergétique marchande peut être employée à la sauvegarde et/ou à la relance d'espaces boisés en Haïti. Ils auraient une connaissance de la ressource bois qui serait certainement à valoriser.

3. diffusion d'appareils de cuisson aux énergies propres

La pauvreté énergétique dans le contexte d'un pays en voie de développement tel qu'Haïti peut être contrôlée entre autre par l'application d'une politique stratégique axée sur l'accès à des appareils de cuisson aux énergies propres. Les sources d'énergie domestique comme les produits pétroliers seront priorités dans un premier temps car, l'exposition aux PM2,5 est véritablement réduite. Il s'agit de diffuser des appareils productifs adaptables à tout type d'activité de cuisson tels des réchauds, des fours, des fourneaux et de fournir des bonbonnes de produits pétroliers de plus faible capacité de stockage que les 25 livres. Des appareils adaptables soutiennent une cuisson des aliments aussi bien dans les habitations, dans les rues que dans les commerces. Des bonbonnes de produits pétroliers de plus faible capacité favorisent un approvisionnement moins coûteux, même si plus fréquent. Sachant que le prix des appareils de cuisson aux énergies propres représente un montant important dans le budget des ménages, un

système de microcrédit avec des propositions fonctions du profil financier des demandeurs pourrait concéder à leur acquisition. Il n'est pas à exclure l'éventualité d'une distribution gratuite d'appareils de cuisson par les compagnies de stations d'essence. Elles détiennent leur retour sur investissement pendant l'exercice d'achat continu de combustibles pétroliers. Pour éviter que le pays ne soit face à une demande en importation de produits pétrolier trop importante, il serait souhaitable qu'il soit mis en place des stratégies collaboratives créatives d'acquisition moins onéreuse. La diversification de l'énergie domestique est à explorer tout en maintenant sensiblement le même rendement des appareils de cuisson telle l'électricité, l'éolienne, le solaire, la méthanisation. De même, les agents économiques de vente ou de revente antérieurement impliqués dans la filière marchande du bois énergie peuvent devenir des fournisseurs d'appareils de cuisson aux énergies propres.

En conclusion, quels que soient les efforts déployés pour enrayer l'impact des modes de cuissons des aliments sur la santé, ils ne sauraient être effectifs sans une institution leader renforcée, responsable de la gouvernance rationnelle du secteur énergétique. De plus, la pérennité des efforts ne sauraient être garantie quand bien même ils auraient atterri, sans un processus de certification de production des appareils de cuisson. Cette certification permettra de maintenir les standards de qualité et d'efficacité des appareils dans un souci de préservation de la santé et de l'environnement en Haïti.

Alexandra V. D. PIERRE est Ingénieure Architecte, avec une double maîtrise en éducation au développement durable, en eau et environnement. Elle travaille actuellement en tant que professionnelle senior du Ministère de l'environnement.

Bibliographie et Sitographie sélectives

- *Benefits and Costs of Cooking Options for Household Air Pollution Control*, Bjorn Larsen, Décembre 2016
- *La crise du bois de feu, la véritable crise de l'énergie dans les pays les plus pauvres du sud*, Bernard BRET, 1975 : http://archives-fig-st-die.cndp.fr/actes/actes_2007/bret/article.htm
- *Analyse de la substitution entre combustibles dans le secteur résidentiel en Haïti*, Jean-Pierre Angelier, 12 août 2005 : <http://www.bme.gouv.ht/energie/Energie%20m%E9nages%20Ha%EFTi-%20CEPALC.pdf>
- *L'expérience du recho mirak : retour sur trois décennies de promotion des foyers améliorés en Haïti*, Thomas Thivillon, 2013 : <http://www.entrepreneursdumonde-energie.org/uploads/5/7/0/8/57085585/articlefacts.pdf>
- *Analyse de la filière bois de feu et dérivés*, Wilfrid Saint Jean, 3 Août 2009 : <http://www.forumhaiti.com/t7041-analyse-de-la-filiere-bois-de-feu-et-derives-par-wilfrid-saint-jean>
- *Analyse de la substitution entre combustibles dans le secteur résidentiel en Haïti*, Jean-Pierre Angelier, 2005 : <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00120739/document>
- *Durabilité de combustibles de substitution au bois énergie en Haïti – filières renouvelables pour la cuisson des aliments*, Alexandre Racicot, 2011 : <http://www.websrh.org/durabilitedecombustibles.pdf>
- *Pollution de l'air à l'intérieur des habitations et la santé*, Organisation mondiale de la sante, Février 2016 : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/fr/>
- *Haïti promet d'augmenter le taux de sa couverture forestière à 4% d'ici à 3 ans*, Ayitinews, 5 juin 2013 : <http://ayitinews.com/haiti-promet-daugmenter-le-taux-de-sa-couverture-forestiere-a-4-dici-a-3-ans/>
- *Le chauffage au bois*, Direction santé publique de Montréal-Centre, 2017 : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/>
- *Fumées et feux*, Vinod Mishra : <http://www.ourplanet.com/imgversn/122/french/mishra.html>

Haïti fait face à des défis de développement économique et social parmi les plus importants au monde. Malgré un afflux d'aide à la suite du tremblement de terre de 2010, la croissance et le progrès continuent d'être minimums, au mieux. Avec autant d'acteurs et un large éventail de défis allant de la sécurité alimentaire et de l'accès à l'eau potable à la santé, l'éducation, la dégradation de l'environnement et les infrastructures, quelles devraient être les premières priorités pour les décideurs, les donateurs internationaux, les ONG et les entreprises ? Avec un temps et des ressources limités, il est crucial que l'attention soit régie par ce qui fera le plus grand bien pour chaque gourde dépensée. Le projet Haïti Priorise travaillera avec les parties prenantes partout dans le pays pour trouver, analyser, classer et diffuser les meilleures solutions pour le pays. Nous impliquons les Haïtiens de toutes les parties de la société, par le biais des lecteurs de journaux, ainsi que des ONG, des décideurs, des experts de secteurs et des entreprises afin de proposer les meilleures solutions. Nous avons nommé quelques-uns des meilleurs économistes d'Haïti et du monde pour calculer les coûts et les avantages de ces propositions au niveau social, environnemental et économique. Cette recherche aidera à établir des priorités pour le pays grâce à une conversation à l'échelle nationale sur ce que sont les solutions intelligentes - et moins intelligentes - pour l'avenir d'Haïti.



Haïti Priorise

Un plan de **développement** alternatif

Pour plus d'informations visitez www.HaitiPriorise.com

C O P E N H A G E N C O N S E N S U S C E N T E R

Copenhagen Consensus Center est un groupe de réflexion qui étudie et publie les meilleures politiques et opportunités d'investissement basées sur le bien de la société (mesurées en dollars, mais en intégrant également par exemple : la protection de l'environnement, la santé et le bien-être) pour chaque dollar dépensé. Copenhagen Consensus a été conçu pour répondre à un sujet fondamental, mais négligé dans le développement international : dans un monde qui a une courte durée d'attention et des budgets limitées, nous devons trouver des moyens efficaces pour faire le plus de bien au plus grand nombre. Copenhagen Consensus fonctionne avec plus de 300 des plus grands économistes au monde, y compris 7 lauréats du prix Nobel pour donner la priorité aux solutions des plus grands problèmes mondiaux, sur la base de l'analyse de données et du rapport coût-avantage.