

# Cartographie des zéro-doses et des populations non vaccinées en Afrique de l'Ouest

## Reach the Unreached – Digital technologies to map zero-dose and unreached children in West and Central Africa

### Aperçu méthodologique de la modélisation de la couverture vaccinale

WorldPop, Université de Southampton  
30 novembre 2024

Des estimations précises des populations non et sous-immunisées dans diverses unités administratives sont essentielles pour une planification et une prestation efficaces de divers services basés sur les droits de l'homme dans les pays, en particulier les services de vaccination tels que la vaccination de routine et les campagnes, et les réponses humanitaires. Cependant, en raison de recensements obsolètes, de zones inaccessibles (en raison de conflits, de conditions météorologiques extrêmes, etc.), de mouvements de populations, de systèmes de gestion de l'information sanitaire médiocres et d'un manque de capacités, ces données sont souvent obsolètes, incomplètes ou indisponibles dans de nombreux pays. Pour combler cette lacune, l'initiative « Reach the Unreached » vise à développer ces ensembles de données essentiels et à les présenter dans des cartes numériques actuelles, fiables et exploitables. Ce rapport est axé sur la méthodologie de production de ces cartes.

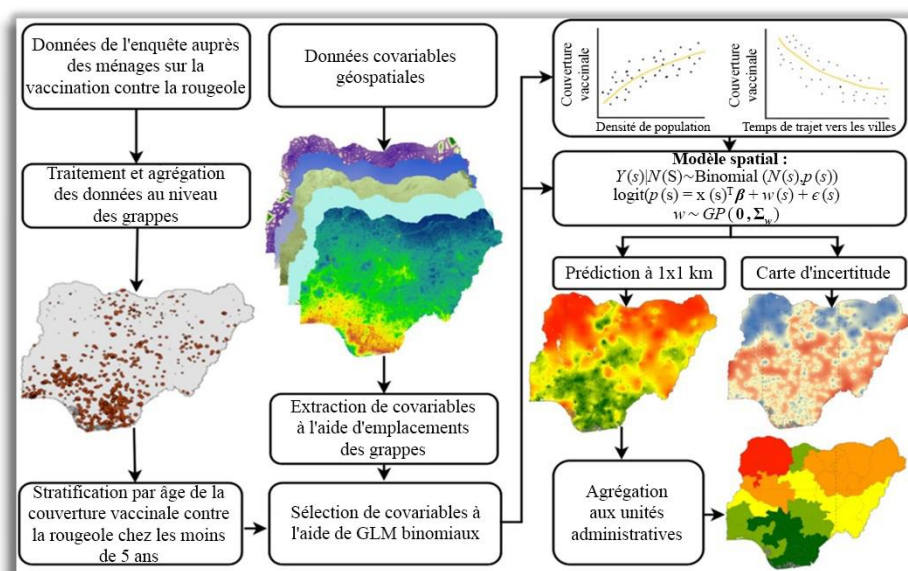


Figure 1 : Schéma du processus de modélisation de la couverture vaccinale. Les observations de la couverture vaccinale sont combinées à des ensembles de données auxiliaires tels que les réseaux routiers, la température ou l'intensité de la lumière nocturne pour prédire la couverture vaccinale dans tout le pays.

## Bref aperçu de la méthode

La méthodologie utilisée pour produire des estimations carroyées (1x1 km) de la couverture vaccinale est disponible en détail dans Utazi et al. (2021 ; 2022 ; 2023). Ces analyses incluent les combinaisons de doses de vaccins de type DTP1, DTP2 et DTP3, et sont faites principalement sur les enfants âgés de 12 à 23 mois. Le processus de modélisation générique est illustré à la figure 1 et est expliqué plus en détail ci-dessous.

Les données sur la couverture vaccinale sont régulièrement recueillies grâce à des enquêtes auprès des ménages, telles que les enquêtes démographiques et de santé (EDS). Les ensembles de données standard de l'EDS contiennent plus de 1000 variables et comprennent des milliers de répondants sélectionnés à partir de la base d'échantillonnage des zones de recensement.

Les détails concernant les répondants individuels sont extraits de la base de données de l'EDS pour l'analyse et la modélisation de la vaccination, y compris l'ID du cas, l'ID de chaque grappe, le mois et l'année de l'entretien, la date de naissance de chaque répondant et les vaccinations DTP. Ces données au niveau individuel sont enregistrées dans un nouvel ensemble de données fonctionnelles. Cet ensemble de données fonctionnelles est soigneusement nettoyé pour éliminer les données sur les enfants décédés, les données incomplètes, etc. Ensuite, le nombre total d'enfants vaccinés pour la dose individuelle de DTP est calculé dans quatre groupes d'âge distincts : moins de 9 mois, 9-11 mois, 12-23 mois et 24-35 mois au niveau de la grappe d'enquête. L'analyse tient compte des preuves brutes de vaccination obtenues à partir des cartes de vaccination ou par rappel parental.

En général, lors du calcul des estimations de l'enquête au niveau agrégé, c'est-à-dire pour les niveaux administratifs où l'enquête est représentative, des pondérations d'enquête sont appliquées pour tenir compte de la conception de l'enquête. Cependant, les données au niveau des clusters (grappes) sont utilisées ici pour les analyses géospatiales, qui sont généralement non pondérées car les pondérations d'enquête ne sont pas utiles à ce niveau. Ainsi, les pourcentages de vaccination DTP non pondérés sont calculés : la proportion d'enfants vaccinés dans chaque catégorie d'âge, en mettant en évidence les variations de la couverture vaccinale entre les groupes d'âge et les types de DTP. Les données résultantes sont vérifiées pour la cohérence afin de s'assurer que la couverture DTP1 > la couverture DTP2 > la couverture DTP3. En cas d'incohérence, une logique utilisée par le programme DHS est appliquée pour réaffecter les doses et appliquer la contrainte.

Dans l'étape suivante, un ensemble de facteurs géospatiaux socio-économiques, environnementaux et physiques qui peuvent avoir une influence directe ou indirecte ou être associés à la distribution spatiale et aux inégalités géographiques dans la couverture vaccinale, sont assemblés et traités à partir de diverses sources en utilisant des techniques SIG. Ces covariables comprennent des facteurs démographiques tels que la population du ménage, la religion, l'origine ethnique, etc. Des facteurs spatiaux tels que le temps de déplacement vers la zone urbaine ou l'établissement de santé le plus proche, ou la distance vers les zones de conflit, ainsi que le type d'utilisation/couverture des terres, les variables topographiques, climatiques et environnementales sont également pris en compte.

À l'aide de la pile de couches de variables geospatiales, des statistiques zonales utilisant des tampons tenant compte du déplacement des grappes DHS sont calculées pour obtenir les mesures au niveau des grappes des variables geospatiales. Ces mesures de données sont ensuite analysés plus avant via un processus de sélection de variables élaborées pour filtrer et éliminer les variables redondantes ou non significatives avant la modélisation. Il en résulte généralement un petit sous-ensemble de variables à utiliser dans le processus de modélisation final.

Les modèles géostatistiques bayésiens sont ensuite appliqués aux données et ce, au niveau des grappes générant les estimations de la couverture vaccinale au niveau d'une grille fine (Utazi et al. 2021 ; 2022 ; 2023). Les variables choisies sont utilisées comme prédicteurs dans le modèle spatial pour prédire la probabilité de vaccination DTP pour chaque groupe d'âge à une résolution spatiale de 1x1 km, en capturant également les incertitudes associées (Figure 2). Le modèle spatial comprend également une variable urbaine-rurale et un effet aléatoire pour tenir compte des éléments de conception de l'enquête tels que la stratification et le regroupement. Le processus de modélisation implique l'ajustement du modèle, la validation du modèle via des techniques de validation croisée et la prédiction. Le modèle géostatistique est réalisé dans un cadre bayésien utilisant des approximations de Laplace imbriquées intégrées (INLA) avec des équations différentielles partielles stochastiques (SPDE) telles qu'introduites par Rue et al. (2009) et Lindgren et al. (2011). Le cadre de modélisation garantit que les estimations de couverture produites pour les vaccins multidoses sont cohérentes en interne et suivent une séquence logique (Utazi et al., 2022). Une étape supplémentaire de validation du modèle consiste à comparer les estimations modélisées avec les estimations issues de l'enquête, qui servent de référence au niveau administratif auquel l'enquête a été conçue pour être représentative. Enfin, les estimations de la couverture vaccinale au niveau carroyé sont agrégées aux niveaux administratifs pertinents sur le plan opérationnel par pondération à l'aide des données démographiques.

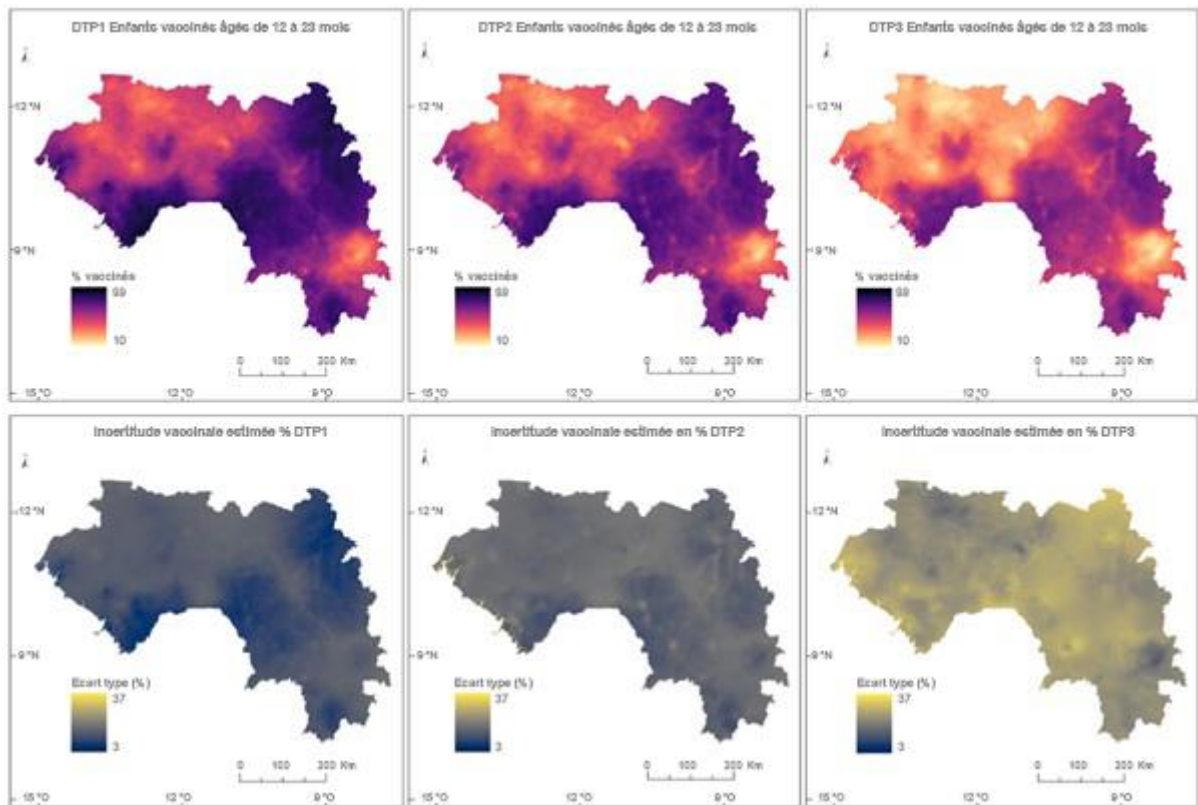


Figure 2 : Estimation de la couverture DTP 1-3 et des incertitudes associées à une résolution de 1 km x 1 km pour la Guinée.

## Disponibilité du logiciel

Le code du modèle de couverture vaccinale peut être téléchargé à partir de [wppg/RtU\\_vaccination\\_modelling](https://github.com/wppg/RtU_vaccination_modelling): [RtU\\_vaccination\\_modelling](https://github.com/wppg/RtU_vaccination_modelling)

## Remerciements

The Reach the Unreached – Digital technologies to map zero-dose and unreached children in West and Central Africa project is funded by UNICEF — The United Nations Children's Fund (contract No. 43387656). Le projet est dirigé par le Bureau Régional de l'UNICEF pour l'Afrique de l'Ouest, avec la participation de plusieurs partenaires, notamment les bureaux nationaux de l'UNICEF, WorldPop de l'Université de Southampton, MapAction et CartONG.

Ce rapport de méthode a été rédigé par Somnath Chaudhuri, Edson Utazi et Attila N Lazar. Les contributions de toute l'équipe WorldPop à la méthode développée et aux applications actuelles sont également reconnues.

## Citation suggérée

WorldPop 2024. Aperçu méthodologique de la modélisation de la couverture vaccinale. Mapping zero-dose and unreached populations in West Africa: Reach the Unreached –

Digital technologies to map zero-dose and unreached children in West and Central Africa project. WorldPop, Université de Southampton, 30 novembre 2024.

## Licence

Ce rapport peut être redistribué selon les termes d'une licence **Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)**

## Références

- Lindgren, F., Rue, H., & Lindström, J. (2011). An explicit link between Gaussian fields and Gaussian Markov random fields : the stochastic partial differential equation approach. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 73(4), 423-498.
- Rue, H., Martino, S., & Chopin, N. (2009). Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 71(2), 319-392.
- Utazi CE, Thorley J, Alegana VA, Ferrari MJ, Takahashi S, Metcalf CJE, Lessler J, Tatem AJ. (2018). High resolution age-structured mapping of childhood vaccination coverage in low and middle income countries. *Vaccine*, 36(12), 1583-1591. DOI : 10.1016/j.vaccine.2018.02.020
- Utazi, C. E., Nilsen, K., Pannell, O., Dotse-Gborgbortsi, W., & Tatem, A. J. (2021). District-level estimation of vaccination coverage: Discrete vs continuous spatial models. *Statistics in Medicine*, 40(9), 2197-2211.
- Utazi, C. E., Aheto, J. M. K., Chan, H. M. T., Tatem, A. J., & Sahu, S. K. (2022). Conditional probability and ratio-based approaches for mapping the coverage of multi-dose vaccines. *Statistics in Medicine*, 41(29), 5662-5678.
- Utazi, C. E., Chan, H. M. T., Olowe, I., Wigley, A., Tejedor-Garavito, N., Cunningham, A., ... & Tatem, A. J. (2023). A zero-dose vulnerability index for equity assessment and spatial Prioritization in Low-and middle-income countries. *Spatial Statistics*, 100772.