



# ÉTUDE SUR LES VOIES DE TRANSMISSION DES PATHOGÈNES CHEZ LES ENFANTS DE MOINS DE DEUX ANS DANS LES ZONES D'INTERVENTION DE L'USAID FIOVANA AU SUD-EST DE MADAGASCAR

Rapport final

NOVEMBRE 2022

Auteurs : Chloé Poulin<sup>1</sup>, John Trimmer<sup>1</sup>, Caroline Delaire,<sup>1</sup> Rachel Peletz<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>The Aquaya Institute, PO Box 21862, Nairobi, Kenya

Contacts:

PRO-WASH : Stephen Sara [ssara@savechildren.org](mailto:ssara@savechildren.org)

Aquaya : Chloé Poulin [chloe@aquaya.org](mailto:chloe@aquaya.org)

# LISTE DES ACRONYMES

ADRA	Agence Adventiste de Développement et d'assistance
TSC	Test de sac à compartiment
UFC	Unité de formation de colonie
ATPC	Assainissement total piloté par la communauté
CVB	Centre ValBio
AVI	Années vécues avec de l'incapacité
DEE	Dysfonctionnement entérique environnemental
PNE	Portfolio de nutrition essentiel
ECEP	Escherichia Coli entéropathogène
E. coli	Escherichia Coli
MAM	Malnutrition aigüe modérée
APM	Approche programmatique multiphase
NPP	Nombre le plus probable
PB	Périmètre brachial
NT	Ny Tanintsika
POC	Point de collecte
POU	Point d'utilisation
EQRM	Évaluation quantitative du risque microbien
qPCR	Réaction en chaîne par polymérase quantitative
MAS	Malnutrition aigüe sévère
CSC	Changement social et comportemental
WASH	Eau, assainissement et hygiène
OMS	Organisation mondiale de la santé

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Sommaire exécutif</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>Méthodes</b>	<b>9</b>
Conception de l'étude	9
Zones de l'étude	10
Stratégie d'échantillonnage	11
Collecte de données	11
Les sondages sur les soignants et les observations	11
Échantillonnage des <i>E. coli</i> et des pathogènes	12
Éthique	14
Data Analysis	14
<i>E. coli</i> analysis	14
Analyse des pathogènes	15
Évaluation quantitative du risque microbien (EQRM)	15
<b>Résultats</b>	<b>16</b>
Sondages sur les soignants	16
Les observations structurées	20
<i>E. coli</i> et pathogènes	21
<i>E. Coli</i>	21
Pathogènes	22
Évaluation quantitative du risque microbien (EQRM)	23
Estimations d'exposition	23
Le risque d'infection et de maladie par l' <i>E. coli</i> pathogène	26
La perception du risque chez les soignants	26
<b>Discussion</b>	<b>28</b>
<b>Recommandations</b>	<b>31</b>
<b>Conclusions et limites de l'étude</b>	<b>37</b>
<b>Remerciements</b>	<b>39</b>
<b>Références</b>	<b>40</b>

# I Sommaire exécutif

Plusieurs voies de transmission telles que, le contact main-bouche, l'eau à boire, les aliments, le sol et les fomites (les objets que les enfants mettent dans la bouche) peuvent augmenter l'exposition aux pathogènes fécaux et comporter des risques sanitaires chez les jeunes enfants. À Madagascar, près de 50 % des enfants de moins de cinq ans ont des retards en termes de croissance et de santé à cause de l'impact négatif du manque d'eau potable, d'assainissement et d'hygiène (WASH). La compréhension des divers degrés de contributions de ces voies de transmission aux risques d'infection est critique dans la conception des interventions qui amélioreront la santé des jeunes enfants. Une bonne compréhension du contexte et des normes locales est requise pour faire face à ces défis.

L'objectif primaire de cette étude était d'identifier les voies de transmission principales pour l'exposition aux pathogènes fécaux chez les enfants de moins de deux ans dans le sud-est de Madagascar. L'objectif secondaire était d'identifier les potentielles interventions pour interrompre ces voies de transmission en considérant les normes culturelles et sociales du sud-est de Madagascar.

Nous avons sondé 220 ménages au total dans trois régions du sud-est de Madagascar (Fitovinany, Vatovavy et Atsimo-Atsinanana). Le travail sur le terrain a été divisé en deux phases : la phase I consistait à faire des observations profondes sur 35 enfants (2 à 4 heures) et des sondages d'une heure auprès de leurs soignants ; la phase II, quant à elle, incluait des sondages courts auprès des soignants et des observations sur place (10 à 15 minutes) dans 185 ménages. Lors des deux phases dans chaque ménage, nous avons collecté des échantillons d'environnement (eau de rinçage des mains du soignant, celle des enfants, les aliments cuits, les aliments crus, l'eau potable au point d'utilisation [POU] et le sol) et nous les avons analysés pour la présence des *Escherichia Coli* (*E. coli*) grâce à la méthode du test de sac à compartiment (TSC). De plus, nous avons collecté des échantillons d'environnement (eau de rinçage des mains des enfants, les aliments crus, l'eau potable au POU et le sol) et fécaux des animaux et des enfants chez un sous-ensemble de 26 ménages pour la présence de six pathogènes (*Campylobacter*, *Shigella*, *Salmonella*, *Entamoeba Histolytica*, *Giardia Intestinalis* et *Adenovirus*) grâce à une réaction de chaîne de polymérase quantitative (QPCR).

Sur la base de nos mesures de l'*E. coli*, nous avons trouvé que l'eau potable et le sol étaient les deux compartiments les plus contaminés de matière fécale, dont 60 % des échantillons étaient dans la catégorie à haut risque (> 100 NPP/100 ml ou > 100 NPP/g). Les deux compartiments suivants, ceux de l'eau de rinçage des mains des soignants et des enfants, avaient 25 % des échantillons dans la catégorie à haut risque.

Suite à ces résultats, nous avons effectué une évaluation quantitative du risque microbien (EQRM) pour déterminer les voies d'exposition les plus importantes et le risque selon la catégorie d'âge (0 à 6 ans, 7 à 12 mois et 13 à 24 mois) grâce à l'agent pathogène *E. coli* O157:H7 comme exemple. Nous nous sommes concentrés sur quatre voies d'exposition différentes : le contact main-bouche chez l'enfant (plus fréquent que celui du soignant selon nos observations), l'eau potable, l'ingestion de sol et l'ingestion d'aliments (nous nous sommes concentrés sur les aliments cuits uniquement, car nous n'avons pas suffisamment d'échantillons d'aliments crus dans l'EQRM).

Nous avons trouvé que l'absorption quotidienne d'*E. coli* chez les enfants augmentait avec l'âge (10 Nombre plus probable (NPP)/jour pour les enfants de 0 à 6 mois, 188 NPP/jour pour les 7 à 12 mois et 213 NPP/jour pour les 13 à 24 mois), ce qui va de pair avec le développement de l'enfant : plus ils grandissent, plus ils sont en contact avec leur environnement et avec les pathogènes potentiels si leur environnement est contaminé. Pour la catégorie de 0 à 6 mois, nous avons trouvé qu'une voie de transmission principale pour l'*E. coli* était le contact main-bouche (dans 70 % des ingestions). Pour les deux autres catégories, nous avons trouvé que trois voies de transmission ont joué un rôle important dans l'ingestion de matières fécales par les enfants : le contact main-bouche pour les 7 à 12 mois était la voie de transmission principale (soit 41 % des cas), suivie par l'eau potable (soit 27 % des cas) et le

sol (soit 21 % des cas). Pour la catégorie des 13 à 24 mois, les aliments cuits étaient la voie de transmission principale (soit 34 % des cas), suivie par l'eau potable (soit 31 % des cas) et du contact main-bouche (soit 25 % des cas).

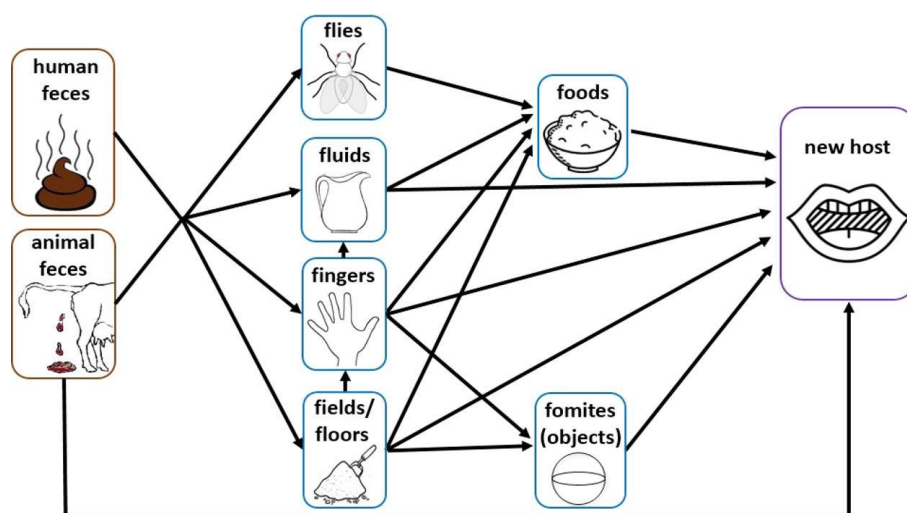
Les pathogènes étaient présents dans les fèces d'animaux plus souvent (67 %) que dans ceux des enfants (26 %). Les deux compartiments avec la prévalence la plus élevée de pathogènes étaient ceux de l'eau de rinçage des mains des enfants (46 %) suivis du sol (31 %). Le *Campylobacter* était le pathogène le plus fréquent (présent dans 33 % des cas), pourtant la *Salmonella* et l'*Entamoeba Histolytica* n'ont pas été détectés. Nos résultats ont suggéré que le contact direct ou indirect avec les fèces d'animaux était une voie de transmission importante pour les infections bactériennes. Cette interprétation ne s'applique pas aux virus, car nous n'avons trouvé l'Adénovirus que dans l'eau potable et les fèces d'enfants. Ces interprétations sont des hypothèses à tester dans de futures recherches, car nous ne pouvons pas tirer des conclusions de ce nombre limité d'échantillons et de la nature non quantitative des résultats.

Nous avons développé un certain nombre de recommandations pour interrompre ces quatre voies de transmission en consultation avec l'équipe FIOVANA travaillant sur l'Activité sur la résilience et la sécurité alimentaire au sud-est de Madagascar financée par l'USAID et dirigée par l'Agence de soutien et de développement adventiste (ADRA). Certaines de nos recommandations visaient à réduire le niveau général de contamination fécale présent dans l'environnement comme la construction d'enclos pour animaux ou d'aires de jeu pour les enfants, la réduction de la défécation à ciel ouvert chez les adultes et les enfants et le développement des systèmes de chloration au point de collecte (POC). D'autres recommandations spécifiques incluaient le développement des stations de lavage des mains à coût réduit, un meilleur accès au savon (y compris le développement de petites entreprises ou de groupes communautaires qui produisent du savon localement), la désinfection des récipients de stockage et des ustensiles et l'utilisation d'un tissu lavable (« balotom » en langue locale) sur les tapis pour empêcher le contact avec le sol chez les enfants. En plus, nous avons recommandé le développement de programmes de changement social et comportemental (CSC) pour la promotion des pratiques d'hygiène et pour aborder les croyances traditionnelles détrimentaires (par ex., que l'eau est pure et ne peut être contaminée). Le CSC exige une compréhension des conditions environnementales et sociales qui facilitent ou empêchent l'adoption de comportements spécifiques. Selon nos recommandations, le programme CSC doit inclure : 1) une analyse de barrière pour identifier les goulots d'étranglement au changement de comportement, 2) un dialogue communautaire pour identifier et promouvoir des solutions propres aux communautés et 3) un plan d'action par ménage pour aborder les besoins spécifiques à chaque ménage. Les suggestions supplémentaires des participants qui ont assisté à l'atelier de dissémination local incluaient 1) d'encourager les communautés à protéger leur source d'eau potable et 2) d'organiser des visites aux villages et ménages modernes.

## 2 Introduction

L'exposition aux selles d'humains et d'animaux cause des infections entériques et peut conduire à la diarrhée, qui est la troisième cause de mortalité et de morbidité dans le monde chez les enfants de moins de cinq ans. La diarrhée décime près d'un demi-million de vies chaque année dans cette tranche d'âge.<sup>1,2</sup> Les maladies diarrhéiques, les infections entériques et le dysfonctionnement entérique environnemental (DEE) contribuent également à la malnutrition et à la sous-nutrition à cause d'une malabsorption de nutriments, l'anémie et la réduction d'appétit.<sup>3</sup> La malnutrition est associée à l'augmentation des absences scolaires et aux troubles cognitifs à long terme.<sup>4,5</sup> L'eau, l'assainissement et l'hygiène (WASH) inadaptées peuvent augmenter le degré d'exposition à la contamination fécale. À Madagascar, seuls 11 % des ménages ont un accès de base à l'assainissement et presque la moitié de la population pratique la défécation à ciel ouvert. Simultanément, 43 % des ménages recourent toujours à l'eau de surface ou à d'autres sources d'eau peu sûres.<sup>6</sup> Ces faibles niveaux d'accès aux services WASH de base mènent à un taux élevé de retard, qui affecte 42 % des enfants (un des niveaux les plus élevés dans le monde).<sup>7</sup> Près de 50 % des enfants en dessous de cinq ans ont été testés positifs aux microorganismes intestinaux pathogènes.<sup>8</sup>

L'exposition des enfants aux pathogènes fécaux peut se produire par des voies de transmission diverses telles que, l'eau, les aliments, les doigts et les fomites (objets) (**figure 1**). Les doigts représentent le contact main-bouche chez les jeunes enfants présentant des comportements de mise en bouche, et les fomites (tels que les jouets que les enfants touchent et qui portent des pathogènes) peuvent aussi jouer un rôle intermédiaire dans cette voie de transmission. Les mouches entrent en contact avec les fèces, ramassent les pathogènes et les déposent à d'autres endroits où elles se posent, comme sur la peau et les aliments. Les champs représentent la contamination par le sol des fèces d'animaux ou humains ; les jeunes enfants pourraient ramasser et avaler les particules du sol. Les fluides correspondent à l'eau qui peut être contaminée à la source ou lors de la conservation à la maison. Enfin, chacune de ces voies de transmission peut se connecter aux aliments, par exemple, par les mains sales, l'utilisation de l'eau contaminée pour laver les aliments crus ou les mouches qui se posent sur les aliments cuits. Les gens peuvent ensuite ingérer les pathogènes transmis par ces voies en buvant de l'eau contaminée, en mangeant de la nourriture contaminée et par le contact direct main-bouche.



**Figure 1** : Les voies d'exposition à la contamination fécale De Kwong et coll., 20209 et adapté de Wagner et coll., 1958<sup>10</sup>

Comprendre le degré auquel les différentes voies d'exposition contribuent à l'ingestion de matières fécales par les enfants peut aider à définir les priorités d'intervention qui amélioreront la santé des jeunes enfants. Les recherches dans de nombreux contextes ont exploré le degré auquel chacune de

ces voies jouent un rôle dans l'exposition aux pathogènes fécaux et à leur transmission.<sup>9,11-15</sup> Plusieurs d'entre eux ont souligné l'importance du contact main-bouche, qui ne peut pas être résolu par les interventions comme l'eau conventionnelle ou l'assainissement (**tableau I**).<sup>9,12,16-18</sup> De plus, les voies de transmission principales dépendent souvent de l'âge, car les comportements et la mobilité sont différents selon les groupes d'âge. Parmi les enfants de 6 à 35 mois, les comportements de mise en bouche, l'ingestion directe du sol et l'absorption de nourriture contaminée étaient les voies principales d'ingestion d'*E. coli* dans les zones rurales du Bangladesh, alors que le contact main-bouche a compté pour la majorité (60 %) de l'ingestion d'*E. coli* chez les enfants de moins de six mois (**tableau I**).<sup>19</sup> Une autre étude a montré que les niveaux plus élevés d'*E. coli* sur les mains sont fortement associés aux rapports de maladies diarrhéiques chez les enfants de moins de cinq ans.<sup>20</sup> De même en Tanzanie, le contact de main à la bouche était à la source de près de cinquante fois plus d'ingestion de matières fécales que la consommation d'eau potable conservée (**tableau I**).<sup>16</sup> Similairement, dans un village informel de Kampala en Ouganda, les risques moyens d'infections causées par les pathogènes étaient les plus élevés dans les échantillons du sol et des mains des enfants, comparés à d'autres échantillons des mains des soignants ou de l'eau potable conservée.<sup>21</sup>

**Tableau I** : La voie d'exposition principale et les compartiments environnementaux les plus contaminés identifiés lors d'études précédentes avec des proportions d'*E. coli* ingérés, si disponible.

Pays	Population	Voies examinées	Voies principales*	Auteurs
Bangladesh rural	Enfants de moins de trois ans	Le contact main-bouche, le contact d'objet-bouche, les mains des soignants, les aliments, l'eau, le sol	- pour les enfants <6 mois : le contact main-bouche (60 % des <i>E. coli</i> ingérés) - pour les enfants de 6 à 24 mois : le contact main-bouche (environ 30 % d' <i>E. coli</i> ingérés), suivi par l'ingestion de sol (environ 25 à 30 % d' <i>E. coli</i> ingéré) et les aliments (6 à 27 % d' <i>E. coli</i> ingérés).	De Kwong et coll., 2020 <sup>9</sup>
Tanzanie	Enfants de moins de cinq ans	L'eau potable conservée et le contact main-bouche	Le contact main-bouche (97 à 98 % des pathogènes ingérés)	Mattioli et coll., 2015 <sup>22</sup>
Ouganda urbain	Les enfants et les soignants	L'eau potable, le contact main-bouche, l'ingestion du sol	L'ingestion du sol, suivie par le contact main-bouche	Byrne et coll., 2021 <sup>21</sup>
Ghana urbain	Enfants de moins de cinq ans	L'eau potable, les aliments, le contact main-bouche	Les aliments (>99 % de l'exposition totale), suivis par le contact main-bouche	Wang et coll., 2017 <sup>23</sup>
Pays	Population	Compartiments environnementaux étudiés	Les compartiments environnementaux les plus contaminés	Auteurs
Bangladesh rural	Enfants de moins de cinq ans	Les puits tubés, l'eau potable conservée, l'eau de la mare, le rinçage des mains d'enfants, le sol, les mouches et les aliments	Les mains d'enfants	Pickering et coll., 2018 <sup>12</sup>
Zimbabwe urbain	Adultes	L'eau potable, le sol, les mains	Les mains, suivies du sol et l'eau potable	Navab-Daneshmand et coll., 2018 <sup>24</sup>
Kenya urbain	Les enfants et les soignants	L'eau de source, l'eau potable conservée, les mains des soignants, les mains des enfants, les surfaces de la maison, le	Les ruisseaux ouverts, suivis du sol, les caniveaux et les surfaces du sol	Bauza et coll., 2020 <sup>25</sup>

Pays	Population	Voies examinées	Voies principales*	Auteurs
		sol et l'eau stagnante dans les caniveaux ouverts et ruisseaux		

\* Seules quelques études quantifient les voies d'exposition

La majorité des études reliée à la contamination par pathogènes à Madagascar est concentrée sur la détection des pathogènes dans les échantillons de nourriture chez les humains, alors que moins d'études se sont concentrées sur les risques de transmission par les aliments ou les animaux domestiques.<sup>8,26-29</sup> Différents facteurs affectent le risque ou la sévérité de la contamination fécale tels que, la position géographique,<sup>30</sup> la période d'échantillonnage (lors de la saison pluvieuse, les symptômes de la diarrhée sont plus sévères<sup>31</sup>) ou les conditions de vie. En considérant les conditions de vie en particulier, les enfants qui vivent dans les maisons dont le sol est fait de matériaux solides (par ex., en ciment, en carreaux) et ceux qui vivent dans des maisons contenant ou entourées de poubelles sont plus susceptibles de contracter une diarrhée sévère. Les enfants qui allaitaient, vivaient dans une maison où on élève du bétail et où il y a de l'électricité, avaient plus de chance d'être en bonne santé.<sup>32</sup>

L'objectif primaire de cette étude était d'identifier les voies de transmission principales pour l'exposition aux pathogènes fécaux chez les jeunes enfants dans le sud-est de Madagascar. Les résultats serviront au développement et au raffinement des interventions adaptées pour améliorer la santé. Plus précisément, cette étude vise à répondre à deux questions de recherche :

- 1) Quelles sont les voies principales d'ingestion des pathogènes fécaux (d'humains et d'animaux) chez les enfants de moins de deux ans dans les zones d'implémentation du projet FIOVANA ?
- 2) Quelles interventions ont le potentiel d'interrompre ces voies de transmissions, en tenant en compte les défis d'implémentation spécifiques (par ex., la topographie et le climat) et les normes socioculturelles uniques au sud-est de Madagascar ?

Une bonne compréhension du contexte, des structures et des obstacles à la conception d'interventions adaptées est requise pour répondre à ces questions. Par exemple, dans les trois régions du sud-est de Madagascar ciblées pour l'étude (Vatovavy, Fitovinavy et Atsimo Atsinanana), la majorité de la population rurale vit « ankarenana » (près des champs) et ne revient au village que pour les obligations sociales (par ex., les funérailles). Ces conditions isolées augmentent la complexité de la fourniture des services WASH et d'une éducation à l'hygiène. De plus, les coutumes et croyances traditionnelles peuvent présenter des obstacles aux comportements salubres. Par exemple dans certaines zones, avoir des toilettes dans la maison ou aux alentours est un tabou ; avoir les mêmes toilettes pour les hommes et les femmes d'un ménage en est un également.<sup>33</sup> Dans les zones de l'étude, les structures hiérarchiques et sociétales traditionnelles sont d'une grande importance et force. Il est important de concevoir la recherche et les stratégies d'intervention en tenant compte de ces structures existantes. Par conséquent, l'engagement des parties prenantes et des partenaires locaux est la clé au développement de stratégies réussies pour l'amélioration de la santé. De même, cette étude se base sur la riche recherche informative et l'expérience locale résultant du programme FIOVANA, un projet multisecteur de cinq ans (2019-2024) réalisé par ADRA, qui vise à améliorer la santé et la nutrition dans le sud-est de Madagascar. Les collègues de FIOVANA ont été consultés sur la conception de cette étude visant à renseigner les affinements de l'approche d'implémentation de FIOVANA.



## 3 Méthodes

### Conception de l'étude

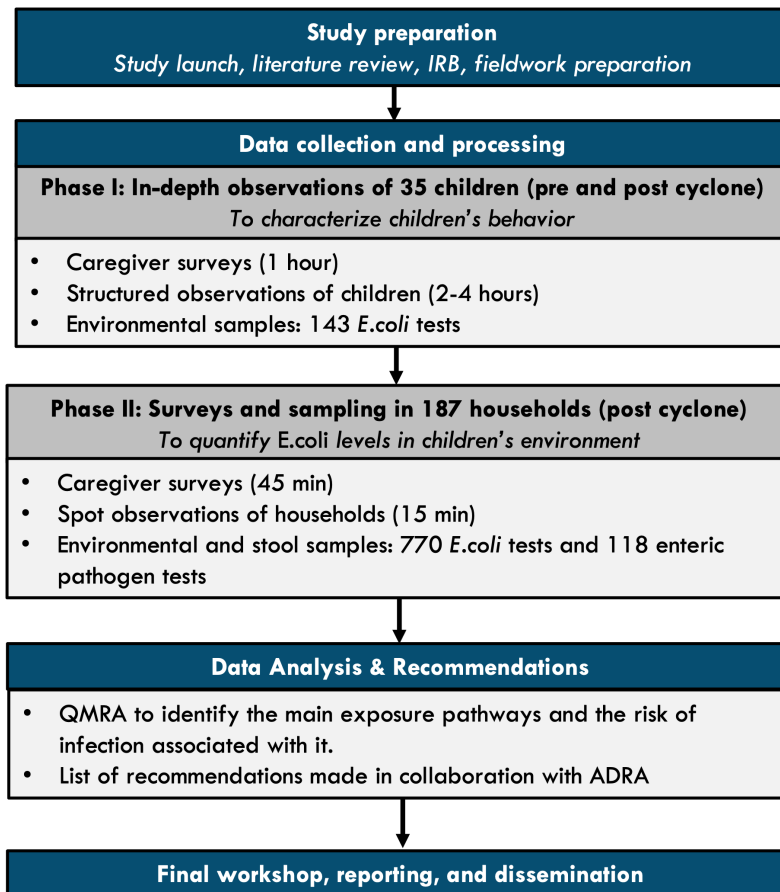
Cette étude consiste en trois étapes : i) le travail sur le terrain, ii) l'analyse des données et iii) le développement des recommandations. Nous avons divisé le travail sur le terrain en trois phases (**figure 2**) : la phase I caractérisait en principe les comportements des enfants à partir d'une observation profonde ; la phase II consistait en des sondages chez les soignants, les observations instantanées et l'échantillonnage de l'environnement pour quantifier les voies d'exposition. La population générale de notre étude était de 222 ménages avec des enfants de <2 ans. Lors des deux phases, nous avons stratifié notre population cible en trois catégories (0 à 6 mois, 7 à 12 mois et 13 à 24 mois<sup>19,34</sup>) et utilisé ces trois groupes pour les analyses qui ont suivies. Après la collecte des données, nous avons conduit une évaluation quantitative du risque microbien (EQRM) pour identifier les voies d'exposition principales par catégorie d'âge. Enfin, nous avons travaillé avec l'équipe de FIOVANA pour développer des recommandations qui prennent en compte le contexte culturel.

Phase 1 : Les observations profondes. Nous avons commencé par une étude profonde de 35 ménages (~15 % de la population totale de l'étude) pour caractériser le comportement des enfants et pour commencer l'identification des voies de transmission des pathogènes entériques potentielles. La phase I a été interrompue par deux grands cyclones en février 2022 qui ont directement affecté nos trois régions d'étude : le cyclone Batsirai et le cyclone Emnati. Nous avons observé 15 maisons en janvier 2022 (précyclones) et 20 maisons en mai 2022 après avoir donné du temps à la population de se remettre du cyclone. Dans chaque ménage, nous avons effectué des observations (d'une durée de 2-4 heures), des sondages sur les soignants (d'une durée d'une heure) et un échantillonnage environnemental pour la contamination par l'*E. coli* (décrit en détail dans les sections suivantes). Nous avons collecté un total de 143 échantillons environnementaux.

Phase 2 : Les sondages sur les soignants et l'échantillonnage. Nous avons mené des sondages sur les soignants et un échantillonnage environnemental dans 187 ménages supplémentaires. Nous avons utilisé les résultats de la phase I pour affiner les protocoles de collecte de données pour la phase 2 (questionnaires condensés et observations sur place). Les courtes observations sur place (~15 min) ont permis à notre équipe d'observer l'environnement du ménage (par ex., les installations sanitaires, la conservation de l'eau, la proximité avec les animaux). Durant cette phase, nous avons généré 770 échantillons environnementaux pour le test de l'*E. coli* (près de cinq échantillons par enfant). Un sous-groupe de 26 enfants a été choisi au hasard pour les tests de pathogènes. Pour ceux-ci, un groupe additionnel d'échantillons de l'environnement et des selles a été collecté.

Dans les deux phases, les équipes énumératrices ont travaillé en étroite collaboration avec le personnel de FIOVANA pour collecter des données du périmètre brachial (PB) chez chaque enfant inclus dans l'étude. Ces données donneront des renseignements sur les suivis futurs de FIOVANA pour évaluer tout changement dans l'état de santé de l'enfant. Lors de ces sondages, notre équipe a également demandé aux soignants leur perception des risques principaux à la santé de leurs enfants, et quelles idées ils ont pour résoudre ses problèmes.

Suite aux deux phases de collecte de données, nous avons effectué une EQRM pour estimer le risque d'infection et de maladie associé aux voies d'exposition différentes. Les données collectées des sondages, des observations et de l'échantillonnage environnemental ont participé à cette évaluation du risque qui inclue des analyses de sensibilité et d'incertitude pour définir comment la variabilité dans les concentrations et les activités des enfants influencent leur exposition et leurs niveaux de risque.

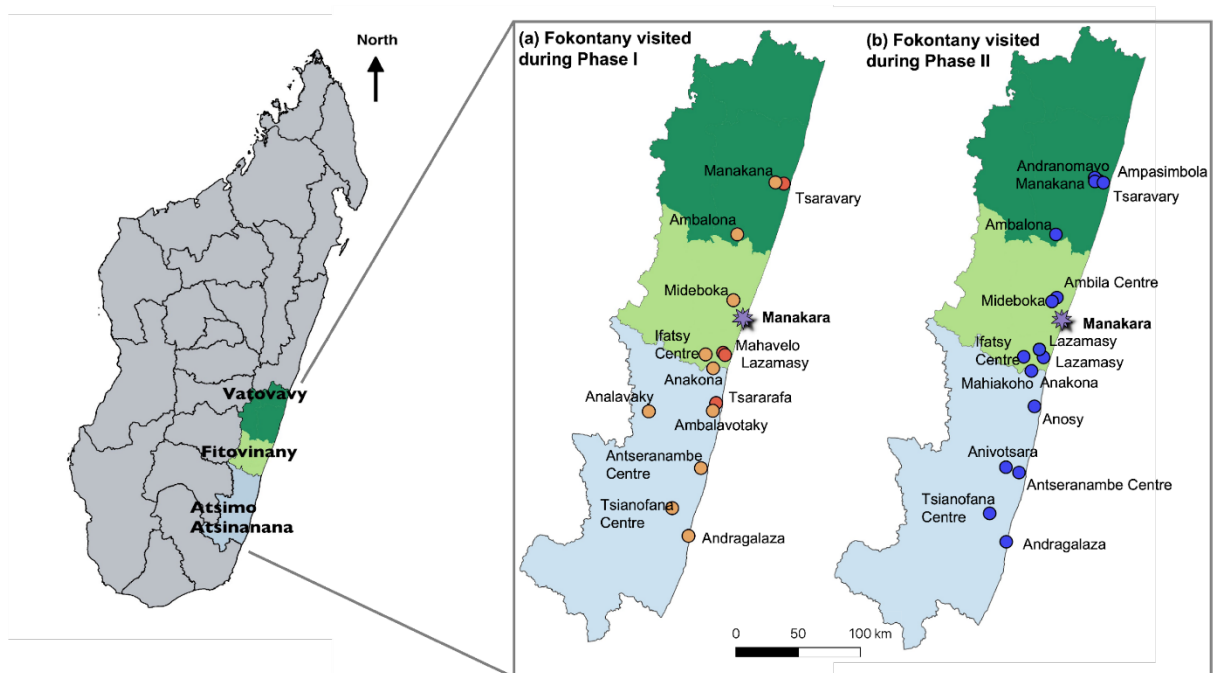


**Figure 2 :** Conception de l'étude. Nous avons mené une collecte de données en deux phases : (1) une étude profonde sur 35 enfants pour identifier les voies d'exposition principales et affiner les outils de collecte de données, et (2) un sondage additionnel et un échantillonnage sur 187 enfants pour quantifier les expositions aux pathogènes entériques et à l'*E. coli*.

## Zones de l'étude

Nous avons concentré notre étude sur trois régions au sud-est de Madagascar : Les régions de Vatovavy, Fitovinany et Atsimo Atsinana (**figure 3**). Notre laboratoire sur le terrain et notre équipe énumératrice principale étaient basés dans la région Fitovinany dans le bureau d'une ONG locale, NY Tanintsika. Nous avons sélectionné plusieurs fokontany (un fokontany est un village dans la langue locale) en collaboration avec FIOVANA pour fournir une bonne représentation des différentes zones agroécologiques (communautés côtières et des montagnes), des groupes ethniques et différents niveaux d'eau, de salubrité et d'hygiène. Nous avons aussi considéré l'éloignement du fokontany au chef-lieu de district et leur accessibilité par voiture depuis notre labo de Manakara : les communautés choisies étaient à environ 3 heures de route du labo, car les échantillons d'*E. coli* doivent être examinés dans les 6 heures de la collecte.

Nos zones d'études incluaient un total de 21 fokontany : 4 fokontany pour la phase I précyclone, 10 fokontany pour la phase I post-cyclone (différents de ceux de la phase I), et 17 fokontany pour la phase II (y compris 7 nouveaux fokontany qui n'avaient pas été inclus dans la phase I pré et post-cyclone - **figure 3**).



**Figure 3** : Un fokontany visité durant l'étude. (a) un fokontany visité durant la phase I pré et post-cyclone (janvier et mai 2022) et (b) un fokontany visité durant la phase II (mai et juin 2022).

### Stratégie d'échantillonnage

Plusieurs fokontansy étaient dispersés sur une large zone géographique et avaient été divisés en quartiers (voisinages) dispersés autour d'un quartier principal. En plus de l'échantillonnage dans le quartier principal, nous avons prélevé des échantillons dans ces quartiers éloignés, ce qui nous a permis de les inclure dans un groupe plus diversifié de ménages ayant des antécédents économiques et sociaux plus vastes. Ces quartiers sont en général dispersés, certains très loin les uns des autres et d'autres difficiles d'accès au groupe étant données les contraintes de temps quotidiennes. L'équipe a choisi de manière aléatoire les quartiers accessibles (moins de 15 minutes du quartier central à pied ou en voiture) pour le sondage après avoir consulté les travailleurs de santé de la communauté et le personnel de FIOVANA. Nous avons sélectionné à la volée des ménages dans la communauté : les énumérateurs ont utilisé des directions générées aléatoirement au préalable (par ex., Nord-Ouest, Sud, etc.) et les distances à parcourir à pied (50 mètres, 100 mètres) pour trouver un ménage depuis un point de départ quelconque dans le fokontany. Pour la phase I, nous avons prélevé des échantillons chez un à quatre ménages par fokontany, puis chez 3 à 24 ménages par fokontany lors de la phase II selon le nombre d'énumérateurs présents par fokontany.

### Collecte de données

#### ***Les sondages sur les soignants et les observations***

Pour cette étude, nous avons ciblé des ménages ayant des enfants de moins de 2 ans et un soignant disponible de plus de 18 ans. Nous avons employé une équipe de quatre énumérateurs et deux superviseurs, qui sont recrutés localement par Ny Tanintsika et formés par Aquaya pendant une semaine complète avant d'aller sur le terrain. La séance de formation était centrée sur comment conduire un sondage chez un ménage, des observations structurées et un échantillonnage fécal et environnemental de manière éthique et scientifique. Nous avons utilisé l'application de collecte de données CommCare pour conduire des sondages auprès des soignants et les observations (des observations structurées des enfants lors de la phase I et des observations sur place du ménage lors de la phase 2).

Lors des deux phases, les sondages contiennent des questions au sujet des caractéristiques et de la démographie du ménage, les habitudes de préparations de la nourriture, les habitudes alimentaires et d'allaitement, le traitement et l'accès à l'eau, l'accès à l'assainissement et l'utilisation des toilettes, les sources à risque de pathogènes (par ex., les animaux domestiques, les comportements de défécation à ciel ouvert, l'exposition à l'eau de surface, etc.), l'hygiène personnelle, le nettoyage de la maison et les comportements d'ingestion du sol chez l'enfant (le questionnaire complet du sondage se trouve à l'annexe B-1).

Le but des observations structurées était de faire un lien entre le comportement des enfants et les voies d'ingestion potentielles de pathogènes. Lors de la période d'observation, un énumérateur enregistrerait le temps que l'enfant passe dans chaque environnement (le site général de leur activité ; par ex., à l'intérieur/extérieur de la maison, avec le bétail), le cadre (l'endroit spécifique où l'endroit est dans l'environnement ; par ex., sur le sol amélioré ou non, loin du sol) et son activité (par ex., jouant, dormant, mangeant, prenant un bain - **tableau 2**). Les énumérateurs ont également compté le nombre de fois que les enfants mettent leur main à la bouche, le nombre de fois que leur soignant met sa main dans la bouche de l'enfant et le nombre de fois qu'un objet entre dans la bouche de l'enfant. Le sondage d'observation structurée complet se trouve dans l'annexe B-2.

**Tableau 2** : Liste de tous les environnements, cadres et activités utilisés pour caractériser les comportements des enfants.

Environnement	Cadre	Activité
Dans la maison	Sol non amélioré <sup>b</sup>	Jouant ou assis
Hors de la maison <sup>a</sup>	Sol amélioré <sup>c</sup>	Dormant
Dans la cuisine	Loin du sol	Se lavant les mains
Avec le bétail	Dans ou près d'une source d'eau/rigole ouverte	Prenant un bain
Dans les champs	Poubelle/Zone de déchets	Déféquant
		Mangeant ou buvant

<sup>a</sup> Hors de la maison signifie à proximité de la maison

<sup>b</sup> Sol non amélioré inclut les sols non solides comme la terre ou la saleté

<sup>c</sup> Sol amélioré inclut les sols faits (comme les sols en béton ou en bois), les nattes et les tapis

Lors de la phase II, nous avons remplacé les observations profondes par les observations sur place : les énumérateurs observaient directement l'infrastructure de la maison, les infrastructures WASH telles que, les toilettes, les stations de lavage des mains, les sources d'eau (si elles sont accessibles à 10 minutes à pied), la présence des fèces autour de la maison et la présence d'eau stagnante autour de la maison. Le guide d'observation sur place complet dans l'annexe B-3.

Nous avons utilisé des vérifications sur place et des revérifications pour un contrôle de la qualité lors du sondage. Un superviseur sur le terrain a effectué les vérifications sur place pour 40 % (6/15) des sondages lors de la phase I. Nous n'avons pas effectué de revérifications lors de la phase I : nous avons estimé qu'après 2-4 heures d'observations, une nouvelle visite au ménage pour poser de nouvelles questions manquait d'éthique. Lors de la phase II, nous avons effectué des vérifications sur place sur 20 % (41/210) des sondages et des revérifications sur 19 % (39/210) des sondages.

### **Échantillonnage des *E. coli* et des pathogènes**

Lors des deux phases, nous avons collecté des échantillons qui ont donc été testés pour l'*E. coli* dans notre laboratoire de terrain de Manakana. Nous avons collecté des échantillons d'eau potable, de sol, d'aliments cuits, d'aliments crus, de l'eau de rinçage des mains des enfants et des soignants (Voir L'annexe C pour le protocole d'échantillonnage sur le terrain. Lors de la collecte, les échantillons ont été immédiatement placés dans des glacières contenant de la glace pour le transport et conservés sur de la glace jusqu'au traitement dans l'intervalle de six heures.

Nous avons collecté de l'eau potable au point d'utilisation (POU) en utilisant des sacs d'échantillonnage stériles WhirlPak qui contiennent du thiosulfate de sodium pour neutraliser toute présence de chlore. Les échantillons d'eau étaient soit directement recueillis (c.-à-d., de l'eau non traitée), soit bouillis pour faire le thé de riz (ranonampango). Pour la collecte des échantillons d'eau potable, les énumérateurs demandent aux répondants de puiser de l'eau du conteneur de stockage (en général un seau ou un jerrycan pour de l'eau non bouillie et une marmite pour le thé de riz) avec le gobelet que l'enfant utiliserait et de le verser dans un sac d'échantillonnage en plastique tenu par l'énumérateur.

Nous avons collecté du sol à l'aide d'une cuillère stérile (environ 5 grammes de sol en 2-3 cuillérées) et l'avons placé dans un sac d'échantillonnage stérile en plastique. Nous avons prélevé un échantillon de la zone où l'enfant aurait joué selon les indications du soignant, en général à l'entrée de la maison. Nous n'avons pas pu faire sécher et mesurer la teneur en humidité des échantillons de sol lors de l'analyse : de même, les résultats présentent les valeurs NPP d'*E. coli* relatives à la masse totale du sol, contrairement à la masse sèche. Les valeurs NPP d'*E. coli* par gramme sec seraient plus élevées que celles rapportées. Nous avons collecté des aliments en demandant aux participants de placer une ou deux cuillérées de l'aliment (environ 3 à 5 grammes) dans un sac d'échantillonnage stérile en plastique à l'aide des ustensiles utilisés par l'enfant. Enfin, nous avons prélevé des échantillons d'eau de rinçage des mains ; l'enfant ou le soignant a frotté ses mains dans le sac d'échantillonnage stérile en plastique contenant 100 ml d'eau distillée et tenu par l'énumérateur. Chaque main a été frottée et rincée dans le sac d'échantillonnage pendant 10 à 20 secondes.

Notre équipe d'énumérateurs principale était basée à Manakana, où nous avons établi notre laboratoire de terrain. Une équipe séparée a voyagé vers la région australe de Atsimo Atsinanana pour effectuer le sondage dans un fokontany trop éloigné pour être accessible depuis Manakana en pleine journée. L'équipe à distance n'a effectué que des tests sur des échantillons d'eau potable, d'eau de rinçage des mains des enfants et celle du soignant parce qu'elle était limitée par le temps, le personnel et les matériels qu'elle pouvait apporter sur le terrain. Cette équipe a incubé les échantillons d'*E. coli* à température ambiante parce qu'elle n'était pas à une distance en voiture d'un endroit avec l'électricité où elle pouvait établir un labo.

En plus des échantillons d'*E. coli*, nous avons collecté des échantillons sur un groupe de 26 maisons pour tester les pathogènes du sol, de l'eau potable, d'eau de rinçage des mains des enfants, des aliments crus, des selles d'enfant et des selles d'animaux dans l'environnement de l'enfant. Pour limiter la résistance culturelle due à certains tabous au sujet de la défécation, nous avons organisé des réunions avec la communauté de 30 à 45 minutes pour introduire formellement le projet, pour que les participants potentiels se sentent plus confortables lors de la participation et de la fourniture des échantillons de selles des enfants. Les travailleurs de santé de la communauté, les présidents de fokontany ou les chefs ont exhorté les mamans d'enfants de moins de deux ans à rencontrer notre équipe. Un consultant du centre ValBio ayant travaillé dans la collecte des échantillons de selles humaines dans les communautés rurales de Madagascar a expliqué l'étude et comment les échantillons de selles des enfants sont prélevés. Les mamans pouvaient se porter volontaires à la fin de la rencontre, si elles le voulaient, et les participants étaient choisis au hasard dans la liste des volontaires. Les participants ont reçu des conteneurs d'échantillons, une cuillère stérile, du savon et des gans jetables, puis ont reçu des instructions sur le prélèvement des selles d'enfants lors de la prochaine défécation après le coucher du soleil ce soir (vers 18 h) et le stockage de l'échantillon dans un endroit frais pour la collecte le lendemain. Après la collecte, nous avons congelé les échantillons à l'arrivée au laboratoire de Manakana, environ 20 heures après la défécation de l'enfant. En plus des selles de l'enfant, les énumérateurs ont prélevé l'eau potable non bouillie, l'eau de rinçage des mains des enfants, le sol, les aliments crus et les échantillons de selles d'animaux pour le test de pathogènes ; ils ont été congelés dans un intervalle de 6 heures après la collecte, après avoir été transportés au laboratoire dans une glacière. Le sol et les selles d'animaux ont été collectés directement de l'environnement à l'intérieur ou autour de la maison de l'enfant à l'aide d'une cuillère stérile. Les aliments crus ont été collectés

directement de la maison. Pour les échantillons d'eau potable et d'eau de rinçage des mains, nous avons les filtrés par filtration de membrane, puis nous avons congelé le filtre dans un tube centrifuge stérile.

Nous avons remis plus de 118 échantillons congelés à l'Institut Pasteur d'Antananarivo (Madagascar) pour des tests de 6 différents pathogènes : *Campylobacter*, *Shigella*, *Salmonella*, *Adenovirus*, *Entamoeba Histolytica* et *Giardia Intestinalis*. L'ARN de nos échantillons était trop endommagé pour être analysé pour le Rotavirus.

## Éthique

Le protocole de cette étude a été révisé et approuvé par le Comité de révision indépendant et le Comité de révision de l'éthique HML-IRB (ID de l'étude de 2011). Dans chaque ménage de l'étude, nous avons obtenu un consentement éclairé écrit du soignant après avoir décrit l'étude (Annexe A-1, A-2 et A-3). Chaque soignant doit avoir plus de 18 ans pour participer à l'étude.

L'équipe de sondage a été introduite à la communauté par le personnel de FIOVANA lors de réunions avec les leaders locaux, puis a travaillé avec le personnel de santé de la communauté pour approcher les ménages sélectionnés de manière appropriée.

## Data Analysis

### ***E. coli* analysis**

Nous avons utilisé le test de sac à compartiment Aquagenx pour tester les échantillons d'étude pour l'*E. coli* (protocole dans l'annexe D). Ce test se base sur les tests de présence/d'absence dans 5 différents compartiments (d'une contenance de 1 ml, 3 ml, 10 ml, 30 ml et 56 ml, respectivement) pour estimer le nombre le plus probable (NPP) d'*E. coli* par échantillon. Pour les échantillons d'eau potable et de rinçage des mains, le médium de croissance a été ajouté et dissous dans 100 ml d'eau d'échantillon et l'échantillon a ensuite été versé dans le sac à compartiment. Pour les échantillons d'aliments et de sol, nous avons mélangé un gramme d'échantillon à 100 ml d'eau distillée dans un sac stérile WhirlPak, puis versé le médium de croissance dans le sac et transféré l'échantillon dans le sac à compartiment. Les échantillons amenés au laboratoire à Manakana ont été incubés à 37 °C pendant 20 à 24 heures dans un incubateur de laboratoire. Les échantillons collectés et analysés sur le terrain par l'équipe qui a voyagé pour la région australe d'Atsimo Atsinanana ont été incubés à température ambiante (entre 17 °C et 25 °C) pendant 43 à 61 heures, selon les fluctuations de la température ambiante. Le fabricant recommande un temps d'incubation de plus de 48 heures si la température descend en dessous de 20 °C. Après incubation, un changement de couleur dans le compartiment indiquait que le compartiment était positif à l'*E. coli*. Selon les compartiments qui ont testé positifs à l'*E. coli*, le nombre le plus probable (NPP) pour l'*E. coli* était estimé en fonction des tables de référence fournies par le fabricant.

Un avantage majeur de la méthode de test par sac à compartiment est qu'elle peut être utilisée avec des matériaux solides tels que le sol ou les aliments et peut également fonctionner pour tester les eaux troubles. Cet aspect était très important parce que les sources d'eau incluaient des eaux de rivières très troubles, pendant que l'eau de rinçage des mains contenait parfois des particules provenant des mains des sujets.

Pour le contrôle de la qualité, les équipes sur le terrain ont également analysé des échantillons vides chaque jour. Ceux-ci incluaient des vides du terrain (de l'eau distillée traitée comme un échantillon du terrain), ce qui a permis d'identifier si les procédures sur le terrain ont introduit des éléments contaminants dans les échantillons. L'équipe sur le terrain basée à Manakana a également traité un vide de laboratoire (de l'eau distillée traitée comme un échantillon de laboratoire) chaque jour pour voir si les procédures de laboratoire n'avaient pas introduit des éléments contaminants. Aucun vide de laboratoire ou du terrain n'a testé positif à l'*E. coli*, alors nous ne pensons pas que nos procédures ont introduit des éléments de contamination dans les échantillons.

## **Analyse des pathogènes**

L'Institut Pasteur de Madagascar a testé les échantillons de pathogènes pour la présence/absence. Nous avons envoyé des échantillons congelés (quelques grammes de matières fécales, aliments et sol). Pour les échantillons d'eau (l'eau potable et l'eau de rinçage), nous avons envoyé des filtres collectés après la filtration de la membrane (également congelés). Nous n'avons pas eu d'information au sujet des méthodes spécifiques utilisées par le laboratoire pour analyser les pathogènes, à l'exception de la Salmonella qui a été testée par la méthode VIDAS.<sup>35</sup> Nous ne savons pas s'ils ont quantifié l'inhibition de la PCR dans des compartiments environnementaux différents.<sup>36,37</sup>

## **Évaluation quantitative du risque microbien (EQRM)**

Nous avons effectué une évaluation quantitative du risque microbien (EQRM) pour identifier les contributions relatives des quatre voies d'exposition fécales chez les enfants dans les trois catégories d'âge : 0 à 6 mois, 7 à 12 mois et 13 à 24 mois. Une EQRM comprend quatre étapes : une identification aléatoire, une évaluation de l'exposition, une analyse de dose-réponse et une caractérisation du risque. Nous avons résumé les quatre étapes ci-dessous.

- **Identification aléatoire.** La mesure d'une suite compréhensive des pathogènes fécaux dans tous nos échantillons du terrain était hors de la portée de cette étude. Au contraire, nous avons mesuré l'E. coli, car sa concentration est étroitement liée à celle de l'agent pathogène E. coli O157:H7, une souche qui pose la menace la plus sévère à la santé publique et dont les modèles de dose-réponse sont disponibles.<sup>38</sup> Selon la littérature, nous avons assumé que 8 % de la population totale des E. coli étaient pathogènes.<sup>39-42</sup> L'E. coli peut aussi servir de proxy pour les matières fécales de manière générale.
- **Évaluation de l'exposition.** Nous avons sélectionné quatre voies d'exposition : l'ingestion par l'eau potable, le sol, le contact main-bouche et les aliments. Nous avons ignoré les expositions des objets à la bouche et aux mouches, telles que rapportées par les études précédentes dans les zones rurales du Bangladesh et d'autres cadres à revenu faibles ; celles-ci ont montré que i) la fréquence du contact objet-bouche est en général plus basse que le contact main-bouche,<sup>43</sup> ii) les mains jouaient un rôle plus important que celui des objets dans l'ingestion des pathogènes<sup>14</sup> et iii) les mouches ne sont pas associées à la diarrhée dans les zones rurales du Bangladesh.<sup>12</sup> De plus, chasser les mouches demande des ressources<sup>12</sup> additionnelles difficiles à obtenir dans ces zones éloignées. Les équations de calcul de l'ingestion d'E. coli chaque jour et par rapport aux voies d'exposition sont fournies dans l'annexe G-1 ; équations 1-2. Pour la quantité modelée des E. coli ingérée par jour (dose), nous avons calculé les moyennes géométriques et les incertitudes exprimées comme l'écart standard géométrique. Toutes les valeurs d'exposition sont présentées dans l'annexe G-2.
- **Dose-réponse (probabilité d'infection) :** nous avons utilisé un modèle de dose-réponse pour estimer la probabilité d'infection quotidienne ( $P_{(inf, journalier)}$ ) par l'E. coli O157:H7. Un modèle de dose-réponse décrit la réaction (par ex., la magnitude de l'infection) à une exposition (par ex., une certaine quantité de pathogènes). Nous avons appliqué le modèle  $\beta$ -Poisson pour déterminer le risque associé à l'E. coli O157:H7 (annexe G-1 ; équation 3).<sup>44</sup>
- **Caractérisation du risque :** nous avons d'abord déterminé la probabilité annuelle de la maladie par l'E. coli O157:H7 (annexe G-1 ; équations 4-5) et nous l'avons caractérisé en utilisant les AVI (années vécues avec de l'incapacité) par personne et par année (annexe G-1 ; équations 6-7). Nous avons inclus trois différents résultats d'infection : la diarrhée liquide, la diarrhée sanguinolente et la mort par diarrhée.<sup>40</sup> Toutes les équations étaient de Byrne et coll., 2021.<sup>21</sup>

Nous avons conduit une analyse incertaine en utilisant les 1 000 simulations de Monte-Carlo dans lesquelles nous avons remplacé les valeurs d'entrée unique de nos résultats sur le terrain avec les plages de la littérature. Nous avons effectué cette analyse avec le paquet MonteCarlo dans R.

## 4 Résultats

### Sondages sur les soignants

Nous avons extrait des statistiques générales des sondages sur les soignants pour mieux comprendre les conditions de vie et les habitudes en termes de nutrition, de comportement alimentaire, d'accès au WASH et de perception de la santé dans les trois régions étudiées (**tableau 3**).

#### **Mobilité et comportements alimentaires**

Parmi les 220 enfants étudiés pendant les deux phases (nous avons enlevé deux ménages de l'analyse parce que nous avons des doutes sur la qualité de leurs réponses), plus de 50 % avaient entre 13 et 24 mois et près de 60 % étaient des filles (**tableau 3**). La grande majorité des enfants qui avaient moins de 6 mois étaient allaités exclusivement au lait maternel et n'étaient pas mobiles. La plupart des enfants entre 7 et 12 mois consommaient d'autres aliments en plus du lait maternel et bon nombre d'entre eux (64 %) rampaient. Plus de 80 % des enfants au-dessus de 13 mois allaitaient toujours, mais mangeaient aussi de la nourriture solide (en particulier du riz) et la majorité marchait (environ 80 %).

#### **Prévalence de la diarrhée**

Selon les sondages sur les soignants, 26 % des enfants avaient eu une diarrhée (c.à.d., trois ou quatre selles molles ou liquides en une journée) dans les deux semaines précédentes. Les enfants de moins de 6 mois étaient moins susceptibles de faire une diarrhée (11 % des soignants ont répondu que les enfants avaient fait une diarrhée dans les deux semaines précédentes), par rapport aux deux autres catégories (36 % des enfants de 7-24 mois et 26 % des enfants de 13-24 mois). Ces deux taux sont légèrement plus élevés que ceux rapportés dans les zones rurales à l'échelle nationale (prévalence de deux semaines de diarrhée de 16 % pour les enfants de moins d'un an et 21 % pour les enfants de 12-23 mois).<sup>45</sup> Nos résultats et la littérature suggèrent que le risque d'exposition aux matières fécales augmente au fur et à mesure que les enfants grandissent. Lorsque les enfants peuvent se déplacer et ont plus d'interactions avec leur environnement, ils sont plus susceptibles d'ingérer des pathogènes, causant des épisodes fréquents de diarrhée.

Avant les cyclones, 53 % (8/15) des soignants ont rapporté un épisode de diarrhée dans les deux semaines précédentes, par rapport à 24 % (49/205) après les cyclones. Cependant, le nombre de ménages interviewés avant les cyclones (N=15) était trop bas pour être représentatif et directement comparé avec les valeurs post-cyclones.

#### **Nutrition**

Nous avons également mesuré le périmètre brachial (PB) des enfants de plus de 6 mois. Le PB moyen était de 14,5 cm pour les 7-12 mois et les 13-24 mois, pendant que la valeur dU PB minimal observé était de 11,5 cm pour les 7-12 mois et de 12,0 cm pour les 13-24 mois. Aucun de ses enfants observés n'était classifié sous la malnutrition aigüe sévère (MAS ; PB < 11,5 cm), 7 % des enfants observés étaient classifiés sous la malnutrition aigüe modérée (MAM ; PB de 11,5-12,4 cm) et le reste (92 %) avait un PB normal ( $\geq 12,5$ ) selon les normes de l'OMS. La prévalence de la MAM était plus élevée que celle rapportée par FIOVANA pour les enfants en dessous de 5 ans (4 % dans les trois régions étudiées, communication personnelle d'août 2022), mais elle corrobore les taux de 10-12 % de malnutrition rapportés précédemment dans ces trois régions.<sup>46</sup> Selon vos observations, la prévalence de la MAM chez les enfants de 13-24 mois (9 %, 10/117) était plus élevée que chez les enfants de 7-12 mois (4 %, 2/48). Ces observations vont de pair avec celles de la littérature, ce qui montre que le retard était associé à la croissance en âge de l'enfant dans la région de Vatovavy.<sup>47</sup>

Nous n'avons observé aucune différence statistique dans le PB avant et après les cyclones ( $p > 0,05$ , test de Wilcoxon), bien que la taille de notre échantillon avant cyclone soit trop petite pour détecter de telles différences.



### Pratiques d'hygiène

En ce qui concerne l'hygiène, la grande majorité des ménages (176/220 - 80 %) a un sol en bois recouvert d'une natte de fibres naturelles, tandis que seuls 11 % (24/220) des ménages avaient un sol de terre. Les 9 % restants avaient un sol cimenté ou une moquette. Presque tous les ménages (212/220 - 96 %) ont dit nettoyer leur maison chaque jour sans utiliser des produits désinfectants. Les stations de lavage des mains étaient relativement rares (présentes dans 10 % des ménages ; **tableau 3**), mais 65 % (141/220) des soignants ont dit se laver leurs mains plus de trois fois par jour avec de l'eau uniquement (50 %, 111/217). Le reste utilisait du savon (31 %, 68/217) ou des cendres (17 %, 38/217). Entre 80 % et 90 % des soignants ont rapporté laver les mains des enfants entre une à trois fois par jour.

Le bétail était présent dans la vaste majorité des ménages sondés (91 %), soit les poulets (60 %) ou les bœufs (20 %). Près de 80 % (171/220) des aliments conservés des ménages qui n'étaient pas consommés immédiatement, étaient principalement dans des conteneurs couverts dans la maison. Presque tous les ménages (169/171) ont rapporté avoir conservé de la nourriture cuite pas plus d'un jour.

### Assainissement

La défécation à ciel ouvert était très courante avec 50 % des ménages qui en pratiquent (**tableau 3**). Parmi les enfants, 51 % (112/220) déféquaient dans des couches lavables et 44 % (98/220) déféquaient hors de la maison (dans un trou, dans un buisson, dans l'eau ou dans la zone de poubelle). Parmi les enfants utilisant des couches réutilisables, 85 % des soignants (95/112) nettoyaient les couches dans la rivière et 64 % (142/217) des soignants lavaient leurs mains tout le temps ou presque après avoir manipulé les selles des enfants. Moins de 10 % (17/217) ont rapporté ne jamais laver leurs mains après avoir manipulé les selles des enfants.

### Accès à l'eau

En termes d'accès à l'eau, seuls 30 % (63/220) des ménages sondés avaient accès à des sources d'eau potable améliorées, mais 70 % (155/220) de tous les ménages ont rapporté traiter l'eau avant de la donner à l'enfant. Presque tous ceux qui traitaient l'eau ont rapporté la bouillir (154/155), bien que 12 % (18/155) ajoutaient de l'eau froide non bouillie à la nourriture préparée/cuite ou à l'eau bouillie qu'ils donnaient aux enfants.

**Tableau 3** : Les statistiques générales des sondages sur les soignants lors de la phase I précyclone, la phase I post-cyclone et la phase II.

	Catégorie	Phase I précyclone (N=15)	Phase I post-cyclone (N=20)	Phase II (N=185)
Âge de l'enfant	0 à 6 mois	N=6 (40 %)	N=2 (10 %)	N=45 (24 %)
	7 à 12 mois	N=2 (13 %)	N=4 (20 %)	N=44 (24 %)
	13 à 24 mois	N=7 (47 %)	N=14 (70 %)	N=96 (52 %)
Genre	Femme	N=10 (67 %)	N=12 (60 %)	N=104 (56 %)
	Homme	N=5 (33 %)	N=8 (40 %)	N=81 (44 %)
Mobilité	0 à 6 mois Pas de mobilité Déplacement à quatre pattes Cabotage <sup>a</sup> Marche	N=6 (100 %)	N=2 (100 %)	N=45 (100 %)
	7 à 12 mois Pas de mobilité Déplacement à quatre pattes Cabotage <sup>a</sup>	N=1 (50 %) N=1 (50 %)	N=3 (75 %) N=1 (25 %)	N=11 (25 %) N=27 (61 %) N=5 (12 %) N=1 (2 %)

	Catégorie	Phase I précyclone (N=15)	Phase I post- cyclone (N=20)	Phase II (N=185)
	Marche			
	13 à 24 mois Pas de mobilité Déplacement à quatre pattes Cabotage <sup>a</sup> Marche	N=7 (100 %)	N=1 (7 %) N=13 (93 %)	N=6 (6 %) N=19 (20 %) N=71 (74 %)
Allaitement maternel	0 à 6 mois Allaitement maternel uniquement Allaitement maternel + d'autres aliments Pas d'allaitement maternel	N=4 (67 %) N=2 (33 %)	N=2 (100 %)	N=41 (91 %) N=4 (9 %)
	7 à 12 mois Allaitement maternel uniquement Allaitement maternel + d'autres aliments Pas d'allaitement maternel	N=2 (100 %)	N=4 (100 %)	N=3 (9 %) N=41 (91 %)
	13 à 24 mois Allaitement maternel uniquement Allaitement maternel + d'autres aliments Pas d'allaitement maternel	N=5 (71 %) N=2 (29 %)	N=8 (57 %) N=6 (43 %)	N=83 (86 %) N=13 (14 %)
Maison avec un sol sale		N=10 (67 %)	N=3 (15 %)	N=11 (5,9 %)
Défécation à ciel ouvert		N=7 (47 %)	N=15 (75 %)	N=105 (57 %)
L'eau potable traitée <sup>b</sup>		N=5 (33 %)	N=2 (10 %)	N=56 (30 %)
Présence de station de lavage des mains		N=2 (13 %)	N=2 (10 %)	N=18 (10 %)
PB <sup>c</sup>	0 à 6 mois	S/O	S/O	S/O
	7 à 12 mois % De MAM <sup>d</sup> % de PB normal	N=1 (50 %) N=1 (50 %)	N=0 (0 %) N=3 (100 %)	N=1 (2 %) N=42 (98 %)
	13 à 24 mois % De MAM <sup>d</sup> % de PB normal	N=1 (1 %) N=6 (90 %)	N=4 (29 %) N=10 (71 %)	N=5 (5 %) N=91 (95 %)
Fréquence de la diarrhée	0 à 6 mois Plus d'une fois par mois Une fois tous les 2-3 mois 2-3 fois par an Une fois par an ou moins Jamais	N= 1 (17 %) N= 1 (17 %) N= 1 (17 %) N= 3 (50 %)	N= 2 (100 %)	N= 3 (7 %) N= 2 (4 %) N= 1 (2 %) N= 39 (87 %)
	7 à 12 mois			

	Catégorie	Phase I précyclone (N=15)	Phase I post- cyclone (N=20)	Phase II (N=185)
	Plus d'une fois par mois	N= 1 (50 %)	N= 1 (25 %)	N= 1 (2 %)
	Une fois tous les 2-3 mois		N= 1 (25 %)	N= 10 (23 %)
	2-3 fois par an	N= 1 (50 %)	N= 1 (25 %)	N= 12 (27 %)
	Une fois par an ou moins		N=1 (25 %)	N= 6 (14 %)
	Jamais			N= 15 (34 %)
	13 à 24 mois	N= 1 (14 %)	N=3 (21 %)	N= 10 (10 %)
	Plus d'une fois par mois		N=1 (7 %)	N= 11 (11 %)
	Une fois tous les 2-3 mois		N=5 (36 %)	N= 36 (38 %)
	2-3 fois par an		N=2 (14 %)	N= 14 (15 %)
	Une fois par an ou moins		N=3 (21 %)	N= 25 (26 %)
	Jamais			

<sup>a</sup> Cabotage : l'enfant marche en tenant les meubles ou d'autres structures avant de marcher de façon indépendante

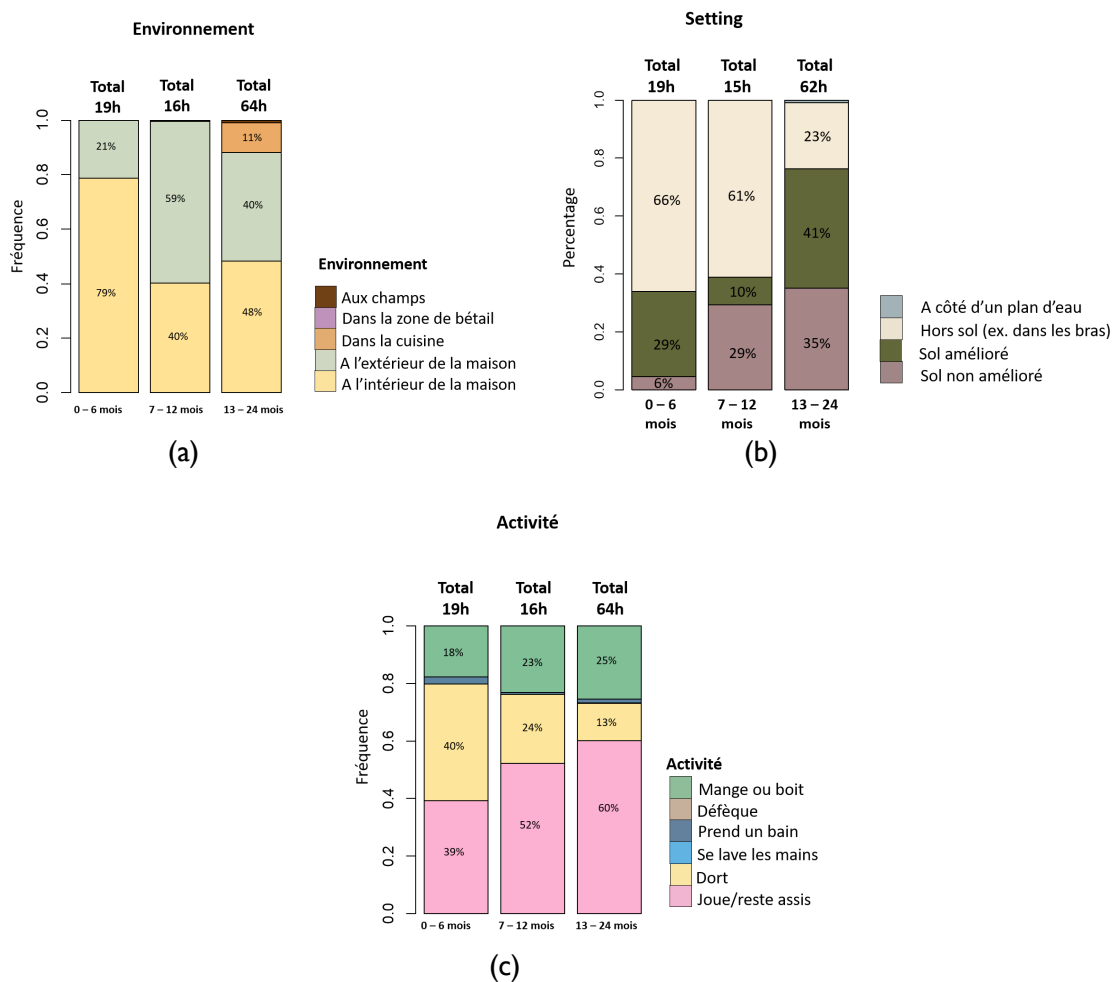
<sup>b</sup> L'eau potable améliorée inclue l'eau du robinet, les forages, les sources protégées, les puits protégés, l'eau de pluie et l'eau en bouteille/sachet

<sup>c</sup> PB : Périmètre brachial

<sup>d</sup> MAM : Malnutrition aigüe modérée

## Les observations structurées

En tout, nous avons recueilli près de 95 heures d'observations structurées, dont la majeure partie pour les enfants de 13 à 24 mois (environ 62 heures d'observations pour cette catégorie, contre 19 heures pour la catégorie de 0 à 6 mois et 15 heures pour la catégorie de 7 à 12 mois). La grande partie des observations structurées (85 %) commençait dans la matinée (en général après 10 h) et se terminait en milieu d'après-midi (juste avant 15 h). Moins de 10 % des observations structurées commençaient avant 10 h ou se terminaient après 15 h, ce qui signifie que nous manquons les activités matinales ou de soirée. Nous visualisons le temps mis dans chaque environnement, dans chaque cadre et dans chaque activité (**figure 4**) pour nous aider à comprendre comment les enfants de chaque catégorie d'âge passent leur temps en général.



**Figure 4** : Les trouvaillies des observations structurées : le temps passé dans l'environnement (a), dans le cadre (b) et par activité (c). Il faut noter que « hors de la maison » signifie les endroits qui sont à proximité de la maison.

**L'environnement.** Les enfants observés passent en général du temps à proximité de la maison : les bébés de moins de 6 mois passent 80 % de leur temps dans la maison et 20 % à l'extérieur, pendant que les enfants de 7 à 24 mois passent plus de temps hors de la maison (59 % du temps pour les 7 à 12 mois et 40 % du temps pour les 13 à 24 mois). Les enfants entre 13 à 24 mois passent plus de temps dans la cuisine (11 %) que les autres catégories (1 % pour la catégorie de 7 à 12 mois et 0 % pour les enfants de moins de 6 mois). Tous les enfants observés passent un temps limité sur le terrain (<1 %, ce qui peut être expliqué par les observations de fin de matinée : quand nous arrivions, les gens étaient déjà allés au champ). Nous avons vu seulement un enfant (1/35) jouer avec le bétail.

**Le cadre.** Les enfants de moins de 6 mois sont souvent loin du sol (66 % du temps parce que les soignants les tiennent) ou sur un sol construit (29 %, très souvent un sol en bois ou recouvert d'une natte) et passent un temps limité sur le sol en terre (6 %). Les enfants de 7 à 12 mois passent la majorité de leur temps loin du sol (61 %) et sur le sol en terre (29 %) et un temps limité sur le sol construit (10 %). Les enfants de 13 à 24 mois passent la majorité de leur temps sur un sol construit (41 %) et sur le sol en terre (35 %) et un temps limité loin du sol (23 %). Le temps passé autour de l'eau ouverte ou des rigoles ouvertes était très limité (près de 1 %).

**L'activité.** La majorité des enfants passe le temps à jouer (de 39 % du temps pour les plus jeunes à 60 % pour les plus âgés), à dormir (40 % du temps pour les plus jeunes à 13 % pour les plus âgés) et à manger (18 à 25 % du temps). Le bain représentait uniquement 1 % du temps de tous les enfants et le lavage des mains était observé seulement chez les 13 à 24 mois pour 3 des 39 enfants observés.

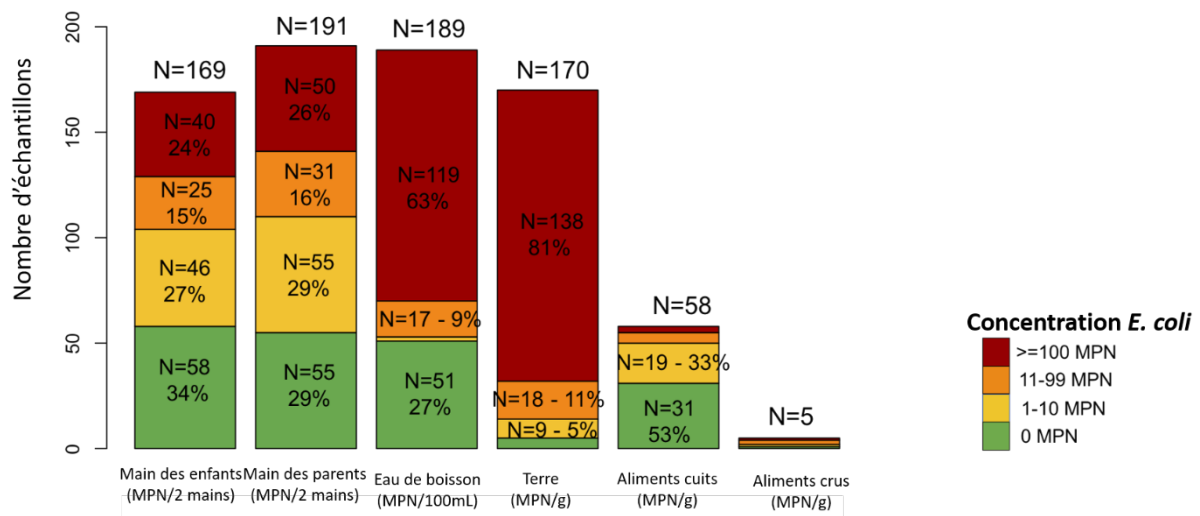
Le sol construit était très souvent sale (80 % des observations). Les énumérateurs ont rapporté la présence de selles d'enfants dans 17 % (6/35) des ménages observés, soit à l'intérieur de la maison (52 %) ou à l'extérieur, mais à proximité de la maison (43 %). La présence de selles d'enfants a été rapportée dans 66 % (23/35) des ménages observés, soit à l'intérieur de la maison (60 %) ou à l'extérieur, mais à proximité de la maison (37 %).

## *E. coli* et pathogènes

### *E. Coli*

Au final des phases 1 et 2, nous avons obtenu un total de 835 échantillons d'*E. coli* pour analyse (nous avons enlevé 78 échantillons doubles ou prélevés à la source d'eau au lieu du point d'utilisation). Nous n'avons trouvé aucune différence statistiquement incorrecte sur la contamination avant et après le cyclone pour la majorité des voies ( $p > 0,05$ , test de Wilcoxon), à l'exception de celle du sol : la moyenne géométrique pour le sol avant les deux cyclones était de 9 NPP/g ; elle a augmenté à 83 NPP/g après les cyclones ( $p < 0,001$ , test de Wilcoxon). Dans l'EQRМ, nous avons utilisé la valeur après-cyclone (par ex., 83 NPP/g) pour refléter les risques potentiellement plus élevés associés aux conditions d'après-cyclone, la période de collecte de la majorité de nos données. Pour les autres voies, nous avons utilisé la moyenne géométrique générale combinée aux données d'avant et d'après-cyclone.

Le sol et l'eau potable étaient fortement contaminés, avec plus de 60 % des échantillons ayant des concentrations élevées d'*E. coli* au-dessus de 100 NPP par gramme (pour le sol) ou par 100 ml (pour l'eau) (**figure 5**). Il faut noter que nous ne pouvons pas directement comparer les concentrations d'*E. coli* à travers tous les compartiments à cause de la différence d'unités (mais notre EQRМ présentée ci-dessous permettra des comparaisons directes). Toutefois, les échantillons d'eau de rinçage des mains des enfants et des soignants peuvent être comparés, et ils ont montré des tendances similaires ; 30 % des échantillons ont été classifiés comme sûrs (0 NPP/2 mains) et 25 % des échantillons ont été classés comme fortement contaminés (au-dessus de 100 NPP/2 mains). Le nombre d'échantillons d'eau de rinçage des mains des enfants était plus bas que celui des soignants parce que les échantillons des enfants étaient plus difficiles à prélever. Dans certains cas, les soignants ont refusé que les mains des enfants soient rincées à cause de la croyance qu'il n'est pas sain de les laver avec autre chose que de l'eau chaude. Des échantillons d'aliments étaient les plus difficiles à collecter (la **figure 5** montre qu'il ne nous a pas été facile de les prélever) parce que le manque d'aliments après les deux cyclones et la résistance des répondants à partager même de petites quantités. Les aliments crus étaient encore plus difficiles à prélever parce que manger de la nourriture crue n'est pas commun dans ces régions : selon le sondage, 60 % des enfants ne mangeaient jamais de la nourriture crue, pendant que 34 % ne mangeaient des aliments crus qu'une à cinq fois par semaine. La majeure partie des aliments cuits collectés était du riz (56/58) et la moitié des échantillons était sûre (0 NPP/g).



**Figure 5 :** Le niveau de contamination des *E. coli* parmi des six différents compartiments environnementaux. Seuls les échantillons prélevés après les deux cyclones sont présentés dans cette figure.

Nous avons également comparé les niveaux de contamination à travers les différentes régions et nous n'avons observé aucune différence majeure (annexe F : figure F.1) : aucune région n'a été plus contaminée qu'une autre.

En plus, nous avons vérifié les différences dans les niveaux de contamination à travers les types de sources d'eau : bien que nous ayons prélevé de l'eau au point d'utilisation, nous avons voulu savoir si le type de source avait une influence sur la contamination au point d'utilisation. Nous avons observé que l'eau potable était fortement contaminée à travers tous les types de source (annexe F : figure F.2) et que puiser de l'eau d'une source améliorée par rapport à une source non améliorée ne constituait pas nécessairement une protection contre la dégradation de la qualité de l'eau pendant la conservation à la maison (les statistiques de la contamination entre la source améliorée et celle non améliorée n'est pas différente,  $p=0,05$  test de Wilcoxon). Cependant, l'eau bouillie semble remédier efficacement à la contamination : pour les 148 échantillons d'eau sur lesquels nous avons l'information par rapport à si elle a été bouillie ou non, la moyenne géométrique pour les échantillons d'eau bouillie ( $N=44$ ) était de 16 NPP/100 ml, comparés à 121 NPP/100 ml pour les échantillons d'eau non bouillie ( $N=104$  ;  $p<0,05$  test de Wilcoxon).

Nous n'avons trouvé aucune différence statistique importante dans la contamination par l'*E. coli* entre les ménages possédant du bétail et ceux qui n'en possédaient pas ( $p>0,05$  test de Wilcoxon), mais le nombre de ménages sans bétail pourrait être trop bas pour que de telles différences soient observées ( $N=20/220$ ).

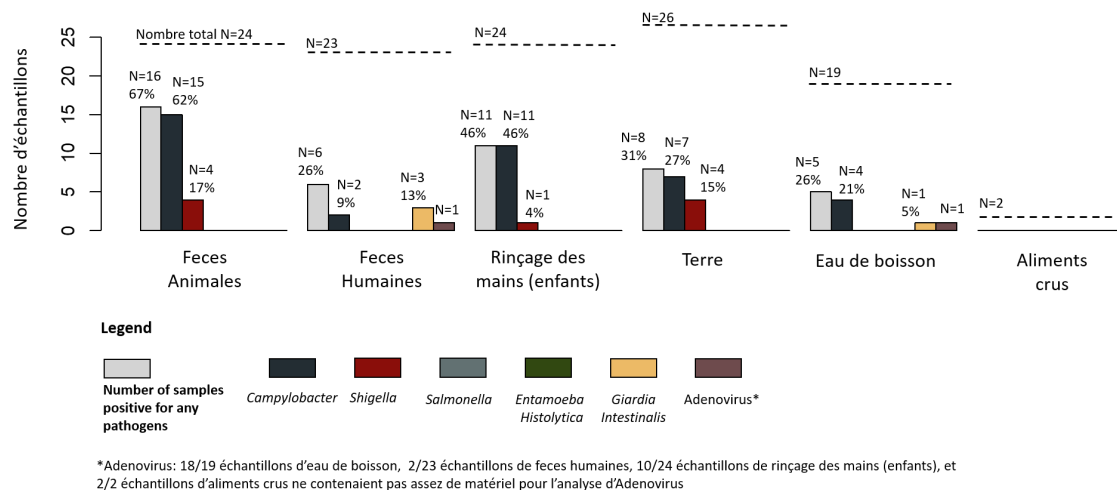
### Pathogènes

Nous avons prélevé un total de 118 échantillons représentant deux sources potentielles de contamination : (les selles d'enfants et d'animaux) et quatre compartiments environnementaux (figure 6). Pour les selles d'animaux, 14/24 échantillons viennent des poulets, 9/24 des bœufs et 1/24 d'un chien. Il est important de noter que les selles des enfants ne sont pas une source naturelle de pathogènes entériques, par conséquent, la présence de pathogènes est un signe d'infection.

Les selles d'animaux étaient plus contaminées de pathogènes que tout autre type d'échantillons (16/24 - 67 % des échantillons étaient positifs pour au moins un pathogène), en accord avec la nature de cet

échantillon (une source à l'opposée d'un compartiment environnemental). Les selles des enfants sont les moins contaminées que les compartiments environnementaux : la prévalence des pathogènes était de 26 % (6/23) pour les selles des enfants, contre 46 % (11/24) pour l'eau de rinçage des mains des enfants et 31 % (8/26) pour le sol. Nous avons trouvé la même prévalence pour les selles des enfants que pour l'eau potable 26 % (5/19). Enfin, nous n'avons trouvé aucun pathogène dans les aliments crus, probablement dû au faible nombre d'échantillons (N=2). Ces résultats sont légèrement différents de ceux trouvés dans le cas de l'*E. coli* : les deux compartiments les plus contaminés par l'*E. coli* étaient le sol et l'eau potable, pendant que nous avons trouvé que l'eau de rinçage des mains et le sol étaient les compartiments ayant la prévalence la plus élevée de pathogènes entériques.

Le pathogène le plus commun était le *Campylobacter*, trouvé dans 33 % (39/118) des cas, suivi par la *Shigella* (8 % - 8/118), le *Giardia Intestinalis* (3 % - 4/118) et enfin Adénovirus (1 % - 2/118). Parmi tous les échantillons positifs pour tous les pathogènes (36 % - 43/118), le *Campylobacter* était présent dans la majorité (90 % - 39/43) des cas, suivi par la *Shigella* (32 % - 14/43), le *Giardia Intestinalis* (9 % - 4/43) et enfin Adénovirus (5 % - 2/43). Nous n'avons trouvé ni *Salmonella* ni *Entamoeba Histolytica* dans les échantillons.



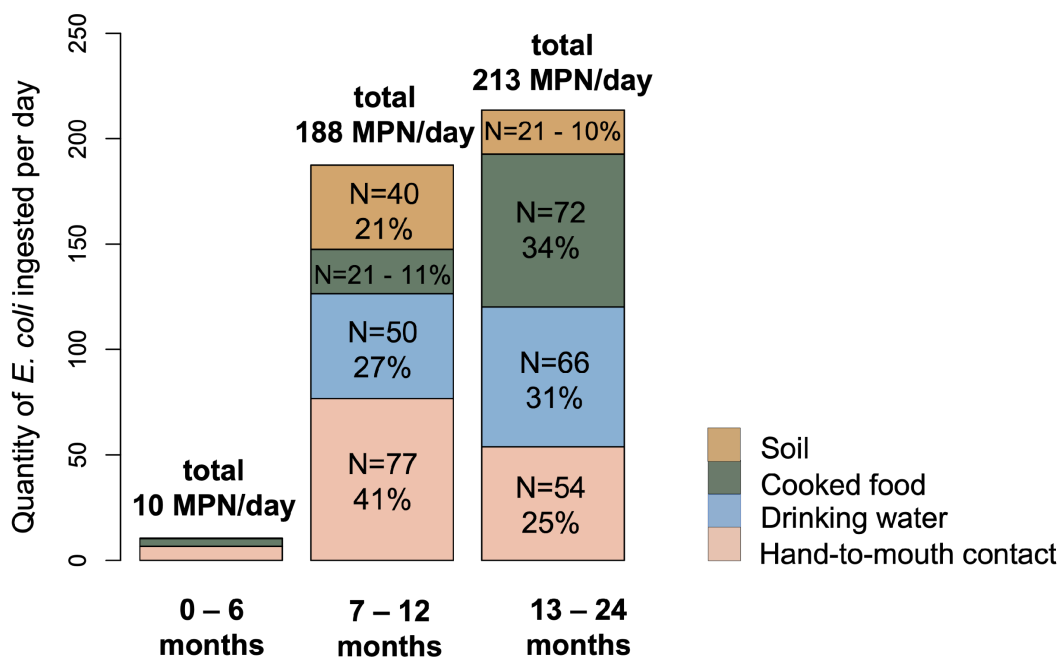
**Figure 6** : Les résultats de l'analyse de la présence/absence de pathogènes dans les six types d'échantillons. Tous les échantillons étaient collectés entre mai et juin 2022.

## Évaluation quantitative du risque microbien (EQRM)

### Estimations d'exposition

Nous avons estimé les niveaux d'exposition de quatre voies : l'eau potable, le sol à la bouche, les doigts des enfants à la bouche et les aliments cuits. Nous n'incluons pas l'exposition aux aliments crus, car le nombre d'échantillons collectés était très bas (N=5) et n'est donc pas représentatif. Nous n'avons pas inclus les doigts des soignants à la bouche des enfants non plus, car la fréquence observée pour cette voie d'exposition lors des observations structurées n'était que 0,1 contact/heure pour les 7 à 12 mois et 0 contact pour les autres catégories d'âge (annexe G-2 - tableau G.3).

La quantité journalière d'*E. coli* ingérée par un enfant augmentait avec son âge, allant de 10 NPP/jour pour les 0 à 6 mois à 188 NPP/jour pour les 7 à 12 mois et 213 NPP/jour pour les 13 à 24 mois (figure 7).



**Figure 7** : La quantité d'*E. coli* ingérée par un enfant par jour par catégorie d'âge et par voie d'exposition.

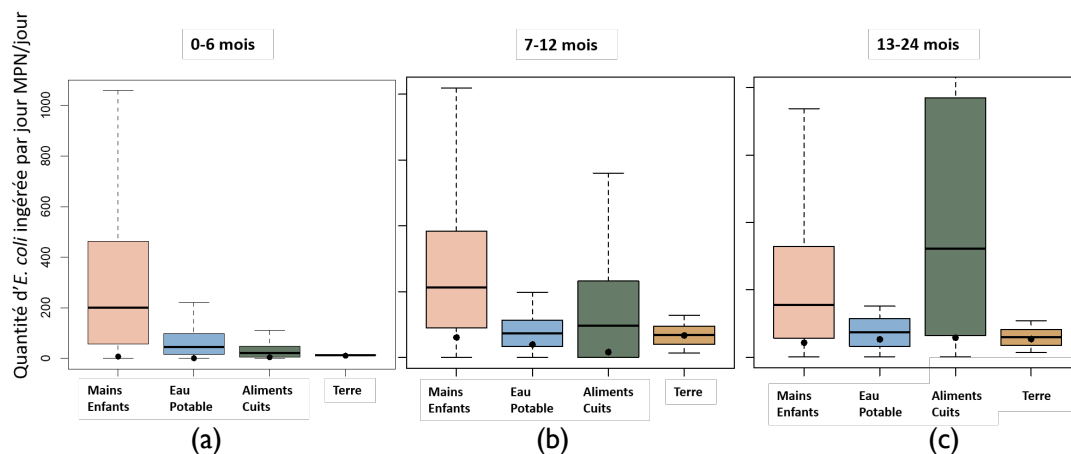
La voie principale pour l'ingestion d'*E. coli* parmi les enfants de moins de 6 mois (**figure 7**) était le contact de la main à la bouche (7 NPP/jour ou 70 % de l'ingestion totale), suivi des aliments cuits (3 NPP/jour ou 30 % de l'ingestion totale). L'eau potable était une voie négligeable parce que la majorité des enfants de ce groupe d'âge étaient allaités exclusivement au lait maternel et le sol était aussi négligeable pour cette catégorie, car un seul soignant (1/53) a rapporté avoir vu leur enfant manger du sol lors des trois jours précédents.

La voie principale pour l'ingestion d'*E. coli* parmi les enfants de 7 à 12 mois (**figure 7**) était le contact main-bouche (77 MPN/jour ou 41 % de l'ingestion totale), suivi de l'eau potable (50 NPP/jour ou 27 % de l'ingestion totale), du sol (40 NPP/jour ou 21 % de l'ingestion totale) et des aliments (21 NPP/jour ou 11 % de l'ingestion totale).

Enfin, la voie principale pour l'ingestion d'*E. coli* parmi les enfants de 13 à 24 mois était par les aliments (72 NPP/jour ou 34 % de l'ingestion totale), suivis de l'eau potable (66 NPP/jour ou 31 % de l'ingestion totale) et du contact main-bouche (54 NPP/jour ou 25 % de l'ingestion totale). L'ingestion de l'*E. coli* par l'ingestion du sol représentait 21 NPP/jour ou 10 % de l'ingestion totale (**figure 7**).

L'analyse de l'incertitude nous a permis de quantifier l'impact des hypothèses du modèle sur le résultat des estimations d'exposition. La **figure 8** représente une plage d'estimations d'exposition que nous aurions pu obtenir si nous avions des entrées de modèle utilisé de la littérature (toutes les valeurs d'exposition sont présentées dans l'annexe G-2) plutôt que les valeurs que nous avons mesurées sur le terrain (par ex., les niveaux de contamination et les temps d'exposition). La distribution des estimations d'exposition était large pour presque toutes les voies, indiquant des incertitudes élevées.





**Figure 8** : L'ingestion journalière d'*E. coli* (NPP/jour) pour chaque voie d'exposition et chaque catégorie d'âge : (a) 0 à 6 mois, (b) 7 à 12 mois et (c) 13 à 24 mois. Les boîtes à moustache représentent les distributions des résultats obtenus par 1 000 simulations de MontCarlo (les moustaches représentent les valeurs extrêmes « raisonnables » [ $1.5 \times$  Inter-Quartile Range] excluant les valeurs aberrantes, les boîtes représentent les premier et troisième quartiles et la ligne noire représente la médiane). Les points noirs montrent les valeurs estimées dans cette étude.

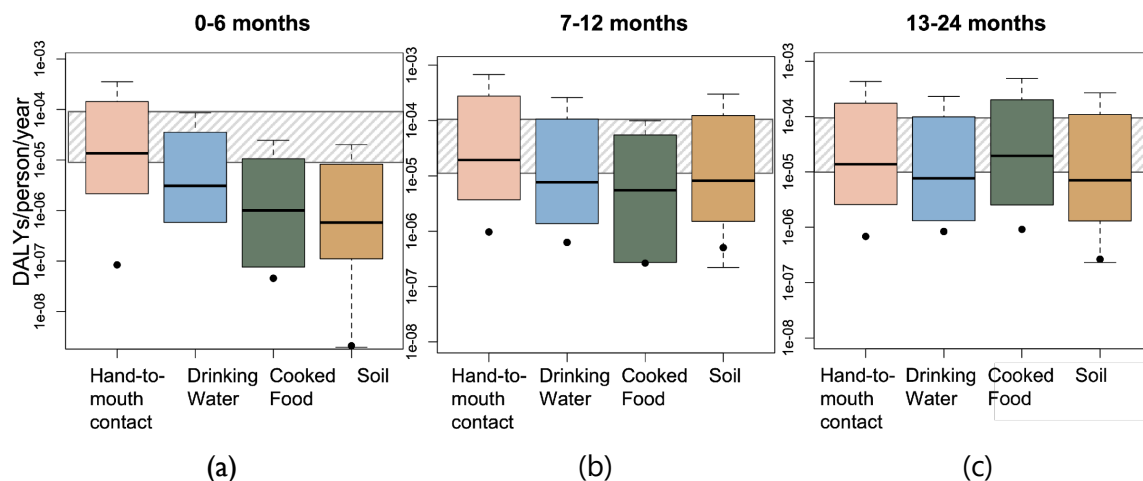
Les estimations d'exposition étaient particulièrement larges pour la voie des doigts des enfants à la bouche (**figure 8**). La raison est que la fréquence de contact main-bouche mesurée dans cette étude était substantiellement plus basse que les fréquences rapportées dans la littérature (annexe G-2 - tableau G.3). À travers les trois catégories, les fréquences du contact main-bouche observées dans cette étude allaient de 1,8 à 5,4 contacts/heure, pendant que les fréquences observées pour les enfants aux États-Unis allaient de 14 à 23 contacts/heure<sup>48,49</sup> et de 28,2 à 43,6 pour les enfants de la zone rurale du Bangladesh.<sup>43</sup> Nous avons observé la même tendance pour les fréquences des objets à la bouche (annexe G-2 - tableau G.3). Les fréquences plus basses observées sont dues à des pratiques culturelles : dans la zone rurale de Madagascar, les enfants sont souvent portés sur le dos du soignant et attachés fermement par un morceau de tissu ce qui limite les contacts main-bouche. Ce biais dans l'observation a une autre explication : les observations ont souvent lieu entre 10 h et 15 h lorsque les enfants passent une bonne partie du temps à dormir, limitant ainsi le contact main-bouche. Les estimations d'exposition étaient particulièrement larges pour la voie des aliments cuits (**figure 8**). La raison est que les valeurs d'ingestion de la nourriture dans la littérature variaient fortement<sup>9</sup> (voir l'annexe G-2 - tableau G-8). L'ingestion de nourriture cuite chez les 7 à 24 mois dépend grandement de la quantité de lait maternel : certains enfants mangent plus de nourriture solide que d'autres, ce qui varie selon le cadre, l'éducation et les pratiques culturelles.

Nos estimations de l'ingestion de l'agent pathogène *E. coli* étaient toujours vers la basse extrémité du spectre (**figure 8**), suggérant que les ingestions actuelles soient plus élevées que ce que nous avons observé. L'analyse des incertitudes suggère que pour les catégories de 0 à 6 mois, le contact main-bouche serait plus important que nos estimations sur le terrain (la quantité d'*E. coli* pathogènes ingérée par cette voie était bien plus élevée que les trois autres voies,  $p < 0,001$  – test de Wilcoxon), probablement réduisant toutes les autres voies (**figure 8a**). Cette analyse a également confirmé que le contact main-bouche était une des voies principales pour les 7 à 12 mois (la quantité des *E. coli* pathogènes ingérée par cette voie était très élevée par rapport aux autres voies  $p < 0,001$  – test de Wilcoxon ; **figure 8b**), et que la nourriture cuite était de plus en plus importante avec la croissance des enfants (c'est devenu la voie la plus importante pour les 7 à 12 mois,  $p < 0,001$  – test de Wilcoxon ; **figure 8a-b-c**).

## Le risque d'infection et de maladie par l'*E. coli* pathogène

Pour estimer le risque et les impacts des maladies par *E. coli* pathogène associées à ces voies, nous avons converti les ingestions journalières d'*E. coli* en AVI, en se concentrant sur les résultats de la diarrhée liquide, la diarrhée sanguinolente et la mort par diarrhée. Les valeurs des AVI obtenues (**figure 9**) suivent la même tendance que les ingestions journalières d'*E. coli* (**figure 7**). Elles tombaient toutes en deçà du niveau de référence de l'OMS pour le risque tolérable pour l'eau potable<sup>50</sup> (ce seuil a été utilisé dans la littérature comme référence pour les autres voies d'exposition,<sup>11,51</sup> et il s'étend de  $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  AVI par personne par an, représenté par la zone hachurée dans la **figure 9**).

Pour les 0 à 6 mois, seul le 75<sup>e</sup> percentile des voies d'exposition de la main à la bouche dépassait l'intervalle supérieur du risque tolérable (**figure 9a**). Pour les deux autres catégories d'âge, le 75<sup>e</sup> percentile dépassait le risque tolérable supérieur des quatre voies d'exposition (sauf pour les aliments cuits pour les 7 à 12 mois) (**figure 9b et c**). Cependant, il est important de noter que les AVI représentées ici sont probablement des sous-estimations de la morbidité réelle, car nous n'avons mesuré qu'un seul pathogène (*E. coli* pathogène, parce qu'il était le seul que nous pouvions correctement caractériser avec les données du terrain pour l'*E. coli*) ; nos estimations d'AVI ne comptent donc pas pour les autres pathogènes tels que le *Campylobacter* et la *Shigella*.

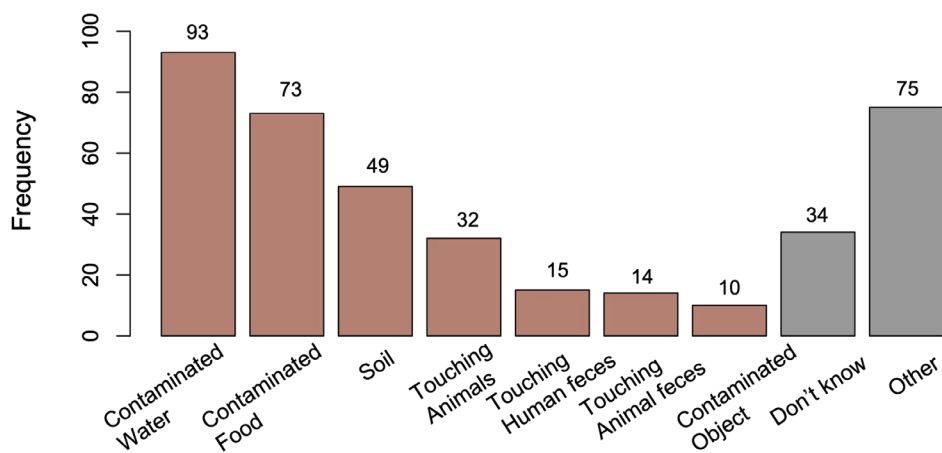


**Figure 9** : Les AVI estimées pour l'ingestion annuelle d'agent pathogène *E. coli* (NPP/jour) pour chaque voie d'exposition et chaque catégorie d'âge : (a) 0 à 6 mois, (b) 7 à 12 mois et (c) 13 à 24 mois. Les boîtes à moustache représentent les distributions des résultats obtenus par 1 000 simulations de MonteCarlo (les moustaches représentent les valeurs extrêmes « raisonnables » [1.5\*Inter-Quartile Range] excluant les valeurs aberrantes, les boîtes représentent les premier et troisième quartiles et la ligne noire représente la médiane. Pour la majorité des boîtes à moustache, les moustaches d'en bas avaient les mêmes valeurs que les premiers quartiles et n'apparaissaient pas dans le graphe. Les points noirs montrent les valeurs seules calculées à l'aide des résultats de cette étude (la valeur seule pour l'eau potable chez les 0 à 6 mois était de 0 et n'étaient donc pas représentés sur l'axe y de la figure 9). La zone hachurée représente le niveau de référence de l'OMS pour le risque tolérable pour l'eau potable de  $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  AVI par personne par an.

## La perception du risque chez les soignants

Pendant le sondage sur les ménages, nous avons demandé aux soignants ce qu'ils percevaient comme le risque principal pour la santé de leurs enfants. Ils ont pensé que l'eau contaminée et la nourriture contaminée (**figure 10**) étaient les risques principaux, suivis du jeu avec le sol/toucher du sol et toucher des animaux. Les interactions avec les selles d'humains ou d'animaux, ainsi qu'avec les objets contaminés, n'étaient souvent pas perçues comme un risque important pour la santé des enfants (**figure 10**). Parmi les soignants qui ont répondu « autres risques » à cette question, 14/75 ont

répondu que les mauvaises pratiques d'hygiène étaient un risque, 10/75 ont mentionné la nourriture contaminée ou la malnutrition, 9/75 ont souligné le changement climatique et 7/75 ont rapporté le froid et l'humidité comme étant un risque à la santé de leurs enfants.



**Figure 10 :** Les réponses à cette question à choix multiple « Selon vous, quels sont les principaux risques pour la santé de vos enfants ? »

Ces résultats suggèrent que les perceptions des soignants quant à la santé de leurs enfants étaient quelque peu en accord avec nos trouvailles. L'eau potable, la nourriture contaminée et le sol étaient les trois risques importants mentionnés par les soignants, en accord avec les voies d'exposition trouvées précédemment. Mais les efforts de prise de conscience doivent mettre l'accent sur le risque associé aux selles, ce qui doit passer en priorité dans la perception du risque principal à la santé des enfants.

## 5 Discussion

### **Tendance par âge**

Les ingestions journalières estimées de matières fécales dépend de l'âge des enfants, ingestion qui augmente avec l'âge (188-213 NPP d'*E. coli* par jour chez les 7-24 mois) comparé aux bébés de moins de 6 mois (qui ingèrent moins de 10 NPP d'*E. coli* par jour). Nos résultats sont en accord avec le développement de l'enfant : lorsque l'enfant grandit, il interagit avec son environnement, mange plus de nourriture et boit plus d'eau ; ceci augmente les chances d'ingestion de matières fécales si ces différents compartiments sont contaminés. En effet, nos observations ont montré que les enfants de moins de 6 mois passent plus de temps à dormir (40 %) loin du sol et dans la maison, pendant que les enfants de plus de 7 mois passent plus de temps à jouer, en général loin du sol pour les 7 à 12 mois et sur le sol construit ou non pour les 13 à 24 mois.

### **Contamination environnementale (*E. coli* et pathogènes)**

Nous avons trouvé que l'eau potable et le sol étaient les deux compartiments les plus contaminés par l'*E. coli*, dont 60 % des échantillons étaient dans la catégorie à haut risque (>100 NPP/100 ml ou >100 NPP/g), suivi par l'eau de rinçage des mains des enfants et des soignants (avec 25 % des échantillons dans la catégorie à haut risque).

Selon nos observations, le sol construit (avec des nattes ou du bois) était très souvent sale, pendant que des selles d'humains ou d'animaux ont été observées dans 17 % et 66 % des ménages, respectivement). Les selles (humain et animal) étaient observées dans la maison dans 50 % de ces cas.

Quant à la contamination par les pathogènes, nous avons détecté des pathogènes dans les fèces d'animaux plus souvent (67 % des échantillons positifs pour au moins un des pathogènes) que ceux des enfants (26 %). Les échantillons d'eau de rinçage des mains des enfants (46 %) et de sol (31 %) avaient la prévalence la plus élevée de pathogènes, suivis de l'eau potable (26 %). Trouver des pathogènes plus fréquemment dans l'eau de rinçage des mains des enfants, le sol et les selles d'animaux que dans les selles des enfants a suggéré que i) les animaux et non les enfants étaient les réservoirs principaux de pathogènes, au moins les pathogènes bactériens et ii) les enfants s'infectaient principalement par le contact des mains avec le sol.

Cette interprétation ne peut pas être appliquée aux pathogènes d'origine virale, que nous avons trouvés en faible quantité dans nos échantillons (probablement à cause de notre méthode de collecte). Nous avons trouvé de l'Adénovirus dans de l'eau potable et dans les selles des enfants uniquement, ce qui implique qu'une potentielle contamination virale (Adénovirus) de l'eau potable provient des selles humaines. En comparaison, d'autres études subsahariennes ont trouvé l'Adénovirus dans le sol et sur les mains des enfants et pas dans de l'eau potable.<sup>17,21,25</sup>

Certains de nos résultats peuvent être comparés directement avec la littérature. Par exemple, la prévalence de la *Shigella* dans nos échantillons de selles d'animaux était plus élevée que les résultats précédents de la région de Vatovavy à Madagascar (17 % dans notre étude contre 7 % dans l'étude précédente sur le bétail, dont les cochons et les bœufs), mais nous n'avons trouvé aucune *Salmonella* (0 % contre 9 %).<sup>52</sup> Quant aux échantillons de selles d'enfants, nous avons trouvé la même prévalence de *Campylobacter* (10 %) et d'Adénovirus (1/21 - 5 %) que dans les études précédentes sur les enfants de moins de cinq ans dans plusieurs zones de Madagascar.<sup>27,53,54</sup> De plus, la prévalence de *Shigella*, *Salmonella* et *Entamoeba Histolytica* était basse dans ces trois études (0,5 % à 2 %), similaire à nos résultats pour ces trois pathogènes spécifiques.

Les pathogènes trouvés sur les mains des enfants variaient à travers les cadres différents étudiés dans la littérature. Par exemple, la prévalence de l'adénovirus sur les mains des enfants était de 5 % en Tanzanie,<sup>55</sup> de 13 % en Ouganda,<sup>21</sup> et de 22 % au Kenya,<sup>25</sup> alors que nous n'en avons pas trouvé dans nos régions étudiées du sud-est de Madagascar. La prévalence de *Shigella* variait de 2 % en Ouganda<sup>21</sup>

à 19 % au Kenya<sup>25</sup> et était de 4 % dans notre étude. Enfin, la prévalence de *Campylobacter* était plus élevée dans notre étude que dans la littérature : nous avons trouvé 46 % des échantillons de rinçage des mains des enfants positifs pour *Campylobacter*, contre respectivement 2 % et 12 % en Ouganda et au Kenya.<sup>21,25</sup> L'absence d'adénovirus dans les mains des enfants dans notre étude pourrait être due à la méthode de filtration : nous avons utilisé une filtration sur membrane (filtres de 0,45 µm), puis transporté les filtres pour analyse, mais des virus auraient pu traverser la membrane.

La littérature existante fait généralement état d'une faible prévalence d'agents pathogènes dans l'eau potable (moins de 2 % des échantillons étaient contaminés par l'adénovirus, *Campylobacter* et *Shigella* au Kenya, en Ouganda et en Tanzanie<sup>21,25,55</sup>). Nos résultats étaient cohérents avec les valeurs de la littérature pour *Shigella*, mais la prévalence de *Campylobacter* était plus élevée (21 %). Comme pour les échantillons de rinçage des mains, nous avons filtré les échantillons d'eau potable, ce qui pourrait entraîner une sous-estimation de l'adénovirus.

Enfin, la contamination du sol était généralement élevée pour l'adénovirus, *Campylobacter* et *Shigella* : la prévalence était comprise entre 18 % et 25 % en Ouganda,<sup>21</sup> et entre 50 % et 86 % au Kenya.<sup>5</sup> Nos résultats étaient similaires à ceux de l'étude ougandaise pour *Shigella* et *Campylobacter* (prévalence entre 15 % et 27 %), mais nous n'avons trouvé aucun adénovirus dans nos échantillons de sol.

Nos résultats sur les agents pathogènes ont montré que la contamination par des agents pathogènes est spécifique au contexte et ne peut être généralisée. Ces résultats ont également complété l'analyse d'*E. coli*, suggérant que le test uniquement pour les organismes indicateurs tels qu'*E. coli* pourrait ne pas être suffisant pour caractériser pleinement la contamination par des agents pathogènes à partir de matières fécales. Par exemple, les mains des enfants n'étaient pas le compartiment le plus contaminé par *E. coli*, mais le compartiment le plus contaminé par des agents pathogènes. Cependant, des investigations supplémentaires sont nécessaires, car nous ne pouvons pas tirer de conclusions définitives de ce nombre limité d'échantillons et de la nature non quantitative des résultats.

### **Voies d'exposition**

Nous avons constaté que la principale voie d'exposition pour les enfants de moins de 6 mois était le contact main-bouche, représentant 70 % de l'ingestion totale. Pour la catégorie 7-12 mois, nous avons identifié trois voies principales : le contact main-bouche (41 % de l'ingestion totale), l'eau potable (27 % de l'ingestion totale) et l'ingestion de sol (21 % de l'ingestion totale). Nous avons également identifié trois principales voies d'exposition pour la tranche d'âge de 13 à 24 mois : les aliments cuits étaient les plus élevés (34 % de l'ingestion totale), suivis de l'eau potable (31 % de l'ingestion totale) et du contact main-bouche (25 % de l'ingestion totale). Le sol ne représentait que 10 % de l'ingestion totale d'*E. coli*.

Nos résultats étaient quelque peu cohérents avec la littérature. Le contact main-bouche avait tendance à jouer un rôle important dans d'autres études, en accord avec nos résultats. Par exemple, une étude sur des enfants de moins de 36 mois dans les zones rurales du Bangladesh a révélé que le contact main-bouche était la principale voie d'ingestion d'*E. coli*, suivie du sol, tandis que l'eau potable était la moins importante.<sup>9</sup> Une autre étude menée dans les zones rurales du Bangladesh a également révélé que le contact main-bouche était positivement associé à la diarrhée,<sup>12</sup> tandis que dans les zones urbaines à faible revenu d'Accra, il a été démontré que la nourriture était la principale voie d'exposition pour les enfants de moins de cinq ans, suivie par le contact main-bouche.<sup>14</sup> Dans notre étude, le contact main-bouche était la principale voie pour les catégories 0-6 mois et 7-12 mois, mais la fréquence du contact main-bouche était très faible par rapport à la littérature (voir annexe G-2 ; tableau G-3). Dans certains cas, la fréquence des contacts main-bouche peut être faible si l'étude n'incluait pas l'heure du déjeuner, lorsque les enfants peuvent manger avec leurs mains, selon le contexte culturel. Nous avons inclus l'heure du déjeuner dans nos observations, qui représentait 18 à 25 % du temps des enfants. Cependant, à Madagascar, les enfants mangent généralement avec une cuillère, ce qui réduit la fréquence des contacts main-bouche. Dans certains pays, les enfants utilisent des sucettes, ce qui peut également réduire la fréquence des contacts main-bouche,<sup>56</sup> mais nous n'avons observé aucune utilisation de sucettes dans notre population d'étude. L'explication principale pourrait être que 85 %

de nos observations ont eu lieu entre 10 h et 15 h, ce qui n'est pas la période la plus active pour les enfants, car le sommeil représente 13 à 40 % de l'activité des enfants. De plus, les enfants passaient entre 22 % et 66 % du temps hors du sol, y compris lorsqu'ils sont enveloppés dans un linge et portés par le soignant, ce qui peut réduire la fréquence des contacts main-bouche.

Nous avons constaté que l'eau potable était une voie d'infection importante pour les enfants de 7 à 24 mois, alors que dans la littérature, la contribution de l'eau potable à l'ingestion d'agents pathogènes était généralement faible.<sup>19,21-23</sup> Enfin, l'ingestion de sol était une voie importante dans diverses études : c'était la voie principale dans une étude menée dans les zones urbaines du Ghana,<sup>21</sup> et représentait 25 à 35 % des agents pathogènes *E. coli* ingérés chez les enfants âgés de 6 à 24 mois dans les zones rurales du Bangladesh.<sup>57</sup> Si elle a joué un rôle chez les enfants des tranches d'âge 7-24 mois, elle n'a jamais été la voie principale dans notre étude (10 % à 21 % de l'ingestion totale d'*E. coli* pour ces deux tranches d'âge). Dans l'ensemble, ces résultats ont mis en évidence que l'importance des différentes voies d'exposition est souvent spécifique au contexte et ne doit pas être généralisée.

### **Malnutrition**

Nous n'avons observé aucun enfant atteint de malnutrition aigüe sévère (MAS) lors de cette campagne de terrain, bien que 7 % des enfants présentaient une malnutrition aigüe modérée (MAM). Ces résultats sont cohérents avec la dernière enquête de suivi de l'atteinte des Objectifs du millénaire pour le développement à Madagascar, qui a révélé que la malnutrition se situait entre 10 % et 12 % dans les trois régions étudiées.<sup>58</sup> Les enfants atteints de MAM courent un risque de décès trois fois plus élevé que les enfants bien nourris et sont confrontés à un risque accru de morbidité due à des maladies infectieuses et à un développement physique et cognitif retardé.<sup>59-61</sup> Par exemple, une faible croissance linéaire et une petite taille sont systématiquement observées lorsque les enfants sont suivis systématiquement pendant et après la guérison de la MAM et de la MAS,<sup>59,62-64</sup> et même après un traitement réussi de la MAM, il existe une forte association statistique entre une faible croissance linéaire et rechute à la malnutrition aigüe.<sup>65</sup> Des études antérieures suggèrent que les épisodes de malnutrition peuvent être particulièrement nocifs pour les enfants s'ils surviennent après l'âge de 6 mois. Plus précisément, les enfants qui émaciaient au cours des 6 premiers mois de leur vie ne semblaient pas avoir de déficit de croissance linéaire par rapport aux enfants qui émaciaient au cours de la période de 12 à 17 mois. Les enfants qui émaciaient entre 6 et 17 mois présentaient un risque élevé de retard de croissance entre 18 et 24 mois.<sup>66-68</sup> De plus, nous avons observé une MAM plus élevée chez les 13-24 mois, ainsi qu'une exposition fécale plus élevée, mais nous n'avons pas de preuves pour soutenir une relation définitive entre ces deux paramètres. Ces résultats renforcent le fait que la prévention de la malnutrition par différentes interventions axées sur la nutrition ainsi que sur l'hygiène est essentielle pour améliorer la santé des enfants, en particulier pour les enfants en croissance qui sont plus à risque de MAM, mais sont également plus exposés aux agents pathogènes.

### **Conditions climatiques**

Nous avons constaté que le sol était plus contaminé après les deux cyclones qu'avant (9 NPP/g avant contre 83 NPP/g après les cyclones,  $p < 0,001$ , test de Wilcoxon). Aucune autre voie n'a montré de différence statistiquement significative dans les niveaux de contamination par *E. coli* avant et après les cyclones. Les pluies intenses pourraient avoir propagé la contamination fécale (provenant, par exemple, de la défécation à l'air libre) à travers le sol, augmentant le niveau d'*E. coli*. En conséquence, une attention particulière à l'exposition fécale par le sol peut être nécessaire après des épisodes de pluie intense (c'est-à-dire, après la saison des pluies ou après des événements climatiques extrêmes comme des tempêtes ou des cyclones).

## 6 Recommandations

Dans cette section, nous avons proposé des recommandations pour interrompre les quatre voies étudiées : l'eau potable, le contact main-bouche, l'ingestion de terre et les aliments cuits contaminés. Nous avons identifié une voie principale pour la catégorie 0-6 mois (contact main-bouche) et quatre voies principales pour la catégorie 7-24 mois (contact enfant main-bouche, eau potable, aliments cuits et sol). Nous avons recommandé de prioriser la prévention de l'exposition parmi les catégories 7-12 mois et 13-24 mois, car : i) l'apport quotidien en E. coli était faible pour la catégorie 0-6 mois (< 2 NPP/jour), et ii) la catégorie 7-12 mois récupère plus lentement que la catégorie 0-6 mois après un épisode de malnutrition.<sup>66</sup> Notamment, la réduction de l'exposition fécale pour ces catégories d'âge peut impliquer des interventions avant qu'un enfant n'atteigne 7 mois, afin de préparer les soignants et les communautés lorsque les risques d'exposition commencent à augmenter.

Le personnel de l'USAID FIOVANA s'était déjà engagé dans un certain nombre de campagnes de sensibilisation pour améliorer et développer de bonnes pratiques d'hygiène parmi les ménages. Sur la base de consultations détaillées avec l'équipe locale d'ADRA, nous avons recommandé de développer de futures interventions pour renforcer leur travail et induire un changement de comportement durable, en mettant l'accent sur :

- L'identification des goulots d'étranglement dans le changement de comportement : par exemple, notre sondage a montré que les soignants semblaient être conscients de l'importance de se laver les mains de leurs enfants, avec plus de 80 % des soignants déclarant qu'ils lavaient les mains de leurs enfants plus de trois fois par jour. Cependant, parmi les 35 enfants que nous avons observés, nous n'avons vu que 3 enfants se laver les mains à tout moment pendant toute la période d'observation. Cet exemple met en évidence le fait que les personnes peuvent être conscientes des bonnes pratiques d'hygiène, mais qu'elles ne les mettent pas en œuvre dans leur vie de tous les jours. Cela peut être fait en utilisant la méthode RANAS (risque, attitudes, normes, capacités et autorégulation)<sup>69</sup>, qui a été développée pour concevoir et évaluer des stratégies de changement de comportement.
- La promotion des solutions propres aux communautés ainsi que les « ménages modèles » pour encourager d'autres ménages à adopter des pratiques d'hygiène plus sûres. Une approche recommandée par les spécialistes des sciences du comportement est l'engagement public.<sup>70</sup> Par exemple, cela peut se faire par le biais de réunions régulières de consultation communautaire dirigées par un agent de terrain ou par des dirigeants locaux, et où les personnes peuvent discuter d'idées sur ce qu'elles peuvent faire pour améliorer l'hygiène à leur domicile. Cette approche de changement de comportement doit être appliquée pour chacune des quatre voies (sol, eau potable, contact main-bouche et aliments cuits).
- La planification de l'action des ménages<sup>70</sup> : les agents de terrain peuvent rendre visite aux ménages et les aider à élaborer un plan d'action détaillé qui sera adapté en fonction des besoins du ménage. Par exemple, cela peut inclure l'utilisation de latrines ou d'une source d'eau améliorée, la construction d'une station de lavage des mains ou le développement de pratiques d'hygiène spécifiques telles que l'utilisation de couches réutilisables pour les enfants et la désinfection régulière des réservoirs d'eau.

Ces trois recommandations doivent être intégrées dans un programme de changement social et comportemental (CSC) conçu pour aider à soutenir l'adoption de nouvelles pratiques et soutenir les changements dans les comportements individuels et les normes sociales. Les programmes CSC opèrent à trois niveaux : plaider pour augmenter les ressources et l'engagement politique, mobilisation communautaire pour une participation plus large et communication pour le changement de comportement individuel.<sup>71</sup> La mise en œuvre correcte d'un programme CSC nécessite de suivre cinq étapes systématiques : <sup>72</sup>

- Comprendre le contexte (par exemple, les problèmes, le public ciblé)
- Concevoir des programmes/stratégies
- Créer des outils, du matériel et des interventions

- Mettre en œuvre et surveiller
- Évaluer et replanifier

Cette recherche a soutenu et illustré la première étape. Sur la base de nos résultats, nous avons invité les responsables de la mise en œuvre à suivre les quatre étapes restantes pour développer leur propre programme CSC et à respecter les meilleures pratiques CSC.<sup>71</sup> Par exemple, un examen des méthodes et des approches du CSC<sup>71</sup> a recommandé d'abandonner le langage de diffusion des messages et de se concentrer sur le dialogue et l'apprentissage transformationnel des adultes par le biais de l'animation de groupe. Ils ont également recommandé de percevoir les personnes comme des agents actifs plutôt que comme des « bénéficiaires », la culture locale étant considérée comme un atout plutôt qu'un obstacle. Dans le sud-est de Madagascar, les dirigeants locaux (comme les maires, les chefs locaux et les rois) sont influents et doivent être impliqués dans les programmes CSC pour mobiliser les communautés afin d'assurer une participation plus large et d'initier des actions collectives. Une autre recommandation de l'examen CSC était d'encourager les discussions de groupe, comme les groupes de femmes, pour parler des actions collectives et individuelles à mettre en place pour changer un comportement spécifique. Enfin, puisque les deux cyclones ont probablement accru la contamination des sols, nous recommandons de renforcer la sensibilisation avant les cyclones et de se concentrer intensément sur les actions d'hygiène après les épisodes de pluie intense.

En plus des trois recommandations générales énumérées ci-dessus, nous fournissons ci-dessous quelques actions et objectifs spécifiques à prioriser dans les programmes futurs, sur la base de discussions en atelier avec l'équipe FIOVANA et leurs parties prenantes.

## RECOMMANDATIONS POUR L'EAU POTABLE

### Actions

- **Traitement de l'eau au point de collecte** : le traitement de l'eau est l'une des interventions les plus efficaces pour limiter l'ingestion d'agents pathogènes par l'eau potable.<sup>50</sup> Nous différencions généralement le traitement de l'eau au point de collecte (POC) et au point d'utilisation (POU). Même si le traitement de l'eau au POU s'est avéré efficace pour améliorer la qualité de l'eau des ménages, la durabilité et l'évolutivité sont faibles<sup>73,74</sup> et dépendent fortement de la formation et de l'éducation des utilisateurs.<sup>75</sup> Dans les milieux à faibles ressources, le traitement de l'eau au POC pourrait être plus approprié, car il a été démontré qu'il nécessite un changement de comportement minimal pour les utilisateurs,<sup>76-78</sup> et a démontré des améliorations à long terme de la qualité de l'eau entraînant une réduction de la diarrhée.<sup>76</sup> Une stratégie de traitement de l'eau au POC consisterait à utiliser des systèmes de chloration passifs en ligne : ils peuvent fonctionner sans électricité et sont capables de fournir de l'eau potable conforme aux directives de l'OMS en matière de chlore résiduel libre et de contamination par *E. coli*.<sup>79</sup> Ils peuvent être installés dans une grande variété de systèmes de distribution d'eau, peuvent être adaptés à différents débits et régimes, et sont également compatibles avec les alimentations en eau intermittentes.<sup>77-80</sup> Une étude qui a passé en revue 27 chlorinateurs passifs a montré un coût moyen de 140 USD, avec certains appareils aussi bas que 3 USD, car ils peuvent être construits en utilisant des matériaux abordables et disponibles localement tels que des tuyaux en PVC.<sup>79</sup> Cependant, leur succès dépend de la disponibilité locale de chlore et de la solidité des chaînes d'approvisionnement,<sup>79</sup> ce qui peut être un défi à long terme dans le sud-est de Madagascar. De plus, des progrès sont nécessaires pour améliorer la précision du dosage du chlore et mieux développer leur compatibilité avec les pompes à main.<sup>77-79,81</sup> Les utilisateurs peuvent également être opposés au goût et à l'odeur naturels du chlore (en cas de forte concentration).<sup>82,83</sup> Malgré ces limites, les chlorinateurs passifs seraient fortement recommandés dans les trois régions étudiées, car ils désinfecteront l'eau au POC et fourniront un résidu au POU. Si l'installation de chlorinateurs passifs en ligne sur des pompes à main est trop difficile, les distributeurs de chlore distribués par Evidence Action pourraient être une alternative sûre et durable, car ils sont peu coûteux et facilement évolutifs.<sup>84</sup> Si le développement d'une filière d'approvisionnement en chlore n'est



pas adapté au contexte local, la production de chlore in situ pourrait être une solution : des projets locaux ont développé des techniques de production électrochimique de chlore à partir d'eau salée à l'aide de panneaux solaires ou du réseau électrique (Société SOLEA,<sup>85</sup> et société Sandrandano – Communication personnelle 2021).

### **Changements de comportement à inclure dans un programme CSC**

- **Perception de la contamination de l'eau** : Fitovinany (l'une des régions étudiées) signifie « sept rivières » dans la langue locale. Les rivières et l'eau jouent un rôle important dans la culture locale. Pour les personnes vivant à proximité de la rivière, bon nombre de leurs activités se déroulent dans la rivière (par exemple, laver les vêtements, se baigner, aller chercher de l'eau, jouer). La croyance que l'eau n'est jamais sale ou contaminée est répandue, et répondre à cette croyance par le biais d'un programme CSC est une priorité. Ce programme pourrait renforcer visuellement les connaissances sur l'écoulement de l'eau, en mettant l'accent sur les concepts de contamination en amont et en aval. Par exemple, de petits modèles montrant un cours d'eau où des colorants colorés illustrent la contamination de l'eau pourraient aider à développer la sensibilisation. La défécation ou le lavage des couches réutilisables dans la rivière ne doivent plus être considérés comme des pratiques sécuritaires par les communautés. Pour mettre fin à cette croyance, les communautés et les dirigeants locaux doivent être impliqués et encouragés à engager des dialogues pour comprendre les résistances culturelles et trouver des solutions acceptables et faciles à mettre en œuvre pour l'ensemble de la communauté. Une autre recommandation émanant des participants à l'atelier local était de développer dans chaque fokontany les meilleures pratiques de gestion de l'eau spécifiques à chaque source d'eau communautaire (par exemple, clôturer la source d'eau).
- **Développement et favorisation de l'accès à des sources d'eau améliorées** : après des discussions de groupe sur la résistance culturelle, les personnes doivent être encouragées par la communauté et les dirigeants locaux à utiliser des sources d'eau améliorées (30 % des ménages interrogés allaient chercher l'eau à la rivière). Lorsqu'aucune source d'eau améliorée n'est disponible ou lorsque les points d'eau améliorés sont trop éloignés (> 30 minutes pour un aller-retour), le développement des infrastructures hydrauliques (construction de nouveaux points d'eau ou réhabilitation des anciens) doit être une priorité.
- **Développement des meilleures pratiques pour le transport, le stockage et la manutention de l'eau** : un autre vecteur important de contamination concerne l'eau potable au POU. Il serait utile de développer la sensibilisation à la contamination dans les récipients de stockage, ainsi que de promouvoir des pratiques de stockage sûres. Par exemple, FIOVANA pourrait aider les communautés à identifier un ou deux types de récipients qui ne doivent être utilisés que pour l'eau, distribuer des cartes de conseils pour aider les ménages à développer de bonnes pratiques d'hygiène telles que le nettoyage régulier des récipients et des ustensiles, encourager le stockage sûr de l'eau (c'est-à-dire, pour moins de 24 heures et dans un récipient muni d'un couvercle et d'une petite ouverture, comme un jerrycan, pour inciter à verser de l'eau plutôt qu'à écoper), et se laver les mains avant de manipuler l'eau potable ou les ustensiles utilisés pour puiser de l'eau. FIOVANA doit également encourager la pratique de l'eau bouillante, en particulier pour l'eau donnée aux enfants, et expliquer pourquoi de l'eau froide (non bouillie) ne doit pas être ajoutée aux préparations données aux enfants. Enfin, les discussions de groupe de femmes et la planification des actions du ménage peuvent favoriser un changement de comportement positif au niveau du ménage.

### **RECOMMANDATIONS POUR L'INGESTION DE SOL**

#### **Actions**

- **Interventions d'élevage et parcs de jeux pour enfants** : Des études antérieures ont montré que les interventions WASH à faible coût au niveau des ménages axées sur le traitement de l'eau, l'utilisation des latrines et la propreté des mains des soignants peuvent être insuffisantes pour réduire considérablement l'exposition fécale dans les milieux où tous les compartiments environnementaux sont fortement contaminés par les matières fécales et où il y a de

nombreuses possibilités d'ingestion directe du sol. Les interventions en matière d'élevage, telles que le confinement des animaux dans des zones où les enfants seraient découragés de jouer, peuvent réduire plus efficacement la contamination fécale des différents compartiments environnementaux que de s'attaquer à l'assainissement humain.<sup>52,53</sup> Dans le sud-est de Madagascar, le bétail n'est pas clôturé et se déplace généralement autour des maisons en toute liberté. Développer des clôtures systématiques pour les animaux sera difficile, car les pratiques culturelles amènent souvent les personnes à laisser leur bétail se promener librement pour trouver de la nourriture. Cependant, selon les collègues de FIOVANA, cela peut être possible au sein d'une activité multisectorielle comme FIOVANA, notamment avec l'intégration d'un programme CSC pour limiter les résistances culturelles. Apporter un soutien aux familles les plus vulnérables pour les aider à trouver des matériaux de clôture locaux serait un élément clé de ce type d'intervention. Puisque le taux déforestation est élevé à Madagascar, un aspect du programme pourrait être d'aider les habitants à planter des arbres qui seront utilisés plus tard comme matériaux locaux et durables pour les clôtures. Si les clôtures pour animaux sont trop ambitieuses, développer des parcs ou des zones sûrs pour les enfants sans animaux et nettoyés régulièrement pourrait aider à les séparer des excréments d'animaux. De plus, les parcs pour enfants sont généralement bien acceptés par les communautés.<sup>88-91</sup>

### **Changements de comportement à inclure dans un programme CSC**

- **Réduction de la défécation à l'air libre** : parallèlement à la réduction de la contamination par les excréments du bétail, des efforts supplémentaires doivent être faits pour réduire la défécation à l'air libre (pratiquée par 50 % des ménages). Une étude menée dans quatre pays (Mali, Inde, Indonésie et Tanzanie) a montré que la meilleure approche pour réduire de manière significative la défécation à l'air libre consiste à combiner des campagnes intensives de promotion de la santé (comme l'assainissement total piloté par la communauté, ATPC) avec des ressources accrues.<sup>92</sup> Cette approche hybride (sensibilisation associée à des subventions pour des installations d'assainissement améliorées) est fortement recommandée à Madagascar où les croyances culturelles sont fortes, l'accès à l'éducation est restreint<sup>93</sup> et le niveau de pauvreté est élevé : 81 % de la population en 2020 est en dessous du seuil de pauvreté de 1,90 USD/personne/jour.<sup>94</sup> Les campagnes de promotion de la santé visent à modifier les comportements par le biais de messages d'information combinés à des coups de pouce tels que l'aide à l'élaboration de plans spécifiques, des rappels et des incitations financières.<sup>62,92,95,96</sup> Par exemple, l'approche ATPC pourrait être un point de départ pour la sensibilisation. Cependant, la durabilité d'ATPC est parfois discutable en raison de la mauvaise qualité des latrines construites avec des matériaux locaux<sup>97</sup> et certains programmes forment maintenant des maçons locaux pour construire des dalles de sol hygiéniques.<sup>98</sup> Les subventions pour soutenir la construction de latrines sûres et durables pourraient contribuer à un changement de comportement à long terme, car les subventions peuvent soutenir les ménages ou les fokontany qui sont prêts à adopter des comportements sains, mais qui manquent de liquidités pour investir dans les produits de santé.
- **Nettoyage des sols** : pour réduire l'exposition des enfants aux sols contaminés, encourager l'utilisation systématique de sols améliorés et d'enclos hygiéniques a donné des résultats mitigés : au Mexique, le remplacement des sols en terre battue par des sols en ciment a entraîné une diminution substantielle des diarrhées et des infestations parasitaires,<sup>99</sup> alors qu'il était inefficace à prévenir les infections entériques dans les zones rurales du Zimbabwe.<sup>100</sup> Dans les trois régions étudiées de Madagascar, les sols en ciment seront difficiles à mettre en œuvre et à généraliser, car la plupart des habitants vivent dans des maisons traditionnelles sur pilotis avec un sol déjà amélioré (le sol est généralement en bois et recouvert de nattes traditionnelles). De plus, cette intervention est généralement coûteuse dans les zones reculées en raison du manque d'accès aux matériaux. Au lieu de cela, nous vous suggérons de vous concentrer sur l'amélioration de l'utilisation de tapis faciles à nettoyer. Les soignants font généralement asseoir leurs enfants sur des nattes (les enfants observés passent entre 13 % et 44 % de leur temps sur un sol amélioré), mais les nattes sont généralement assez sales. Encourager les ménages à désinfecter régulièrement les tapis peut aider à réduire l'ingestion

d'agents pathogènes, même si la désinfection des tapis peut ne pas être facile à mettre en œuvre de manière régulière : les tapis sont généralement grands et créés à partir de fibres naturelles, et ne sont pas faciles à laver, en particulier lorsque l'accès à l'eau est restreint. Engager des discussions avec la communauté aidera à trouver des moyens adaptés au contexte de nettoyer et de désinfecter les tapis et à garantir que les aires de jeux sont propres de manière plus générale. Une autre solution à étudier et à explorer pourrait être de favoriser l'utilisation de « balotom » – un petit morceau de tissu plus facile à laver – qui peut être placé au-dessus des tapis pour éviter que les enfants soient en contact avec un environnement contaminé.

Pour toutes les recommandations ci-dessus, les participants à l'atelier ont suggéré d'identifier un village modèle et d'organiser des visites dans les villages voisins pour en savoir plus sur les bonnes pratiques et les solutions à plus grande échelle.

## RECOMMANDATIONS POUR LE CONTACT MAIN-BOUCHE

- **Recommandations générales :** un plus grand lavage des mains peut réduire la voie d'exposition main-bouche, mais des comportements d'hygiène appropriés nécessitent de grandes quantités d'eau,<sup>55,101</sup> une exigence qui n'est souvent pas réalisable dans les pays à faible revenu sans investissement supplémentaire dans les infrastructures hydrauliques<sup>102</sup>. Par exemple, dans les trois régions étudiées, 72 à 97 % des ménages n'avaient pas d'eau sur place et environ 25 % des ménages avaient besoin de 30 à 60 minutes pour aller chercher de l'eau,<sup>45</sup> ce qui limitait la quantité d'eau disponible au domicile. De plus, la promotion du lavage des mains pour les enfants de moins de deux ans aurait probablement peu de succès pour réduire leur exposition, car une faible conformité est à prévoir, et même pour les enfants qui se laveraient les mains plus souvent, leurs mains redeviendraient rapidement sales au contact d'un environnement domestique contaminé.<sup>17</sup> Au lieu de cela, les interventions visant à réduire la contamination fécale de l'environnement domestique d'un enfant, telles que l'amélioration des interventions de gestion des déchets humains ou animaux et les bonnes pratiques d'hygiène par le principal soignant après la défécation et la manipulation des aliments,<sup>55</sup> sont susceptibles de mieux réussir à réduire l'exposition des jeunes enfants aux matières fécales lors de contacts main-bouche.<sup>16</sup>

### Actions

- **Développement de stations de lavage des mains :** en plus de la sensibilisation, il sera crucial de développer l'accès aux stations de lavage des mains, puisque seulement 10 % des ménages sondés en avaient une : soutenir et promouvoir la construction de stations de lavage des mains à faible coût (appelées aussi « tippy-taps ») avec des matériaux locaux (tels que bidons ou seaux en plastique) augmenterait la couverture du lavage des mains.<sup>103</sup> Les comités villageois et les dirigeants locaux doivent également être encouragés à assurer un suivi pour s'assurer que les stations de lavage des mains fonctionnent et sont utilisées. L'accès au savon est généralement limité en raison des prix prohibitifs sur les marchés locaux, de sorte que le développement d'entreprises locales dirigées par des femmes pour produire du savon pourrait accroître l'accès et générer des revenus pour les ménages vulnérables inscrits au programme. Si le savon n'est pas disponible, les cendres peuvent également être promues pour le lavage des mains. Même si le lavage des mains peut avoir des résultats limités en ce qui concerne certaines voies, l'amélioration de l'accès au savon et le renforcement des pratiques de lavage des mains pour les enfants sont toujours importants pour limiter l'ingestion d'agents pathogènes, car un accès restreint au savon est associé à un risque plus élevé de retard de croissance.<sup>104</sup>

### Behavior changes to include within a SBC program

- **Limiter le contact avec la bouche des enfants :** aider les communautés à développer un comportement buccal relativement sûr en limitant la charge d'agents pathogènes dans les mains des enfants (par exemple, réduire la défécation à l'air libre chez les enfants, améliorer la gestion

des déchets et des matières fécales et augmenter le lavage des mains aux moments critiques). Développer des discussions de groupe (telles que des groupes de femmes ou de mères) pour parler des solutions appropriées pour interrompre cette voie, mettre en place des outils de visualisation (tels que des paillettes ou des marionnettes) pour représenter la contamination, et identifier des ménages modèles pourraient augmenter et soutenir un changement de comportement positif.

## **RECOMMANDATIONS POUR LES ALIMENTS CUITS**

### **Changements de comportement à inclure dans un programme CSC**

- **Encourager les bonnes pratiques d'hygiène** : les mécanismes potentiels de contamination des aliments comprennent la contamination par la poussière, les mouches et les mains contaminées.<sup>105-108</sup> Les interventions d'hygiène alimentaire axées sur le lavage des mains avant la préparation des aliments et la couverture des aliments cuits pendant le stockage pourraient réduire la contamination des aliments et la diarrhée.<sup>106,108</sup> Des campagnes de sensibilisation pour améliorer l'hygiène dans la cuisine peuvent également contribuer à réduire l'ingestion d'agents pathogènes. Par exemple, ces campagnes pourraient souligner qu'aucun animal ne doit entrer dans la cuisine (et la maison plus largement), promouvoir le lavage des mains (pour les soignants et les enfants) et encourager la désinfection des ustensiles et des récipients avant la préparation des aliments. Selon l'expérience de FIOVANA, la distribution de cartes de conseils pour une bonne hygiène et des pratiques de stockage sûres lors de la préparation des repas peut soutenir un changement de comportement durable.

## 7 Conclusions et limites de l'étude

Dans cette étude, nous avons estimé l'importance relative des différentes voies d'exposition fécale chez 220 enfants de trois régions du sud-est de Madagascar. Nous avons effectué des observations approfondies, des sondages auprès des soignants et des analyses d'*E. coli* à partir de six types d'échantillons différents (rinçage des mains pour les enfants, rinçage des mains pour les soignants, aliments cuits et crus, eau potable et sol). Nous avons également collecté des échantillons environnementaux et fécaux supplémentaires (118 échantillons) de 26 ménages pour l'analyse des agents pathogènes.

Selon nos résultats sur l'agent pathogène *E. coli*, nous avons constaté que le sol était le compartiment environnemental le plus contaminé par les matières fécales, suivi de l'eau potable, du rinçage des mains des soignants et des enfants, et enfin des aliments (cuits et crus). Nous avons comparé la contamination par *E. coli* avant et après deux cyclones majeurs (Batsirai et Emnati) pour tous les compartiments environnementaux et avons trouvé une différence statistique uniquement pour le sol : la moyenne géométrique d'*E. coli* dans les échantillons de sol a augmenté d'un facteur de près de 10 après les cyclones. Les pluies intenses qui ont accompagné les cyclones pourraient avoir remobilisé les contaminants de surface et provoqué l'inondation des plans d'eau contaminés, les contaminants étant ensuite absorbés et stockés par les sols.

Selon nos résultats sur les agents pathogènes, nous avons constaté que les excréments d'animaux peuvent être une source plus importante d'agents pathogènes fécaux (au moins d'agents pathogènes bactériens) que les excréments d'enfants. Les deux compartiments environnementaux avec la prévalence la plus élevée de pathogènes étaient le rinçage des mains des enfants et le sol, suivis de l'eau potable. Le *Campylobacter* était le pathogène le plus fréquent (présent dans 33 % des échantillons) et nous avons trouvé l'adénovirus uniquement dans l'eau potable. En général, notre analyse des agents pathogènes a suggéré que le contact direct ou indirect (ingestion de sol, contact main-bouche) avec les matières fécales, en particulier animales, dans leur environnement était une voie d'infection importante pour les enfants. Cependant, ces possibilités nécessitent davantage de recherches, car nous ne pouvons pas tirer de conclusions définitives de ce nombre limité d'échantillons et de la nature non quantitative des résultats.

Nous avons mené une EQRМ pour l'agent pathogène *E. coli* et avons constaté que l'apport quotidien en *E. coli* augmentait avec l'âge des enfants : pour les enfants de moins de six mois, l'apport quotidien était inférieur à 10 NPP/jour, contre 188 NPP/jour pour la catégorie 7-12 mois et 213 NPP/jour pour les 13-24 mois. Ces résultats étaient cohérents avec le développement de l'enfant : à mesure que les enfants grandissent, ils ont plus de contacts avec leur environnement et sont plus susceptibles d'ingérer des agents pathogènes par différentes voies d'exposition. Nous avons identifié le contact main-bouche comme étant la principale voie pour la catégorie 0-6 mois (représentant 70 % de l'ingestion totale d'*E. coli* par jour). Pour les catégories 7-12 mois et 13-24 mois, nous avons identifié trois voies principales dans chaque catégorie. Pour la catégorie 7-12 mois, la voie principale était le contact main-bouche (41 % de l'ingestion totale), suivi de l'eau potable (27 %) et du sol (21 %). Pour la catégorie 13-24 mois, la voie principale était les aliments cuits (34 %), suivis de l'eau potable (31 %) et du contact bouche-main (25 %).

Pour bloquer efficacement ces voies d'exposition, nous nous sommes concentrés sur les catégories 7-24 mois, car les enfants de la catégorie de 0-6 mois ont ingéré moins de 10 NPP d'*E. coli*/jour. Selon les résultats mondiaux de WASH, nous avons également recommandé des mesures générales, notamment des enclos pour animaux, la chloration de l'eau au point de collecte et des campagnes pour réduire la défécation à l'air libre. Enfin, en mettant l'accent sur le contexte et la culture locaux, nous avons recommandé de développer des programmes de changement de comportement durable (CSC), d'identifier les goulots d'étranglement dans le changement de comportement, puis de promouvoir des solutions locales via des « ménages modèles » pour augmenter durablement les bonnes pratiques

d'hygiène au sein des communautés. Les stratégies de sciences du comportement telles que l'engagement du public ou les plans d'action peuvent également être utiles. De plus, nous avons recommandé d'utiliser des démonstrations visuelles lors des campagnes de sensibilisation, telles que l'utilisation de paillettes, pour illustrer la propagation de la contamination sur les mains et sur les objets, ou l'utilisation de colorants colorés pour représenter visuellement la propagation de la contamination par l'eau. L'augmentation du nombre de stations de lavage des mains à faible coût et la promotion des petites entreprises de fabrication de savon peuvent également contribuer à accroître l'accès aux infrastructures et au matériel de lavage des mains. De plus, nous soulignons l'importance de favoriser la désinfection régulière des récipients et des ustensiles.

Enfin, nos résultats suggèrent que les pluies intenses résultant des cyclones (qui peuvent devenir plus fréquentes en raison du changement climatique) peuvent augmenter considérablement la contamination fécale du sol, qui peut alors potentiellement contaminer d'autres compartiments environnementaux comme les sols, les mains et l'eau. D'autres recherches axées sur la façon dont les modèles saisonniers affectent la contamination entre les voies d'exposition fécales pourraient être particulièrement utiles.

Cette étude présentait plusieurs limites. L'éloignement de nos zones d'étude ne nous a pas permis de mener des observations structurées plus longues, et nous n'avons ainsi capturé que des comportements liés à une portion limitée de la journée, typiquement entre 10 h et 15 h. De plus, nous n'avons pas observé d'enfants sur le terrain. Une autre limite était que notre EQRM se concentrait uniquement sur la souche *E. coli* O157:H7 et n'incluait pas d'autres agents pathogènes fréquents. Par conséquent, nos résultats de risque sont probablement une sous-estimation des risques réels d'infection. Certains paramètres de l'EQRM reposaient également sur des valeurs de la littérature dérivées d'autres contextes en dehors de Madagascar, ce qui signifie que les résultats peuvent ne pas refléter pleinement les conditions locales. Nous n'avons pas pu prélever d'échantillons d'*E. coli* dans tous les compartiments de la région Atsimo-Atsinanana : nous n'avons prélevé que de l'eau potable, le rinçage des mains des enfants et des soignants. Nous n'avons pas d'informations sur la contamination par *E. coli* du sol et des aliments dans cette région. Nous avons également été confrontés à certaines limites de laboratoire. Nous avons filtré des échantillons d'eau potable et de rinçage des mains à l'aide d'une filtration sur membrane. Par conséquent, la présence d'adénovirus peut être sous-estimée, car les virus sont suffisamment petits pour traverser la membrane. De plus, nous n'étions pas sûrs que le laboratoire local ait quantifié l'inhibition de la PCR dans les différents compartiments, ce qui peut biaiser notre comparaison de la prévalence des agents pathogènes dans différents types d'échantillons.<sup>36,37</sup> Enfin, nous n'avons effectué aucune analyse des matières fécales adultes, qui peuvent avoir également été une source de contamination dans ce contexte.

## 8 Remerciements

Nous tenons à remercier les collègues d'ADRA travaillant sur la RFSA FIOVANA financée par l'USAID pour leurs conseils tout au long du projet et leur soutien pendant le travail sur le terrain, avec un merci particulier à Jason Brooks, Mollie Woods, Rado Ravonjarivelo et Yves Rasolofohery. Nous remercions également Ny Tanintsika pour leur aide précieuse dans l'organisation du travail de terrain et de toute la logistique, et pour soutenir ce projet dès que nécessaire. Nous remercions le Centre Val Bio et l'Université de Fianarantsoa pour la mise à disposition de laborantins pour les analyses microbiologiques. Nous remercions également l'Université de Caroline du Nord (USA) et l'Institut Pasteur Madagascar pour la réalisation des analyses des agents pathogènes. Enfin, nous remercions PRO-WASH et l'USAID pour leur aide dans la coordination du projet, le soutien logistique et le financement.

## 9 Références

- (1) Troeger, C.; Forouzanfar, M.; Rao, P. C.; Khalil, I.; Brown, A.; Reiner, R. C.; Fullman, N.; Thompson, R. L.; Abajobir, A.; Ahmed, M.; Alemayohu, M. A.; Alvis-Guzman, N.; Amare, A. T.; Antonio, C. A.; Asayesh, H.; Avokpaho, E.; Awasthi, A.; Bacha, U.; Barac, A.; Betsue, B. D.; Beyene, A. S.; Boneya, D. J.; Malta, D. C.; Dandona, L.; Dandona, R.; Dubey, M.; Eshrati, B.; Fitchett, J. R. A.; Gebrehiwot, T. T.; Hailu, G. B.; Horino, M.; Hotez, P. J.; Jibat, T.; Jonas, J. B.; Kasaeian, A.; Kisson, N.; Kotloff, K.; Koyanagi, A.; Kumar, G. A.; Rai, R. K.; Lal, A.; Razek, H. M. A. E.; Mengistie, M. A.; Moe, C.; Patton, G.; Platts-Mills, J. A.; Qorbani, M.; Ram, U.; Roba, H. S.; Sanabria, J.; Sartorius, B.; Sawhney, M.; Shigematsu, M.; Sreeramareddy, C.; Swaminathan, S.; Tedla, B. A.; Jagiellonian, R. T.-M.; Ukwaja, K.; Werdecker, A.; Widdowson, M.-A.; Yonemoto, N.; Zaki, M. E. S.; Lim, S. S.; Naghavi, M.; Vos, T.; Hay, S. I.; Murray, C. J. L.; Mokdad, A. H. Estimates of Global, Regional, and National Morbidity, Mortality, and Aetiologies of Diarrhoeal Diseases: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet Infectious Diseases* **2017**, *17* (9), 909–948. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30276-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30276-1).
- (2) Vos, T.; Lim, S. S.; Abbafati, C.; Abbas, K. M.; Abbasi, M.; Abbasifard, M.; Abbasi-Kangevari, M.; Abbastabar, H.; Abd-Allah, F.; Abdelalim, A.; Abdollahi, M.; Abdollahpour, I.; Abolhassani, H.; Aboyans, V.; Abrams, E. M.; Abreu, L. G.; Abrigo, M. R. M.; Abu-Raddad, L. J.; Abushouk, A. I.; Acebedo, A.; Ackerman, I. N.; Adabi, M.; Adamu, A. A.; Adebayo, O. M.; Adekanmbi, V.; Adelson, J. D.; Adetokunboh, O. O.; Adham, D.; Afshari, M.; Afshin, A.; Agardh, E. E.; Agarwal, G.; Agesa, K. M.; Aghaali, M.; Aghamir, S. M. K.; Agrawal, A.; Ahmad, T.; Ahmadi, A.; Ahmadi, M.; Ahmadi, H.; Ahmadpour, E.; Akalu, T. Y.; Akinyemi, R. O.; Akinyemiju, T.; Akombi, B.; Al-Aly, Z.; Alam, K.; Alam, N.; Alam, S.; Alam, T.; Alanzi, T. M.; Albertson, S. B.; Alcalde-Rabanal, J. E.; Alema, N. M.; Ali, M.; Ali, S.; Alicandro, G.; Alijanzadeh, M.; Alinia, C.; Alipour, V.; Aljunid, S. M.; Alla, F.; Allebeck, P.; Almasi-Hashiani, A.; Alonso, J.; Al-Raddadi, R. M.; Altirkawi, K. A.; Alvis-Guzman, N.; Alvis-Zakzuk, N. J.; Amini, S.; Amini-Rarani, M.; Aminorroaya, A.; Amiri, F.; Amit, A. M. L.; Amugsi, D. A.; Amul, G. G. H.; Anderlini, D.; Andrei, C. L.; Andrei, T.; Anjomshoa, M.; Ansari, F.; Ansari, I.; Ansari-Moghaddam, A.; Antonio, C. A. T.; Antony, C. M.; Antriyandarti, E.; Anvari, D.; Anwer, R.; Arabloo, J.; Arab-Zozani, M.; Aravkin, A. Y.; Ariani, F.; Ärnlöv, J.; Aryal, K. K.; Arzani, A.; Asadi-Aliabadi, M.; Asadi-Pooya, A. A.; Asghari, B.; Ashbaugh, C.; Atnafu, D. D.; Atre, S. R.; Ausloos, F.; Ausloos, M.; Ayala Quintanilla, B. P.; Ayano, G.; Ayanore, M. A.; Aynalem, Y. A.; Azari, S.; Azarian, G.; Azene, Z. N.; Babaee, E.; Badawi, A.; Bagherzadeh, M.; Bakhshaei, M. H.; Bakhtiari, A.; Balakrishnan, S.; Balalla, S.; Balassyano, S.; Banach, M.; Banik, P. C.; Bannick, M. S.; Bante, A. B.; Baraki, A. G.; Barboza, M. A.; Barker-Collo, S. L.; Barthelemy, C. M.; Barua, L.; Barzegar, A.; Basu, S.; Baune, B. T.; Bayati, M.; Bazmandegan, G.; Bedi, N.; Beghi, E.; Béjot, Y.; Bello, A. K.; Bender, R. G.; Bennett, D. A.; Bennitt, F. B.; Bensenor, I. M.; Benziger, C. P.; Berhe, K.; Bernabe, E.; Bertolacci, G. J.; Bhageerathy, R.; Bhala, N.; Bhandari, D.; Bhardwaj, P.; Bhattacharyya, K.; Bhutta, Z. A.; Bibi, S.; Biehl, M. H.; Bikbov, B.; Bin Sayeed, M. S.; Biondi, A.; Biriha, B. M.; Bisanzio, D.; Bisignano, C.; Biswas, R. K.; Bohlouli, S.; Bohluli, M.; Bolla, S. R. R.; Boloor, A.; Boon-Dooley, A. S.; Borges, G.; Borzi, A. M.; Bourne, R.; Brady, O. J.; Brauer, M.; Brayne, C.; Breitborde, N. J. K.; Brenner, H.; Briant, P. S.; Briggs, A. M.; Briko, N. I.; Britton, G. B.; Bryazka, D.; Buchbinder, R.; Bumgarner, B. R.; Busse, R.; Butt, Z. A.; Caetano dos Santos, F. L.; Cámara, L. L. A.; Campos-Nonato, I. R.; Car, J.; Cárdenas, R.; Carreras, G.; Carrero, J. J.; Carvalho, F.; Castaldelli-Maia, J. M.; Castañeda-Orjuela, C. A.; Castelpietra, G.; Castle, C. D.; Castro, F.; Catalá-López, F.; Causey, K.; Cederroth, C. R.; Cercy, K. M.; Cerin, E.; Chandan, J. S.; Chang, A. R.; Charlson, F. J.; Chattu, V. K.; Chaturvedi, S.; Chimed-Ochir, O.; Chin, K. L.; Cho, D. Y.; Christensen, H.; Chu, D.-T.; Chung, M. T.; Cicuttini, F. M.; Ciobanu, L. G.; Cirillo, M.; Collins, E. L.; Compton, K.; Conti, S.; Cortesi, P. A.; Costa, V. M.; Cousin, E.; Cowden, R. G.; Cowie, B. C.; Cromwell, E. A.; Cross, D. H.; Crowe, C. S.; Cruz, J. A.; Cunningham, M.; Dahlawi, S. M. A.; Damiani, G.; Dandona, L.; Dandona, R.; Darwesh, A. M.; Daryani, A.; Das, J. K.; Das Gupta, R.; das Neves, J.; Dávila-Cervantes, C. A.; Davletov, K.; De Leo, D.; Dean, F. E.; DeCleene, N. K.; Deen, A.; Degenhardt, L.; Dellavalle, R. P.; Demeke, F. M.; Demisie, D. G.; Denova-Gutiérrez, E.; Dereje,



N. D.; Dervenis, N.; Desai, R.; Desalew, A.; Dessie, G. A.; Dharmaratne, S. D.; Dhungana, G. P.; Dianatinasab, M.; Diaz, D.; Dibaji Forooshani, Z. S.; Dingels, Z. V.; Dirac, M. A.; Djalalinia, S.; Do, H. T.; Dokova, K.; Dorostkar, F.; Doshi, C. P.; Doshmangir, L.; Douiri, A.; Doxey, M. C.; Driscoll, T. R.; Dunachie, S. J.; Duncan, B. B.; Duraes, A. R.; Eagan, A. W.; Ebrahimi Kalan, M.; Edvardsson, D.; Ehrlich, J. R.; El Nahas, N.; El Sayed, I.; El Tantawi, M.; Elbarazi, I.; Elgendy, I. Y.; Elhabashy, H. R.; El-Jaafary, S. I.; Elyazar, I. R.; Emamian, M. H.; Emmons-Bell, S.; Erskine, H. E.; Eshrati, B.; Eskandarieh, S.; Esmaeilnejad, S.; Esmaeilzadeh, F.; Esteghamati, A.; Estep, K.; Etemadi, A.; Etisso, A. E.; Farahmand, M.; Faraj, A.; Fareed, M.; Faridnia, R.; Farinha, C. S. e S.; Farioli, A.; Faro, A.; Faruque, M.; Farzadfar, F.; Fattahi, N.; Fazlzadeh, M.; Feigin, V. L.; Feldman, R.; Fereshtehnejad, S.-M.; Fernandes, E.; Ferrari, A. J.; Ferreira, M. L.; Filip, I.; Fischer, F.; Fisher, J. L.; Fitzgerald, R.; Flohr, C.; Flor, L. S.; Foigt, N. A.; Folayan, M. O.; Force, L. M.; Fornari, C.; Foroutan, M.; Fox, J. T.; Freitas, M.; Fu, W.; Fukumoto, T.; Furtado, J. M.; Gad, M. M.; Gakidou, E.; Galles, N. C.; Gallus, S.; Gamkrelidze, A.; Garcia-Basteiro, A. L.; Gardner, W. M.; Geberemariam, B. S.; Gebrehiwot, A. M.; Gebremedhin, K. B.; Gebreslassie, A. A. A. A.; Gershberg Hayoon, A.; Gething, P. W.; Ghadimi, M.; Ghadiri, K.; Ghafourifard, M.; Ghajar, A.; Ghamari, F.; Ghashghaee, A.; Ghiasvand, H.; Ghith, N.; Gholamian, A.; Gilani, S. A.; Gill, P. S.; Gitimoghaddam, M.; Giussani, G.; Goli, S.; Gomez, R. S.; Gopalani, S. V.; Gorini, G.; Gorman, T. M.; Gottlich, H. C.; Goudarzi, H.; Goulart, A. C.; Goulart, B. N. G.; Grada, A.; Grivna, M.; Grosso, G.; Gubari, M. I. M.; Gugnani, H. C.; Guimaraes, A. L. S.; Guimarães, R. A.; Guled, R. A.; Guo, G.; Guo, Y.; Gupta, R.; Haagsma, J. A.; Haddock, B.; Hafezi-Nejad, N.; Hafiz, A.; Hagins, H.; Haile, L. M.; Hall, B. J.; Halvaei, I.; Hamadeh, R. R.; Hamagharib Abdullah, K.; Hamilton, E. B.; Han, C.; Han, H.; Hankey, G. J.; Haro, J. M.; Harvey, J. D.; Hasaballah, A. I.; Hasanzadeh, A.; Hashemian, M.; Hassanipour, S.; Hassankhani, H.; Havmoeller, R. J.; Hay, R. J.; Hay, S. I.; Hayat, K.; Heidari, B.; Heidari, G.; Heidari-Soureshjani, R.; Hendrie, D.; Henrikson, H. J.; Henry, N. J.; Herteliu, C.; Heydarpour, F.; Hird, T. R.; Hoek, H. W.; Hole, M. K.; Holla, R.; Hoogar, P.; Hosgood, H. D.; Hosseinzadeh, M.; Hostiuc, M.; Hostiuc, S.; Househ, M.; Hoy, D. G.; Hsairi, M.; Hsieh, V. C.; Hu, G.; Huda, T. M.; Hugo, F. N.; Huynh, C. K.; Hwang, B.-F.; Iannucci, V. C.; Ibitoye, S. E.; Ikuta, K. S.; Ilesanmi, O. S.; Ilic, I. M.; Ilic, M. D.; Inbaraj, L. R.; Ippolito, H.; Irvani, S. S. N.; Islam, M. M.; Islam, M.; Islam, S. M. S.; Islami, F.; Iso, H.; Ivers, R. Q.; Iwu, C. C. D.; Iyamu, I. O.; Jaafari, J.; Jacobsen, K. H.; Jadidi-Niaragh, F.; Jafari, H.; Jafarina, M.; Jahagirdar, D.; Jahani, M. A.; Jahanmehr, N.; Jakovljevic, M.; Jalali, A.; Jalilian, F.; James, S. L.; Janjani, H.; Janodia, M. D.; Jayatilleke, A. U.; Jeemon, P.; Jenabi, E.; Jha, R. P.; Jha, V.; Ji, J. S.; Jia, P.; John, O.; John-Akinola, Y. O.; Johnson, C. O.; Johnson, S. C.; Jonas, J. B.; Joo, T.; Joshi, A.; Jozwiak, J. J.; Jürisson, M.; Kabir, A.; Kabir, Z.; Kalani, H.; Kalani, R.; Kalankesh, L. R.; Kalhor, R.; Kamiab, Z.; Kanchan, T.; Karami Matin, B.; Karch, A.; Karim, M. A.; Karimi, S. E.; Kassa, G. M.; Kassebaum, N. J.; Katikireddi, S. V.; Kawakami, N.; Kayode, G. A.; Keddie, S. H.; Keller, C.; Kereselidze, M.; Khafaie, M. A.; Khalid, N.; Khan, M.; Khatab, K.; Khater, M. M.; Khatib, M. N.; Khayamzadeh, M.; Khodayari, M. T.; Khundkar, R.; Kianipour, N.; Kieling, C.; Kim, D.; Kim, Y.-E.; Kim, Y. J.; Kimokoti, R. W.; Kisa, A.; Kisa, S.; Kissimova-Skarbek, K.; Kivimäki, M.; Kneib, C. J.; Knudsen, A. K. S.; Kocarnik, J. M.; Kolola, T.; Kopec, J. A.; Kosen, S.; Koul, P. A.; Koyanagi, A.; Kravchenko, M. A.; Krishan, K.; Krohn, K. J.; Kuate Defo, B.; Kucuk Bicer, B.; Kumar, G. A.; Kumar, M.; Kumar, P.; Kumar, V.; Kumares, G.; Kurmi, O. P.; Kusuma, D.; Kyu, H. H.; La Vecchia, C.; Lacey, B.; Lal, D. K.; Laloo, R.; Lam, J. O.; Lami, F. H.; Landires, I.; Lang, J. J.; Lansingh, V. C.; Larson, S. L.; Larsson, A. O.; Lasrado, S.; Lassi, Z. S.; Lau, K. M.-M.; Lavados, P. M.; Lazarus, J. V.; Ledesma, J. R.; Lee, P. H.; Lee, S. W. H.; LeGrand, K. E.; Leigh, J.; Leonardi, M.; Lescinsky, H.; Leung, J.; Levi, M.; Lewington, S.; Li, S.; Lim, L.-L.; Lin, C.; Lin, R.-T.; Linehan, C.; Linn, S.; Liu, H.-C.; Liu, S.; Liu, Z.; Looker, K. J.; Lopez, A. D.; Lopukhov, P. D.; Lorkowski, S.; Lotufo, P. A.; Lucas, T. C. D.; Lugo, A.; Lunevicius, R.; Lyons, R. A.; Ma, J.; MacLachlan, J. H.; Maddison, E. R.; Maddison, R.; Madotto, F.; Mahasha, P. W.; Mai, H. T.; Majeed, A.; Maled, V.; Maleki, S.; Malekzadeh, R.; Malta, D. C.; Mamun, A. A.; Manafi, A.; Manafi, N.; Manguerra, H.; Mansouri, B.; Mansournia, M. A.; Mantilla Herrera, A. M.; Maravilla, J. C.; Marks, A.; Martins-Melo, F. R.; Martopullo, I.; Masoumi, S. Z.; Massano, J.; Massenburg, B. B.; Mathur, M. R.; Maulik, P. K.; McAlinden, C.; McGrath, J. J.; McKee, M.; Mehndiratta, M. M.; Mehri, F.; Mehta, K. M.; Meitei, W. B.; Memiah, P. T. N.; Mendoza, W.; Menezes, R. G.; Mengesha, E. W.; Mengesha, M. B.; Mereke, A.; Meretoja, A.;

Meretoja, T. J.; Mestrovic, T.; Miazgowski, B.; Miazgowski, T.; Michalek, I. M.; Mihretie, K. M.; Miller, T. R.; Mills, E. J.; Mirica, A.; Mirrakhimov, E. M.; Mirzaei, H.; Mirzaei, M.; Mirzaei-Alavijeh, M.; Misganaw, A. T.; Mithra, P.; Moazen, B.; Moghadaszadeh, M.; Mohamadi, E.; Mohammad, D. K.; Mohammad, Y.; Mohammad Gholi Mezerji, N.; Mohammadian-Hafshejani, A.; Mohammadifard, N.; Mohammadpourhodki, R.; Mohammed, S.; Mokdad, A. H.; Molokhia, M.; Momen, N. C.; Monasta, L.; Mondello, S.; Mooney, M. D.; Moosazadeh, M.; Moradi, G.; Moradi, M.; Moradi-Lakeh, M.; Moradzadeh, R.; Moraga, P.; Morales, L.; Morawska, L.; Moreno Velásquez, I.; Morgado-da-Costa, J.; Morrison, S. D.; Mosser, J. F.; Mouodi, S.; Mousavi, S. M.; Mousavi Khaneghah, A.; Mueller, U. O.; Munro, S. B.; Muriithi, M. K.; Musa, K. I.; Muthupandian, S.; Naderi, M.; Nagarajan, A. J.; Nagel, G.; Naghshtabrizi, B.; Nair, S.; Nandi, A. K.; Nangia, V.; Nansseu, J. R.; Nayak, V. C.; Nazari, J.; Negoï, I.; Negoï, R. I.; Netsere, H. B. N.; Ngunjiri, J. W.; Nguyen, C. T.; Nguyen, J.; Nguyen, M.; Nguyen, M.; Nichols, E.; Nigatu, D.; Nigatu, Y. T.; Nikbakhsh, R.; Nixon, M. R.; Nnaji, C. A.; Nomura, S.; Norrving, B.; Noubiap, J. J.; Nowak, C.; Nunez-Samudio, V.; Oçoiu, A.; Oancea, B.; Odell, C. M.; Ogbo, F. A.; Oh, I.-H.; Okunga, E. W.; Oladnabi, M.; Olagunju, A. T.; Olusanya, B. O.; Olusanya, J. O.; Oluwasanu, M. M.; Omar Bali, A.; Omer, M. O.; Ong, K. L.; Onwujekwe, O. E.; Orji, A. U.; Orpana, H. M.; Ortiz, A.; Ostroff, S. M.; Otstavnov, N.; Otstavnov, S. S.; Øverland, S.; Owolabi, M. O.; P a, M.; Padubidri, J. R.; Pakhare, A. P.; Palladino, R.; Pana, A.; Panda-Jonas, S.; Pandey, A.; Park, E.-K.; Parmar, P. G. K.; Pasupula, D. K.; Patel, S. K.; Paternina-Caicedo, A. J.; Pathak, A.; Pathak, M.; Patten, S. B.; Patton, G. C.; Paudel, D.; Pazoki Toroudi, H.; Peden, A. E.; Pennini, A.; Pepito, V. C. F.; Peprah, E. K.; Pereira, A.; Pereira, D. M.; Perico, N.; Pham, H. Q.; Phillips, M. R.; Pigott, D. M.; Pilgrim, T.; Pilz, T. M.; Pirsahab, M.; Plana-Ripoll, O.; Plass, D.; Pokhrel, K. N.; Polibin, R. V.; Polinder, S.; Polkinghorne, K. R.; Postma, M. J.; Pourjafar, H.; Pourmalek, F.; Pourmirza Kalhori, R.; Pourshams, A.; Poznańska, A.; Prada, S. I.; Prakash, V.; Pribadi, D. R. A.; Pupillo, E.; Quazi Syed, Z.; Rabiee, M.; Rabiee, N.; Radfar, A.; Rafiee, A.; Rafiei, A.; Raggi, A.; Rahimi-Movaghar, A.; Rahman, M. A.; Rajabpour-Sanati, A.; Rajati, F.; Ramezanzadeh, K.; Ranabhat, C. L.; Rao, P. C.; Rao, S. J.; Rasella, D.; Rastogi, P.; Rathi, P.; Rawaf, D. L.; Rawaf, S.; Rawal, L.; Razo, C.; Redford, S. B.; Reiner, R. C.; Reinig, N.; Reitsma, M. B.; Remuzzi, G.; Renjith, V.; Renzaho, A. M. N.; Resnikoff, S.; Rezaei, N.; Rezai, M. sadegh; Rezapour, A.; Rhinehart, P.-A.; Riahi, S. M.; Ribeiro, A. L. P.; Ribeiro, D. C.; Ribeiro, D.; Rickard, J.; Roberts, N. L. S.; Roberts, S.; Robinson, S. R.; Roever, L.; Rolfe, S.; Ronfani, L.; Roshandel, G.; Roth, G. A.; Rubagotti, E.; Rumisha, S. F.; Sabour, S.; Sachdev, P. S.; Saddik, B.; Sadeghi, E.; Sadeghi, M.; Saeidi, S.; Safi, S.; Safiri, S.; Sagar, R.; Sahebkar, A.; Sahraian, M. A.; Sajadi, S. M.; Salahshoor, M. R.; Salamati, P.; Salehi Zahabi, S.; Salem, H.; Salem, M. R. R.; Salimzadeh, H.; Salomon, J. A.; Salz, I.; Samad, Z.; Samy, A. M.; Sanabria, J.; Santomauro, D. F.; Santos, I. S.; Santos, J. V.; Santric-Milicevic, M. M.; Saraswathy, S. Y. I.; Sarmiento-Suárez, R.; Sarrafzadegan, N.; Sartorius, B.; Sarveazad, A.; Sathian, B.; Sathish, T.; Sattin, D.; Sbarra, A. N.; Schaeffer, L. E.; Schiavolin, S.; Schmidt, M. I.; Schutte, A. E.; Schwebel, D. C.; Schwendicke, F.; Senbeta, A. M.; Senthilkumaran, S.; Sepanlou, S. G.; Shackelford, K. A.; Shadid, J.; Shahabi, S.; Shaheen, A. A.; Shaikh, M. A.; Shalash, A. S.; Shams-Beyranvand, M.; Shamsizadeh, M.; Shannawaz, M.; Sharafi, K.; Sharara, F.; Sheena, B. S.; Sheikhtaheri, A.; Shetty, R. S.; Shibuya, K.; Shiferaw, W. S.; Shigematsu, M.; Shin, J. I.; Shiri, R.; Shirkoohi, R.; Shrimel, M. G.; Shuval, K.; Siabani, S.; Sigfusdottir, I. D.; Sigurvinsdottir, R.; Silva, J. P.; Simpson, K. E.; Singh, A.; Singh, J. A.; Skiadaresi, E.; Skou, S. T. S.; Skryabin, V. Y.; Sobngwi, E.; Sokhan, A.; Soltani, S.; Sorensen, R. J. D.; Soriano, J. B.; Sorrie, M. B.; Soyiri, I. N.; Sreeramareddy, C. T.; Stanaway, J. D.; Stark, B. A.; Ştefan, S. C.; Stein, C.; Steiner, C.; Steiner, T. J.; Stokes, M. A.; Stovner, L. J.; Stubbs, J. L.; Sudaryanto, A.; Sufiyan, M. B.; Sulo, G.; Sultan, I.; Sykes, B. L.; Sylte, D. O.; Szócska, M.; Tabarés-Seisdedos, R.; Tabb, K. M.; Tadakamadla, S. K.; Taherkhani, A.; Tajdini, M.; Takahashi, K.; Taveira, N.; Teagle, W. L.; Teame, H.; Tehrani-Banihashemi, A.; Teklehaimanot, B. F.; Terrason, S.; Tessema, Z. T.; Thankappan, K. R.; Thomson, A. M.; Tohidinik, H. R.; Tonelli, M.; Topor-Madry, R.; Torre, A. E.; Touvier, M.; Tovani-Palone, M. R. R.; Tran, B. X.; Travillian, R.; Troeger, C. E.; Truelsen, T. C.; Tsai, A. C.; Tsatsakis, A.; Tudor Car, L.; Tyrovolas, S.; Uddin, R.; Ullah, S.; Undurraga, E. A.; Unnikrishnan, B.; Vacante, M.; Vakilian, A.; Valdez, P. R.; Varughese, S.; Vasankari, T. J.; Vasseghian, Y.; Venketasubramanian, N.; Violante, F. S.; Vlassov, V.; Vollset, S. E.; Vongpradith, A.; Vukovic, A.;

- Vukovic, R.; Waheed, Y.; Walters, M. K.; Wang, J.; Wang, Y.; Wang, Y.-P.; Ward, J. L.; Watson, A.; Wei, J.; Weintraub, R. G.; Weiss, D. J.; Weiss, J.; Westerman, R.; Whisnant, J. L.; Whiteford, H. A.; Wiangkham, T.; Wiens, K. E.; Wijeratne, T.; Wilner, L. B.; Wilson, S.; Wojtyniak, B.; Wolfe, C. D. A.; Wool, E. E.; Wu, A.-M.; Wulf Hanson, S.; Wunrow, H. Y.; Xu, G.; Xu, R.; Yadgir, S.; Yahyazadeh Jabbari, S. H.; Yamagishi, K.; Yaminfirooz, M.; Yano, Y.; Yaya, S.; Yazdi-Feyzabadi, V.; Yearwood, J. A.; Yeheyis, T. Y.; Yeshitila, Y. G.; Yip, P.; Yonemoto, N.; Yoon, S.-J.; Yoosefi Lebni, J.; Younis, M. Z.; Younker, T. P.; Yousefi, Z.; Yousefifard, M.; Yousefinezhadi, T.; Yousuf, A. Y.; Yu, C.; Yusefzadeh, H.; Zahirian Moghadam, T.; Zaki, L.; Zaman, S. B.; Zamani, M.; Zamanian, M.; Zandian, H.; Zangeneh, A.; Zastrozhin, M. S.; Zewdie, K. A.; Zhang, Y.; Zhang, Z.-J.; Zhao, J. T.; Zhao, Y.; Zheng, P.; Zhou, M.; Ziapour, A.; Zimsen, S. R. M.; Naghavi, M.; Murray, C. J. L. Global Burden of 369 Diseases and Injuries in 204 Countries and Territories, 1990–2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet* **2020**, 396 (10258), 1204–1222. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30925-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9).
- (3) USAID. WASH and Its Link to Nutrition. **2020**, *Technical brief 3*, 11.
- (4) Berkman, D. S.; Lescano, A. G.; Gilman, R. H.; Lopez, S. L.; Black, M. M. Effects of Stunting, Diarrhoeal Disease, and Parasitic Infection during Infancy on Cognition in Late Childhood: A Follow-up Study. *The Lancet* **2002**, 359 (9306), 564–571. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)07744-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07744-9).
- (5) Alderman, H.; Hoddinott, J.; Kinsey, B. Long Term Consequences of Early Childhood Malnutrition. *Oxford Economic Papers* **2006**, 58 (3), 450–474. <https://doi.org/10.1093/oep/gpl008>.
- (6) JMP. *Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2017. Special Focus on Inequalities*; United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO): New York, 2019.
- (7) World Bank. *Reducing Child Stunting in Madagascar*. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/07/07/reducing-child-stunting-in-madagascar>.
- (8) Randremanana, R.; Randrianirina, F.; Gousseff, M.; Dubois, N.; Razafindratsimandresy, R.; Hariniana, E. R.; Garin, B.; Randriamanantena, A.; Rakotonirina, H. C.; Ramparany, L.; Ramarokoto, C. E.; Rakotomanana, F.; Ratsitorahina, M.; Rajatonirina, S.; Talarmin, A.; Richard, V. Case-Control Study of the Etiology of Infant Diarrheal Disease in 14 Districts in Madagascar. *PLOS ONE* **2012**, 7 (9), e44533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044533>.
- (9) Kwong, L. H.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Arsenaault, J. E.; Islam, M.; Parvez, S. M.; Unicomb, L.; Rahman, M.; Davis, J.; Luby, S. P. Ingestion of Fecal Bacteria along Multiple Pathways by Young Children in Rural Bangladesh Participating in a Cluster-Randomized Trial of Water, Sanitation, and Hygiene Interventions (WASH Benefits). *Environ. Sci. Technol.* **2020**, 54 (21), 13828–13838. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02606>.
- (10) Wagner, E. G.; Lanoix, J. N.; Organization, W. H. *Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities*; World Health Organization, 1958.
- (11) Katukiza, A. y.; Ronteltap, M.; van der Steen, P.; Foppen, J. w. a.; Lens, P. n. l. Quantification of Microbial Risks to Human Health Caused by Waterborne Viruses and Bacteria in an Urban Slum. *Journal of Applied Microbiology* **2014**, 116 (2), 447–463. <https://doi.org/10.1111/jam.12368>.
- (12) Pickering, A. J.; Ercumen, A.; Arnold, B. F.; Kwong, L. H.; Parvez, S. M.; Alam, M.; Sen, D.; Islam, S.; Kullmann, C.; Chase, C.; Ahmed, R.; Unicomb, L.; Colford, J. M.; Luby, S. P. Fecal Indicator Bacteria along Multiple Environmental Transmission Pathways (Water, Hands, Food, Soil, Flies) and Subsequent Child Diarrhea in Rural Bangladesh. *Environ. Sci. Technol.* **2018**, 52 (14), 7928–7936. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00928>.
- (13) Robb, K.; Null, C.; Teunis, P.; Yakubu, H.; Armah, G.; Moe, C. L. Assessment of Fecal Exposure Pathways in Low-Income Urban Neighborhoods in Accra, Ghana: Rationale, Design, Methods, and Key Findings of the SaniPath Study. *Am J Trop Med Hyg* **2017**, 97 (4), 1020–1032. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0508>.
- (14) Wang, Y.; Moe, C. L.; Null, C.; Raj, S. J.; Baker, K. K.; Robb, K. A.; Yakubu, H.; Ampofo, J. A.; Wellington, N.; Freeman, M. C.; Armah, G.; Reese, H. E.; Peprah, D.; Teunis, P. F. M. Multipathway Quantitative Assessment of Exposure to Fecal Contamination for Young Children in Low-Income Urban Environments in Accra, Ghana: The SaniPath Analytical Approach. *Am J Trop Med Hyg* **2017**, 97 (4), 1009–1019. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0408>.

- (15) Wang, Y.; Moe, C. L.; Teunis, P. F. M. Children Are Exposed to Fecal Contamination via Multiple Interconnected Pathways: A Network Model for Exposure Assessment: Network Model for Microbial Exposure Assessment. *Risk Analysis* **2018**, *38* (11), 2478–2496. <https://doi.org/10.1111/risa.13146>.
- (16) Mattioli, M.; Davis, J.; Boehm, A. Hand-to-Mouth Contacts Result in Greater Ingestion of Feces than Dietary Water Consumption in Tanzania: A Quantitative Fecal Exposure Assessment Model. *Environmental science & technology* **2015**, *49* (3), 1912–1920. <https://doi.org/10.1021/ES505555F>.
- (17) Mattioli, M. C.; Pickering, A. J.; Gilsdorf, R. J.; Davis, J.; Boehm, A. B. Hands and Water as Vectors of Diarrheal Pathogens in Bagamoyo, Tanzania. *Environ. Sci. Technol.* **2013**, *47* (1), 355–363. <https://doi.org/10.1021/es303878d>.
- (18) Goddard, F. G. B.; Pickering, A. J.; Ercumen, A.; Brown, J.; Chang, H. H.; Clasen, T. Faecal Contamination of the Environment and Child Health: A Systematic Review and Individual Participant Data Meta-Analysis. *The Lancet Planetary Health* **2020**, *4* (9), e405–e415. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30195-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30195-9).
- (19) Kwong, L.; Ercumen, A.; Pickering, A.; Arsenaault, J.; Islam, M.; Parvez, S.; Unicomb, L.; Rahman, M.; Davis, J.; Luby, S. Ingestion of Fecal Bacteria along Multiple Pathways by Young Children in Rural Bangladesh Participating in a Cluster-Randomized Trial of Water, Sanitation, and Hygiene Interventions (WASH Benefits). *Environmental science & technology* **2020**, *54* (21), 13828–13838. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C02606>.
- (20) Pickering, A.; Ercumen, A.; Arnold, B.; Kwong, L.; Parvez, S.; Alam, M.; Sen, D.; Islam, S.; Kullmann, C.; Chase, C.; Ahmed, R.; Unicomb, L.; Colford, J.; Luby, S. Fecal Indicator Bacteria along Multiple Environmental Transmission Pathways (Water, Hands, Food, Soil, Flies) and Subsequent Child Diarrhea in Rural Bangladesh. *Environmental science & technology* **2018**, *52* (14), 7928–7936. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.8B00928>.
- (21) Byrne, D. M.; Hamilton, K. A.; Houser, S. A.; Mubasira, M.; Katende, D.; Lohman, H. A. C.; Trimmer, J. T.; Banadda, N.; Zerai, A.; Guest, J. S. Navigating Data Uncertainty and Modeling Assumptions in Quantitative Microbial Risk Assessment in an Informal Settlement in Kampala, Uganda. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (8), 5463–5474. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05693>.
- (22) Mattioli, M. C. M.; Davis, J.; Boehm, A. B. Hand-to-Mouth Contacts Result in Greater Ingestion of Feces than Dietary Water Consumption in Tanzania: A Quantitative Fecal Exposure Assessment Model. *Environ. Sci. Technol.* **2015**, *49* (3), 1912–1920. <https://doi.org/10.1021/es505555f>.
- (23) Wang, Y.; Moe, C. L.; Null, C.; Raj, S. J.; Baker, K. K.; Robb, K. A.; Yakubu, H.; Ampofo, J. A.; Wellington, N.; Freeman, M. C.; Armah, G.; Reese, H. E.; Peprah, D.; Teunis, P. F. M. Multipathway Quantitative Assessment of Exposure to Fecal Contamination for Young Children in Low-Income Urban Environments in Accra, Ghana: The SaniPath Analytical Approach. *Am J Trop Med Hyg* **2017**, *97* (4), 1009–1019. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0408>.
- (24) Navab-Daneshmand, T.; Friedrich, M. N. D.; Gächter, M.; Montealegre, M. C.; Mlambo, L. S.; Nhiwatiwa, T.; Mosler, H.-J.; Julian, T. R. Escherichia Coli Contamination across Multiple Environmental Compartments (Soil, Hands, Drinking Water, and Handwashing Water) in Urban Harare: Correlations and Risk Factors. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **2018**, *98* (3), 803–813. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.17-0521>.
- (25) Bauza, V.; Madadi, V.; Ocharo, R.; Nguyen, T. H.; Guest, J. S. Enteric Pathogens from Water, Hands, Surface, Soil, Drainage Ditch, and Stream Exposure Points in a Low-Income Neighborhood of Nairobi, Kenya. *Science of The Total Environment* **2020**, *709*, 135344. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135344>.
- (26) Randremanana, R. V.; Randrianirina, F.; Sabatier, P.; Rakotonirina, H. C.; Randriamanantena, A.; Razanajatovo, I. M.; Ratovoson, R.; Richard, V. Campylobacter Infection in a Cohort of Rural Children in Moramanga, Madagascar. *BMC Infectious Diseases* **2014**, *14* (1), 372. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-372>.
- (27) Randremanana, R. V.; Razafindratsimandresy, R.; Andriatahina, T.; Randriamanantena, A.; Ravelomanana, L.; Randrianirina, F.; Richard, V. Etiologies, Risk Factors and Impact of Severe

- Diarrhea in the Under-Fives in Moramanga and Antananarivo, Madagascar. *PLOS ONE* **2016**, *11* (7), e0158862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158862>.
- (28) Bublitz, D. C.; Wright, P. C.; Bodager, J. R.; Rasambainarivo, F. T.; Bliska, J. B.; Gillespie, T. R. Epidemiology of Pathogenic Enterobacteria in Humans, Livestock, and Peridomestic Rodents in Rural Madagascar. *PLOS ONE* **2014**, *9* (7), e101456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101456>.
- (29) Cardinale, E.; Abat, C.; Bénédicte, C.; Vincent, P.; Michel, R.; Muriel, M. Salmonella and Campylobacter Contamination of Ready-to-Eat Street-Vended Pork Meat Dishes in Antananarivo, Madagascar: A Risk for the Consumers? *Foodborne Pathogens and Disease* **2015**, *12* (3), 197–202. <https://doi.org/10.1089/fpd.2014.1864>.
- (30) Bublitz, D. C.; Wright, P. C.; Bodager, J. R.; Rasambainarivo, F. T.; Bliska, J. B.; Gillespie, T. R. Epidemiology of Pathogenic Enterobacteria in Humans, Livestock, and Peridomestic Rodents in Rural Madagascar. *PLOS ONE* **2014**, *9* (7), e101456. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0101456>.
- (31) Randremanana, R.; Randrianirina, F.; Gousseff, M.; Dubois, N.; Razafindratsimandresy, R.; Hariniana, E.; Garin, B.; Randriamanantena, A.; Rakotonirina, H.; Ramparany, L.; Ramarokoto, C.; Rakotomanana, F.; Ratsitorahina, M.; Rajatonirina, S.; Talarmin, A.; Richard, V. Case-Control Study of the Etiology of Infant Diarrheal Disease in 14 Districts in Madagascar. *PloS one* **2012**, *7* (9). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0044533>.
- (32) Randremanana, R. V.; Razafindratsimandresy, R.; Andriatahina, T.; Randriamanantena, A.; Ravelomanana, L.; Randrianirina, F.; Richard, V. Etiologies, Risk Factors and Impact of Severe Diarrhea in the Under-Fives in Moramanga and Antananarivo, Madagascar. *PLOS ONE* **2016**, *11* (7), e0158862. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0158862>.
- (33) USAID. *CRS Fararano Joint Midterm Review*; 2017.
- (34) U.S. Environmental Protection Agency. *Guidance on Selecting Age Groups for Monitoring and Assessing Childhood Exposures to Environmental Contaminants*, 2005. <https://www.epa.gov/risk/guidance-selecting-age-groups-monitoring-and-assessing-childhood-exposures-environmental> (accessed 2022-06-29).
- (35) *Evaluation of VIDAS® Salmonella (SLM) Immunoassay Method with Rappaport-Vassiliadis (RV) Medium for Detection of Salmonella in Foods: Collaborative Study | Journal of AOAC INTERNATIONAL | Oxford Academic*. <https://academic.oup.com/jaoac/article/87/4/867/5657219> (accessed 2022-12-07).
- (36) Griffith, J. F.; Weisberg, S. B. Challenges in Implementing New Technology for Beach Water Quality Monitoring: Lessons from a California Demonstration Project. *Marine Technology Society Journal* **2011**, *45* (2), 65.
- (37) Dorevitch, S.; Ashbolt, N. J.; Ferguson, C. M.; Fujioka, R.; McGee, C. D.; Soller, J. A.; Whitman, R. L. Meeting Report: Knowledge and Gaps in Developing Microbial Criteria for Inland Recreational Waters. *Environmental Health Perspectives* **2010**, *118* (6), 871–876. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901627>.
- (38) Howard, G.; Pedley, S.; Tibatemwa, S. Quantitative Microbial Risk Assessment to Estimate Health Risks Attributable to Water Supply: Can the Technique Be Applied in Developing Countries with Limited Data? *Journal of Water and Health* **2006**, *4* (1), 49–65. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.0004>.
- (39) Haas, C. N.; Rose, J. B.; Gerba, C. P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*; John Wiley & Sons, 1999.
- (40) Machdar, E.; van der Steen, N. P.; Raschid-Sally, L.; Lens, P. N. L. Application of Quantitative Microbial Risk Assessment to Analyze the Public Health Risk from Poor Drinking Water Quality in a Low Income Area in Accra, Ghana. *Science of The Total Environment* **2013**, *449*, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.048>.
- (41) Abia, A. L. K.; Ubomba-Jaswa, E.; Genthe, B.; Momba, M. N. B. Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) Shows Increased Public Health Risk Associated with Exposure to River Water under Conditions of Riverbed Sediment Resuspension. *Science of The Total Environment* **2016**, *566–567*, 1143–1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.155>.

- (42) Uprety, S.; Dangol, B.; Nakarmi, P.; Dhakal, I.; Sherchan, S. P.; Shisler, J. L.; Jutla, A.; Amarasiri, M.; Sano, D.; Nguyen, T. H. Assessment of Microbial Risks by Characterization of Escherichia Coli Presence to Analyze the Public Health Risks from Poor Water Quality in Nepal. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **2020**, *226*, 113484. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113484>.
- (43) Kwong, L. H.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Unicomb, L.; Davis, J.; Luby, S. P. Hand- and Object-Mouthing of Rural Bangladeshi Children 3–18 Months Old. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2016**, *13* (6), 563. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060563>.
- (44) QMRA Wiki. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. <http://www.qmrawiki.org/>.
- (45) Instat; UNICEF. Enquête Par Grappes à Indicateurs Multiples MICS Madagascar, 2018, Rapport Final. Antananarivo, Madagascar. **2019**, 1093.
- (46) INSTAT. Enquête Nationale Sur Le Suive Des Objectifs Du Millénaire Pour Le Développement à Madagascar. **2012**.
- (47) McCuskee, S.; Garchitorena, A.; Miller, A. C.; Hall, L.; Ouenzar, M. A.; Rabeza, V. R.; Ramananjato, R. H.; Razanadrakato, H.-T. R.; Randriamanambintsoa, M.; Barry, M.; Bonds, M. H. Child Malnutrition in Ifanadiana District, Madagascar: Associated Factors and Timing of Growth Faltering Ahead of a Health System Strengthening Intervention. *Global Health Action* **2018**, *11* (1), 1452357. <https://doi.org/10.1080/16549716.2018.1452357>.
- (48) Xue, J.; Zartarian, V.; Moya, J.; Freeman, N.; Beamer, P.; Black, K.; Tulve, N.; Shalat, S. A Meta-Analysis of Children’s Hand-to-Mouth Frequency Data for Estimating Nondietary Ingestion Exposure. *Risk Analysis* **2007**, *27* (2), 411–420. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00893.x>.
- (49) Green, M. *Mouthing Times among Young Children from Observational Data*; WEB SITE; EPA (United States Environmental Protection Agency), 2009. [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/1005571](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/1005571) (accessed 2022-07-14).
- (50) *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum*.; Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO; World Health Organization: Geneva, 2017.
- (51) Amoah, I. D.; Reddy, P.; Seidu, R.; Stenström, T. A. Concentration of Soil-Transmitted Helminth Eggs in Sludge from South Africa and Senegal: A Probabilistic Estimation of Infection Risks Associated with Agricultural Application. *Journal of Environmental Management* **2018**, *206*, 1020–1027. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.003>.
- (52) Bublitz, D. C.; Wright, P. C.; Bodager, J. R.; Rasambainarivo, F. T.; Bliska, J. B.; Gillespie, T. R. Epidemiology of Pathogenic Enterobacteria in Humans, Livestock, and Peridomestic Rodents in Rural Madagascar. *PLOS ONE* **2014**, *9* (7), e101456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101456>.
- (53) Randremanana, R.; Randrianirina, F.; Gousseff, M.; Dubois, N.; Razafindratsimandresy, R.; Hariniana, E. R.; Garin, B.; Randriamanantena, A.; Rakotonirina, H. C.; Ramparany, L.; Ramarokoto, C. E.; Rakotomanana, F.; Ratsitorahina, M.; Rajatonirina, S.; Talarmin, A.; Richard, V. Case-Control Study of the Etiology of Infant Diarrheal Disease in 14 Districts in Madagascar. *PLOS ONE* **2012**, *7* (9), e44533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044533>.
- (54) Randremanana, R. V.; Randrianirina, F.; Sabatier, P.; Rakotonirina, H. C.; Randriamanantena, A.; Razanajatovo, I. M.; Ratovoson, R.; Richard, V. Campylobacter Infection in a Cohort of Rural Children in Moramanga, Madagascar. *BMC Infectious Diseases* **2014**, *14* (1), 372. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-372>.
- (55) Mattioli, M. C.; Boehm, A. B.; Davis, J.; Harris, A. R.; Mrisho, M.; Pickering, A. J. Enteric Pathogens in Stored Drinking Water and on Caregiver’s Hands in Tanzanian Households with and without Reported Cases of Child Diarrhea. *PLoS One* **2014**, *9* (1), e84939. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084939>.
- (56) Smith, S. A.; Norris, B. Reducing the Risk of Choking Hazards: Mouthing Behaviour of Children Aged 1 Month to 5 Years. *Injury control and safety promotion* **2003**, *10* (3), 145–154.
- (57) Kwong, L. H.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Arsenaault, J. E.; Islam, M.; Parvez, S. M.; Unicomb, L.; Rahman, M.; Davis, J.; Luby, S. P. Ingestion of Fecal Bacteria along Multiple Pathways by Young Children in Rural Bangladesh Participating in a Cluster-Randomized Trial of Water, Sanitation,

- and Hygiene Interventions (WASH Benefits). *Environ. Sci. Technol.* **2020**, *54* (21), 13828–13838. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02606>.
- (58) INSTAT. Madagascar Millenium Development Goals National Monitoring Survey. **2012**, 53.
- (59) Chang, C. Y.; Trehan, I.; Wang, R. J.; Thakwalakwa, C.; Maleta, K.; Deitchler, M.; Manary, M. J. Children Successfully Treated for Moderate Acute Malnutrition Remain at Risk for Malnutrition and Death in the Subsequent Year after Recovery. *The Journal of Nutrition* **2013**, *143* (2), 215–220. <https://doi.org/10.3945/jn.112.168047>.
- (60) Pelletier, D. L.; Low, J. W.; Johnson, F. C.; Msukwa, L. A. H. Child Anthropometry and Mortality In Malawi: Testing for Effect Modification by Age and Length of Follow-up and Confounding by Socioeconomic Factors. *The Journal of Nutrition* **1994**, *124* (suppl\_10), 2082S-2105S. [https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl\\_10.2082S](https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl_10.2082S).
- (61) Black, R. E.; Victora, C. G.; Walker, S. P.; Bhutta, Z. A.; Christian, P.; de Onis, M.; Ezzati, M.; Grantham-McGregor, S.; Katz, J.; Martorell, R.; Uauy, R. Maternal and Child Undernutrition and Overweight in Low-Income and Middle-Income Countries. *The Lancet* **2013**, *382* (9890), 427–451. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60937-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60937-X).
- (62) Ashraf, H.; Alam, N. H.; Chisti, M. J.; Mahmud, S. R.; Hossain, Md. I.; Ahmed, T.; Salam, M. A.; Gyr, N. A Follow-up Experience of 6 Months after Treatment of Children with Severe Acute Malnutrition in Dhaka, Bangladesh. *Journal of Tropical Pediatrics* **2012**, *58* (4), 253–257. <https://doi.org/10.1093/tropej/fmr083>.
- (63) Bahwere, P. Long Term Mortality after Community and Facility Based Treatment of Severe Acute Malnutrition: Analysis of Data from Bangladesh, Kenya, Malawi and Niger. *J. Public Health Epidemiol.* **2012**, *4* (8), 215–225. <https://doi.org/10.5897/JPHE11.212>.
- (64) Kerac, M.; Bunn, J.; Chagaluka, G.; Bahwere, P.; Tomkins, A.; Collins, S.; Seal, A. Follow-Up of Post-Discharge Growth and Mortality after Treatment for Severe Acute Malnutrition (FuSAM Study): A Prospective Cohort Study. *PLOS ONE* **2014**, *9* (6), e96030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096030>.
- (65) Stobaugh, H. C.; Rogers, B. L.; Rosenberg, I. H.; Webb, P.; Maleta, K. M.; Manary, M. J.; Trehan, I. Children with Poor Linear Growth Are at Risk for Repeated Relapse to Wasting after Recovery from Moderate Acute Malnutrition. *The Journal of Nutrition* **2018**, *148* (6), 974–979. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy033>.
- (66) Childhood Infection and Malnutrition Network; Richard, S. A.; Black, R. E.; Gilman, R. H.; Guerrant, R. L.; Kang, G.; Lanata, C. F.; Mølbak, K.; Rasmussen, Z. A.; Sack, R. B.; Valentiner-Branth, P.; Checkley, W. Wasting Is Associated with Stunting in Early Childhood. *The Journal of Nutrition* **2012**, *142* (7), 1291–1296. <https://doi.org/10.3945/jn.111.154922>.
- (67) Ashworth, A. Growth Rates in Children Recovering from Protein-Calorie Malnutrition. *British journal of nutrition* **1969**, *23* (4), 835–845.
- (68) Walker, S. P.; Golden, M. H. Growth in Length of Children Recovering from Severe Malnutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* **1988**, *42* (5), 395–404.
- (69) Mosler, H.-J. A Systematic Approach to Behavior Change Interventions for the Water and Sanitation Sector in Developing Countries: A Conceptual Model, a Review, and a Guideline. *International journal of environmental health research* **2012**, *22* (5), 431–449.
- (70) Harter, M.; Inauen, J.; Mosler, H.-J. How Does Community-Led Total Sanitation (CLTS) Promote Latrine Construction, and Can It Be Improved? A Cluster-Randomized Controlled Trial in Ghana. *Social Science & Medicine* **2020**, *245*, 112705. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.112705>.
- (71) Packard, M. Report on a Review of Social and Behavior Change Methods and Approaches within Food for Peace Development Food Security Activities. *Washington, DC: Food and Nutrition Technical Assistance III Project (FANTA)/FHI 360.* **2018**.
- (72) Health Communication Capacity Collaborative. The P Process: Five Steps to Strategic Communication. *Baltimore: Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health Center for Communication Programs* **2013**.
- (73) Luby, S. P.; Keswick, B. H.; Hoekstra, R. M.; Mendoza, C.; Chiller, T. M. Difficulties in Bringing Point-of-Use Water Treatment to Scale in Rural Guatemala. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **2008**, *78* (3), 382–387. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2008.78.382>.

- (74) Schmidt, W.-P.; Cairncross, S. Household Water Treatment in Poor Populations: Is There Enough Evidence for Scaling up Now? *Environ. Sci. Technol.* **2009**, *43* (4), 986–992. <https://doi.org/10.1021/es802232w>.
- (75) Pérez-Vidal, A.; Diaz-Gómez, J.; Castellanos-Rozo, J.; Usaquen-Perilla, O. L. Long-Term Evaluation of the Performance of Four Point-of-Use Water Filters. *Water Research* **2016**, *98*, 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.016>.
- (76) Pickering, A. J.; Crider, Y.; Sultana, S.; Swarouth, J.; Goddard, F. G.; Anjerul Islam, S.; Sen, S.; Ayyagari, R.; Luby, S. P. Effect of In-Line Drinking Water Chlorination at the Point of Collection on Child Diarrhoea in Urban Bangladesh: A Double-Blind, Cluster-Randomised Controlled Trial. *The Lancet Global Health* **2019**, *7* (9), e1247–e1256. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30315-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30315-8).
- (77) Pickering, A. J.; Crider, Y.; Amin, N.; Bauza, V.; Unicomb, L.; Davis, J.; Luby, S. P. Differences in Field Effectiveness and Adoption between a Novel Automated Chlorination System and Household Manual Chlorination of Drinking Water in Dhaka, Bangladesh: A Randomized Controlled Trial. *PLoS One* **2015**, *10* (3), e0118397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118397>.
- (78) Amin, N.; Crider, Y. S.; Unicomb, L.; Das, K. K.; Gope, P. S.; Mahmud, Z. H.; Islam, M. S.; Davis, J.; Luby, S. P.; Pickering, A. J. Field Trial of an Automated Batch Chlorinator System at Shared Water Points in an Urban Community of Dhaka, Bangladesh. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* **2016**, *6* (1), 32–41. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.027>.
- (79) Lindmark, M.; Cherukumilli, K.; Crider, Y. S.; Marcenac, P.; Lozier, M.; Voth-Gaeddert, L.; Lantagne, D. S.; Mihelcic, J. R.; Zhang, Q. M.; Just, C.; Pickering, A. J. Passive In-Line Chlorination for Drinking Water Disinfection: A Critical Review. *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56* (13), 9164–9181. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08580>.
- (80) Powers, J. E.; McMurry, C.; Gannon, S.; Drolet, A.; Oremo, J.; Klein, L.; Crider, Y.; Davis, J.; Pickering, A. J. Design, Performance, and Demand for a Novel in-Line Chlorine Doser to Increase Safe Water Access. *npj Clean Water* **2021**, *4* (1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-00091-1>.
- (81) Sikder, M.; String, G.; Kamal, Y.; Farrington, M.; Rahman, A. S.; Lantagne, D. Effectiveness of Water Chlorination Programs along the Emergency-Transition-Post-Emergency Continuum: Evaluations of Bucket, in-Line, and Piped Water Chlorination Programs in Cox's Bazar. *Water Research* **2020**, *178*, 115854. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115854>.
- (82) Nagata, J. M.; Vallengia, C. R.; Smith, N. W.; Barg, F. K.; Guidera, M.; Bream, K. D. W. Criticisms of Chlorination: Social Determinants of Drinking Water Beliefs and Practices among the Tz'utujil Maya. *Rev Panam Salud Publica* **2011**, *8*.
- (83) Crider, Y.; Sultana, S.; Unicomb, L.; Davis, J.; Luby, S. P.; Pickering, A. J. Can You Taste It? Taste Detection and Acceptability Thresholds for Chlorine Residual in Drinking Water in Dhaka, Bangladesh. *Science of The Total Environment* **2018**, *613–614*, 840–846. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.135>.
- (84) Evidence Action. *Dispensers for Safe Water*. <https://www.evidenceaction.org/dispensersforsafewater/>.
- (85) PSEAU; RAN'EAU. *Le suivi de la qualité de l'eau à Madagascar*. [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps\\_eau\\_le\\_suivi\\_de\\_la\\_qualite\\_de\\_l\\_eau\\_a\\_madagascar\\_2018.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_le_suivi_de_la_qualite_de_l_eau_a_madagascar_2018.pdf).
- (86) Boehm, A. B.; Wang, D.; Ercumen, A.; Shea, M.; Harris, A. R.; Shanks, O. C.; Kelty, C.; Ahmed, A.; Mahmud, Z. H.; Arnold, B. F.; Chase, C.; Kullmann, C.; Colford, J. M.; Luby, S. P.; Pickering, A. J. Occurrence of Host-Associated Fecal Markers on Child Hands, Household Soil, and Drinking Water in Rural Bangladeshi Households. *Environ. Sci. Technol. Lett.* **2016**, *3* (11), 393–398. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00382>.
- (87) Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Kwong, L. H.; Arnold, B. F.; Parvez, S. M.; Alam, M.; Sen, D.; Islam, S.; Kullmann, C.; Chase, C.; Ahmed, R.; Unicomb, L.; Luby, S. P.; John M. Colford, Jr. Animal Feces Contribute to Domestic Fecal Contamination: Evidence from E. Coli Measured in Water, Hands, Food, Flies, and Soil in Bangladesh. *Environmental Science and Technology* **2017**, *51* (15), 8725–8734. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.7B01710>.



- (88) Rosenbaum, J.; Tenaw, E.; Clemmer, R.; Israel, M.; Albert, J. Exploring the Use and Appeal of Playpens to Protect Infants from Exposure to Animals, Animal Feces, and Dirt in Rural Ethiopia. *Am J Trop Med Hyg* **2021**, *104* (1), 346–356. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0445>.
- (89) Reid, B.; Seu, R.; Orgle, J.; Roy, K.; Pongolani, C.; Chileshe, M.; Fundira, D.; Stoltzfus, R. A Community-Designed Play-Yard Intervention to Prevent Microbial Ingestion: A Baby Water, Sanitation, and Hygiene Pilot Study in Rural Zambia. *Am J Trop Med Hyg* **2018**, *99* (2), 513–525. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.17-0780>.
- (90) Alonge, O.; Bishai, D.; Wadhvaniya, S.; Agrawal, P.; Rahman, A.; Dewan Hoque, E. Md.; Baset, K. U.; Salam, S. S.; Bhuiyan, A.-A.; Islam, M. I.; Talab, A.; Rahman, Q. S.; Rahman, F.; El-Arifeen, S.; Hyder, A. A. Large-Scale Evaluation of Interventions Designed to Reduce Childhood Drownings in Rural Bangladesh: A before and after Cohort Study. *Inj. Epidemiol.* **2020**, *7* (1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40621-020-00245-2>.
- (91) Humphrey, J. H.; Mbuya, M. N. N.; Ntozini, R.; Moulton, L. H.; Stoltzfus, R. J.; Tavengwa, N. V.; Mutasa, K.; Majo, F.; Mutasa, B.; Mangwadu, G.; Chasokela, C. M.; Chigumira, A.; Chasekwa, B.; Smith, L. E.; Tielsch, J. M.; Jones, A. D.; Manges, A. R.; Maluccio, J. A.; Prendergast, A. J.; Humphrey, J. H.; Jones, A. D.; Manges, A.; Mangwadu, G.; Maluccio, J. A.; Mbuya, M. N. N.; Moulton, L. H.; Ntozini, R.; Prendergast, A. J.; Stoltzfus, R. J.; Tielsch, J. M.; Chasokela, C.; Chigumira, A.; Heylar, W.; Hwena, P.; Kembo, G.; Majo, F. D.; Mutasa, B.; Mutasa, K.; Rambanepasi, P.; Sauramba, V.; Tavengwa, N. V.; Van Der Keilen, F.; Zambezi, C.; Chidhanguro, D.; Chigodora, D.; Chipanga, J. F.; Gerema, G.; Magara, T.; Mandava, M.; Mavhudzi, T.; Mazhanga, C.; Muzaradope, G.; Mwapaura, M. T.; Phiri, S.; Tengende, A.; Banda, C.; Chasekwa, B.; Chidamba, L.; Chidawanyika, T.; Chikwindi, E.; Chingaona, L. K.; Chiorera, C. K.; Dandadzi, A.; Govha, M.; Gumbo, H.; Gwanzura, K. T.; Kasaru, S.; Makasi, R.; Matsika, A. M.; Maunze, D.; Mazarura, E.; Mpfu, E.; Mushonga, J.; Mushore, T. E.; Muzira, T.; Nembaware, N.; Nkiwane, S.; Nyamwino, P.; Rukobo, S. D.; Runodamoto, T.; Seremwe, S.; Simango, P.; Tome, J.; Tsenesa, B.; Amadu, U.; Bangira, B.; Chiveza, D.; Hove, P.; Jombe, H. A.; Kujenga, D.; Madhuyu, L.; Makoni, P. M.; Maramba, N.; Maregere, B.; Marumani, E.; Masakadze, E.; Mazula, P.; Munyanyi, C.; Musanhu, G.; Mushanawani, R. C.; Mutsando, S.; Nazare, F.; Nyarambi, M.; Nzuda, W.; Sigauke, T.; Solomon, M.; Tavengwa, T.; Biri, F.; Chafanza, M.; Chaitezvi, C.; Chauke, T.; Chidzomba, C.; Dadirai, T.; Fundira, C.; Gambiza, A. C.; Godzongere, T.; Kuona, M.; Mafuratidze, T.; Mapurisa, I.; Mashedze, T.; Moyo, N.; Musariri, C.; Mushambadope, M.; Mutsonziwa, T. R.; Muzondo, A.; Mwareka, R.; Nyamupfukudza, J.; Saidi, B.; Sakuhwehwe, T.; Sikalima, G.; Tembe, J.; Chekera, T. E.; Chihombe, O.; Chikombingo, M.; Chirinda, T.; Chivizhe, A.; Hove, R.; Kufa, R.; Machikopa, T. F.; Mandaza, W.; Mandongwe, L.; Manhiyo, F.; Manyaga, E.; Mapuranga, P.; Matimba, F. S.; Matonhodze, P.; Mhuri, S.; Mike, J.; Ncube, B.; Nderecha, W. T. S.; Noah, M.; Nyamadzawo, C.; Penda, J.; Saidi, A.; Shonhayi, S.; Simon, C.; Tichagwa, M.; Chamakono, R.; Chauke, A.; Gatsi, A. F.; Hwena, B.; Jawi, H.; Kaisa, B.; Kamutanho, S.; Kaswa, T.; Kayeruza, P.; Lunga, J.; Magogo, N.; Manyeruke, D.; Mazani, P.; Mhuriyengwe, F.; Mlambo, F.; Moyo, S.; Mpfu, T.; Mugava, M.; Mukungwa, Y.; Muroyiwa, F.; Mushonga, E.; Nyekete, S.; Rinashe, T.; Sibanda, K.; Chemhuru, M.; Chikunya, J.; Chikwavaire, V. F.; Chikwiriro, C.; Chimusoro, A.; Chinyama, J.; Gwinji, G.; Hoko-Sibanda, N.; Kandawasvika, R.; Madzimure, T.; Maponga, B.; Mapuranga, A.; Marembo, J.; Matsunge, L.; Maunga, S.; Muchekeza, M.; Muti, M.; Nyamana, M.; Azhuda, E.; Bhoroma, U.; Biriyadi, A.; Chafota, E.; Chakwizira, A.; Chamhamiwa, A.; Champion, T.; Chazuza, S.; Chikwira, B.; Chingozho, C.; Chitabwa, A.; Dhurumba, A.; Furidzirai, A.; Gandanga, A.; Gukuta, C.; Macheche, B.; Marihwi, B.; Masike, B.; Mutangandura, E.; Mutodza, B.; Mutsindikwa, A.; Mwale, A.; Ndhlovu, R.; Nduna, N.; Nyamandi, C.; Ruvata, E.; Sithole, B.; Urayai, R.; Vengesa, B.; Zorounye, M.; Bamule, M.; Bande, M.; Chahuruva, K.; Chidumba, L.; Chigove, Z.; Chiguri, K.; Chikuni, S.; Chikwanda, R.; Chimbi, T.; Chingozho, M.; Chinhamo, O.; Chinokuramba, R.; Chinyoka, C.; Chipenzi, X.; Chipute, R.; Chiribhani, G.; Chitsinga, M.; Chiwanga, C.; Chiza, A.; Chombe, F.; Denhere, M.; Dhamba, E.; Dhamba, M.; Dube, J.; Dzibanhete, F.; Dzingai, G.; Fusira, S.; Gonese, M.; Gota, J.; Gumure, K.; Gwaidza, P.; Gwangwava, M.; Gwara, W.; Gwayua, M.; Gwiba, M.; Hamauswa, J.; Hlasera, S.; Hlukani, E.; Hotera, J.; Jakwa, L.; Jangara, G.; Janyure, M.; Jari, C.; Juru, D.; Kapuma, T.; Konzai, P.; Mabhodha, M.; Maburutse, S.; Macheke, C.; Machigaya, T.; Machingauta, F.; Machokoto, E.; Madhumba, E.; Madziise, L.; Madziva, C.;

Madzivire, M.; Mafukise, M.; Maganga, M.; Maganga, S.; Mageja, E.; Mahanya, M.; Mahaso, E.; Mahleka, S.; Makanhiwa, P.; Makarudze, M.; Makeche, C.; Makopa, N.; Makumbe, R.; Mandire, M.; Mandiyanike, E.; Mangena, E.; Mangiro, F.; Mangwadu, A.; Mangwengwe, T.; Manhidza, J.; Manhovo, F.; Manono, I.; Mapako, S.; Mapfumo, E.; Mapfumo, T.; Mapuka, J.; Masama, D.; Masenge, G.; Mashasha, M.; Mashivire, V.; Matunhu, M.; Mavhoru, P.; Mawuka, G.; Mazango, I.; Mazhata, N.; Mazuva, D.; Mazuva, M.; Mbinda, F.; Mborera, J.; Mfiri, U.; Mhandu, F.; Mhike, C.; Mhike, T.; Mhuka, A.; Midzi, J.; Moyo, S.; Mpundu, M.; Msekiwa, N.; Msindo, D.; Mtisi, C.; Muchemwa, G.; Mujere, N.; Mukaro, E.; Muketiwa, K.; Mungoi, S.; Munzava, E.; Muoki, R.; Mupura, H.; Murerwa, E.; Murisi, C.; Muroyiwa, L.; Muruvi, M.; Musemwa, N.; Mushure, C.; Mutero, J.; Mutero, P.; Mutumbu, P.; Mutya, C.; Muzanango, L.; Muzembi, M.; Muzungunye, D.; Mwazha, V.; Ncube, T.; Ndava, T.; Ndlovu, N.; Nehowa, P.; Ngara, D.; Nguruve, L.; Nhigo, P.; Nkiwane, S.; Nyanyai, L.; Nzombe, J.; Office, E.; Paul, B.; Pavari, S.; Ranganai, S.; Ratisai, S.; Rugara, M.; Rusere, P.; Sakala, J.; Sango, P.; Shava, S.; Shekede, M.; Shizha, C.; Sibanda, T.; Tapambwa, N.; Tembo, J.; Tinago, N.; Tinago, V.; Toindepi, T.; Tovigepi, J.; Tuhwe, M.; Tumbo, K.; Zaranyika, T.; Zaru, T.; Zimidzi, K.; Zindo, M.; Zindonda, M.; Zinhumwe, N.; Zishiri, L.; Ziyambi, E.; Zvinowanda, J.; Bepete, E.; Chiwira, C.; Chuma, N.; Fari, A.; Gavi, S.; Gunha, V.; Hakunandava, F.; Huku, C.; Hungwe, G.; Maduke, G.; Manyewe, E.; Mapfumo, T.; Marufu, I.; Mashiri, C.; Mazenge, S.; Mbinda, E.; Mhuri, A.; Muguti, C.; Munemo, L.; Musindo, L.; Ngada, L.; Nyembe, D.; Taruvinga, R.; Tobaiwa, E.; Banda, S.; Chaipa, J.; Chakaza, P.; Chandigere, M.; Changunduma, A.; Chibi, C.; Chidyagwai, O.; Chidza, E.; Chigatse, N.; Chikoto, L.; Chingware, V.; Chinho, J.; Chinhoro, M.; Chiripamberi, A.; Chitavati, E.; Chitiga, R.; Chivanga, N.; Chivese, T.; Chizema, F.; Dera, S.; Dhliwayo, A.; Dhononga, P.; Dimingo, E.; Dziyani, M.; Fambi, T.; Gambagamba, L.; Gandiyari, S.; Gomo, C.; Gore, S.; Gundani, J.; Gundani, R.; Gwarima, L.; Gwaringa, C.; Gwenya, S.; Hamilton, R.; Hlabano, A.; Hofisi, E.; Hofisi, F.; Hungwe, S.; Hwacha, S.; Hwara, A.; Jogwe, R.; Kanikani, A.; Kuchicha, L.; Kutsira, M.; Kuziyamisa, K.; Kuziyamisa, M.; Kwangware, B.; Lozani, P.; Mabuto, J.; Mabuto, V.; Mabvurwa, L.; Machacha, R.; Machaya, C.; Madembo, R.; Madya, S.; Madzingira, S.; Mafa, L.; Mafuta, F.; Mafuta, J.; Mahara, A.; Mahonye, S.; Maisva, A.; Makara, A.; Makover, M.; Mambongo, E.; Mambure, M.; Mandizvidza, E.; Mangena, G.; Manjengwa, E.; Manomano, J.; Mapfumo, M.; Mapfurire, A.; Maphosa, L.; Mapundo, J.; Mare, D.; Marecha, F.; Marecha, S.; Mashiri, C.; Masiya, M.; Masuku, T.; Masvimbo, P.; Matambo, S.; Matarise, G.; Matinanga, L.; Matizanadzo, J.; Maunganidze, M.; Mawere, B.; Mawire, C.; Mazvanya, Y.; Mbasera, M.; Mbono, M.; Mhakayakora, C.; Mhlanga, N.; Mhosva, B.; Moyo, N.; Moyo, O.; Moyo, R.; Mpakami, C.; Mpedzisi, R.; Mpofo, E.; Mpofo, E.; Mtetwa, M.; Muchakachi, J.; Mudadada, T.; Mudzingwa, K.; Mugwira, M.; Mukarati, T.; Munana, A.; Munazo, J.; Munyeki, O.; Mupfeka, P.; Murangandi, G.; Muranganwa, M.; Murenjekwa, J.; Muringo, N.; Mushaniga, T.; Mutaja, F.; Mutanha, D.; Mutemeri, P.; Mutero, B.; Muteya, E.; Muvembi, S.; Muzenda, T.; Mwenjota, A.; Ncube, S.; Ndabambi, T.; Ndava, N.; Ndlovu, E.; Nene, E.; Ngazimbi, E.; Ngwalati, A.; Nyama, T.; Nzembe, A.; Pabwaungana, E.; Phiri, S.; Pukuta, R.; Rambanapasi, M.; Rera, T.; Samanga, V.; Shirichena, S.; Shoko, C.; Shonhe, M.; Shuro, C.; Sibanda, J.; Sibangani, E.; Sibangani, N.; Sibindi, N.; Sitotombe, M.; Siwawa, P.; Tagwirei, M.; Taruvinga, P.; Tavagwisa, A.; Tete, E.; Tete, Y.; Thandiwe, E.; Tibugari, A.; Timothy, S.; Tongogara, R.; Tshuma, L.; Tsikira, M.; Tumba, C.; Watinaye, R.; Zhiradzango, E.; Zimunya, E.; Zinengwa, L.; Ziupfu, M.; Ziyambe, J.; Church, J. A.; Desai, A.; Fundira, D.; Gough, E.; Kambarami, R. A.; Matare, C. R.; Malaba, T. R.; Mupfudze, T.; Ngure, F.; Smith, L. E.; Curtis, V.; Dickin, K. L.; Habicht, J.-P.; Masimirembwa, C.; Morgan, P.; Pelto, G. H.; Sheffner-Rogers, C.; Thelingwani, R.; Turner, P.; Zungu, L.; Makadzange, T.; Mujuru, H. A.; Nyachowe, C.; Chakadai, R.; Chanyau, G.; Makamure, M. G.; Chiwariro, H.; Mtetwa, T.; Chikunya, J.; Maguwu, L.; Nyadundu, S.; Moyo, T.; Chayima, B.; Mvindi, L.; Rwenhamo, P.; Muzvarwandoga, S.; Chimukangara, R.; Njovo, H.; Makoni, T. Independent and Combined Effects of Improved Water, Sanitation, and Hygiene, and Improved Complementary Feeding, on Child Stunting and Anaemia in Rural Zimbabwe: A Cluster-Randomised Trial. *The Lancet Global Health* **2019**, *7* (1), e132–e147. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30374-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30374-7).

- (92) Gertler, P.; Shah, M.; Alzua, M. L.; Cameron, L.; Martinez, S.; Patil, S. *How Does Health Promotion Work? Evidence From The Dirty Business of Eliminating Open Defecation*; w20997; National Bureau of Economic Research: Cambridge, MA, 2015; p w20997. <https://doi.org/10.3386/w20997>.

- (93) Valenza, M.; Chavez, C.; Rigole, A.; Clemons, A.; Fortin, A.; Mattellone, E. Let Us Continue Learning: Lessons from Madagascar for Improving Access and Retention of Vulnerable Children in Secondary School. *Innocenti Research Briefs - UNICEF Office of research - Innocenti, Florence* 2021–04.
- (94) World Bank. *The world Bank In Madagascar*.  
<https://www.worldbank.org/en/country/madagascar/overview>.
- (95) Leonard, T. C. Richard H. Thaler, Cass R. Sunstein, Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness. *Const Polit Econ* **2008**, *19* (4), 356–360. <https://doi.org/10.1007/s10602-008-9056-2>.
- (96) Dupas, P.; Robinson, J. Why Don't the Poor Save More? Evidence from Health Savings Experiments. *American Economic Review* **2013**, *103* (4), 1138–1171.  
<https://doi.org/10.1257/aer.103.4.1138>.
- (97) Crocker, J.; Saywell, D.; Bartram, J. Sustainability of Community-Led Total Sanitation Outcomes: Evidence from Ethiopia and Ghana. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **2017**, *220* (3), 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.011>.
- (98) USAID Madagascar. Ending Preventable Child and Maternal Deaths : 10 Innovations Highlights from Madagascar. **2014**.
- (99) Cattaneo, M. D.; Galiani, S.; Gertler, P. J.; Martinez, S.; Titiunik, R. Housing, Health, and Happiness. *American Economic Journal: Economic Policy* **2009**, *1* (1), 75–105.  
<https://doi.org/10.1257/pol.1.1.75>.
- (100) Rogawski McQuade, E. T.; Platts-Mills, J. A.; Gratz, J.; Zhang, J.; Moulton, L. H.; Mutasa, K.; Majo, F. D.; Tavengwa, N.; Ntozini, R.; Prendergast, A. J.; Humphrey, J. H.; Liu, J.; Houpt, E. R. Impact of Water Quality, Sanitation, Handwashing, and Nutritional Interventions on Enteric Infections in Rural Zimbabwe: The Sanitation Hygiene Infant Nutrition Efficacy (SHINE) Trial. *J Infect Dis* **2020**, *221* (8), 1379–1386. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiz179>.
- (101) Cairncross, S. More Water: Better Health. *People Planet* **1997**, *6* (3), 10–11.
- (102) Graeff, J. A.; Elder, J. P.; Booth, E. M. *Communication for Health and Behavior Change: A Developing Country Perspective*; Jossey-Bass San Francisco, CA, 1993.
- (103) Mbakaya, B. C.; Kalembo, F. W.; Zgambo, M. Use, Adoption, and Effectiveness of Tippy-Tap Handwashing Station in Promoting Hand Hygiene Practices in Resource-Limited Settings: A Systematic Review. *BMC Public Health* **2020**, *20* (1), 1005. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09101-w>.
- (104) Vonaesch, P.; Djorie, S. G.; Kandou, K. J. E.; Rakotondrainipiana, M.; Schaeffer, L.; Andriatsalama, P. V.; Randriamparany, R.; Gondje, B. P.; Nigatoloum, S.; Vondo, S. S.; Etienne, A.; Robinson, A.; Hunald, F. A.; Raharimalala, L.; Giles-Vernick, T.; Tondeur, L.; Randrianirina, F.; Bastaraud, A.; Gody, J.-C.; Sansonetti, P. J.; Randremanana, R. V.; Barbot-Trystram, L.; Barouki, R.; Bastaraud, A.; Collard, J.-M.; Doria, M.; Etienne, A.; Djorie, S. G.; Giles-Vernick, T.; Godje, B. P.; Gody, J.-C.; Hunald, F. A.; Kapel, N.; Lombart, J.-P.; Manirakiza, A.; Nigatoloum, S. N.; Raharimalala, L.; Rakotondrainipiana, M.; Randremanana, R.; Randriamizao, H. M. R.; Randrianirina, F.; Robinson, A.; Rubbo, P.-A.; Sansonetti, P.; Schaeffer, L.; Gouandjika-Vassilache, I.; Vonaesch, P.; Vondo, S. S.; Vigan-Womas, I.; AFRIBIOTA Investigators. Factors Associated with Stunted Growth in Children Under Five Years in Antananarivo, Madagascar and Bangui, Central African Republic. *Matern Child Health J* **2021**, *25* (10), 1626–1637.  
<https://doi.org/10.1007/s10995-021-03201-8>.
- (105) Lindeberg, Y. L.; Egedal, K.; Hossain, Z. Z.; Phelps, M.; Tulsiani, S.; Farhana, I.; Begum, A.; Jensen, P. K. M. Can Escherichia Coli Fly? The Role of Flies as Transmitters of E. Coli to Food in an Urban Slum in Bangladesh. *Tropical Medicine & International Health* **2018**, *23* (1), 2–9.  
<https://doi.org/10.1111/tmi.13003>.
- (106) Parvez, S. M.; Kwong, L.; Rahman, M. J.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Ghosh, P. K.; Rahman, Md. Z.; Das, K. K.; Luby, S. P.; Unicomb, L. Escherichia Coli Contamination of Child Complementary Foods and Association with Domestic Hygiene in Rural Bangladesh. *Tropical Medicine & International Health* **2017**, *22* (5), 547–557. <https://doi.org/10.1111/tmi.12849>.
- (107) Doza, S.; Rahman, M. J.; Islam, M. A.; Kwong, L. H.; Unicomb, L.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Parvez, S. M.; Naser, A. M.; Ashraf, S.; Das, K. K.; Luby, S. P. Prevalence and Association of

- Escherichia Coli and Diarrheagenic Escherichia Coli in Stored Foods for Young Children and Flies Caught in the Same Households in Rural Bangladesh. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **2018**, *98* (4), 1031–1038. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.17-0408>.
- (108) Luby, S. P.; Halder, A. K.; Huda, T.; Unicomb, L.; Johnston, R. B. The Effect of Handwashing at Recommended Times with Water Alone and With Soap on Child Diarrhea in Rural Bangladesh: An Observational Study. *PLOS Medicine* **2011**, *8* (6), e1001052. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001052>.
- (109) Teunis, P. F. M.; Reese, H. E.; Null, C. A.; Yakubu, H.; Moe, C. L. Quantifying Contact with the Environment: Behaviors of Young Children in Accra, Ghana. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **2016**, *94* (4), 920–931. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0417>.
- (110) Kwong, L.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Unicomb, L.; Davis, J.; Luby, S. P. Hand- and Object-Mouthing of Rural Bangladeshi Children 3–18 Months Old. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2016**, *13* (6), 563. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060563>.
- (111) Bauza, V.; Byrne, D.; Trimmer, J.; Lardizabal, A.; Atiim, P.; Asigbee, M.; Guest, J. Child Soil Ingestion in Rural Ghana - Frequency, Caregiver Perceptions, Relationship with Household Floor Material and Associations with Child Diarrhoea. *Tropical medicine & international health : TM & IH* **2018**, *23* (5), 558–569. <https://doi.org/10.1111/TMI.13050>.
- (112) Bischel, H. N.; Caduff, L.; Schindelholz, S.; Kohn, T.; Julian, T. R. Health Risks for Sanitation Service Workers along a Container-Based Urine Collection System and Resource Recovery Value Chain. *Environmental Science & Technology* **2019**, *53* (12), 7055–7067. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B01092>.
- (113) Byrne, D. M.; Hamilton, K. A.; Houser, S. A.; Mubasira, M.; Katende, D.; Lohman, H. A. C.; Trimmer, J. T.; Banadda, N.; Zerai, A.; Guest, J. S. Navigating Data Uncertainty and Modeling Assumptions in Quantitative Microbial Risk Assessment in an Informal Settlement in Kampala, Uganda. *Environmental Science & Technology* **2021**, *55* (8), 5463–5474. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C05693>.
- (114) Aquagenx. *E. coli/Total Coliform Water Quality Test*.
- (115) Byrne, D. M.; Hamilton, K. A.; Houser, S. A.; Mubasira, M.; Katende, D.; Lohman, H. A. C.; Trimmer, J. T.; Banadda, N.; Zerai, A.; Guest, J. S. Navigating Data Uncertainty and Modeling Assumptions in Quantitative Microbial Risk Assessment in an Informal Settlement in Kampala, Uganda. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (8), 5463–5474. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05693>.
- (116) Moya, J.; Phillips, L.; Schuda, L.; Wood, P.; Diaz, A.; Lee, R.; Clickner, R.; Birch, R.; Adjei, N.; Blood, P. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. *US Environmental Protection Agency* **2011**.
- (117) Kwong, L. H.; Ercumen, A.; Pickering, A. J.; Unicomb, L.; Davis, J.; Leckie, J. O.; Luby, S. P. Soil Ingestion among Young Children in Rural Bangladesh. *J Expo Sci Environ Epidemiol* **2019**, *31* (1), 82–93. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0177-7>.
- (118) Galland, B. C.; Taylor, B. J.; Elder, D. E.; Herbison, P. Normal Sleep Patterns in Infants and Children: A Systematic Review of Observational Studies. *Sleep medicine reviews* **2012**, *16* (3), 213–222.
- (119) Arsenault, J. E.; Yakes, E. A.; Hossain, M. B.; Islam, M. M.; Ahmed, T.; Hotz, C.; Lewis, B.; Rahman, A. S.; Jamil, K. M.; Brown, K. H. The Current High Prevalence of Dietary Zinc Inadequacy among Children and Women in Rural Bangladesh Could Be Substantially Ameliorated by Zinc Biofortification of Rice. *The Journal of nutrition* **2010**, *140* (9), 1683–1690.
- (120) Kimmons, J. E.; Dewey, K. G.; Haque, E.; Chakraborty, J.; Osendarp, S. J.; Brown, K. H. Low Nutrient Intakes among Infants in Rural Bangladesh Are Attributable to Low Intake and Micronutrient Density of Complementary Foods. *The Journal of nutrition* **2005**, *135* (3), 444–451.
- (121) Havelaar, A. H.; Melse, J. M. *Quantifying public health risks in the WHO Guidelines for Drinking-water quality*. <https://www.who.int/publications/m/item/quantifying-public-health-risks-in-the-who-guidelines-for-drinking-water-quality> (accessed 2022-06-28).
- (122) World Health Organization. *The Global Epidemiology of Infectious Diseases*. Christopher J.L.; Murray, Alan D; Lopez, Colin D. Mathers **2004**.
- (123) Howard, G.; Pedley, S. Assessing the Risk to Public Health from Water Supply Using QMRA. *Health, insitutional, social and mapping programmes to support WSPs* **2004**, 15

Pour voir les annexes (disponibles en anglais), veuillez consulter [la version originale de ce rapport](#).

*Ce rapport est rendu possible grâce au soutien du peuple américain par le biais de l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID). Le contenu de ce rapport relève de la responsabilité de PRO-WASH et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'USAID ou du gouvernement des États-Unis.*