

# ExPost

Synthèse

Évaluation  
de l'AFD

SEPTEMBRE  
2024  
N° 105

**Auteurs**<sup>[1]</sup> Thomas Thivillon<sup>[2]</sup>, Adama Sanda<sup>[3]</sup>,  
Élodie Djemai<sup>4</sup>, Philippe De Vreyer<sup>[4]</sup>.

- [1] Auteurs listés en ordre aléatoire. Contributions des auteurs : Conception de l'étude : ED, P.D.V et T.T. ; mise en œuvre de l'étude : ED, P.D.V, S.A. et T.T., analyse des données : T.T., rédaction du manuscrit : ED et T.T, relecture : ED, P.D.V, S.A. et T.T.  
[2] Université de Bordeaux, UMR CNRS 6060 Bordeaux Sciences Economiques, Pessac, France.  
[3] Département biomédical et santé publique, Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS).  
[4] Université Paris-Dauphine, Université PSI, LEDa, CNRS, IRD, DIAL, Paris, France.



## Réduire la pollution due aux fumées de cuisson : principaux enseignements de l'étude randomisée REDGAS au Burkina Faso

**Coordinateur**  
Rita Abdel Sater

**Avertissement**

Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité de ses auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue officiel de l'Agence française de développement ou des institutions partenaires.

**Photo de couverture**

© Davide Bonaldo

# Sommaire

|  |              |  |              |
|--|--------------|--|--------------|
| <b>Éditorial</b>   | <b>p. 5</b>  | 3.2 Utilisation des équipements de cuisson au gaz acquis dans le cadre des interventions | p. 22        |
| <b>Résumé</b>  | <b>p. 6</b>  | 3.3 Adoption du gaz et consommation de combustibles solides                              | p. 24        |
| <b>Introduction</b>  | <b>p. 8</b>  | 3.4 Impacts sur l'exposition à la pollution de l'air et sur l'hypertension               | p. 26        |
| <b>1</b>   |              | <b>4</b>   |              |
| <b>Contexte de l'étude et présentation de la technologie évaluée</b>               | <b>p. 9</b>  | <b>Mécanismes et hétérogénéité des résultats</b>   | <b>p. 27</b> |
| 1.1 Cuisson des repas et exposition à la pollution de l'air au Burkina Faso        | p. 9         | 4.1 Mécanismes expliquant la hausse de consommation totale d'énergie                     | p. 27        |
| 1.2 Technologie évaluée  | p. 11        | 4.2 Hétérogénéité des impacts sur l'exposition à la pollution de l'air                   | p. 28        |
| 1.3 Activités évaluées   | p. 13        |  |              |
| <b>2</b>   |              | <b>5</b>   |              |
| <b>Méthode d'évaluation</b>  | <b>p. 14</b> | <b>Discussion et conclusion</b>  | <b>p. 29</b> |
| 2.1 Théorie du changement  | p. 14        | <b>Références bibliographiques</b>   | <b>p. 32</b> |
| 2.2 Sélection de l'échantillon et assignation aléatoire aux offres                 | p. 14        | <b>Liste des sigles et abréviations</b>  | <b>p. 34</b> |
| 2.3 Données mobilisées   | p. 16        | <b>Annexes</b>   | <b>p. 35</b> |
| 2.4 Caractéristiques de l'échantillon  | p. 18        |  |              |
| 2.5 Analyses statistiques et économétriques  | p. 18        |  |              |
| <b>3</b>   |              |  |              |
| <b>Résultats</b>   | <b>p. 20</b> |  |              |
| 3.1 Effet de la subvention et effet du crédit sur l'acquisition de cuisseurs à gaz | p. 21        |  |              |

## Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier de l'Agence française de développement (AFD) à travers le Partenariat AFD-IRD pour réaliser des évaluations d'impact en mobilisant la recherche du Sud (PAIRES) et la Division partenariats - Organisations de la société civile (DPA-OSC). Une aide financière complémentaire a été apportée par l'ANRS, le CEPREMAP, et le GPR IPORA de l'Université de Bordeaux. Nous remercions sincèrement Rita Abdel Sater, Claire Bernard, Léa Macias, Ingrid Dallmann, Laura Gelb, et Maud Hazan de l'AFD, Flore Gubert de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), ainsi qu'Hermann Badolo et Abdramane Berthé de l'INSP – Centre Muraz, pour leur accompagnement et leur appui tout au long du processus de conception et de mise en œuvre de l'étude. Notre travail n'aurait pas été possible sans l'implication et la très grande disponibilité des équipes d'Entrepreneurs du Monde et de Nafa Naana que nous remercions de s'être prêtées avec patience à l'exercice exigeant de l'évaluation d'impact. Nous tenons également à exprimer ici notre infinie reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à cette étude en acceptant de répondre à nos questions, de faire mesurer leurs consommations de combustibles ou encore de porter nos dispositifs de mesure d'exposition aux particules fines. Enfin, nos remerciements vont aussi à Macoura Doumbia, Éléonore Rouault et Leïla Traoré pour leur excellent travail d'assistance à la collecte des données de l'étude, ainsi qu'à nos partenaires de Climate Solutions Consulting et de l'Ineris.

# Éditorial

Par la division Energies (EG) de l'AFD

L'accès à l'énergie est au cœur de la stratégie de transition énergétique de l'AFD. Alors que le déficit d'accès à l'électricité, estimé à 750 millions de personnes dans le monde se résorbe progressivement, la transition vers des modes de cuisson propre et efficace (CPE) reste un défi majeur. Chaque jour, 2,3 milliards de personnes, principalement en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, cuisinent encore sur des feux ouverts ou avec des foyers basiques brûlant de la biomasse (bois, charbon de bois, résidus agricoles etc.). Cette dépendance entraîne des impacts dramatiques sur la santé et la mortalité, en particulier des femmes et des enfants, exposés aux fumées nocives, causant plus de 3 millions de morts prématurées chaque année. L'urgence d'agir pour atteindre l'accès universel à la CPE à la croisée des enjeux de santé et de genre s'associe également à la lutte contre le changement climatique et la préservation des ressources naturelles. En effet, l'utilisation des foyers traditionnels pour la cuisson est responsable de près de 2,5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, en raison de la combustion émissive du bois et la déforestation.

La communauté internationale se mobilise face à ces défis. Suite à la publication par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) d'un rapport proposant une trajectoire pour atteindre un accès universel à la cuisson propre d'ici 2030, nécessitant un investissement de 7 milliards de dollars par an, dont 4 milliards pour l'Afrique, un Sommet international dédié au Clean Cooking a eu lieu le 14 mai 2024 à Paris. Cet événement a rassemblé des dirigeants de haut niveau de pays africains, du secteur industriel et de la finance, et a abouti à de nombreux engagements, notamment la promesse de consacrer 2,2 milliards de dollars d'investissement dans le secteur de la CPE.

**La France a contribué à cette dynamique en annonçant un soutien de 100 millions d'euros sur 5 ans, mis en œuvre par le Groupe AFD, ainsi que la mobilisation des réseaux Finance en Commun pour accélérer la transition.** Pour cela, et fort de notre ambition 100% ODD et du côté des autres, l'AFD a développé un plan d'action qui définit les principes guidant l'identification et la mise en œuvre de projets incluant la CPE dans les prochaines années.

**Cette évaluation du projet REDGAS, visant à réduire la pollution due aux fumées de cuisson au Burkina Faso, arrive à point nommé pour éclairer nos futures opérations grâce à plusieurs apprentissages.** Elle confirme tout d'abord que le « *stacking* », qui consiste à combiner divers modes de cuisson, traditionnels et propres, est une pratique courante. En outre, bien que l'abordabilité des solutions de CPE reste un obstacle, les changements d'habitudes ne se font pas de manière immédiate et nécessitent du temps, ce qui fait que la biomasse restera une solution de transition pour la préparation des repas. L'engagement de l'AFD doit donc être accompagné de projets de gestion durable des ressources naturelles pour être pleinement efficace.

Ainsi, les résultats de l'évaluation reflètent bien **la complexité d'intervenir dans le domaine de la CPE.** Des financements seuls pour subventionner ou faciliter l'acquisition de solutions CPE ne suffiront jamais à répondre à tous les défis d'un sujet intimement lié aux codes culturels des territoires concernés. Une **approche holistique, centrée sur l'utilisateur, la compréhension de ses pratiques et de ses besoins, ainsi qu'une inévitable patience pour accompagner la transition** vers la CPE, seront essentielles pour atteindre l'accès universel.

# Résumé

Ce rapport présente les résultats principaux de l'étude REDGAS, une évaluation scientifique des impacts de l'accès au gaz de cuisson sur le comportement des ménages, leur exposition à la pollution de l'air domestique et sur les risques sanitaires associés. L'évaluation porte sur le dispositif de facilitation de l'accès au gaz mis en œuvre au Burkina Faso par l'entreprise sociale Nafa Naana et l'ONG Entrepreneurs du Monde, avec le soutien financier de l'Agence Française de Développement (AFD). Elle s'appuie sur un essai randomisé contrôlé dans le cadre duquel 805 ménages urbains ont été répartis aléatoirement entre un groupe « crédit », un groupe « subvention » et un groupe de contrôle. Les ménages des deux premiers groupes ont reçu une offre d'achat leur permettant de faire l'acquisition d'un kit de cuisson au gaz auprès d'un revendeur de leur commune : soit à un prix promotionnel (groupe subvention), soit au prix du marché avec la possibilité de payer en trois fois (groupe crédit). Nous étudions l'effet de ces subventions d'investissement et de ces prêts à la consommation sur l'adoption et sur l'intensité d'utilisation de la cuisson au gaz au cours de la période de six mois suivant la date de fin de validité des offres, à l'aide de capteurs optiques installés sur les kits de cuisson. Nous estimons également l'effet des interventions sur la consommation de bois des ménages, leur exposition moyenne journalière aux particules fines ( $PM_{2.5}$ ), ainsi que sur un indicateur objectif de santé, l'hypertension artérielle des personnes en charge de la préparation des repas.

Les offres à crédit et à prix subventionnés accroissent la part des ménages équipés d'un kit de cuisson au gaz de 28 et de 54 points de pourcentage respectivement, suggérant que la forte demande des ménages pour le gaz était préalablement entravée par les contraintes budgétaires ainsi que par le manque d'accès au crédit. En revanche, bien que les kits de cuisson au gaz soient utilisés régulièrement par la

moitié des ménages en ayant fait l'acquisition, nous n'identifions aucun effet de la hausse du recours au gaz sur l'exposition à la pollution de l'air ou sur notre principal indicateur objectif de santé, l'hypertension artérielle des personnes en charge de la préparation des repas. Nous montrons que la consommation de bois n'a en réalité pas diminué dans les groupes ayant bénéficié des offres d'achat, et que la consommation totale d'énergie de ces ménages a augmenté d'environ 15 % par rapport au groupe de contrôle. Le gaz semble donc être utilisé comme une source d'énergie complémentaire plutôt que comme un substitut au bois, et nous mettons notamment en évidence une hausse du nombre total de repas chauds par jour dans les groupes exposés aux interventions. Nous interprétons l'absence de diminution de la consommation de bois comme la principale explication de l'effet nul des interventions sur l'exposition des ménages aux particules fines. Nos analyses d'hétérogénéité suggèrent néanmoins que les interventions ont provoqué une légère baisse de l'exposition aux particules fines parmi les ménages qui avaient recours à du bois acheté, plutôt qu'à du bois collecté, pour cuisiner leurs repas avant intervention. Nous en concluons que l'acquisition des kits de cuisson au gaz et leur utilisation ne garantissent pas une substitution de l'utilisation du bois et n'entraînent donc pas automatiquement des effets sanitaires. Le mode de collecte, et donc le coût, du bois avant l'intervention sont donc probablement des déterminants importants du succès des interventions. Cela suggère que les incitations financières à l'adoption d'équipements de cuisson au gaz pourraient avoir un impact plus important dans les zones urbaines, où le bois est plus difficilement collecté. Ceci pourrait notamment motiver la conduite d'évaluations similaires dans des contextes où la proportion des ménages collectant leurs combustibles est faible, afin de compléter les connaissances produites par l'étude REDGAS.

---

### Encadré 1 – L'évaluation d'impact à l'AFD

---

Une évaluation d'impact se concentre sur les questions relatives aux effets d'une intervention: dans quelle mesure a-t-elle réellement fait une différence ? Quelle est la contribution du projet aux changements observés sur les populations et les écosystèmes concernés ? Quels sont les mécanismes expliquant les effets ? Le groupe AFD finance et réalise des évaluations d'impact de ses projets dans un objectif non seulement de redevabilité, mais aussi d'apprentissage pour l'amélioration des activités de l'AFD en termes de pilotage des projets, de dialogue et de renforcement des capacités des partenaires. L'AFD s'engage pour cela pleinement dans une perspective de la diversification des approches d'évaluation d'impact (contrefactuel, contribution, comparaison de cas...) et de méthodes (quantitative, qualitative, mixte).

Cette étude a été financée à travers le Partenariat AFD-IRD pour Réaliser des Évaluations d'impact en mobilisant la recherche du Sud (PAIRES), qui vise à identifier et mettre en œuvre une série d'évaluations d'impact avec contrefactuel sur des interventions soutenues par l'AFD, avec l'expertise, les réseaux et les capacités d'action de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

# Introduction

En 2021, un tiers de la population mondiale, approximativement 2,3 milliards de personnes, avaient recours à des combustibles solides tels que le bois ou le charbon de bois pour cuire leurs aliments (AIE, Agence internationale pour les énergies renouvelables, Division de la statistique de l'Organisation des Nations unies, Banque mondiale, Organisation mondiale de la santé, 2022). L'emploi de ce type de combustible est associé à un ensemble de questions liées au développement durable, incluant la déforestation, le changement climatique, l'emploi du temps des femmes, le travail des enfants mais aussi la santé des populations (Putti *et al.*, 2015). Les dernières vagues de l'étude *Global Burden of Disease* montrent à quel point la pollution de l'air intérieur issue de la combustion du bois et du charbon est un enjeu majeur de santé publique. Elle aurait été responsable d'environ 2,3 millions de décès dans le monde en 2019 (Bennitt *et al.*, 2021). C'est notamment pour cette raison que la transition vers des solutions de cuisson moins polluantes figure en bonne place dans l'agenda des politiques d'aide au développement. Jusqu'à présent, l'effort international dans ce domaine a en grande partie consisté à promouvoir l'emploi de foyers à biomasse efficaces en énergie qui, bien que plus économes, utilisent toujours des combustibles solides. Malheureusement, les impacts de ce type d'intervention se sont révélés décevants du point de vue de l'exposition à la pollution de l'air et de la santé (Hanna, Duflo et Greenstone, 2016 ; Mortimer *et al.*, 2017 ; Berkouwer et Dean, 2022).

Ceci explique en partie que les efforts des États et des agences multilatérales se soient progressivement orientés vers des stratégies visant à encourager les ménages à abandonner les combustibles solides pour passer à des technologies plus modernes et dont l'utilisation libère en principe moins de polluants nocifs pour la santé, en particulier le gaz et l'électricité. Des programmes massifs de subvention sur critères sociaux ont ainsi vu le jour en Inde, en Indonésie ou encore au Pérou au cours des

deux dernières décennies afin d'encourager la population à adopter la cuisson au gaz (Imelda, 2020 ; Afridi, Debnath et Somanathan, 2021 ; Thivillon, 2022). Malgré les questionnements liés à l'origine fossile du gaz, le soutien des États est relayé au niveau international par l'organisation internationale *Sustainable Energy for All*, fondée par Ban Ki-moon alors qu'il était Secrétaire général des Nations unies, qui s'est engagée à convertir 1 milliard d'individus à la cuisson au gaz d'ici 2030 (*Sustainable Energy for All*, 2013).

Malgré cet intérêt croissant des décideurs publics, les connaissances scientifiques des impacts de la transition du bois ou du charbon vers le gaz de cuisson sur la santé et sur le bien-être des populations sont encore limitées. REDGAS est une expérimentation aléatoire qui évalue un dispositif de facilitation de l'accès au gaz inspiré de celui déployé au Burkina Faso par l'Organisation non-gouvernementale (ONG) Entrepreneurs du Monde et son partenaire local Nafa Naana. L'expérimentation comporte deux types d'interventions : une composante crédit et une composante subvention, toutes deux visant à lever les barrières à l'utilisation que représentent le prix d'achat des réchauds à gaz et les contraintes de liquidités auxquelles sont confrontés les ménages burkinabè. Nous étudions dans un premier temps les impacts de ces interventions sur l'adoption de la cuisson au gaz en remplacement de la cuisson au bois. Dans un second temps, nous documentons les effets des interventions sur l'exposition des ménages à la pollution de l'air et sur un indicateur de santé objectif, l'hypertension artérielle des personnes en charge de la préparation des repas.

Le rapport est structuré de la façon suivante : la section 1 présente l'historique et le contexte de l'étude ainsi que les interventions évaluées, la section 2 décrit notre méthode d'évaluation, la section 3 détaille les principaux résultats. Les analyses des mécanismes et de l'hétérogénéité des résultats sont présentées dans la section 4. Enfin, la section 5 discute les résultats et conclut.

# 1. Contexte de l'étude et présentation de la technologie évaluée

## 1.1 Cuisson des repas et exposition à la pollution de l'air au Burkina Faso

Au Burkina Faso, 82,8 % de la population emploie le bois comme combustible principal pour la préparation des repas. Seuls 13,4 % des habitants ont accès à une solution de cuisson relativement peu polluante telle que le GPL (gaz de pétrole liquéfié) ou l'électricité. La pollution de l'air est un enjeu majeur pour le pays et sa population. Les modélisations réalisées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), sur la base de données satellite, établissent la concentration médiane annuelle en particules fines dans

l'air ambiant à  $37\mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgrammes par mètres cube) pour le pays, soit près de sept fois le seuil maximum d'exposition moyenne annuelle recommandé (WHO, 2021). Des mesures de qualité de l'air domestique récentes effectuées in-situ à Ouagadougou montrent que la concentration moyenne sur 24 heures dans les espaces utilisés pour la cuisine peut dépasser les  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en particulier pour les ménages dépendants du bois et utilisant des foyers traditionnels « trois pierres » (Kafando *et al.*, 2019). Ceci suggère des niveaux d'exposition personnelle particulièrement élevés pour les femmes et les jeunes enfants qui passent beaucoup de temps dans ou à proximité des cuisines. Enfin, la pollution de l'air apparaît au deuxième rang des facteurs de risque de décès au Burkina Faso, et les infections respiratoires sont la quatrième cause directe de décès dans les estimations du *Global Burden of Disease Survey* pour le pays (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2024).

### Encadré 2 – La production de connaissances au cœur du partenariat entre les OSC et l'AFD

Les organisations de la société civile (OSC) et l'AFD travaillent en commun pour l'atteinte des Objectifs de développement durable (ODD). Ce partenariat concerne à la fois le dialogue stratégique et sectoriel, le financement de projets de terrain ou bien encore la production de connaissances permettant d'apprécier la pertinence des interventions des OSC et la valeur ajoutée des innovations qu'elles développent.

En 2010, quand Entrepreneurs du Monde fonde l'entreprise sociale Nafa Nanaa au Burkina Faso, avec l'ambition de rendre accessible aux populations vulnérables des produits économes en énergie afin d'améliorer leurs conditions de vie et préserver l'environnement tout en développant l'économie locale, elle peut compter sur l'AFD pour soutenir son initiative. La division du partenariat avec les OSC (MPN-OSC) cofinancera le développement de Nafa Nanaa à travers son dispositif d'appui aux initiatives des OSC pendant une dizaine d'année jusqu'à l'atteinte de son autonomie technique et financière.

L'étude REDGAS constitue une forme d'achèvement de ce partenariat en permettant d'apporter un éclairage nécessaire sur les bénéfices et limites des solutions de cuisson au gaz distribués par Nafa Nanaa et d'en tirer des enseignements pour nos futures interventions communes dans le secteur de la cuisson propre et efficace. Des initiatives comme le programme PAIRES permettent de soutenir la mesure d'impact rigoureuse de certaines interventions stratégiques ou innovantes pour l'AFD.

Il est probable qu'une part significative de la pollution à laquelle les ménages burkinabè sont exposés provienne de l'utilisation du bois et du charbon de bois comme sources d'énergie au sein de leur propre logement. Shupler *et al.* (2018) proposent une modélisation des niveaux d'exposition individuelle aux particules fines dans la sous-région ouest-africaine et montrent des écarts d'exposition très importants selon le combustible principal utilisé dans le ménage. En utilisant les données collectées avant la mise en place des interventions, De Vreyer, Djemaï et Thivillon (2023) montrent une corrélation forte entre consommation de biomasse et exposition aux particules fines au Burkina Faso.

Si ces écarts d'exposition à la pollution ne peuvent pas en l'état actuel de la littérature être interprétés de manière causale étant donné l'endogénéité des choix de combustibles, ils justifient néanmoins de placer la recherche d'alternatives au bois de chauffe et au charbon de bois au cœur des politiques d'amélioration de la qualité de l'air (voir Encadré 2). Conscient de cette réalité, l'État burkinabè s'est fixé en 2015 comme objectif de parvenir en 2025 à un taux de recours au GPL de 40 % dans les zones urbaines et de 10 % dans les zones rurales (Ministère des Mines, des Carrières et de l'Énergie, 2015). L'accent a jusqu'à présent été mis sur une subvention universelle aux recharges de gaz mais il n'existe pas de dispositif étatique spécifique pour aider les ménages à financer l'investissement que représente l'acquisition d'un équipement de cuisson à gaz.

---

### Encadré 3 – Quels bénéfices sanitaires et sociaux attendre de l'adoption du gaz pour la cuisson ?

---

Du point de vue sanitaire, le principal avantage de la cuisson au gaz est son faible taux d'émission de polluants aérosols, et notamment de particules fines de moins de 2,5 micromètres (PM<sub>2,5</sub>) qui sont l'une des catégories de polluants les plus nocives pour la santé. Une étude commissionnée par l'*US Environmental Protection Agency* a conclu que le GPL atteint les niveaux d'émissions de PM<sub>2,5</sub> recommandés par l'OMS dans 90 % des 89 tests en laboratoire conduits sur cinq modèles de réchauds à gaz disponibles dans le commerce (Shen *et al.*, 2018). En revanche, la combustion du gaz émet des polluants gazeux. Elle a en particulier un taux élevé d'émission de dioxyde d'azote, un puissant irritant respiratoire (Lin, Brunekreef et Gehring, 2013 ; Kashtan *et al.*, 2024). Les effets de l'adoption du gaz sur l'exposition à ce polluant sont mal documentés, les études d'impact se focalisant le plus souvent sur les polluants aérosols. Outre l'aspect sanitaire, la cuisson au gaz est aussi très rapide et pratique, notamment du fait de la simplicité d'allumage du feu, ce qui suggère qu'il peut apporter des bénéfices en termes d'économies de temps qui ne peuvent pas être obtenus avec des foyers à biomasse efficaces en énergie mais dont les temps de cuisson sont comparables à ceux des technologies traditionnelles.

## 1.2 Technologie évaluée

L'évaluation s'intéresse à un modèle de cuisinier à gaz à simple brûleur très répandu en Afrique de l'Ouest. Ce modèle est connu sous le nom de "foyer Téliá" ou "kit Téliá" au Burkina Faso. Il peut être décrit comme un réchaud à gaz de grande taille, composé d'une bouteille de GPL de 6 kilogrammes (kg), d'un brûleur vissé directement sur la bouteille sans tuyau ni régulateur, et d'un support de marmite fabriqué localement et installé autour du brûleur (voir Photo 1a). Il est conçu pour être utilisé à même le sol, dans la cour ou dans la cuisine, et propose ainsi la même flexibilité d'utilisation que la plupart des foyers à charbon traditionnels utilisés par les ménages urbains. Le prix de vente grand public proposé par le porteur de projet partenaire de l'étude, Nafa Naana, à l'époque de la mise en œuvre de l'évaluation était de 25 000 francs de la Communauté financière en Afrique (FCFA) (environ 38 euros/€). Ce prix représentait environ 90 % du salaire minimum mensuel en vigueur au Burkina Faso. Les recharges de gaz pour les bouteilles de 6 kg fournies avec le kit Téliá sont subventionnées par l'État burkinabè de façon à maintenir leur prix à 2 000 FCFA (3 €, prix en vigueur à Ouagadougou). Ce prix correspond à une subvention moyenne d'environ 50 %. Le kit Téliá est promu par Nafa Naana du fait de son prix relativement abordable par rapport aux autres modèles de cuisiniers GPL, mais aussi parce qu'il est populaire parmi les ménages burkinabè et bien adapté aux pratiques de cuisine locales.

Photo 1 – Le kit Téliá



(a) Kit Téliá équipé d'un moniteur d'utilisation



(b) Téléchargement des données du moniteur d'utilisation à l'aide de sa télécommande

#### Encadré 4 – Délai d’amortissement et Retour sur investissement (ROI) du kit Télia

Pour comprendre les choix des ménages dans le cadre des offres d’achat de kits Télia, il est utile de calculer le ROI qu’ils peuvent attendre de leur éventuel achat. Pour cela, nous nous appuyons sur des estimations de prix du bois basées sur la valorisation par les ménages de leur stock de bois lors des enquêtes sur la situation de base. Le prix moyen du bois ainsi obtenu est de 45 FCFA par kg. Le prix réglementé du gaz dans la zone d’étude est, lui, en principe, de 375 FCFA par kg pour les bouteilles de 6 kg. Nous utilisons une équivalence en termes d’énergie utile de 89 g de gaz par kg de bois basée sur des valeurs d’efficacité thermique par défaut issues de Champion *et al.* (2021) et sur les valeurs calorifiques nettes du bois et du GPL présentées dans le rapport du Groupe intergouvernemental d’experts sur le climat de 2006 (GIEC, 2006). Ces valeurs sont détaillées dans la section 4. Pour une consommation journalière de bois de 5,15 kg, nous estimons ainsi une économie de 1 800 FCFA par mois dans le cas d’un ménage achetant initialement 100 % de sa consommation de bois et la substituant intégralement par du gaz ( $5,15 \times 30 \times 45 - 5,15 \times 0,089 \times 30 \times 375 = 1796$ ).

Les durées d’amortissement théoriques et les taux de retour sur investissement sont présentés dans le Tableau 1. La durée d’amortissement est de seize mois dans le cas de l’offre à crédit. Cela signifie que les économies réalisées grâce au kit de cuisson au gaz couvrent le montant initialement investi pour acquérir le kit au bois de 16 mois d’utilisation exclusive, pour un ménage qui achetait son bois avant le passage au gaz. En faisant l’hypothèse que le brûleur, la principale pièce d’usure du kit Télia, n’a pas à être remplacé au cours des deux premières années d’utilisation, on obtient un taux de retour sur investissement à 24 mois de 51 %. En d’autres termes, après 24 mois, la différence entre les économies réalisées grâce au kit de cuisson au gaz et le montant initialement investi représente 51 % de ce montant. Les calculs mettent en évidence le fort attrait de l’offre subventionnée, qui permet de diviser par deux la durée d’amortissement du kit et de multiplier par trois le ROI. Ces indications de durée d’amortissement et de ROI doivent néanmoins être considérées avec du recul car en réalité peu de ménages de l’échantillon achetaient leur bois avant intervention et peu d’entre eux adopteront le gaz comme combustible exclusif après intervention. Le calcul de ROI présenté ici doit donc avant tout être compris comme un exercice permettant de saisir les implications des différentes offres pour un ménage devant arbitrer entre son retour sur investissement théorique et ses contraintes de liquidité et de crédit.

Tableau 1 – Amortissement et ROI des offres de kits Télia

| Offre             | Prix d’achat (FCFA) | Amortissement (mois) | Retour sur investissement à 24 mois |
|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|
| <b>Crédit</b>     | <b>28 500</b>       | <b>15.9</b>          | <b>51 %</b>                         |
| <b>Subvention</b> | <b>15 500</b>       | <b>8.6</b>           | <b>178 %</b>                        |

### 1.3 Activités évaluées

L'étude REDGAS évalue le dispositif de facilitation de l'accès au gaz de Nafa Naana, l'un des principaux distributeurs d'équipements de cuisson à gaz au Burkina Faso. Tandis que la plupart de ses concurrents sont des entreprises conventionnelles, Nafa Naana est une entreprise sociale créée par l'ONG Entrepreneurs du Monde en 2012. En tant que telle, elle cible spécifiquement les ménages à faibles revenus qui ont plus de difficultés à accéder à la cuisson au gaz, à la fois du fait du manque de points de distribution au dernier kilomètre et parce que les contraintes de liquidité font qu'il leur est difficile d'investir dans un kit Télia. Nafa Naana s'associe à des détaillants issus des communautés locales et à des associations villageoises pour établir de nouveaux points de vente au détail pour ses produits. L'organisation a aussi mis au point une offre de paiement à crédit qui permet aux membres de ses associations villageoises partenaires d'acquérir un kit Télia en le payant en trois échéances. Des frais administratifs de 3 500 FCFA (5,3 €) sont facturés pour ce service. L'acquéreur paie généralement 35 % du total dû à la livraison du produit, 35 % un mois plus tard et enfin 30 % après deux mois.

Lors de la conception de l'étude, l'équipe de direction de Nafa Naana estimait que son offre de paiement échelonné représentait plus de 50 % de ses ventes de foyers à gaz. Pourtant, celle-ci ne résout que très partiellement les problèmes de liquidités et de contraintes de crédit qui peuvent empêcher les ménages de s'équiper. En effet, les données sur les prix des combustibles collectées lors de nos enquêtes suggèrent qu'un ménage substituant la totalité de sa consommation de bois par du gaz peut économiser au mieux 1800 FCFA (2,7 €) par mois s'il achetait initialement la totalité de son bois plutôt que de le collecter (voir Encadré 4). Ceci signifie que les économies générées par le kit Télia au cours des deux mois suivant l'acquisition couvrent à peine plus que le montant des frais administratifs facturés pour la vente à crédit, et que le montant restant à amortir à l'issue de la

période de crédit est équivalent à ce que le ménage aurait eu à régler en achetant l'équipement au comptant. Par conséquent, les ménages choisissant d'avoir recours à cette facilité de paiement disposent d'une épargne conséquente ou de sources de crédit complémentaires et mettent à profit le délai de paiement pour les mobiliser.

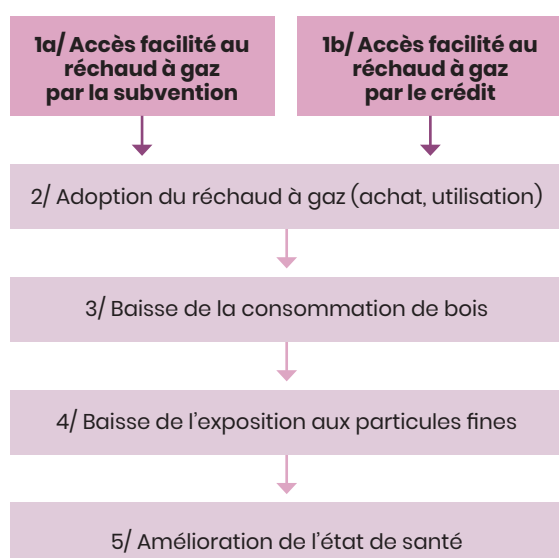
Afin de pouvoir toucher un public plus large (n'ayant pas ce type de ressources financières) et d'évaluer l'effet de l'accès au gaz sur ces ménages plus vulnérables, nous avons fait le choix d'inclure dans l'étude une seconde offre qui ne fait pas partie de la stratégie commerciale de Nafa Naana. Cette offre a été conçue par l'équipe de recherche. Elle consiste à proposer le kit Télia au comptant mais avec une subvention de 38 %, soit un prix de 15 500 FCFA (23,7€). La subvention finance le prix des pièces d'usure du kit : le brûleur et le support de marmite. La somme réglée par l'acquéreur couvre, elle, le montant du dépôt de garantie pour la bouteille de gaz consignée et celui de la première recharge de gaz contenue dans la bouteille. Le taux de subvention retenu a été choisi pour éviter tout risque de déstabilisation du système de consignation des bouteilles de gaz en place au Burkina Faso, une subvention supérieure à 38 % revenant à abaisser de fait le montant du dépôt de garantie. Ce type d'offre partiellement subventionnée se rapproche de celles mises en œuvre à grande échelle dans d'autres pays, notamment en Inde (Afridi, Debnath, et Somanathan, 2021).

## 2. Méthode d'évaluation

### 2.1 Théorie du changement

Comment les incitations financières pour l'acquisition d'un cuiseur à gaz pourraient-elles contribuer à améliorer la santé des ménages au Burkina Faso ? Le Schéma 1 présente la théorie du changement dans laquelle nous émettons l'hypothèse que faciliter l'acquisition du réchaud à gaz à travers une subvention ou un accès facilité au crédit devrait permettre aux ménages de réduire leur consommation de bois et ainsi leur exposition à la pollution de l'air générée par son utilisation comme combustible<sup>[5]</sup>. Elle repose sur plusieurs hypothèses sous-jacentes : i) le prix du réchaud est désincitatif à l'acquisition de réchauds, ii) l'utilisation de gaz plutôt que de bois ou charbon réduit l'exposition aux particules fines, enfin iii) la pollution ambiante à laquelle est exposé le ménage et générée par les ménages et les entreprises de son voisinage représente une part relativement faible de son exposition totale aux polluants atmosphériques incluant la pollution générée par le ménage lui-même.

Schéma 1 – Théorie du changement



[5] Le protocole expérimental est décrit plus en détail dans le plan d'analyse : de Vreyer *et al.*, (2022).

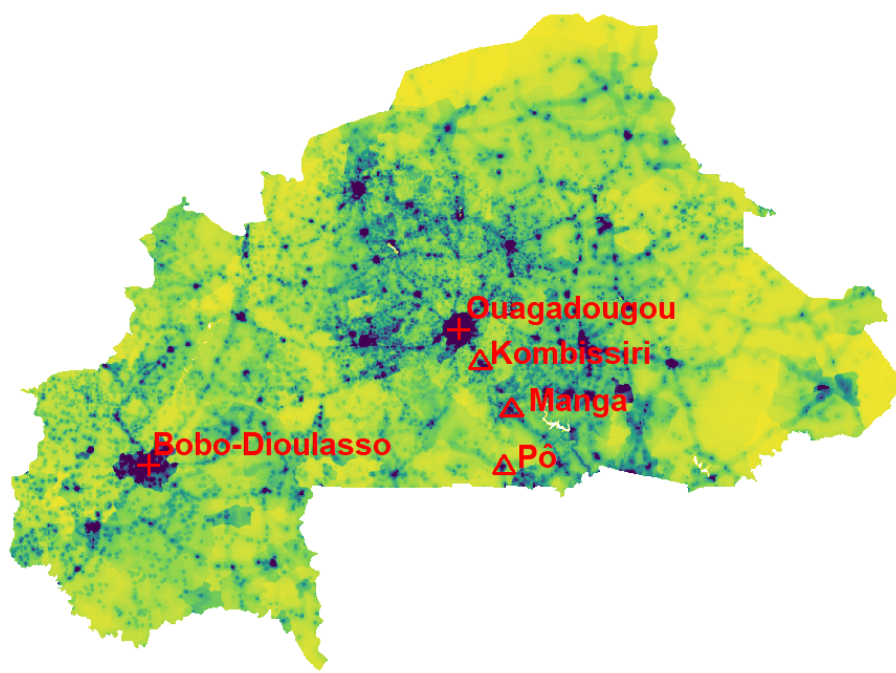
### 2.2 Sélection de l'échantillon et assignation aléatoire aux offres

Nous avons évalué les deux offres présentées ci-contre dans un échantillon de 805 ménages résidant à Kombissiri, Manga et Pô, trois villes moyennes situées dans la région Centre-Sud, au Sud de Ouagadougou (voir Carte 1). Le choix de villes moyennes nous permet de mener l'étude dans un contexte où la pollution de l'air ambiant est relativement faible, notamment du fait du moindre trafic automobile par rapport aux grandes villes, et ainsi d'espérer identifier plus facilement les effets de l'accès au gaz sur la pollution de l'air domestique. 731 des ménages de l'échantillon ont été inclus dans l'étude en novembre 2019 et un échantillon complémentaire de 74 ménages a été sélectionné en juin 2021 après une interruption de l'étude liée à la crise de la COVID-19. L'échantillon a été constitué à partir d'une stratégie d'échantillonnage spatial. Une liste des zones urbaines de dénombrement pour les communes cibles a été établie en lien avec l'Institut national de la statistique et de la démographie (INSD). Les zones les plus densément peuplées des trois communes cibles ont été sélectionnées et découpées en blocs de superficie équivalente à l'aide du logiciel QGIS. Des points GPS espacés d'au moins 60 mètres<sup>[6]</sup> ont été tirés au sein des blocs. Les superviseurs de l'équipe de collecte de données se sont rendus sur chacun des points GPS et ont utilisé une marche aléatoire établie par un algorithme intégré au logiciel de collecte de données<sup>[7]</sup> pour identifier un ménage éligible devant être enquêté à partir du point GPS. Les ménages éligibles pour faire partie de l'étude étaient ceux qui ne disposaient ni de gaz ni d'électricité pour cuisiner et qui ne fabriquaient pas de dolo à des fins commerciales. Entre juin 2021 et décembre 2022, tous les ménages de l'échantillon ont participé à une autre étude expérimentale portant sur la prévention de la COVID-19 (voir Figure A.1 en annexe).

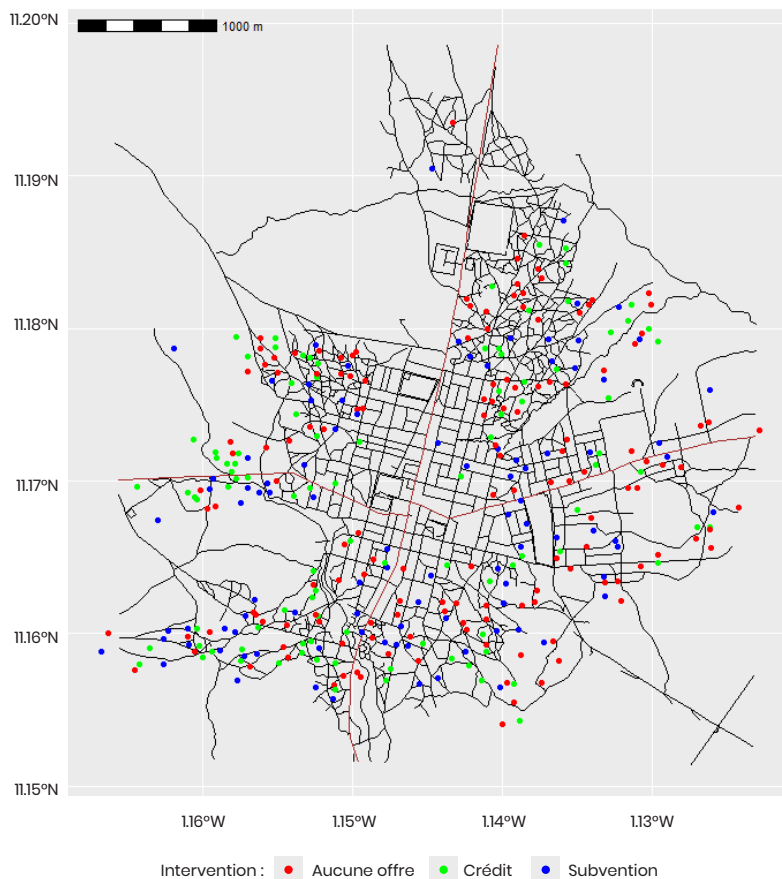
[6] Afin de limiter les risques de sélectionner des ménages voisins.

[7] L'algorithme sélectionnait aléatoirement une direction de marche pour l'enquêteur, puis le réorientait en cas d'échec à identifier un ménage éligible après avoir marché une distance prédéterminée dans la direction initiale.

Carte 1 – Zones d'étude



(a) Localisation des communes d'étude



(b) Localisation des ménages échantillonnés à Pô

Au printemps 2022, les 805 ménages urbains de notre échantillon ont été assignés par tirage aléatoire à un des trois groupes expérimentaux<sup>[8]</sup> selon la répartition présentée dans le Schéma 1<sup>[9]</sup>. Le groupe 1 (crédit) s'est vu remettre une offre d'achat lui proposant d'acquérir un kit Télià au prix de marché de 25 000 FCFA avec l'option de pouvoir bénéficier d'un paiement échelonné en trois échéances aux conditions habituellement proposées par Nafa Naana (voir *supra*). Les ménages assignés au groupe 2 (subvention) ont reçu une offre d'achat de kit Télià au comptant à prix réduit, selon les modalités de l'intervention complémentaire conçue par l'équipe de recherche et décrite précédemment. Le prix associé à cette offre était donc de 15 500 FCFA. Dans le 3<sup>ème</sup> groupe (groupe témoin), nous n'avons pas mené d'intervention et donc pas remis d'offre. Toutes les offres ont été distribuées à la fin du mois d'avril 2022, au domicile des ménages pour minimiser les interférences potentielles entre groupes. Les personnes intéressées pouvaient ensuite se rendre chez un détaillant de gaz partenaire de l'étude situé à proximité de leur domicile pour acquérir le kit Télià aux conditions proposées dans un délai d'un mois et demi après la remise de l'offre.

## 2.3 Données mobilisées

Quatre enquêtes quantitatives ont été réalisées auprès des ménages de l'échantillon : enquête sur la situation de base (décembre 2019–mars 2020), mise à jour de l'enquête sur la situation de base<sup>[10]</sup> (juin– juillet 2021), enquête de suivi (décembre 2021), enquête post-interventions (décembre 2022). Le déroulement détaillé de l'étude est décrit dans la frise chronologique disponible en annexe (Figure A.1). Les enquêtes quantitatives ont recensé tous les membres des ménages enquêtés et tous les réchauds utilisés (caractéristiques, localisations, fréquences d'utilisation). Les chefs de ménage et les personnes en charge des activités de cuisson ont été enquêtés en premier lieu. Nous disposons d'informations déclarées sur l'utilisation de combustibles et l'état de santé de chaque membre du ménage et, surtout, de mesures objectives pour les principales variables d'intérêt de l'étude : fréquence et durée d'utilisation des kits Télià achetés dans le cadre des interventions, consommation de bois, de charbon et de gaz des ménages de l'échantillon, et exposition moyenne aux particules fines sur 24 heures pour une personne en charge de la préparation des repas par ménage.

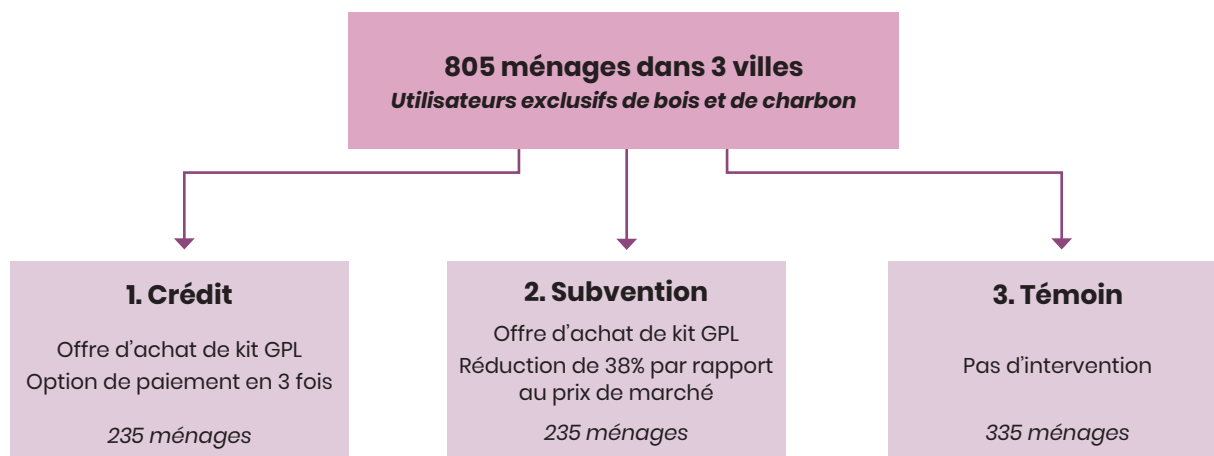
La fréquence et la durée d'utilisation des kits Télià ont été mesurées sur une période de six mois à partir de la date d'acquisition par des

[8] L'étude utilise la méthode des essais randomisés contrôlés, ou méthode « expérimentale », voir explications dans la sous-section « Analyses statistiques et économétriques ».

[9] Randomisation au niveau des ménages.

[10] Les restrictions liées à l'épidémie de COVID-19 ont modifié le calendrier de l'étude.

### Schéma 2 – Stratégie de randomisation



capteurs optiques<sup>[11]</sup> installés sur les kits avant leur remise aux ménages. Ces capteurs détectent le statut du cuisinier – en utilisation ou éteint – à partir de la température du brûleur et enregistrent une valeur toutes les minutes. Pour chaque kit, nous observons ainsi de façon continue les périodes d'utilisation sur l'ensemble de la période d'enregistrement de six mois.

Les consommations de combustible des ménages ont été mesurées lors de l'enquête sur la situation de base, de l'enquête de mise à jour de la situation de base et de l'enquête post-interventions, en utilisant une version modifiée du protocole des tests de performance de cuisine (« *Kitchen Performance Tests* », Bailis *et al.*, 2018). Concrètement, nous avons demandé aux ménages participant à l'étude de réunir le stock de combustibles nécessaire à la préparation de leurs repas pour plusieurs jours, puis nous avons pesé ce stock une fois par jour, à intervalles de 24 heures. Nous obtenons ensuite la consommation d'un combustible donné au cours d'une période de 24 heures en déduisant la masse du stock en fin de période de celle du stock en début de période. Ces mesures ont été réalisées sur 72 heures lors de l'enquête sur la situation de

base (3 périodes de 24 heures), 24 heures lors de l'enquête de mise à jour de la situation de base, et 48 heures lors de l'enquête post-interventions (2 périodes de 24 heures).

Les mesures d'exposition aux particules fines ont été effectuées par méthode gravimétrique, la méthode de référence pour cet indicateur (voir Encadré 5). Une mesure d'exposition sur 24 heures a été réalisée lors de i) l'enquête sur la situation de base, ii) l'enquête de mise à jour de la situation de base et iii) l'enquête post-interventions.

Enfin, lors de l'enquête de mise à jour de la situation de base et de l'enquête post-interventions, nous avons également collecté une mesure de tension artérielle sur la personne ayant porté le dispositif de mesure d'exposition aux particules fines. En effet, l'exposition aux polluants atmosphériques tels que particules fines et dioxyde d'azote est associée à une hausse à court terme de la tension artérielle dans la littérature médicale (Chang *et al.*, 2015 ; Kubesch *et al.*, 2015 ; Yang *et al.*, 2018 ; Choi *et al.*, 2019 ; Bista *et al.*, 2023). Nous avons donc retenu cette variable comme indicateur objectif de l'effet des interventions sur l'état de santé des personnes utilisant les combustibles de cuisson.

[11] Voir photos en annexe.

#### Encadré 5 – L'exposition individuelle aux particules fines

L'analyse des effets de l'intervention repose sur une mesure précise du niveau d'exposition individuelle aux particules fines, et ce sur un échantillon de taille importante comparativement aux études précédentes réalisées en Afrique subsaharienne. Dans chaque ménage de l'échantillon, une personne en charge des activités de cuisson a porté un équipement de mesure de la qualité de l'air par méthode gravimétrique pendant 24 heures consécutives. Le jour de la semaine retenu pour initier cette mesure dans un ménage donné dépend du calendrier prédéfini de la collecte de donnée et du déploiement des équipes d'enquêteurs sur le terrain, celles-ci ayant été amenées à adapter le calendrier si la personne en charge de la cuisine était absente le jour prédéfini. Nous tenons ensuite compte des jours au cours desquels la mesure a effectivement eu lieu dans nos analyses économétriques. Le dispositif de mesure était constitué d'une pompe à débit constant, d'un sélecteur de particules de moins de 2,5 micromètres et d'un filtre<sup>[12]</sup>. En rapportant la différence de masse du filtre avant et après échantillonnage au volume d'air échantillonné au cours de la période de 24 heures, nous obtenons l'estimation de l'exposition moyenne aux particules fines pour la personne ayant porté la pompe. Les pesées de filtres ont été réalisées en France par l'institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).

Les données pré-interventions révèlent des niveaux d'exposition aux PM<sub>2,5</sub> particulièrement élevés dans l'échantillon de ménages étudié. L'exposition aux particules fines mesurée sur les personnes en charge de la préparation des repas était de 180 µg/m<sup>3</sup>, soit plus de dix fois le seuil de 15 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24 heures recommandé par l'OMS. En utilisant le rapport de risque linéaire de 1,0065 par 10 µg/m<sup>3</sup> adopté par l'OMS pour modéliser l'impact de l'exposition aux particules fines sur la mortalité générale, on peut estimer que ce niveau d'exposition correspond à un risque de mortalité accru de 12,4 % par rapport à une situation sans pollution (WHO, 2021).

[12] Voir photos en annexe.

## 2.4 Caractéristiques de l'échantillon

Parmi les 805 ménages inclus dans l'expérimentation, 775 ont été retrouvés et ont fourni des données complètes lors de l'enquête post-interventions. Ceci représente un taux de perte (attrition) de 3,7 % sur une période d'un an (temps écoulé entre l'enquête de suivi et l'enquête post-interventions, voir frise chronologique en annexe Figure A.1). Le tableau 2 présente les principales caractéristiques sociodémographiques pré-interventions pour les ménages retrouvés. Il s'agit de ménages vulnérables dont la probabilité de vivre en-dessous du seuil de pauvreté de 1,9 dollar par jour<sup>[13]</sup> était de 31 % et dont seulement un tiers des chefs de ménage avaient été scolarisés. Ces ménages avaient une consommation de bois de 5,2 kg par jour et les deux tiers d'entre eux collectaient la totalité du bois consommé. Malgré le critère d'exclusion appliqué au moment de l'échantillonnage pour les ménages équipés d'un foyer à gaz, 8 % des ménages possédaient un kit GPL lors des mesures de consommation de combustible

[13] Probabilité calculée selon la méthodologie du Poverty Probability Index pour le Burkina Faso (Kshirsagar et al., 2017).

de juin-juillet 2021. Ceci peut s'expliquer par les 18 mois écoulés depuis l'échantillonnage, période au cours de laquelle certains ménages ont pu faire l'acquisition d'un kit en dehors du cadre de l'étude. Enfin, l'exposition moyenne aux particules fines mesurée sur les personnes en charge de la préparation des repas était de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (voir Encadré 5).

## 2.5 Analyses statistiques et économétriques

Cette étude d'impact est basée sur un essai randomisé contrôlé<sup>[14]</sup>. Cette méthode consiste à assigner aléatoirement des interventions (randomisation) puis à comparer les résultats finaux de ménages appartenant à des groupes ayant reçu des interventions différentes ou n'ayant pas été exposés aux interventions (groupe témoin ou groupe de contrôle). On entend par intervention une action mise en œuvre par un acteur public (ex : ministère) ou privé (ex : association). Il peut s'agir par exemple de

[14] Les essais randomisés contrôlés sont également appelés : expériences par assignation aléatoire, expérimentations, expériences de terrain, ou essais aléatoires. Dans ce rapport, nous utilisons ces différents termes de façon équivalente pour désigner notre méthode de recherche.

Tableau 2 – Statistiques descriptives avant intervention

|  | Moyenne  | Écart-type | 25° percentile | Médiane | 75° percentile |
|--|----------|------------|----------------|---------|----------------|
| Taille du ménage   | 5.51     | 2.81       | 4              | 5       | 7              |
| Sexe du chef de ménage [Femme=1]   | 0.26     | 0.44       | 0              | 0       | 1              |
| Le chef de ménage a été à l'école [Oui=1]                                | 0.30     | 0.46       | 0              | 0       | 1              |
| Probabilité de pauvreté [ $<1,90$ USD/jour=1]                            | 0.31     | 20.80      | 14             | 27      | 44             |
| Collecte du bois [Oui=1]   | 0.66     | 0.48       | 0              | 1       | 1              |
| Consommation de bois (g/jour)  | 5157.24  | 3038.95    | 3258           | 4816    | 6447           |
| Possède un kit GPL [Oui=1]   | 0.08     | 0.27       | 0              | 0       | 0              |
| Consommation d'énergie utile/jour [kJ]                                   | 13877.54 | 7384.38    | 9102           | 12227   | 17228          |
| Exposition aux PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ ) | 178.49   | 241.15     | 60             | 98      | 168            |
| Observations   | 775      |            |                |         |                |

**Interprétation du tableau :** Les valeurs présentées dans la première colonne du tableau pour les variables « sexe du chef de ménage », « le chef de ménage a été à l'école », « probabilité de pauvreté », « collecte du bois » et « possède un kit GPL », sont des probabilités. Ainsi pour la variable « sexe du chef de ménage », la valeur moyenne de 0.26 indique que 26% des chefs des ménages de l'échantillon sont des femmes.

la transmission de messages d'informations ou d'aides financières. Dans le cas présent, les interventions sont les offres d'achat de kits Télia décrites précédemment.

La méthode de l'essai randomisé contrôlé repose sur l'hypothèse d'indépendance entre le statut d'assignation aux interventions – appartenance à un groupe d'intervention ou au groupe de contrôle – et les caractéristiques observables et inobservables des unités expérimentales (ici les ménages). Autrement dit, la répartition des ménages par tirage au sort vise à obtenir les groupes les plus comparables possibles de façon à pouvoir attribuer les différences entre groupes observées en fin d'étude aux effets des interventions. Pour tester cette hypothèse, on peut notamment vérifier si les groupes ont des caractéristiques similaires avant la mise en place des interventions à partir des données de l'enquête sur la situation de base. C'est ce que nous faisons dans le Tableau A.1 en annexe. Le test est particulièrement justifié dans cette étude car la totalité des 805 ménages assignés aux groupes expérimentaux n'ont pas été retrouvés lors de l'enquête post-interventions, ce qui a pu nuire à la comparabilité des groupes. Cette analyse suggère qu'il n'en est rien, puisqu'aucune des différences pré-interventions entre groupes présentées dans la Tableau A.1 n'est statistiquement significative<sup>[15]</sup>. Ceci indique que les éventuelles différences post-interventions entre groupes donnent une information pertinente quant à l'effet causal des offres sur les indicateurs d'intérêt dans notre échantillon.

Dans la section qui suit, nous présentons notre analyse des différences entre groupes expérimentaux de l'étude REDGAS au moment de l'enquête post-interventions, en décembre 2022,

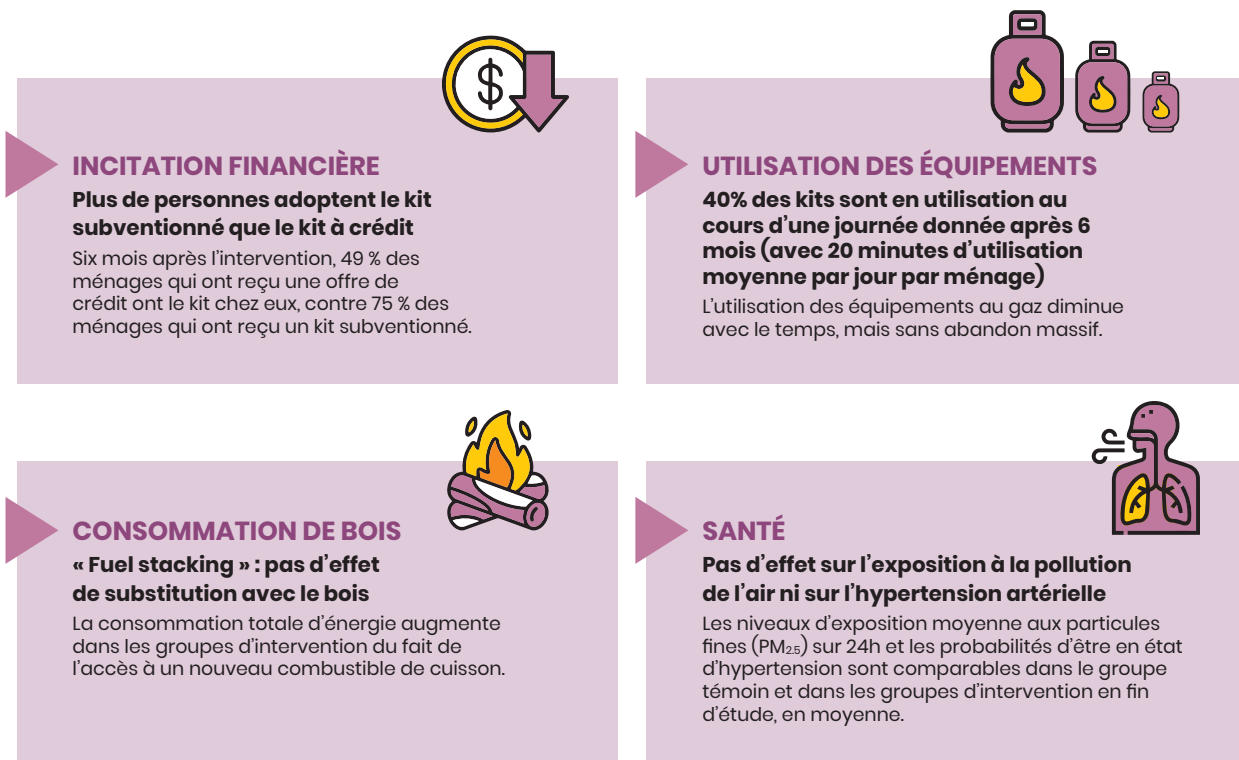
six mois après la remise des offres d'achat de kits Télia. Les analyses présentées reposent principalement sur des comparaisons de moyennes entre groupes expérimentaux. Lorsque les résultats ont nécessité le recours à des méthodes plus sophistiquées, celles-ci sont décrites dans les notes accompagnant les graphiques ou tableaux de résultats.

[15] Les résultats présentés dans les colonnes « *p-value* » (valeur *p*) sont ceux du test de l'hypothèse d'absence de différence statistique entre groupes pour la variable d'intérêt. La valeur *p* peut être interprétée comme la probabilité d'observer une différence entre groupes aussi large si les groupes étaient des échantillons issus de population distinctes mais ayant des moyennes identiques pour la variable d'intérêt. On considère généralement que les différences sont statistiquement significatives lorsque la valeur *p* est inférieure à 0.1.

# 3. Résultats

Infographie 1 – Résumé des résultats

## PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION



## DES RÉSULTATS HÉTÉROGÈNES SELON LE MODE DE COLLECTE DU BOIS DES MÉNAGES

### Pour les ménages qui collectent leur bois

- ↑ + 87 % d'acquisition de gaz
- ↑ + 73 grammes de gaz consommés par jour
- ✗ Pas d'effet sur la consommation de bois
- ✗ Pas d'effet sur l'exposition aux particules fines

### Pour les ménages qui achètent leur bois

- ↑ + 105 % d'acquisition de gaz
- ↑ + 136 grammes de gaz consommés par jour
- ↓ - 670 grammes de bois consommés par jour
- ↓ - 17 % de particules fines dans l'air inhalé par la personne en charge des repas

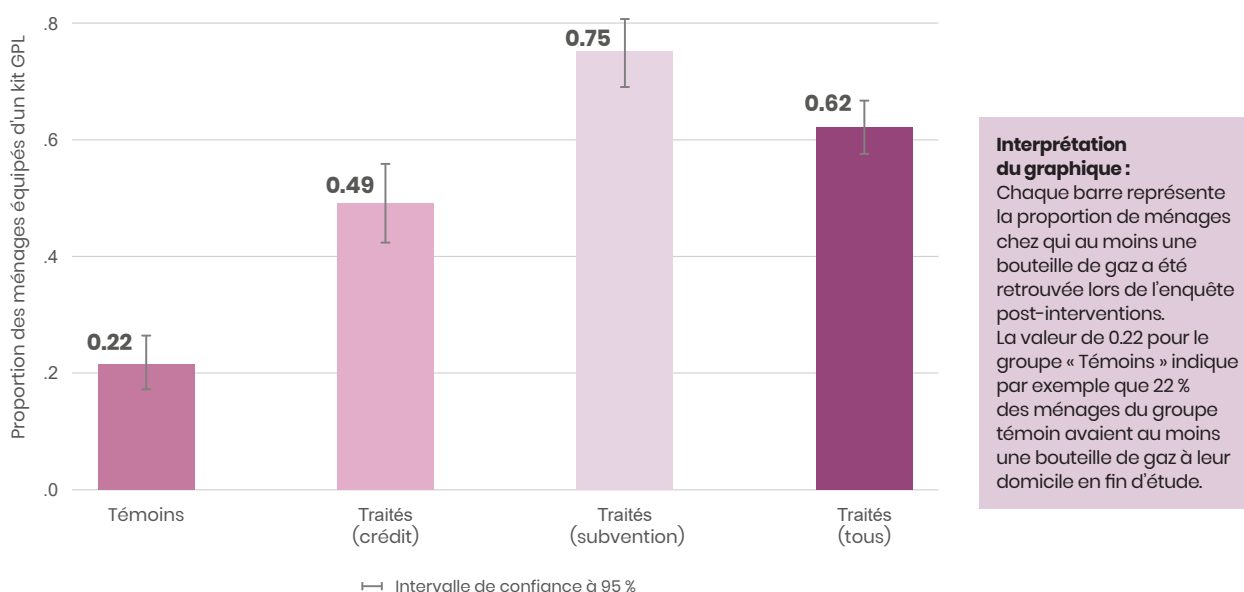
### 3.1 Effet de la subvention et effet du crédit sur l'acquisition de cuiseurs à gaz

La première question de recherche à laquelle nous nous intéressons est celle de l'effet des incitations financières, offres avec service de paiement à crédit et offres subventionnées, sur la probabilité de détenir un équipement de cuisson au gaz. Pour y répondre, nous présentons dans le Graphique 1 la part des ménages chez lesquels une ou plusieurs bouteilles de gaz en état de fonctionnement ont été retrouvées lors de la réalisation des mesures de consommation de combustibles au moment de l'enquête six mois après l'intervention, en décembre 2022. Cette proportion était de 22 % dans le groupe témoin, qui n'a reçu aucune offre, contre 49 % dans le groupe de ménages ayant reçu une offre à crédit et 75 % dans celui ayant bénéficié de l'offre subventionnée. L'effet de l'offre est donc une hausse de 27 points de pourcentage de la probabilité d'avoir une bouteille de gaz dans le cas du crédit et de 53 points de pourcentage dans celui de la subvention. L'absence de chevauchement entre les intervalles de confiance des trois premières barres du graphique indique que notre taille d'échantillon est suffisante pour estimer ces effets de façon précise et pour rejeter l'hypothèse d'absence de différence entre les groupes. La dernière barre du graphique rend compte de l'effet moyen des offres sur le taux d'équipement dans l'ensemble des deux groupes d'intervention. Cet effet est de 40 points de pourcentage ( $62 - 22 = 40$ ).

Les effets rapportés sont de taille très importante puisqu'on observe un doublement du taux d'équipement dans le cas du crédit tandis que la proportion de ménages équipés est multipliée par 3,5 sous l'effet de l'offre subventionnée. Ceci suggère que les ménages de notre échantillon avaient une forte demande pour les équipements de cuisson au gaz au moment de la remise des offres, mais que leur capacité à s'équiper au prix du marché était contrainte par un niveau de revenu trop faible (contrainte budgétaire), par un manque d'accès au crédit, par une propension à payer inférieure au prix du marché ou par une combinaison de ces facteurs. Il est peu probable que les hausses de taux d'équipement soient liées à un effet « information » car la cuisson au gaz jouissait déjà d'une bonne notoriété au Burkina Faso avant notre étude et 96 % des ménages interrogés déclaraient souhaiter l'utiliser lors de l'enquête sur la situation de base en novembre 2019<sup>[16]</sup>. Il nous semble également peu probable que les offres aient un impact sur l'adoption du gaz via l'amélioration de la disponibilité des kits Télia en point de vente. En effet, seuls 3,5 % des ménages interrogés en 2019 citaient l'absence de point de vente à proximité de chez eux parmi les barrières les empêchant de s'équiper, et l'indisponibilité des kits en point de vente n'était jamais mentionnée comme un problème.

[16] La notoriété de la cuisson au gaz et la forte demande pour les équipements de cuisson au gaz sont également confirmés par les données qualitatives collectées en amont de l'étude.

Graphique 1 – Proportion des ménages équipés d'un kit GPL lors de l'enquête post-interventions



Enfin, il est important de noter que 22 % des ménages du groupe témoin avaient du gaz à leur domicile à la fin de l'étude soit une hausse de 14 points de pourcentage par rapport à la période pré-interventions. Il s'agit d'une croissance importante du taux d'équipement en l'absence de toute intervention, qui illustre à nouveau le fort attrait des ménages de l'échantillon pour le gaz. La hausse du taux d'équipement avait d'ailleurs déjà été de 8 points de pourcentage entre l'enquête sur la situation de base de novembre 2019 et l'enquête de mise à jour menée en juin-juillet 2021 (voir section « caractéristiques de l'échantillon » ci-dessus). Il est également possible qu'une partie de cette hausse s'explique par des effets d'entraînement ou « *spillovers* » entre groupes expérimentaux, autrement dit un impact indirect de l'accès au gaz dans les groupes d'intervention sur la propension à s'équiper dans le groupe témoin, *via* l'exemple des pairs et l'apprentissage. Ce type de mécanisme pourrait notamment avoir été à l'œuvre si l'expérience des ménages des groupes d'interventions avait révélé un coût d'utilisation réel du gaz inférieur à celui anticipé et si cette information s'était ensuite diffusée dans le groupe témoin. L'exploration détaillée de cette hypothèse se situe au-delà du champ de ce rapport, mais on peut noter ici que le fait que 50 % des ménages interrogés lors de l'enquête sur la situation de base ont cité le prix des recharges parmi les barrières à l'adoption du gaz la rend crédible. Quoiqu'il en soit, la possibilité que des « *spillovers* » se soient produits doit nous inciter à voir les résultats présentés dans le Graphique 1 comme des estimations conservatrices de l'effet des interventions sur le recours au gaz. Celui-ci aurait probablement pu être encore plus important si nous avions eu la possibilité de mettre en œuvre une méthode de recherche prévenant tout effet d'entraînement.

---

### 3.2 Utilisation des équipements de cuisson au gaz acquis dans le cadre des interventions

---

Pour que l'accès au gaz puisse occasionner des baisses d'exposition à la pollution de l'air, il ne suffit pas que les ménages s'équipent. Encore faut-il qu'ils utilisent leurs nouveaux équipements au quotidien à la place des foyers à bois préexistants. Pour nous en assurer, nous exploitons les données des

capteurs optiques de suivi d'utilisation qui ont été installés sur les kits Télia avant leur remise aux ménages. Le Graphique 2(a) rend compte de la proportion des kits acquis grâce aux offres d'achat qui sont en utilisation entre la date de retrait en magasin (jour 0) et la date de fin de la période de suivi (jour 180). Sur l'ensemble de la période de suivi, les deux courbes suivent la même tendance avec un taux d'utilisation de l'ordre de 70 % à 80 % lors du premier mois mais qui décline progressivement et continuellement jusqu'à se trouver un peu en-deçà de 40 % après six mois. L'autre élément notable est que le taux d'utilisation reste supérieur d'environ 10 points de pourcentage dans le groupe « crédit » par rapport au groupe « subvention » à partir de la date théorique de paiement de la dernière échéance de crédit et jusqu'à quelques jours avant la fin de la période de suivi. Le Graphique 2(b) confirme cette différence de profil d'utilisation puisque les ménages du groupe « crédit » utilisent également leur kit quelques minutes de plus par jour que ceux du groupe « subvention » sur la même période. Six mois après achat, le temps d'utilisation journalier est d'environ 30 minutes dans le premier groupe et 20 minutes dans le second.

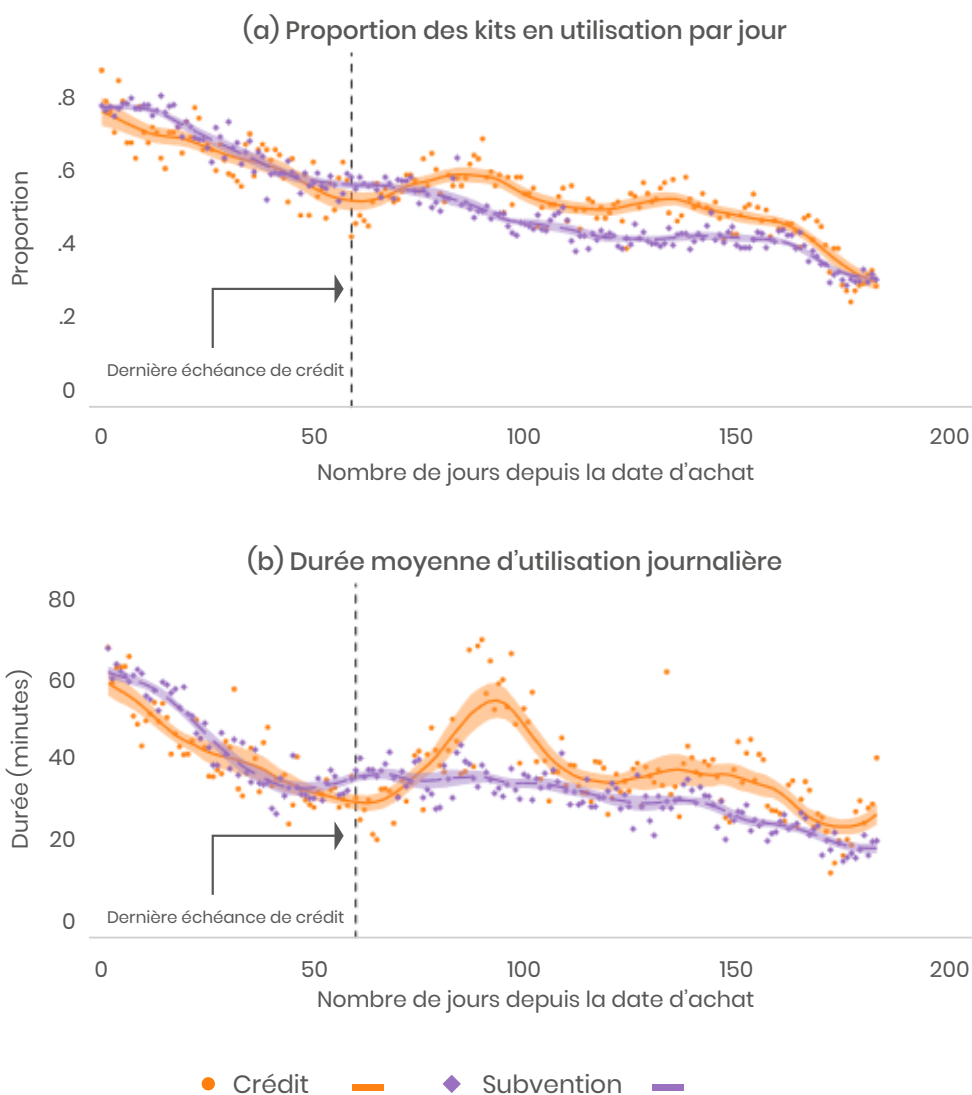
Comment interpréter ces courbes d'utilisation ? À première vue, la baisse continue de l'utilisation peut sembler inquiétante et laisser penser que la technologie a été progressivement abandonnée par les ménages au cours des mois suivants la fin de l'étude. Néanmoins, il est important ici de prendre en compte un élément de contexte : les achats de kits ont été effectués en mai et juin 2022, au début de la saison des pluies qui est la plus favorable à l'utilisation du gaz du fait de la difficulté à collecter du bois sec. Cette saison s'achevant en septembre, les ménages avaient une moins forte incitation à utiliser le gaz au cours de la deuxième partie de notre période de suivi de l'utilisation. Il est donc probable que la pente de la courbe reflète en partie un effet saisonnier et que l'utilisation soit repartie à la hausse lors de la saison des pluies 2023.

De plus, présenter un taux d'utilisation quotidien est conservateur et masque le fait que beaucoup de kits étaient utilisés régulièrement mais pas quotidiennement. Ainsi 45 % des cuiseurs acquis grâce aux offres d'achat ont été utilisés au moins dix journées différentes au

cours du dernier mois de suivi, 70 % ont servi au moins une fois. La réalité observée est donc celle d'un passage d'une utilisation extrêmement intensive juste après l'achat, à une utilisation régulière mais moins intensive en fin de période de suivi, plutôt que celle d'un abandon massif de

la technologie. Néanmoins, 30 % des ménages n'ont pas utilisé leur kit une seule fois au cours du dernier mois de suivi, soit par absence de besoin soit par incapacité à financer l'achat d'une nouvelle recharge de gaz.

Graphique 2 – Proportion et durée moyenne d'utilisation quotidienne des kits Téliá



Notes : Courbes obtenues par régression non-paramétrique (kernel). Les surfaces colorées représentent les intervalles de confiance à 95%.

**Interprétation des graphiques :** Le Graphique 2(a) rend compte de la proportion des kits acquis grâce aux offres d'achat qui sont en utilisation entre la date de retrait en magasin (jour 0) et la date de fin de la période de suivi (jour 180). Pour chaque journée, le point orange représente la proportion des kits du groupe « crédit » ayant été utilisés, et le point violet correspond à la proportion dans le groupe « subvention ». Les courbes permettent de suivre la tendance temporelle de chaque groupe, et les zones colorées qui les entourent délimitent l'intervalle de confiance à 95 %. Le Graphique 2(b) rend compte de la durée moyenne d'utilisation journalière des kits acquis grâce aux offres d'achat, entre la date de retrait en magasin (jour 0) et la date de fin de la période de suivi (jour 180). Pour chaque journée, le point orange représente la durée moyenne d'utilisation des kits du groupe « crédit » en tenant compte de ceux qui ne sont pas utilisés (durée d'utilisation égale à 0). Le point violet correspond à la durée moyenne d'utilisation dans le groupe « subvention ». Les courbes permettent de suivre la tendance temporelle de chaque groupe, et les zones colorées qui les entourent délimitent l'intervalle de confiance à 95 %.

Concernant les différences de profil d'utilisation, la hausse relative de l'intensité d'utilisation dans le groupe « crédit » à partir de la date théorique de remboursement de la dernière échéance peut avoir deux interprétations. D'une part, elle suggère que l'offre à crédit, plus onéreuse, sélectionne des ménages différents de ceux recourant à l'offre subventionnée, ayant une propension plus forte à utiliser le gaz et donc un meilleur retour sur investissement. Si l'utilisation du kit GPL est initialement contrainte par la charge financière du remboursement du prêt, la différence de propension à utiliser par rapport au groupe subvention apparaît à partir du 60<sup>ème</sup> jour après acquisition, lorsque le crédit est remboursé. D'autre part, il est possible que la hausse de l'intensité d'utilisation après la fin de la période de crédit soit le résultat d'un effet psychologique lié aux « coûts non-récupérables ». Dans cette hypothèse, les sommes importantes investies par les ménages du groupe « crédit » pour acquérir le kit Téliá les encourageraient à utiliser leur équipement plus régulièrement que les ménages ayant bénéficié d'un prix réduit. Nous ne sommes pas en mesure de trancher entre ces deux théories qui ne sont pas incompatibles. Il est néanmoins intéressant de noter que le pic d'utilisation observé autour du 100<sup>ème</sup> jour dans le Graphique 2(b) pour le groupe « crédit » est plus facile à expliquer par un effet psychologique que par un effet de sélection. Enfin, quelle que soit la contribution de ces deux mécanismes à la différence de profil d'utilisation entre groupes expérimentaux, l'implication directe de cette différence est que le moindre taux de recours aux offres dans le groupe « crédit » devrait être en partie compensé par le taux d'utilisation plus élevé lorsque nous comparons l'effet des offres sur l'utilisation de combustibles. C'est ce que nous vérifions dans la section suivante.

### 3.3 Adoption du gaz et consommation de combustibles solides

Les différences de consommation quotidienne de gaz, de bois et de charbon entre groupes expérimentaux au moment de l'enquête post-interventions, en décembre 2022, sont présentées dans le Graphique 3. Pour chaque combustible et pour chaque groupe, les barres rendent compte de la consommation moyenne du groupe indépendamment du statut d'accès au gaz (estimation de l'effet de « l'intention de

traiter »). Les moyennes sont exprimées en grammes par 24 heures. Le Graphique 3(a) montre que l'utilisation régulière des kits par les ménages se traduit par une consommation de gaz significativement supérieure à celle du groupe témoin, et ce bien que l'enquête post-interventions ait été menée pendant la saison sèche moins favorable à l'utilisation du gaz. La différence de consommation est d'environ 100 g par rapport au groupe témoin pour chacun des groupes d'intervention. Cette différence représente l'équivalent en énergie utile d'environ 1 kg de bois, soit 20 % de la consommation de bois dans l'échantillon avant intervention. Les consommations moyennes de gaz ne sont pas statistiquement différentes entre le groupe « crédit » et le groupe « subvention », ce qui confirme que l'utilisation plus intensive dans le premier groupe compense le moindre taux d'adoption par rapport au second<sup>[17]</sup>.

L'énergie obtenue par la combustion de gaz a-t-elle été utilisée par les ménages des groupes d'intervention pour réduire leur consommation de bois ? Le Graphique 3(b) indique que non. Les écarts de consommation de bois par rapport au groupe témoin sont minimes, entre 200 et 340 g soit entre 4 et 7% de la consommation du groupe témoin. Ces écarts ne sont pas statistiquement significatifs. Les consommations de charbon, un combustible secondaire dans notre échantillon, sont également équivalentes entre groupes (Graphique 3(c)).

Dans le Graphique 3(d), nous présentons les moyennes des consommations d'énergie utile totale par 24 heures pour chaque groupe<sup>[18]</sup>. Ces moyennes sont obtenues en multipliant pour chaque combustible la

[17] En effet, chaque barre dans le Graphique 3 montre une moyenne calculée pour un groupe de ménages selon son assignation au traitement, c'est-à-dire selon que l'on a proposé aux ménages de ce groupe d'acheter un réchaud à crédit, ou bien à prix subventionné ou bien s'ils n'ont reçu aucune offre d'achat. Comme les ménages du groupe « crédit » sont moins nombreux, en proportion de leur effectif, à avoir acheté le kit que les ménages du groupe « subvention », le fait que les consommations moyennes de ces deux groupes ne sont pas statistiquement différentes indique en creux que les ménages du groupe « crédit » qui ont fait l'acquisition du kit utilisent leur appareil plus intensivement que ceux du groupe « subvention ».

[18] La Figure A.5 en annexe présente également la comparaison des moyennes de consommation de combustibles exprimées en kilojoules d'énergie utile par type de combustible.

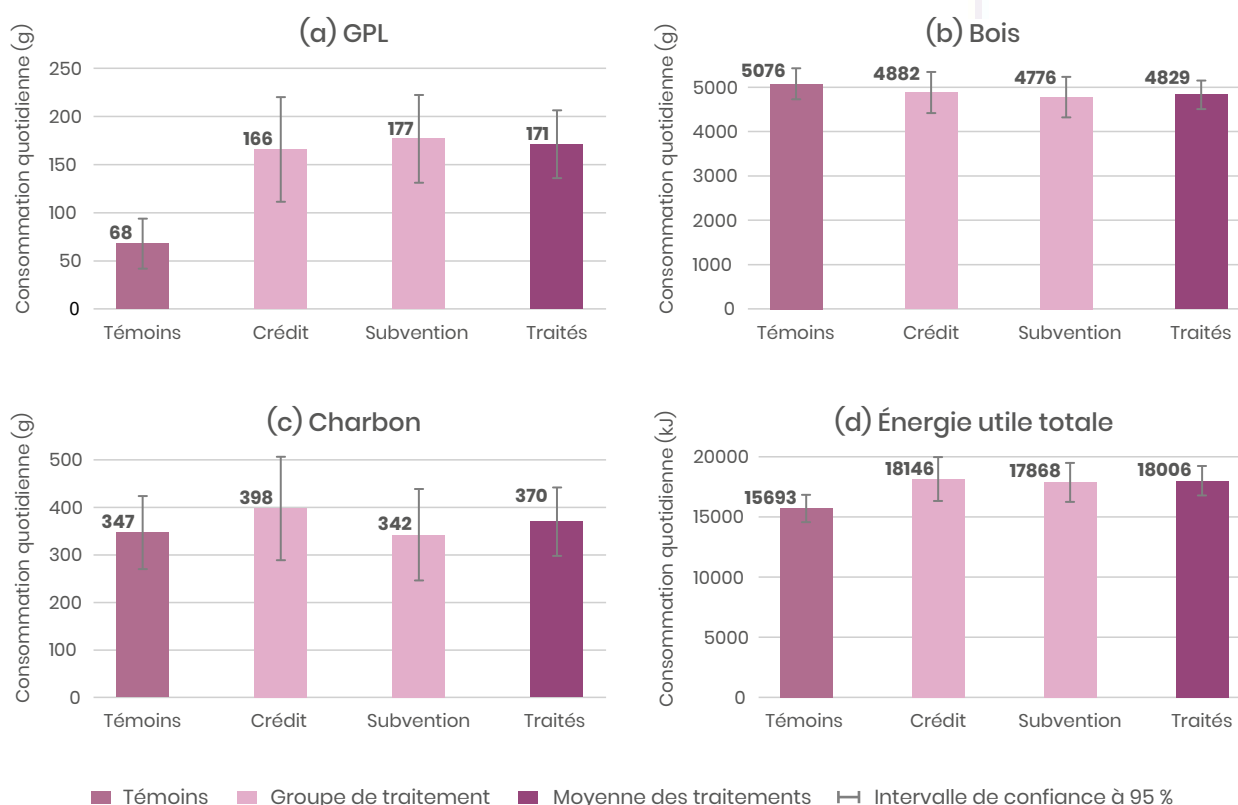
consommation mesurée par une valeur par défaut pour l'efficacité thermique de la combustion<sup>[19]</sup> et pour la valeur calorifique nette du combustible<sup>[20]</sup>, puis en faisant la somme de la quantité d'énergie utile issue de chaque combustible. La comparaison entre le groupe témoin et les groupes d'intervention confirme que les ménages ayant eu recours aux interventions n'ont pas substitué le gaz au bois. En effet, la consommation d'énergie utile totale est supérieure d'environ 15 % dans les deux groupes d'intervention. Ces différences sont

statistiquement significatives. Ce résultat a des implications importantes pour les politiques publiques de promotion de technologies de cuisson propres car, si la problématique de l'accumulation de combustibles par les ménages (« *fuel stacking* ») est bien documentée, elle est généralement comprise comme impliquant une substitution partielle du combustible traditionnel par le combustible moins polluant. Ici, nous montrons que dans le contexte des villes moyennes burkinabè, pour des ménages qui collectaient en grande partie leur bois avant d'avoir accès au gaz, la substitution est quasi nulle. Dans la mesure où la combustion du gaz n'est pas exempte d'émissions de polluants, ceci signifie que les incitations financières pour l'adoption du gaz pourraient occasionner une hausse de l'exposition totale à la pollution de l'air dans ce type de contexte.

[19] Taux d'efficacité thermique issus de Champion *et al.*, (2021) : 14 % pour le bois (foyer 3 pierres), 27 % pour le charbon, 56 % pour le gaz.

[20] Valeurs calorifiques nettes issues de : 15,6 MJ/kg (mégajoules par kilogramme) pour le bois, 29,5 MJ/kg pour le charbon, 43,8 MJ/kg pour le GPL. (GIEC, 2006) : 15,6 MJ/kg pour le bois, 29,5 MJ/kg pour le charbon, 43,8 MJ/kg pour le GPL.

Graphique 3 – Effet des interventions sur la consommation de combustibles



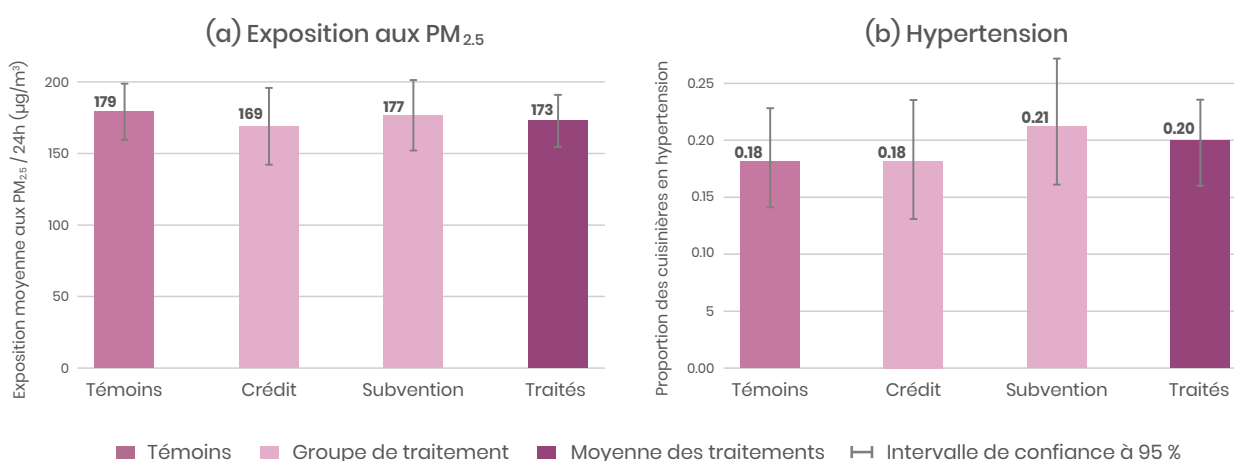
**Interprétation des graphiques :** Les barres de chaque graphique présentent la consommation moyenne journalière du combustible ou du type d'énergie indiqué en sous-titre pour le groupe expérimental renseigné en abscisse et dans l'unité renseignée en ordonnée, au moment de l'enquête post-interventions. Par exemple, la première barre du Graphique 3(a) indique que la consommation moyenne de GPL dans le groupe « Témoins » était de 68 grammes par jour (en tenant compte des ménages ayant une consommation nulle). Les marqueurs gris indiquent les intervalles de confiance à 95%.

### 3.4 Impacts sur l'exposition à la pollution de l'air et sur l'hypertension

En l'absence de baisse de la consommation de bois dans les groupes exposés aux interventions, quels effets attendre en matière d'exposition aux particules fines et de probabilité de souffrir d'hypertension chez les membres des ménages en charge de la préparation des repas? Le Graphique 4(a) montre que les niveaux d'exposition moyenne aux PM<sub>2.5</sub> sur 24 heures étaient équivalents dans les trois groupes expérimentaux six mois après intervention. En effet, même si les moyennes sont très légèrement inférieures dans les groupes « crédit » et « subvention », les intervalles de confiance chevauchent presque totalement celui du groupe de contrôle. Il n'y a donc pas d'effet de l'intention de traiter sur notre indicateur d'exposition à la pollution de l'air. Néanmoins, il est possible que l'exposition à d'autres polluants, non-mesurés dans cette étude, soit affectée à la hausse par les interventions qui occasionnent la consommation d'un nouveau combustible sans diminuer celle du bois, comme discuté précédemment. Il s'agit là d'un futur sujet de recherche puisque les données collectées dans le cadre de cette étude ne permettent pas de

répondre à cette question. En termes de risque sanitaire, les niveaux d'exposition mesurés après interventions sont plus de dix fois supérieurs au seuil de 15 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24 heures recommandé par l'OMS, comme cela était déjà le cas avant intervention. Ils représentent donc un risque majeur pour la santé (voir Encadré 4). Enfin, le Graphique 4(b) indique que les interventions n'ont pas non plus d'effet sur la probabilité d'hypertension parmi les personnes en charge de la préparation des repas.

Graphique 4 – Effet des interventions sur l'exposition aux particules fines et sur l'hypertension



**Interprétation des graphiques :** Les barres du Graphique 4(a) indiquent, pour chaque groupe expérimental, l'exposition moyenne aux particules fines (PM<sub>2.5</sub>) sur 24 heures mesurée chez les personnes en charge de la préparation des repas au moment de l'enquête post-interventions (en microgrammes par mètre cube d'air inhalé). Les barres du Graphique 4(b) indiquent, pour chaque groupe expérimental, la probabilité que les personnes en charge de la préparation des repas ayant participé aux mesures d'exposition aux particules fines soient en situation d'hypertension au moment de l'enquête post-interventions. Les marqueurs gris indiquent les intervalles de confiance à 95%.

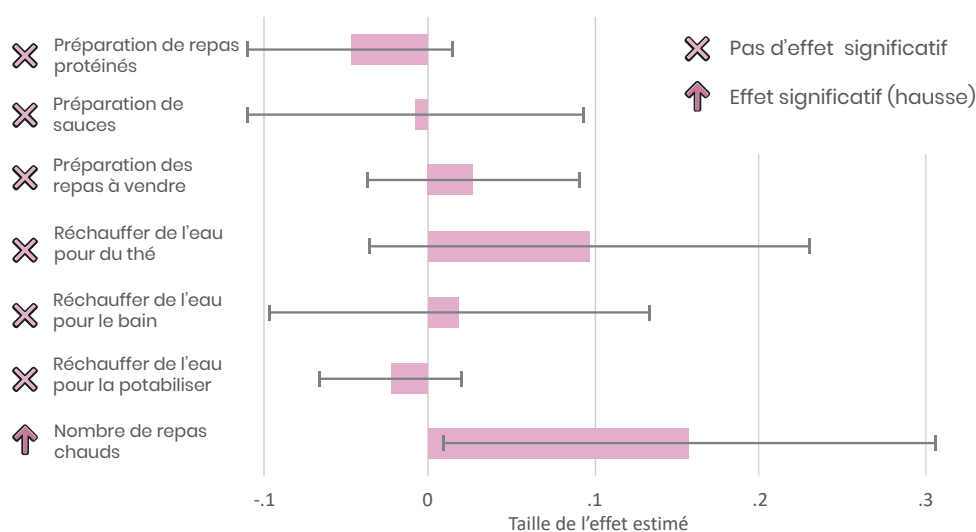
## 4. Mécanismes et hétérogénéité des résultats

### 4.1 Mécanismes expliquant la hausse de consommation totale d'énergie

La hausse de la consommation totale d'énergie observée dans les groupes d'intervention pose la question des modifications d'activités intervenues dans les ménages ayant eu recours à leur offre d'achat de kit GPL. Pour y répondre, nous présentons dans le Graphique 5 des estimations de l'effet des offres sur la probabilité de réaliser les activités consommatrices de combustibles les plus courantes parmi les ménages ayant eu

recours aux offres (toutes offres confondues). Ces activités ont été enregistrées au cours de la période de 48 heures durant laquelle les consommations de combustibles ont été mesurées en décembre 2022. Les effets estimés ne sont pas statistiquement différents de zéro pour les probabilités d'avoir cuisiné des protéines, d'avoir préparé une sauce, d'avoir cuisiné pour une activité génératrice de revenus (AGR), ou d'avoir fait bouillir de l'eau pour le thé, pour le bain, ou pour obtenir de l'eau potable. En revanche, l'impact sur le nombre de repas chauds consommés est positif et statistiquement significatif. La taille de l'effet estimé est d'environ 0,16 repas supplémentaire par jour, soit une hausse de 9 % par rapport à la moyenne de 1,75 repas chauds par jour dans le groupe de contrôle. Il semble donc que les ménages équipés utilisent notamment leur kit Téliá pour réchauffer plus fréquemment leur nourriture.

Graphique 5 – Effets des interventions sur les activités consommatrices d'énergie



Notes : Coefficients et intervalles de confiance à 95 % pour l'estimation de l'effet local moyen des interventions (*local Average Treatment Effect - LATE*) par régression sur variables instrumentales avec post double LASO (Chernozhukov *et al.* 2015). Chaque coefficient est issu d'une régression séparée. Intervalles de confiance calculés à partir d'erreur standard robustes à l'hétéroscédasticité.

**Interprétation du graphique :** Les barres du Graphique 5 indiquent l'effet moyen estimé de l'accès à la cuisson au gaz sur la probabilité d'avoir réalisé une des activités listées sur l'axe des ordonnées au cours du suivi de consommation de combustibles sur 48h réalisé dans le cadre de l'enquête post-interventions, et sur le nombre de repas chauds préparés au cours d'une journée (dernière variable listée sur l'axe des ordonnées). Ces effets sont estimés pour les ménages qui ont effectivement acquis un équipement de cuisson à gaz dans le cadre de l'étude (ménages ayant eu recours aux offres). Les différentes activités prises en compte sont : la préparation ou le réchauffage de protéines (viande, poisson), de sauces, d'aliments destinés à être vendus dans le cadre d'AGR, ainsi que le fait de porter de l'eau à ébullition pour le thé, pour prendre un bain ou une douche, ou pour la potabiliser. Pour les différentes activités, la hauteur de la barre orange indique la taille de l'effet sur la probabilité d'avoir réalisé l'activité concernée. Par exemple, une taille d'effet de 0,1 indique une hausse de probabilité de 10 points de pourcentage et une taille d'effet de -0,1 une baisse de probabilité de 10 points de pourcentage. Dans le cas de l'ébullition de l'eau pour le thé, par exemple, la hauteur de la barre orange indique une taille d'effet d'environ 9 points de pourcentage. Toutefois, le marqueur gris de l'intervalle de confiance à 95 % montre que l'effet estimé n'est pas statistiquement significatif car il inclut l'axe des abscisses correspondant à une taille d'effet de 0. Dans le cas du nombre de repas chauds, la barre orange indique l'effet moyen des interventions sur le nombre de repas chauds préparés par jour parmi les ménages ayant eu recours aux interventions. La valeur de 0,16 signifie que ces ménages préparaient en moyenne 0,16 repas chauds de plus par jour qu'un ménage similaire du groupe témoin au moment de l'enquête post-interventions.

---

## 4.2 Hétérogénéité des impacts sur l'exposition à la pollution de l'air

---

Il est possible que l'absence d'effet des interventions sur l'exposition aux particules fines dissimule en réalité des impacts hétérogènes au sein de notre échantillon. Pour tester cette hypothèse, nous employons la méthode générique d'inférence par apprentissage automatique développée par Chernozhukov *et al.* (2018). C'est une méthode qui nous permet d'identifier les caractéristiques des ménages qui sont associées à des variations d'impact, sans faire d'hypothèse *a priori* sur la nature de ces caractéristiques. Cette analyse fait ressortir trois variables clés que sont la consommation de bois avant intervention, le mode d'acquisition du bois (collecte exclusive ou collecte et achat), ainsi que la probabilité de pauvreté du ménage.

Dans le Graphique 5, nous conduisons une comparaison des effets moyens en intention de traiter des deux interventions sur les principales variables d'intérêt de l'étude selon ces trois dimensions d'hétérogénéité. Cette analyse met en évidence une baisse de consommation de bois et une baisse d'exposition aux particules fines statistiquement significative, dans le sous-échantillon de ménages qui achetaient une partie de leur bois avant intervention. Comme résumé dans l'infographie 1 les ménages de ce sous-échantillon ont réagi plus fortement aux interventions et l'effet des offres sur leur probabilité d'être équipés d'un kit de cuisson au gaz est supérieur de 8 points de pourcentage à celui observé parmi les ménages qui collectaient leur bois avant intervention. De même, la magnitude de l'effet sur leur consommation de gaz est près de deux fois plus importante (136 grammes contre 73 grammes). Cet effet plus important sur la consommation de gaz reflète une baisse de consommation de 670 grammes par jour dans le sous-échantillon achetant son bois alors que la consommation de bois reste stable dans le reste de l'échantillon. De même, nos résultats suggèrent une baisse d'exposition aux particules fines d'environ 17 % par rapport aux ménages acheteurs de bois du groupe témoin, alors qu'il n'y a pas d'effet sur l'exposition parmi les ménages qui collectent leur bois. La cohérence entre les effets sur les

différentes variables d'intérêt est notable pour ce sous-échantillon de ménages acheteurs de bois. Elle laisse penser que ces ménages ont une plus forte incitation à s'équiper en kits de cuisson au gaz, à utiliser leur équipement, et à substituer le bois par le gaz, ce qui pourrait expliquer la différence d'effet observé sur l'exposition à la pollution. Il est donc possible que les interventions évaluées puissent donner lieu à des résultats plus encourageants si elles étaient répliquées avec une stratégie de ciblage différente, priorisant les ménages qui ne collectent pas de bois. Néanmoins, dans la perspective d'un passage à l'échelle impliquant d'intervenir dans des villes de taille plus importante, où la proportion de ménages achetant leurs combustibles est susceptible d'être plus élevée, les bénéfices en termes de santé de ce type d'intervention pourraient être atténués par des niveaux de pollution de l'air ambiant plus élevés que dans notre zone d'étude. Par conséquent, il est difficile de tirer des conclusions définitives de cette analyse d'hétérogénéité qui appelle avant tout à répliquer l'évaluation du même type d'intervention dans une population ayant un accès plus restreint à du combustible collecté.

## 5. Discussion et conclusion

L'accès au gaz est au cœur des réflexions et des efforts des États pour relever le défi de l'accès universel à une énergie « propre » en Afrique. La présence de nombreuses entreprises pétrolières et organisations liées au secteur gazier parmi les signataires de la déclaration<sup>[21]</sup> adoptée le 14 mai 2024, lors du Sommet de Paris, sur les modes de cuisson propres révèle aussi les enjeux financiers et symboliques qui sont associés à la promotion du gaz, comme solution pertinente au problème de santé publique que représente la dépendance des populations africaines aux combustibles solides. Face à cela, les connaissances scientifiques concernant les incitations efficaces à l'adoption de modes de cuisson alternatifs ainsi que les impacts de l'accès au gaz sur l'exposition à la pollution de l'air et sur la santé des populations sont encore parcelaires. L'étude REDGAS contribue à documenter ces impacts en évaluant deux types d'incitations financières : un service de crédit pour faciliter le financement de l'acquisition d'un cuisinier à gaz par les ménages et une offre partiellement subventionnée rendant le prix de cet équipement significativement plus accessible. Nous menons cette évaluation dans un échantillon de population urbaine, sans accès préalable au gaz, résidant dans de petites villes du Sud du Burkina Faso. Nous montrons que, dans ce contexte, les effets des incitations sur le recours au gaz sont massifs puisque le taux d'équipement en fin d'étude parmi les ménages ayant eu accès au service de crédit est plus de deux fois supérieur à celui de notre groupe témoin, et qu'il est multiplié par 3,5 chez les ménages ayant bénéficié de l'offre subventionnée. **Ce résultat suggère que les décideurs publics ont à leur disposition des leviers extrêmement efficaces pour accélérer le développement de la cuisson au gaz en**

**rendant les équipements plus accessibles financièrement.** Sa validité s'étend probablement au-delà du contexte spécifique des villes burkinabè, car il est cohérent avec une littérature scientifique qui montre des effets similaires du crédit et des baisses de prix sur l'adoption d'autres technologies de cuisson dans d'autres contextes africains (Beltramo *et al.*, 2015; Levine *et al.*, 2018; Berkouwer et Dean, 2022).

Faut-il en conclure que développer des programmes de subventions et de facilités de paiement pour les équipements de cuisson au gaz est un choix de politique publique avisé? Nos résultats REDGAS plaident en faveur d'une réponse négative à cette question. Bien que les kits de cuisson au gaz soient utilisés régulièrement par la moitié des ménages en ayant fait l'acquisition six mois après la date d'achat, nous n'identifions aucun effet des incitations financières sur l'exposition à la pollution de l'air ou sur notre indicateur objectif de santé parmi les personnes en charge de la préparation des repas. Les données de consommation de combustibles de cuisson collectées en fin d'étude apportent une explication simple à ce constat décevant : **le recours au gaz n'occasionne pas de baisse de la consommation de bois** dans les groupes expérimentaux exposés au crédit ou aux subventions. Au lieu de cela, **la consommation totale d'énergie post-interventions s'avère être supérieure** d'environ 15 % à celle du groupe témoin. Nous observons notamment que les ménages ayant fait l'acquisition d'un cuisinier à gaz l'utilisent pour consommer plus régulièrement des repas chauds plutôt que pour réduire leur consommation de bois. L'analyse de l'hétérogénéité des impacts sur l'exposition à la pollution de l'air apporte néanmoins une nuance plus optimiste à ce constat, puisqu'elle suggère que **les incitations financières pour l'adoption du gaz pourraient occasionner des baisses d'exposition aux particules fines, parmi les ménages achetant leurs combustibles solides** et ayant de ce fait une incitation plus forte à substituer le bois par le gaz. Ce résultat plaide en faveur de la conduite d'évaluations similaires dans des villes plus grandes, où la proportion des ménages collectant leurs combustibles est moindre.

[21] Voir <https://www.iea.org/news/the-clean-cooking-declaration-making-2024-the-pivotal-year-for-clean-cooking>

Plusieurs limites importantes de l'étude méritent d'être discutées ici. La première concerne les données d'exposition à la pollution de l'air et le fait que **nous ne disposons d'informations que sur un seul polluant, les particules fines**. Cette limite s'explique par la complexité et par le coût élevé des mesures de polluants atmosphériques. Néanmoins, il aurait été intéressant d'avoir pour notre échantillon une estimation d'exposition au dioxyde d'azote, l'un des principaux polluants émis par les équipements de cuisson au gaz. En effet, les impacts de la transition de la cuisson au bois ou au charbon vers la cuisson au gaz sur l'exposition à ce polluant sont très peu documentés, alors que les évolutions récentes des connaissances sur la toxicité du dioxyde d'azote ont amené l'OMS à revoir récemment à la baisse les niveaux maximums d'exposition recommandés (WHO, 2021). De plus, dans la mesure où les interventions résultent en une hausse significative de la consommation de gaz sans baisse de consommation de bois, il semble plausible qu'elles aient occasionné une hausse de l'exposition totale au dioxyde d'azote qu'on retrouve à la fois dans les émissions du gaz et dans celles du bois. Il aurait été pertinent de pouvoir tester cette hypothèse, que nous retenons pour de futurs projets de recherche.

Une seconde limite concerne **l'horizon de temps relativement court** sur lequel porte l'évaluation et le fait que le suivi post-interventions soit réduit à une seule enquête, avant tout pour des raisons budgétaires. La réalisation d'un suivi sur plusieurs années ou l'ajout, *a minima*, d'une seconde enquête post-interventions en saison humide nous aurait permis d'aboutir à des conclusions plus définitives sur les bénéfices et les limites des incitations financières dans notre contexte d'étude. Cependant, il est important de souligner que les données post-intervention dont nous disposons correspondent à la saison sèche qui prédomine la majeure partie de l'année dans notre zone d'étude, en principe d'octobre à mai. Elles rendent donc compte des pratiques de cuisson dominantes au cours d'une année et des niveaux de pollution domestique associés. En outre, la tendance temporelle à moyen et

long terme observée dans de nombreuses études évaluant l'adoption de technologies de cuisson est plutôt celle d'un déclin progressif du taux d'utilisation, du fait notamment de problèmes de vieillissement des technologies et des difficultés financières rencontrées par les ménages pour remplacer ou faire réparer leurs équipements endommagés<sup>[22]</sup>. Même si des effets d'apprentissage de long terme peuvent survenir et si les conséquences économiques de la crise sanitaire de 2020-2021 pesaient peut-être encore sur le budget de certains ménages à la fin de l'année 2022, il semble peu probable qu'une nouvelle enquête conduite un an ou deux ans après l'enquête post-interventions de décembre 2022 aurait conclu à des résultats beaucoup plus encourageants concernant les bénéfices de l'accès au gaz en termes d'exposition à la pollution de l'air et la substitution entre bois et gaz en conditions réelles.

Pour conclure, REDGAS est à notre connaissance la première étude expérimentale évaluant l'impact du crédit et de subventions ciblées sur l'adoption du gaz et sur les indicateurs d'exposition à la pollution de l'air et de santé associés. Elle vient compléter les connaissances récentes apportées par deux essais randomisés de grande taille, les études GRAPHS et HAPIN, ayant démontré des baisses d'exposition aux particules fines parmi des ménages ruraux suite à la distribution gratuite de cuiseurs à gaz, complétée par l'accès illimité à des recharges de gaz gratuites durant un an et, dans certains cas, par des visites à domicile et des envois de messages téléphoniques réguliers rappelant aux ménages de ne pas utiliser le bois (Chillrud *et al.* 2021; Clasen *et al.* 2022). Les interventions évaluées dans le cadre de REDGAS sont donc beaucoup plus légères et moins onéreuses à mettre en œuvre que ces programmes intensifs de substitution du bois et du charbon par le gaz. Elles sont également plus similaires aux politiques publiques de facilitation de l'accès au gaz réellement mises en œuvre par les États, peu de gouvernements ayant les ressources pour subventionner totalement la consommation de gaz de segments entiers de population. Le contraste entre les résultats des deux types

[22] Voir par exemple : Hanna, Duflo et Greenstone (2016) ; Mortimer *et al.* (2017).

d'études suggère néanmoins que seule une baisse du prix du gaz à des niveaux proches de zéro peut permettre d'atteindre les niveaux de substitution nécessaires pour occasionner des baisses significatives d'émissions de particules fines et les éventuels bénéfices sanitaires associés. Si ce constat était confirmé à l'avenir par des recherches complémentaires dans d'autres pays, il appellerait à une révision à la baisse des attentes concernant la contribution de l'accès au gaz à l'amélioration de la santé respiratoire des populations.

---

# Références bibliographiques

---

**Afridi F., S. Debnath et E. Somanathan (2021),**

« A breath of fresh air: Raising awareness for clean fuel adoption », *Journal of Development Economics* 151 (juin):102674. <https://doi.org/10.1016/j.jdevco.2021.102674>.

**Agence internationale de l'énergie, Agence internationale pour les énergies renouvelables, Division de la statistique de l'Organisation des Nations unies, Banque mondiale, Organisation mondiale de la santé (2022),** « Tracking SDG7: The Energy Progress Report, 2022 – Analysis », Washington, DC: World Bank. <https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2022>.

**Bailis R., N. Lam, V. Berrueta, G. Muhwezi et**

**E. Adams (2018),** « Kitchen Performance Test: KPT Version 4.0 », <https://cleancooking.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/604-1.pdf>.

**Belloni A., V. Chernozhukov et C. Hansen (2014),**

« Inference on Treatment Effects after Selection among High-Dimensional Controls », *The Review of Economic Studies* 81 (2): 608–50. <https://doi.org/10.1093/restud/rdt044>.

**Beltramo T., G. Blalock, D.I. Levine et**

**A.M. Simons (2015),** « The effect of marketing messages and payment over time on willingness to pay for fuel-efficient cookstoves », *Journal of Economic Behavior & Organization, Economic Experiments in Developing Countries*, 118 (octobre):333–45. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2015.04.025>.

**Bennitt F., S. Wozniak, K. Causey, K. Burkart et**

**M. Brauer (2021),** « Estimating Disease Burden Attributable to Household Air Pollution: New Methods within the Global Burden of Disease Study », *The Lancet Global Health* 9 (mars):S18. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00126-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00126-1).

**Berkouwer S.B. et J.T. Dean (2022),** « Credit, Attention, and Externalities in the Adoption of Energy Efficient Technologies by Low-Income Households », *American Economic Review* 112 (10): 3291–3330. <https://doi.org/10.1257/aer.20210766>.

**Bista S., L. Chatzidiakou, R.L. Jones,**

**T. Benmarhnia, N. Postel-Vinay et B. Chaix (2023),** « Associations of air pollution mixtures with ambulatory blood pressure: The MobilSense sensor-based study », *Environmental Research* 227 (juin):115720. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115720>.

**Champion W.M., M.D. Hays, C. Williams,**

**L. Virtaranta, M. Barnes, W. Preston et J.J. Jetter (2021),** « Cookstove Emissions and Performance Evaluation Using a New ISO Protocol and Comparison of Results with Previous Test Protocols », *Environmental Science & Technology* 55 (22): 15333–42. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03390>.

**Chang L.-T., K.-J. Chuang, W.-T. Yang, V.-S.**

**Wang, H.-C. Chuang, B.-Y. Bao, C.-S. Liu et T.-Y. Chang (2015),** « Short-term exposure to noise, fine particulate matter and nitrogen oxides on ambulatory blood pressure: A repeated-measure study », *Environmental Research* 140 (juillet):634–40. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.004>.

**Chernozhukov V., M. Demirer, E. Duflo et**

**I. Fernández-Val (2018),** « Generic Machine Learning Inference on Heterogeneous Treatment Effects in Randomized Experiments, with an Application to Immunization in India », Working Paper. Working Paper Series. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w24678>.

**Chernozhukov V., C. Hansen et M. Spindler**

**(2015),** « Post-Selection and Post-Regularization Inference in Linear Models with Many Controls and Instruments », *American Economic Review* 105 (5): 486–90. <https://doi.org/10.1257/aer.p20151022>.

**Chillrud S.N. et al. (2021),** « The Effect of Clean

Cooking Interventions on Mother and Child Personal Exposure to Air Pollution: Results from the Ghana Randomized Air Pollution and Health Study (GRAPHS) », *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 31 (4): 683–98. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00309-5>.

- Choi Y.-J., S.-H. Kim, S.-H. Kang, S.-Y. Kim, O.-J. Kim, C.-H. Yoon, H.-Y. Lee, T.-J. Youn, I.-H. Chae et C.-H. Kim (2019)**, « Short-Term Effects of Air Pollution on Blood Pressure », *Scientific Reports* 9 (1): 20298. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56413-y>.
- Clasen T.F. et al. (2022)**, « Liquefied Petroleum Gas or Biomass for Cooking and Effects on Birth Weight », *New England Journal of Medicine*, novembre. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2206734>.
- De Vreyer P., É. Djemai et T. Thivillon (2023)**, « Pollution de l'air et consommation de bois au Burkina Faso », *Revue d'économie du développement* 35 (3-4): 95-101. <https://doi.org/10.3917/edd.373.0095>.
- Hanna R., E. Duflo et M. Greenstone (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. <https://doi.org/10.1257/po1.20140008>.
- Imelda (2020)**, « Cooking That Kills: Cleaner Energy Access, Indoor Air Pollution, and Health », *Journal of Development Economics* 147 (novembre):102548. <https://doi.org/10.1016/j.jdevco.2020.102548>.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (2024)**, « Burkina Faso ». 2024. <https://www.healthdata.org/burkina-faso>.
- IPCC (2006)**, « 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC », Japan: IGES. <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.
- Kafando B., P. Windinpsidi Savadogo, A. Sana, V. Bagnoa, S. Sanon, S. Kouanda et B. Sondo. (2019)**, « Pollution intérieure par les PM<sub>2,5</sub> issues des combustibles utilisés pour la cuisson des repas et risques sanitaires dans la ville de Ouagadougou », *Environnement, Risques & Santé* 18 (3): 245-53. <https://www.cairn.info/revue-environnement-risques-et-sante-2019-3-page-245.htm>.
- Kashtan Y. et al. (2024)**, « Nitrogen dioxide exposure, health outcomes, and associated demographic disparities due to gas and propane combustion by U.S. stoves », *Science Advances* 10 (18): eadm8680. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adm8680>.
- Kshirsagar V., J. Wieczorek, S. Ramanathan et R. Wells (2017)**, « Household poverty classification in data-scarce environments: a machine learning approach », arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.06813>.
- Kubesch N., A. De Nazelle, S. Guerra, D. Westerdahl, D. Martinez, L. Bouso, G. Carrasco-Turigas, B. Hoffmann et M. Nieuwenhuijsen (2015)**, « Arterial blood pressure responses to short-term exposure to low and high traffic-related air pollution with and without moderate physical activity », *European Journal of Preventive Cardiology* 22 (5): 548-57. <https://doi.org/10.1177/2047487314555602>.
- Levine D.I., T. Beltramo, G. Blalock, C. Cotterman et A.M. Simons (2018)**, « What Impedes Efficient Adoption of Products? Evidence from Randomized Sales Offers for Fuel-Efficient Cookstoves in Uganda », *Journal of the European Economic Association* 16 (6): 1850-80. <https://doi.org/10.1093/jea/jvx051>.
- Lin W., B. Brunekreef et U. Gehring (2013)**, « Meta-Analysis of the Effects of Indoor Nitrogen Dioxide and Gas Cooking on Asthma and Wheeze in Children », *International Journal of Epidemiology* 42 (6): 1724-37. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt150>.
- Ministère des Mines, des Carrières et de l'Énergie (2015)**, « Livre Blanc National pour l'accès aux services énergétiques des populations rurales et périurbaines pour l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement - Programme d'investissement 2015 », Ministère des Mines, des Carrières et de l'Énergie du Burkina Faso.
- Mortimer K. et al. (2017)**, « A Cleaner Burning Biomass-Fuelled Cookstove Intervention to Prevent Pneumonia in Children under 5 Years Old in Rural Malawi (the Cooking and Pneumonia Study): A Cluster Randomised Controlled Trial », *The Lancet* 389 (10065): 167-75. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32507-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32507-7).
- Ramana Putti V., M. Tsan, S. Mehta et S. Kammila (2015)**, « The State of the Global Clean and Improved Cooking Sector », Technical Report 007/15. Washington D.C: ESMAP, World Bank. <https://www.esmap.org/node/55728>.

**Shen G., M.D. Hays, K.R. Smith, C. Williams, J.W. Faircloth et J.J. Jetter (2018)**, « Evaluating the Performance of Household Liquefied Petroleum Gas Cookstoves », *Environmental Science & Technology* 52 (2): 904-15. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05155>.

**Shupler M., W. Godwin, J. Frostad, P. Gustafson, R.E. Arku et M. Brauer (2018)**, « Global estimation of exposure to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) from household air pollution », *Environment International* 120 (novembre):354-63. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.026>.

**Sustainable Energy for All (2013)**, « UN Sustainable Energy for All Initiative and World LP Gas Association (WLPGA) Announce the Goal to Transition 1 Billion People from Traditional Fuels to Liquefied Petroleum Gas (LP Gas), an Efficient and Clean Cooking Fuel », Sustainable Energy for All | SEforALL 2013.

**Thivillon T. (2022)**, « Saving Lives with Cooking Gas? Unintended Effects of LPG Subsidies in Peru », SocArXiv. <https://doi.org/10.31235/osf.io/yh5xs>.

**WHO (2021)**, *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*, World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

**Yang B.-Y., Z. Qian, S.W. Howard, M.G. Vaughn, S.-J. Fan, K.-K. Liu et G.-H. Dong (2018)**, « Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis », *Environmental Pollution* 235 (avril):576-88. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.001>.

---

## Liste des sigles et abréviations

---

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>AFD</b>              | Agence française de développement  |
| <b>AGR</b>              | Activité génératrice de revenus  |
| <b>CFA</b>              | Communauté financière en Afrique   |
| <b>GPL</b>              | Gaz de pétrole liquéfié  |
| <b>GPS</b>              | <i>Global Positioning System</i> , les coordonnées géographiques (latitude, longitude)       |
| <b>IRD</b>              | Institut de recherche pour le développement  |
| <b>ITT</b>              | <i>Intention-To-Treat</i> (intention de traiter)   |
| <b>OMS</b>              | Organisation mondiale de la santé  |
| <b>ONG</b>              | Organisation non-gouvernementale   |
| <b>PAIRES</b>           | Partenariat AFD-IRD pour Réaliser des Évaluations d'impact en mobilisant la recherche du Sud |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b> | Particules de moins de 2,5 microns   |
| <b>ROI</b>              | Retour sur investissement ( <i>return on investment</i> )                                    |

# Annexes

Figure A.1 – Frise chronologique de l'étude

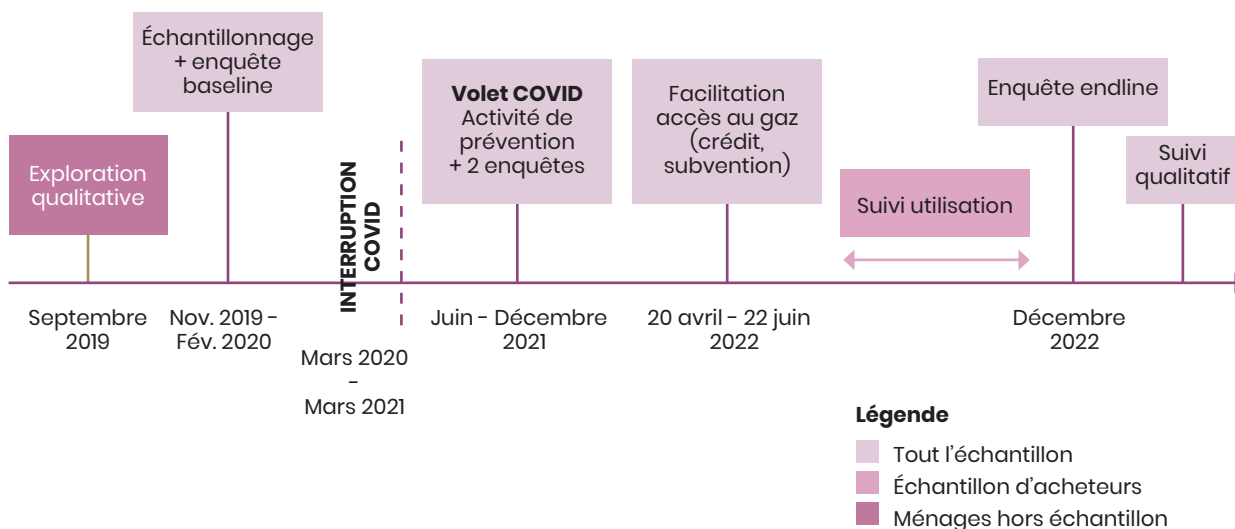


Figure A.2 – Photographies du dispositif de mesure de l'exposition aux particules fines (à droite : porté par une enquêtrice).



Note : Pompe à débit constant 1,5L/min manufacturée par Climate Solutions Consulting.



## Effets Hétérogènes

En premier lieu, l'indicateur qui nous intéresse est le coefficient d'hétérogénéité présenté dans la colonne 2 du Tableau A.2. Ce coefficient est statistiquement significatif à 5 %, ce qui indique que l'effet moyen des interventions sur l'exposition aux particules fines n'est pas homogène. La Figure A.4 rend compte de la diversité des tailles et de l'orientation des effets selon le score d'hétérogénéité. Enfin, dans le Tableau A.3, nous effectuons une analyse de classification consistant à comparer les caractéristiques observables du tercile le plus affecté par les interventions à celles du tercile le moins affecté, afin d'identifier les variables les plus pertinentes pour expliquer l'hétérogénéité de l'effet des interventions sur l'exposition à la pollution de l'air.

Tableau A.1 – Analyse des différences pré-interventions entre groupes

| Variable  | (1)<br>Total |                         | (2)<br>Témoïn |                         | (3)<br>Crédit |                         | (4)<br>Subvention |                         | (3)-(2)<br>Pairwise t-test |          | (4)-(2)<br>Pairwise t-test |          |
|---|--------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|
|   | N            | Moyenne                 | N             | Moyenne                 | N             | Moyenne                 | N                 | Moyenne                 | N                          | Valeur P | N                          | Valeur P |
| Taille du ménage  | 775          | 5.515<br>(2.809)        | 325           | 5.662<br>(2.989)        | 224           | 5.362<br>(2.841)        | 226               | 5.456<br>(2.493)        | 549                        | 0.255    | 551                        | 0.421    |
| Sexe du chef de ménage<br>[Femme=1]                           | 755          | 0.261<br>(0.439)        | 325           | 0.243<br>(0.430)        | 224           | 0.281<br>(0.451)        | 226               | 0.265<br>(0.443)        | 549                        | 0.329    | 551                        | 0.573    |
| Le chef de ménage a été<br>à l'école [Oui=1]                  | 775          | 0.298<br>(0.458)        | 325           | 0.320<br>(0.467)        | 224           | 0.268<br>(0.444)        | 226               | 0.296<br>(0.458)        | 549                        | 0.179    | 551                        | 0.566    |
| Probabilité de pauvreté<br>[<1,90 USD/jour=1]                 | 775          | 30.894<br>(20.796)      | 325           | 30.607<br>(21.033)      | 224           | 32.329<br>(20.911)      | 226               | 29.883<br>(20.351)      | 549                        | 0.325    | 551                        | 0.703    |
| Collecte du bois [Oui=1]                                      | 775          | 0.657<br>(0.475)        | 325           | 0.665<br>(0.473)        | 224           | 0.643<br>(0.480)        | 226               | 0.659<br>(0.475)        | 549                        | 0.547    | 551                        | 0.826    |
| Consommation de bois<br>(g/jour)                              | 775          | 5157.243<br>(3038.954)  | 325           | 5053.621<br>(2900.860)  | 224           | 5132.867<br>(3291.133)  | 226               | 5330.419<br>(2978.279)  | 549                        | 0.766    | 551                        | 0.279    |
| Possède un kit GPL [Oui=1]                                    | 775          | 0.081<br>(0.273)        | 325           | 0.089<br>(0.286)        | 224           | 0.076<br>(0.265)        | 226               | 0.075<br>(0.264)        | 549                        | 0.601    | 551                        | 0.569    |
| Consommation d'énergie<br>utile/jour [kJ]                     | 775          | 13877.537<br>(7384.376) | 325           | 13681.310<br>(7037.851) | 224           | 13710.878<br>(7935.040) | 226               | 14324.907<br>(7318.824) | 549                        | 0.974    | 551                        | 0.292    |
| Exposition aux PM <sub>2.5</sub> (ug/<br>m <sup>3</sup> /24h) | 775          | 178.494<br>(241.151)    | 325           | 185.112<br>(235.616)    | 224           | 165.692<br>(229.366)    | 226               | 181.667<br>(260.249)    | 549                        | 0.353    | 551                        | 0.891    |

Note : Écarts-types entre parenthèses.

Tableau A.2 – Analyse de l'effet conditionnel moyen des traitements selon le meilleur prédicteur linéaire (*Best Linear Predictor* – BLP)

| ATE (β1)*                         | HTE (β2)†                         |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| -0.09<br>(-0.25, 0.07)<br>[0.253] | 21.98<br>(0.67, 83.53)<br>[0.045] |

Notes : Apprentissage supervisé par *neural network*. médianes issues de 100 divisions. Intervalles de confiance à 90 % entre parenthèses. Valeurs-p pour l'hypothèse d'une taille de coefficient égale à zéro entre crochets.

\*ATE: *Average Treatment Effect* ;

†HET: *Heterogeneity loading*.

Figure A.3 – Analyse des effets hétérogènes des interventions par groupe d'hétérogénéité selon la méthode de Chernozhukov *et al.* (2018)

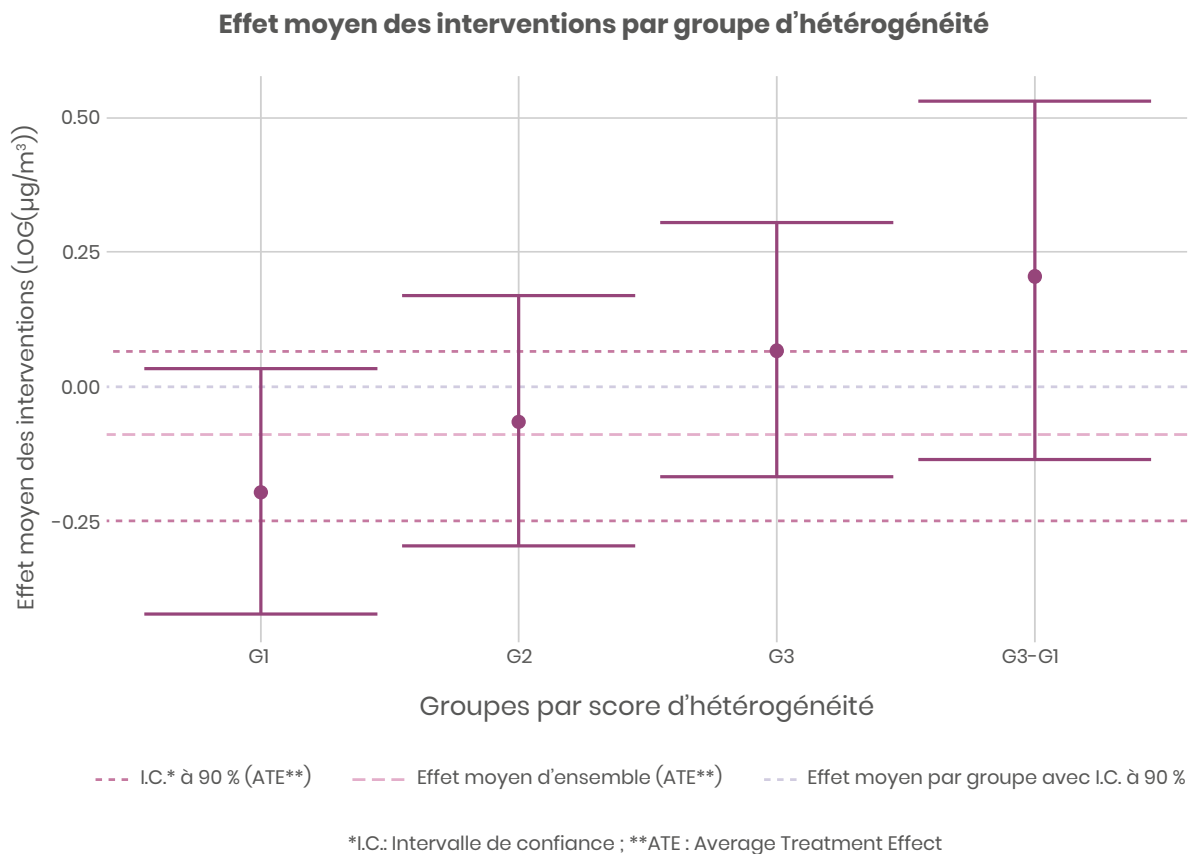


Figure A.4 – Effet des interventions sur la consommation d'énergie utile par type de combustible

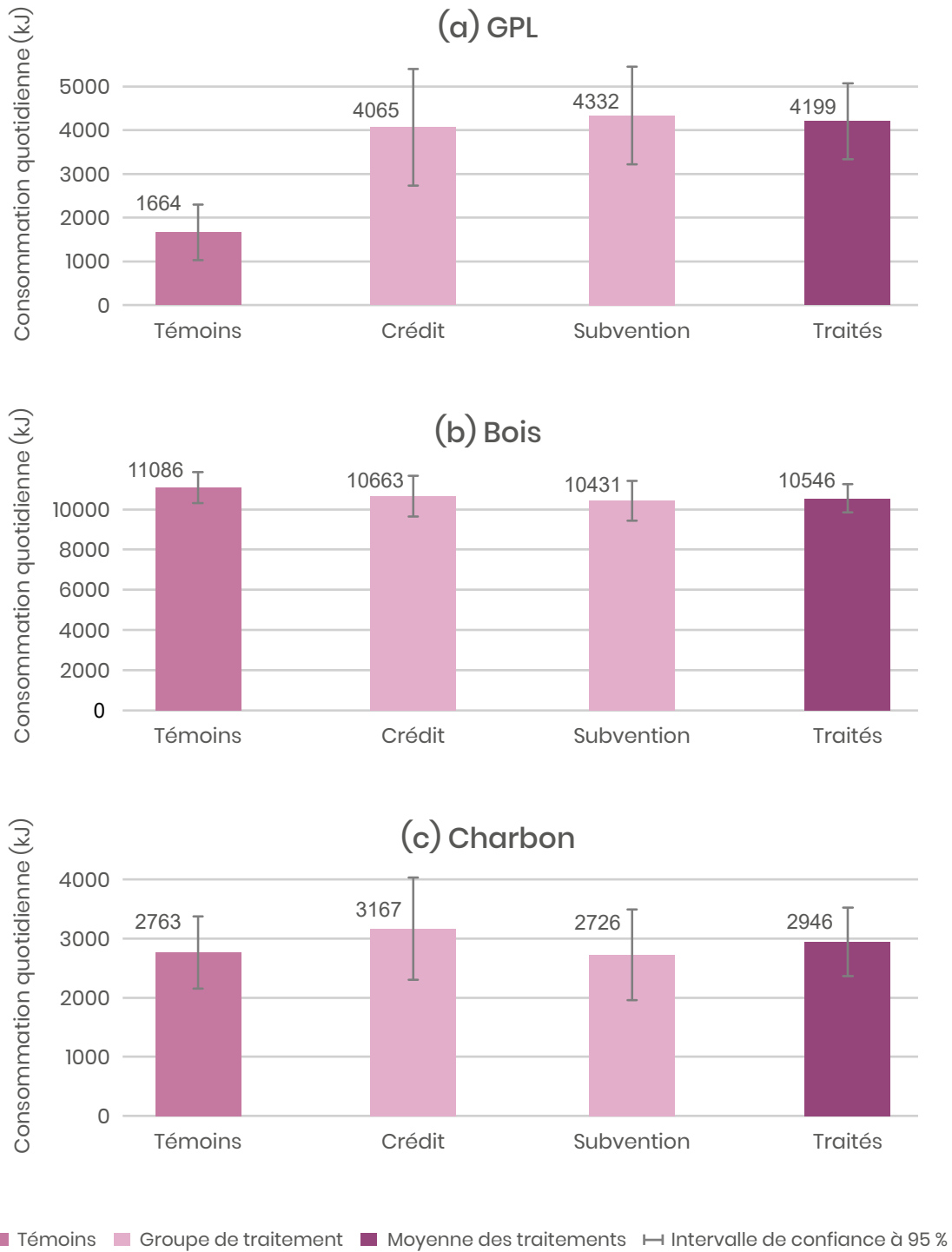
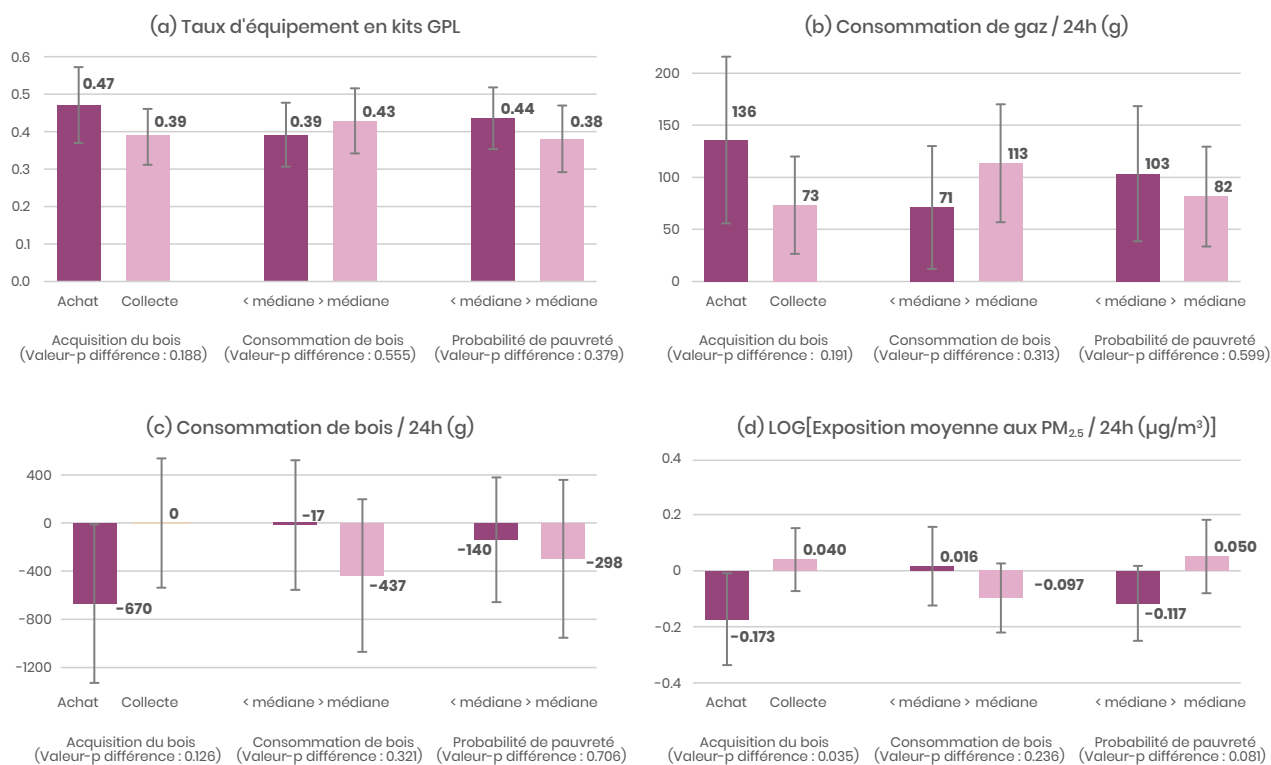


Figure A.5 – Effet moyen des interventions selon les principales dimensions d'hétérogénéité



Notes : Coefficients et intervalles de confiance à 95 % pour l'estimation de l'effet moyen des interventions par post double LASSO (Belloni, Chernozhukov et Hansen, 2014). Chaque coefficient est issu d'une régression séparée. Intervalles de confiance calculés à partir d'erreur standard robustes à l'hétéroskedasticité.

Tableau A.3 – Analyse de classification

|   | <b>33% plus affectés<br/>(G1)</b> | <b>33% moins affectés<br/>(G3)</b> | <b>Différence<br/>(G3-G1)</b>            |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| Exposition aux PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 160.34<br>(125.98, 196.78)<br>-   | 201.63<br>(152.66, 250.07)<br>-    | 40.56<br>(-22.29, 101.48)<br>[0.16]      |
| Consommation de bois (g)                              | 5539.41<br>(4898.85, 6136.1)<br>- | 4723.83<br>(4303.15, 5144.51)<br>- | -797.07<br>(-1532.77, -18.02)<br>[0.045] |
| Collecte exclusive [Oui=1]                            | 0.54<br>(0.45, 0.62)<br>-         | 0.76<br>(0.68, 0.83)<br>-          | 0.23<br>(0.12, 0.34)<br>[0.000]          |
| Cuisine fermée [Oui=1]                                | 0.38<br>(0.29, 0.46)<br>-         | 0.31<br>(0.23, 0.39)<br>-          | -0.07<br>(-0.18, 0.05)<br>[0.275]        |
| Probabilité de pauvreté                               | 25.56<br>(22.13, 28.64)<br>-      | 39.02<br>(35.59, 42.53)<br>-       | 13.70<br>(8.9, 18.45)<br>[0.000]         |
| Taille du ménage                                      | 5.08<br>(4.62, 5.57)<br>-         | 5.87<br>(5.3, 6.37)<br>-           | 0.67<br>(-0.03, 1.43)<br>[0.059]         |
| Age du chef de ménage                                 | 47.53<br>(44.87, 50.16)<br>-      | 50.63<br>(48.28, 53)<br>-          | 3.24<br>(-0.33, 6.77)<br>[0.073]         |
| Chef de ménage sachant lire [Oui=1]                   | 0.08<br>(0.03, 0.13)<br>-         | 0.05<br>(0.01, 0.08)<br>-          | -0.03<br>(-0.1, 0.03)<br>[0.249]         |
| Chef de ménage sachant écrire [Oui=1]                 | 0.07<br>(0.02, 0.11)<br>-         | 0.03<br>(0, 0.06)<br>-             | -0.03<br>(-0.09, 0.03)<br>[0.275]        |

Notes : Analyse de classification de l'effet des interventions sur l'exposition aux particules fines selon la méthode développée dans Chernozhukov *et al.* (2020). Médianes issues de 100 divisions. Intervalles de confiance à 90 % entre parenthèses. Valeurs-p pour l'hypothèse d'une différence égale à zéro entre crochets.







**Agence française  
de développement**  
5, rue Roland Barthes  
75012 Paris | France  
[www.afd.fr](http://www.afd.fr)

Direction Innovation,  
Stratégie et Recherche (ISR).  
Département Évaluation  
et Apprentissage (EVA).

Les Éditions Agence française de développement (AFD) publient des travaux d'évaluation et de recherche sur le développement durable. Réalisées avec de nombreux partenaires du Nord et du Sud, ces études contribuent à l'analyse des défis auxquels la planète est confrontée, afin de mieux comprendre, prévoir et agir, en faveur des Objectifs de développement durable (ODD). Avec un catalogue de plus de 1000 titres, et 80 nouvelles oeuvres publiées en moyenne chaque année, les Éditions Agence française de développement favorisent la diffusion des savoirs et des expertises, à travers leurs collections propres et des partenariats phares. Retrouvez-les toutes en libre accès sur [editions.afd.fr](http://editions.afd.fr). Pour un monde en commun.

**Directeur de la publication** Rémy Rioux  
**Directeur de la rédaction** Jean-Claude Pires  
**Création graphique** MeMo, Juliegilles, D. Cazeils  
**Conception et réalisation** edeo-design.com  
**Dépôt légal** 3<sup>e</sup> trimestre 2024  
**ISSN** 2425-7087  
Imprimé par le service de reprographie de l'AFD

Pour consulter les autres publications de la collection ExPost :  
[www.afd.fr/fr/collection/evaluations-ex-post](http://www.afd.fr/fr/collection/evaluations-ex-post)

**Crédits et autorisations**

License Creative Commons  
Attribution - Pas de commercialisation  
- Pas de modification  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

