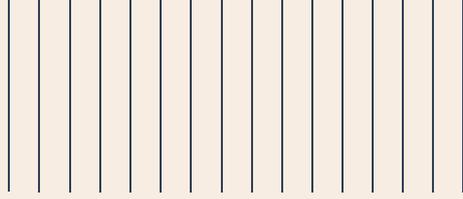


NOTES OUEST-AFRICAINES



FORMES URBAINES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE

SEPTEMBRE 2023, NO.40



NOTES OUEST-AFRICAINES



FORMES URBAINES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE

SEPTEMBRE 2023, NO.40

CETTE NOTE A ÉTÉ RÉDIGÉE PAR

BRILÉ ANDERSON, CSAO/OCDE

RAFAEL PRIETO-CURIEL, COMPLEXITY SCIENCE HUB

JORGE PATIÑO, CSAO/OCDE

NOTES OUEST-AFRICAINES

Les Notes ouest-africaines analysent les dynamiques socio-économiques, politiques et sécuritaires que traverse l'Afrique dans une perspective régionale et multidisciplinaire. Elles cherchent à stimuler la discussion, rassembler les informations et mieux anticiper les transformations en cours pour les politiques à venir. Elles visent à partager des études avec une large audience d'experts, de praticiens du développement, de décideurs et de lecteurs avertis. Les Notes sont disponibles en anglais et/ou en français ; les résumés dans les deux langues.

Merci de citer cet ouvrage comme suit :

Anderson, B., R. Prieto-Curiel et J. Patiño (2023), « Formes urbaines et changement climatique en Afrique », *Notes ouest-africaines*, N°. 40, Éditions OCDE, Paris.

<https://doi.org/10.1787/24151149>

Contact auteurs :

Brilé Anderson, brile.anderson@oecd.org;

Jorge Patiño, jorge.patino@oecd.org

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document, ainsi que les données et cartes qu'il peut comprendre, sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Autorisé pour publication par Sibiri Jean Zoundi, Directeur ad intérim, Secrétariat du Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (OCDE/CSAO).

© OCDE 2023

L'utilisation de ce contenu, qu'il soit numérique ou imprimé, est régie par les conditions d'utilisation suivantes : <http://www.oecd.org/fr/conditionsdutilisation>.

Résumé :

L'Afrique connaît une transition urbaine et climatique sans précédent. Si certaines conditions sont réunies, une plus grande compacité urbaine pourrait contribuer à améliorer la qualité de vie, la résilience, et la durabilité au cours des prochaines décennies. S'appuyant sur des outils novateurs et de nouvelles données, cette analyse remédie à certaines lacunes en présentant des mesures de la compacité et d'autres variables des formes urbaines pour près de 5 625 agglomérations urbaines du continent. Même si l'urbanisation reste souvent un phénomène non planifié et non coordonné, une tendance prometteuse se dessine : les mégalo-poles (plus de 4 millions d'habitants) sont en moyenne plus compactes que les grandes villes (1 million à 4 millions d'habitants) et celles de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants). Les agglomérations moins compactes présentent des bâtiments plus petits, une forme urbaine plate et basse, un centre moins dense (reflétant une utilisation peu optimale de l'espace) et une structure polycentrique (plusieurs centres, par opposition à une ville monocentrique). Cette note analyse les conséquences d'une moindre compacité urbaine en termes de durabilité et de qualité de vie, soulignant des besoins d'énergie plus élevés, une moindre accessibilité aux services et opportunités, des espaces urbains où il est moins facile de se déplacer à pied et où la dépendance à l'automobile est plus forte, ainsi qu'une plus grande pollution de l'air extérieur. Elle examine également les compromis potentiels en termes de résilience; une plus grande compacité peut résulter en la perte d'espaces verts et donc en plus grandes effets d'îlot de chaleur urbain. Elle identifie enfin les options susceptibles d'améliorer, dans les années à venir, la résilience incluant le suivi-évaluation des progrès.

Mots clés : villes compactes, Afrique, durabilité, résilience, données spatiales

Codes JEL : Q24, Q47, Q54, Q56, Q58, R58

À propos des auteurs :

Brilé Anderson est économiste de l'environnement au CSAO/OCDE.

Rafael Prieto-Curiel est chercheur postdoctoral au Complexity Science Hub.

Jorge Patiño est chercheur en géographie au CSAO/OCDE.

Remerciements :

Ce travail a été réalisé sous la supervision et la direction de Marie Trémolières (CSAO/OCDE). Les auteurs souhaitent remercier les collègues suivants pour leurs commentaires et suggestions utiles : Claudia Baranzelli (CFE/EDS), Patrick Lamson-Hall (CSAO/OCDE), Inhoi Heo (CSAO/OCDE), Mikael Maës (ENV/EPI) et Abel Schumann (EDU/IMEP). Une mention spéciale va à Laurent Bossard, notre ancien directeur. Nous lui sommes extrêmement reconnaissants pour ses commentaires éclairants. Enfin, les auteurs remercient Lia Beyeler (CSAO/OCDE) et Preeya Khongwir (CSAO/OCDE) pour leur soutien en matière de rédaction et de conception.

LE CLUB DU SAHEL ET DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

Le Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (CSAO) est une plateforme internationale indépendante. Son Secrétariat est hébergé au sein de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Sa mission est de promouvoir des politiques régionales à même d'améliorer le bien-être économique et social des populations du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest. Le CSAO produit et cartographie des données, fournit des analyses informées et facilite le dialogue stratégique, afin d'aider les politiques à mieux anticiper les transformations dans la région et leur effet sur les territoires. Il promeut la coopération régionale et des politiques plus contextualisées comme levier de développement durable et de stabilité. Ses domaines de travail portent sur dynamiques alimentaires, villes, environnement et sécurité.

Ses Membres et partenaires sont l'Autriche, la Belgique, le Canada, le CILSS (Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel), la Commission de la CEDEAO (Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest), la Commission de l'UEMOA (Union économique et monétaire ouest-africaine), la Commission européenne, l'Espagne, les États-Unis, la France, le Luxembourg, les Pays-Bas et la Suisse.

Pour en savoir plus : www.oecd.org/csao

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------|
| ● « FONDAMENT » DES DONNÉES..... | P.6 |
| - Aperçu des données de base: le bâti dans les agglomérations urbaines africaines..... | P.9 |
| ● COMPACTITÉ DES VILLES AFRICAINES..... | P.10 |
| - Mesurer la compacité..... | P.10 |
| - Les très grandes villes sont plus compactes..... | P.12 |
| - Tendances regionales..... | P.13 |
| ● CARACTÉRISTIQUES DES AGGLOMÉRATIONS MOINS COMPACTES..... | P.16 |
| - Multitude de petits bâtiments..... | P.16 |
| - Dans les grandes villes, les grands bâtiments sont plus nombreux..... | P.18 |
| - Obstacles à la présence de bâtiments plus grands..... | P.22 |
| - Des agglomérations plus compactes plus remplies..... | P.25 |
| - Arbitrer entre polycentrisme et compacité..... | P.29 |
| ● COMPACTITÉ, DURABILITÉ, QUALITÉ DE VIE ET RÉSILIENCE..... | P.36 |
| - Allongement des distances dans les villes moins compactes..... | P.36 |
| - L'étalement urbain réduit l'accessibilité à pied..... | P.37 |
| - Renforcer la résilience face aux effets d'îlot de chaleur urbain..... | P.40 |
| - Des villes plus allongées, une pollution atmosphérique plus élevée..... | P.41 |
| ● DE MEILLEURES DONNÉES POUR UNE PRISE DE DÉCISION ÉCLAIRÉE..... | P.42 |
| - L'hétérogénéité du développement urbain, une approche contextualisée et plus déconcentrée..... | P.42 |
| - Une planification des villes africaines, intégrative des informalités | P.42 |
| ● NOTES..... | P.44 |
| ● RÉFÉRENCES..... | P.45 |
| ● ANNEXE A. LE MODÈLE BASE..... | P.48 |
| ● ANNEXE B. ANALYSE DE SENSIBILITÉ..... | P.50 |
| ● ANNEXE C. MESURER LE DEGRÉ DE POLYCENTRICITÉ..... | P.53 |
| ● ANNEXE D. IMPACT DE LA TAILLE DES VILLES SUR LES INDICATEURS URBAINS..... | P.54 |

● « FONDAMENT » DES DONNÉES

D'ici 2050, 950 millions de personnes supplémentaires vivront dans les agglomérations urbaines africaines, s'ajoutant aux 567 millions de citoyens en 2015 (OCDE/CSAO, 2020^[1]). Ces nouveaux urbains vivront cette transition dans un contexte de stress climatique sans précédent. L'Afrique est, et demeurera, un contributeur mineur aux émissions mondiales, même avec une urbanisation rapide. Elle gagnerait cependant et à anticiper et s'adapter aux effets du changement climatique. Les pays développés ont promis, dans le cadre du Pacte de Glasgow pour le climat, d'accélérer leur soutien financier et technologique afin d'assurer une transition bas-carbone juste et inclusive dans les pays à faible revenu.

Si l'urbanisation du continent africain peut, à certaines conditions, renforcer la résilience, elle peut également aggraver la vulnérabilité des citoyens face au climat, si non pensée. Ce n'est pas l'urbanisation en tant que tel qui représente un défi, mais ses modalités : lorsqu'elle s'opère de manière spontanée, sans coordination et à un rythme rapide, elle ne permet en effet pas aux infrastructures de s'adapter. Se combinent une augmentation de l'habitat informel, des systèmes de transport inadéquats, un coût de la vie extrêmement élevé par rapport aux revenus, des embouteillages fréquents, la disparition des espaces verts et l'augmentation de la pollution de l'air extérieur, en particulier dans les grandes villes (Gnacadjia, 2022^[2] ; Anderson, Patiño Quinchía et Prieto-Curiel, 2022^[3] ; Stucki, 2015^[4]). L'indice de vulnérabilité au changement climatique classe les villes d'Afrique subsaharienne dans la catégorie « à risque extrêmement élevé », non seulement en raison des effets à venir du changement climatique, mais aussi des insuffisances des infrastructures et services urbains (Maplecroft, 2022^[5] ; Gnacadjia, 2022^[2]). L'urbanisation empiète parfois sur les écosystèmes irremplaçables, détruisant la biodiversité. Sans un aménagement et une planification adéquate, des décès peuvent arriver lors d'inondations (comme dans la province de KwaZulu-Natal, Afrique du Sud, en mai 2022) et de glissements de terrain (comme à Yaoundé, Cameroun, en novembre 2022). Il y a également un risque de figer des infrastructures vulnérables au changement climatique, ou des modes de transport et de bâti énergivores, les infrastructures étant plus coûteuses à modifier une fois en place et que de telles situations perdurent des années (OCDE, 2017^[6]).

D'ici 2050, l'Afrique ne devrait contribuer qu'à hauteur de 4 % aux émissions mondiales cumulées de CO₂ liées à l'énergie, et ce quel que soit le scénario (AIE, 2022^[7]). Il est désormais largement reconnu que les villes jouent un rôle essentiel dans la réalisation des engagements d'atténuation et d'adaptation des gouvernements nationaux dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat de 2015 (UNFCCC, 2015^[8]). Or, l'influence négative ou positive des agglomérations dans les efforts nationaux de réalisation des objectifs climatiques dépendra en partie des modalités de leur urbanisation. Les contributions déterminées au niveau national (CDN) des pays d'Afrique de l'Ouest (soit les engagements que les pays se fixent eux-mêmes en matière d'adaptation et d'atténuation) omettent pour la plupart de mentionner le rôle des villes (Anderson, Rhein et Acosta, 2022^[9]). Or, la réponse au changement climatique passe impérativement par des actions territorialisées reflétant les besoins locaux et y répondant.

Malgré ces défis, l'urbanisation peut faire progresser non seulement l'agenda climatique, mais aussi la prospérité économique. La qualité de vie des urbains est souvent meilleure avec un meilleur niveau d'éducation, de revenu et d'accès aux infrastructures que leurs homologues des zones rurales (OCDE/UNCEA/BAD, 2022^[10]). Avec les politiques climatiques actuelles, l'augmentation des températures moyennes mondiales devrait atteindre 2°C vers 2050, ce qui réduirait le PIB africain d'environ 8 % et celui ouest-africain d'environ 15% si aucune action n'est prise (AIE, 2022^[7]). Afin de réduire la gravité de ces projections, il faudrait agir rapidement sur le front du climat dans les zones urbaines africaines (AIE, 2022^[7]).

Les villes, en particulier les plus grandes devraient promouvoir des formes urbaines plus compactes (à la condition de ressources, politiques et réglementations suffisantes) afin d'améliorer la durabilité, la résilience et la qualité de vie. D'un point de vue morphologique, la compacité contribue à réduire les distances de déplacement, améliorer l'accessibilité des équipements et services urbains, encourager une occupation mixte des sols et réduire la

consommation énergétique des véhicules – autant d'éléments contribuant à la diminution des émissions et de la pollution (Ahlfeldt et al., 2018_[11] ; OCDE, 2018_[12]). Un développement urbain compact peut en outre limiter l'expansion de l'habitat dans les sites vulnérables (évitant notamment inondations et glissements de terrain) et la perte de services écosystémiques essentiels (en freinant, par exemple, la prolifération de l'habitat dans les plaines inondables), renforçant ainsi la résilience. La compacité et une plus forte densité permettraient à un plus grand nombre de personnes de vivre au sein d'une zone urbaine, ce qui les rapproche sur le plan spatial et réduit les distances de déplacement et la consommation énergétique des bâtiments et des systèmes d'infrastructure, et donc les émissions (OCDE, 2019_[13]). D'un point de vue économique, la compacité accroît par ailleurs les bénéfices des économies d'échelle, ainsi que l'efficacité des infrastructures dans des secteurs comme les transports, la santé et l'énergie.

Si la compacité peut contribuer à améliorer la résilience, la durabilité et la qualité de vie dans les villes, ces effets sont toutefois loin d'être systématiques. Tous les quartiers densément peuplés n'offrent pas à leurs habitants des logements et des équipements décentes ; la surpopulation reste un risque (OCDE et Commission européenne, 2020_[14]). Une plus grande compacité peut en outre signifier la perte d'espaces verts, augmentant ainsi le risque de vagues de chaleur et d'appauvrissement de la biodiversité (Anderson, Patiño Quinchía et Prieto-Curiel, 2022_[3]). Les villes doivent donc suivre de près le processus de conversion des terrains (emplacement, modalités) afin d'en maximiser les avantages et d'en minimiser les risques.

Les caractéristiques de la compacité dans les agglomérations urbaines africaines demeurent toutefois aujourd'hui largement inconnues, au-delà de quelques généralités et analyses isolées de grandes métropoles. De plus en plus d'éléments témoignent de la diversité de la réalité de la transition urbaine en Afrique (OCDE/CSAO, 2020_[11]) ; mais il existe encore trop peu d'études et de données éclairant les réalités fonctionnelles (encadré 1). Cette analyse entend y contribuer en produisant un nouvel ensemble d'indicateurs comparables pour 5 625 agglomérations urbaines africaines, qui feront l'objet d'une mise à jour régulière. Elle s'appuie sur la base de données Open Buildings, récemment publiée par Google AI Africa, qui cartographie l'empreinte du bâti sur le continent africain (informations non disponibles avant 2021) (Wojciech et al., 2021_[15]) et sur Africapolis et sa délimitation notamment spatiale des agglomérations urbaines (OCDE/CSAO, 2020_[16]).

- La première section met en évidence (même si l'urbanisation semble moins planifiée) une tendance prometteuse : les très grandes villes (plus de 4 millions d'habitants) sont en moyenne plus compactes que les grandes villes (1 million à 4 millions d'habitants) et celles de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants).
- La deuxième section analyse ensuite les caractéristiques associées aux formes urbaines moins compactes : bâtiments plus petits, silhouette urbaine plate et basse, centre moins rempli (avec une utilisation peu efficace de l'espace) et structure polycentrique (plusieurs centres, par opposition à une ville monocentrique).
- La dernière section examine enfin les conséquences d'une urbanisation moins compacte sur le plan de la durabilité : besoins d'énergie plus élevés, moindre accessibilité à pied aux différents services et opportunités, entraînant une plus grande dépendance à l'automobile, et plus forte pollution de l'air extérieur. Elle explore en outre les différents arbitrages liés à la compacité, notamment le risque de perte d'espaces verts et d'aggravation des effets d'îlot de chaleur urbain.

La question de la compacité des agglomérations urbaines africaines est complexe, tout comme ses implications sur le plan de la durabilité et de la résilience. À l'heure où l'Afrique connaît une transition urbaine et climatique sans précédent, jamais autant de données libres d'accès n'ont été disponibles, offrant la possibilité d'appréhender ces phénomènes en meilleure connaissance de cause. L'ensemble des indicateurs utilisés ici sont disponibles en ligne sur la plateforme CARTA (Mapping Territorial Transformations in Africa [Cartographier les transformations territoriales en Afrique]) de l'OCDE/CSAO¹ et régulièrement mis à jour.

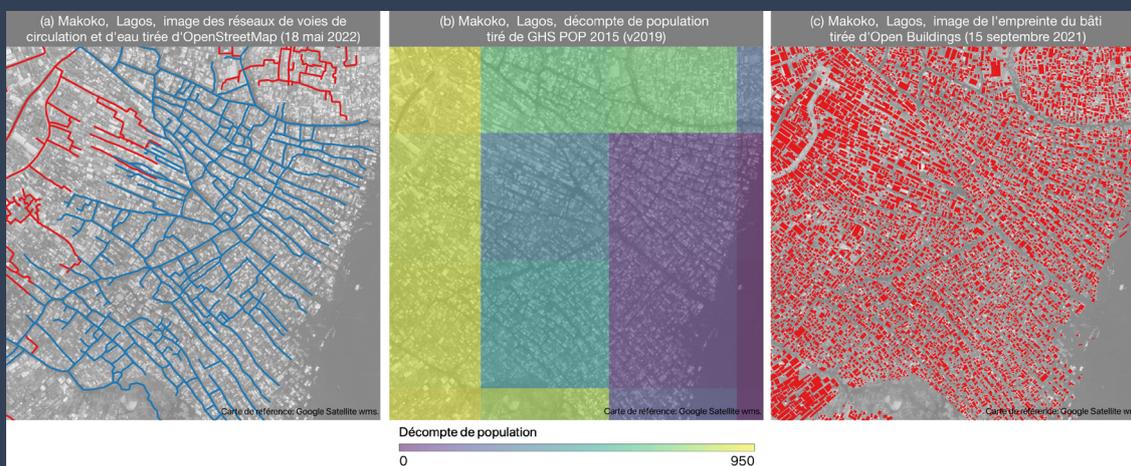
Encadré 1.

À propos des données de référence : exploiter la puissance de visualisation de l’empreinte du bâti

La mesure du degré de compacité des agglomérations urbaines africaines, ou d’autres caractéristiques des formes urbaines, est complexe en raison du peu de données disponibles et de leur piètre qualité. Les analyses utilisent souvent des données de densité de population (nombre d’habitants par kilomètre carré), dont la localisation géospatiale peut être plus ou moins fiable, en particulier dans le cas des petites villes africaines. Les données sur la densité de population sont souvent une modélisation de la distribution de la population, étant donné l’irrégularité ou l’absence de données. L’étude des formes urbaines sur la base de ces données modélisées ne permet pas de savoir si les caractéristiques reflètent véritablement les réalités du terrain. Les données du projet « Global Human Settlement Layer » (GHSL) estiment par exemple qu’aucun habitant ne vit dans certaines parties de Makoko, bidonville au large de Lagos (Nigéria) (zone en violet sur la carte 1, panneau b), alors que l’image satellite de base (b) révèle bien la présence d’habitats (Melchiorri, Ehrlich et Kemper, 2021_[17]). D’autres études s’appuient sur les données des réseaux de rues (OpenStreetMap). Celles-ci ne rendent toutefois pas compte de nombreux habitats dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, ou ne saisissent pas toute l’étendue de certaines zones urbaines, comme dans le cas de Makoko, au Nigéria (carte 1a). L’utilisation de l’un ou l’autre de ces types de données (densités de population/réseaux de rues) pour l’étude de la morphologie urbaine pourrait véhiculer une image erronée.

Carte 1.

Makoko (Nigéria) : visualisation complète grâce à l’empreinte du bâti et seulement partielle à partir des densités de population et des réseaux de rues



Note : Gauche : image des réseaux de voies de circulation et d’eau tirée d’OpenStreetMap ; centre : décompte de population tiré du projet GHS ; droite : image de l’empreinte du bâti tirée d’Open Buildings.

Source : (Open Street Map, 2022_[18] ; Melchiorri, Ehrlich et Kemper, 2021_[17] ; Wojciech et al., 2021_[15])

Les données Open Buildings (Google AI Africa disponibles depuis 2021) cartographie l’empreinte du bâti sur l’ensemble du continent africain (à l’exception de certaines zones, pour raisons politiques notamment) (Wojciech et al., 2021_[15]). Pour chaque bâti cartographié, sont fournis la délimitation de l’empreinte au sol, les coordonnées du centre géométrique et un indice de confiance (degré de certitude de l’algorithme qu’il s’agit bien d’un bâti).

Les informations sur l'emplacement des bâtis et leur empreinte au sol permettent caractériser la densité du bâti du tissu urbain de chaque zone. L'intérêt de ces données est de permettre la visualisation de parties du continent non prises en compte par d'autres sources en particulier pour les petites agglomérations, comme Makoko (carte 1c).

Combinées à Africapolis, les données sur l'empreinte du bâti permettent le calcul d'indicateurs sur la forme urbaine rendant mieux compte de la réalité des villes, notamment de celles de petite taille (10 000 à 50 000 habitants) et de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants). La définition des zones urbaines et les délimitations administratives ne reflètent pas nécessairement l'étendue du développement urbain. Africapolis cartographie les limites de toute agglomération comptant au moins 10 000 habitants avec moins de 200 mètres entre les bâtis. Ces critères permettent la comparabilité entre pays. Les données Open Buildings identifient plus de 183 millions de bâtis dans les 5 625 agglomérations urbaines délimitées par Africapolis 2015.

Les indicateurs de compacité, ainsi que d'autres caractéristiques de la forme urbaine, sont définis à partir de la distribution, de l'espacement et de la localisation des bâtis au sein des villes. Comme ils ne dépendent pas directement de la taille des villes, ces indicateurs peuvent permettre de comparer sans biais des villes de tailles très différentes.

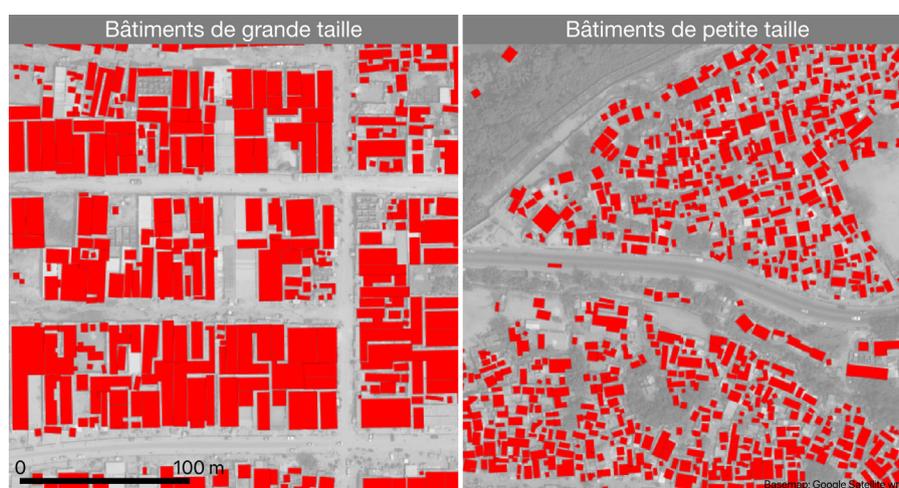
Aperçu des données de base: le bâti dans les agglomérations urbaines africaines

Les bâtis ont une empreinte au sol extrêmement variable, pouvant aller de quelques mètres carrés à plusieurs centaines de mètres carrés (carte 2). Pour chaque bâti, notre analyse utilise les coordonnées du centre géométrique et l'empreinte au sol pour développer de nouveaux indicateurs liés à la compacité.

Carte 2.

Abidjan (Côte d'Ivoire) :

Empreinte au sol de bâtiments de grande et de petite taille pour les données Open Buildings



Note : Empreinte au sol de bâtiments de grande et de petite taille à Abidjan (Côte d'Ivoire). Les deux images sont représentées à la même échelle.

Source : Données basées sur (Wojciech et al., 2021^[15]), superposées à des images satellite Google.

● COMPACTITÉ DES VILLES AFRICAINES

Les grandes agglomérations urbaines (1 million à 4 millions d'habitants) sont moins compactes que celles de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants), elles-mêmes moins compactes que les agglomérations de petite taille (10 000 à 50 000 habitants). Cependant, **les très grandes villes (plus de 4 millions d'habitants) sont plus compactes que les grandes agglomérations** ou celles intermédiaires (après prise en compte de la taille de la ville). Les très grandes villes risquent en effet d'être davantage pénalisées en cas d'utilisation inefficace de l'espace et bénéficient d'un meilleur accès aux ressources et d'une meilleure capacité institutionnelle pour encadrer le développement urbain.

Mesurer la compacité

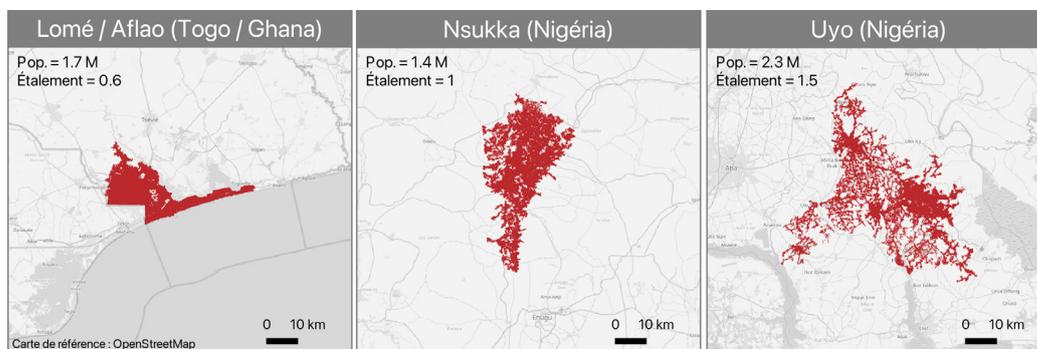
Deux indicateurs sont développés pour mesurer la compacité – les degrés d'étalement et d'allongement –, les approches unidimensionnelles étant « [souvent] trop simplistes pour décrire un phénomène d'une telle complexité, et les approches multidimensionnelles bien mieux adaptées pour saisir ses différentes caractéristiques et manifestations » (OCDE, 2018^[12]). Ces deux indicateurs rendent compte de l'aspect morphologique de la compacité en se concentrant sur la distance entre les bâtiments plutôt que sur des caractéristiques comme l'occupation mixte des sols ou la présence de fortes densités (de population) (encadré 1).

● Le degré d'**étalement** mesure l'espacement entre les bâtis (pondéré à des fins de comparabilité entre villes). Des valeurs plus élevées (supérieures à 1) indiquent davantage d'espace « vide » et donc un plus grand étalement entre les bâtis ; des valeurs plus faibles (inférieures à 1) signalent un plus faible espacement entre les bâtis et donc une plus grande compacité.

Lomé (Togo) se situe à une extrémité du spectre (0.6 sur l'indice d'étalement), avec un faible espacement entre ses bâtis, tandis qu'Uyo (Nigéria) se situe à l'autre extrémité (1.5), avec un étalement bien plus important et moins de compacité. Lomé compte un plus grand nombre de bâtiments (environ 0.9 million), pour une empreinte totale du bâti de 45 km² répartie sur 353 km². À Nsukka et Uyo (toutes deux au Nigéria), le nombre de bâtiments est en revanche plus de moitié moindre (392 000 et 333 000, respectivement), et les empreintes du bâti plus faibles (32 km² pour Uyo et environ 26 km² pour Nsukka) et réparties sur des zones urbaines plus vastes (886 km² et 699 km², respectivement) (carte 3).

Carte 3.

Exemples du degré d'étalement d'agglomérations de taille similaire



Note : Indice d'étalement pour Lomé (Togo), Nsukka (Nigéria) et Uyo (Nigéria). Les trois cartes sont représentées à la même échelle et correspondent à des villes de population similaire, mais de forme urbaine très différente.

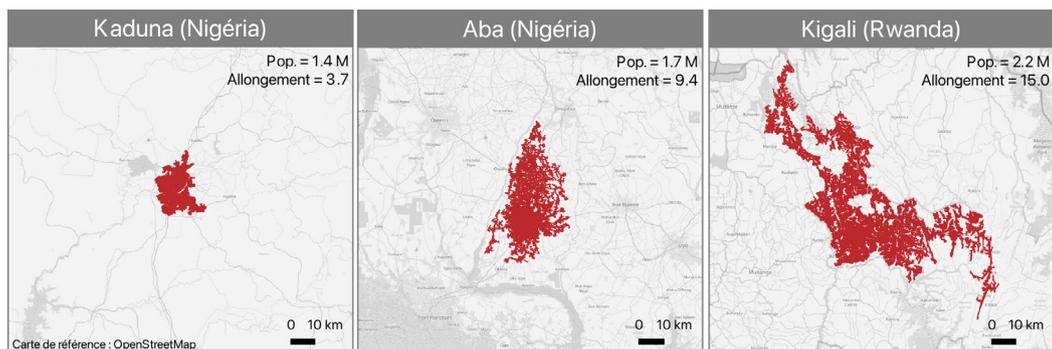
Source : Calculs des auteurs.

● Le degré d'**allongement** (pondéré à des fins de comparabilité entre villes) indique dans quelle mesure la forme d'une ville s'écarte de celle d'un cercle. Celui-ci est la forme urbaine la moins allongée (valeur de 1), tandis qu'une forme plus elliptique augmente les distances intra-urbaines, jusqu'à la forme la plus allongée, la ligne.

Kaduna (Nigéria) a une forme circulaire (degré d'allongement de 3.7), tandis qu'Aba (Nigéria) a une forme plus elliptique (degré d'allongement de 9.4) et Kigali (Rwanda) forme presque une ligne (degré d'allongement de 15) (carte 4).

Carte 4.

Exemples du degré d'allongement d'agglomérations de taille similaire



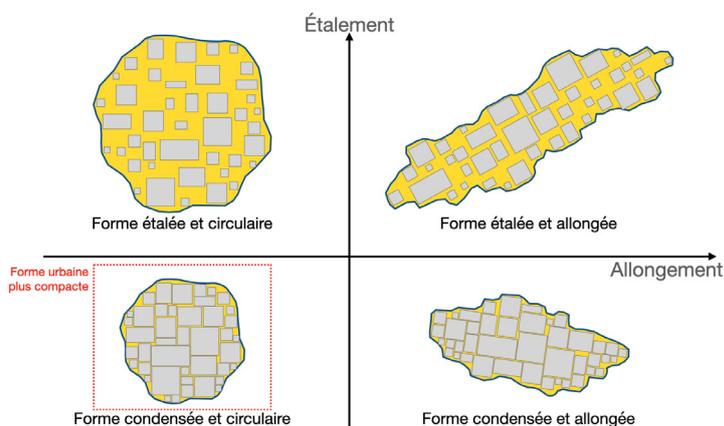
Note : Indice d'allongement pour Kaduna (Nigéria), Aba (Nigéria) et Kigali (Rwanda). Les trois cartes sont représentées à la même échelle et correspondent à des villes de population similaire.

Source : Calculs des auteurs.

Une ville compacte est de forme plus circulaire, avec le moins d'étalement possible (compte tenu du terrain et des besoins, par exemple, espaces ouverts et rues). La partie inférieure gauche du graphique 1 en représente une version stylisée. Les villes peuvent prendre bien des formes, mais moins elles sont compactes, plus leurs degrés d'étalement et d'allongement seront élevés, et plus les distances entre bâtis seront importantes.

Graphique 1.

Relation entre degrés d'étalement et d'allongement et compacité



Note : L'axe des ordonnées représente une configuration urbaine d'étalement, tandis que l'axe des abscisses représente une configuration d'allongement.

Source : Diagramme des auteurs.

Les très grandes villes sont plus compactes

D'après les valeurs observées des deux indicateurs, les très grandes villes (plus de 4 millions d'habitants) sont de forme plus circulaire (degré plus faible d'allongement) et plus condensée (degré plus faible d'étalement) que les grandes villes (1 million à 4 millions d'habitants) et celles de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants) (tableau 1). Les deux indicateurs – étalement et allongement – augmentent avec la taille des villes jusqu'à la tranche de 1 million à 4 millions d'habitants (grandes villes), puis la tendance s'inverse. Cela signifie que les très grandes villes remplissent les espaces entre les bâtiments et deviennent plus circulaires, réduisant ainsi l'espace du bâti.

Table 1.

Les très grandes villes tendent à être plus compactes

Valeurs moyennes des indices d'étalement et d'allongement selon la taille des 5 625 agglomérations urbaines étudiées

| | Étalement | Allongement |
|---------------------------|-----------|-------------|
| Moins de 50 000 habitants | 0.89 | 6.73 |
| 50 000 à 1 million | 0.94 | 6.85 |
| 1 million à 4 millions | 0.98 | 7.25 |
| Plus de 4 millions | 0.93 | 6.34 |

Note : Des valeurs plus faibles sur l'indice d'étalement indiquent de plus faibles distances entre les bâtis et donc une forme urbaine plus condensée, tandis que des valeurs proches ou égales à 1 sur l'indice d'allongement signalent une forme urbaine plus circulaire et donc plus compacte.

Source : Calculs des auteurs ; toutes les données sont disponibles sur : <https://mapping-africa-transformations.org/climate-urbanform/>.

La compacité des très grandes villes peut s'expliquer par la mise en œuvre de politiques publiques plus fortes (par exemple en faveur d'un développement urbain axé sur les transports en commun), ainsi que par la présence de meilleures capacités et ressources institutionnelles. Accra (Ghana), Abidjan (Côte d'Ivoire), Lagos (Nigéria), Johannesburg (Afrique du Sud), Kisumu (Kenya), Dar es Salaam (Tanzanie) et Nairobi (Kenya) (toutes des villes de plus de 4 millions d'habitants) ont ainsi introduit, ou sont en passe de le faire, des stratégies de développement urbain axé sur les transports en commun ; l'objectif est de créer des villes compactes et accessibles privilégiant une occupation mixte des sols et les transports publics. Dans le cadre d'une stratégie démarrée en 2012 (fin prévue 2040), Johannesburg met en place un réseau de bus à haut niveau de service et construit six parcs, trois nouvelles cliniques, une nouvelle bibliothèque, le Campus Square Sky Walk, une partie du Great Walk Bridge, ainsi que des infrastructures de transport non motorisé – autant d'aménagements permettant à la ville de contenir son étalement et d'accroître sa compacité².

Lagos a lancé son « Strategic Transport Master Plan » pour un système basé sur la multiplicité des moyens de transport. La ville avait déjà développé un système de bus performant favorisant une baisse massive de l'utilisation des véhicules particuliers (tout en réduisant l'expansion). Elle réfléchit désormais à un réseau de transport ferroviaire, avec une ligne de 13 kilomètres qui devrait entraîner une modification de l'occupation des sols le long de son axe³. En outre, les collectivités locales du continent africain ont souvent une capacité budgétaire extrêmement limitée et dépendent en grande partie des transferts des gouvernements nationaux, qui peuvent être peu fiables et imprévisibles.

Les grandes villes, en particulier celles de plus de 4 millions d'habitants, disposent en revanche de plus de moyens pour orienter le développement urbain vers plus de compacité. Kampala (Ouganda), ville d'un peu moins de 4 millions d'habitants, est par exemple parvenue à augmenter ses recettes de plus de 100 % en quatre ans grâce à une série de réformes administratives, renforçant les capacités de son personnel, numérisant les bases de données et rationalisant les impôts (paiement en ligne et simplification des tranches d'imposition), lui permettant ainsi de dégager de nouvelles ressources au service de l'aménagement urbain.

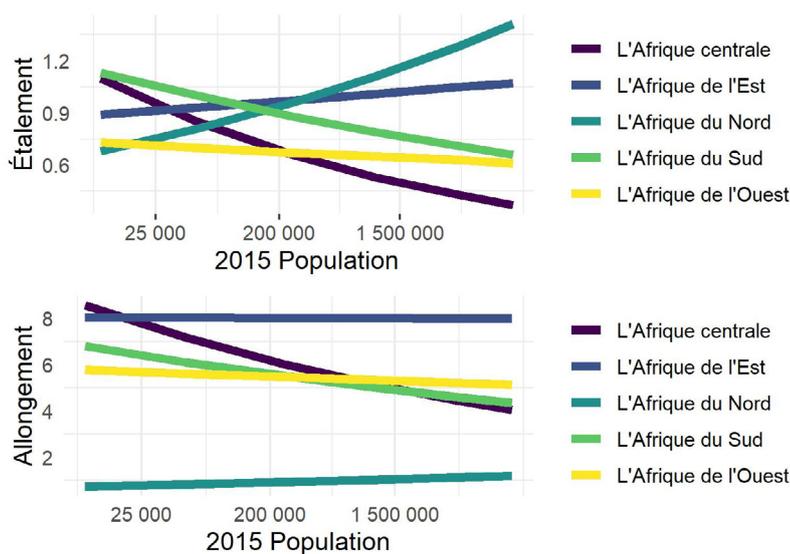
Tendances regionales

La relation entre compacité et taille des villes n'est pas homogène au sein du continent. Les très grandes agglomérations affichent ainsi une plus grande compacité en Afrique centrale, de l'Ouest et du Sud, tandis qu'elles sont en général moins compactes en Afrique du Nord et de l'Est, tendance pouvant s'expliquer en partie par la topographie et l'héritage historique.

En Afrique de l'Ouest, les très grandes villes tendent à devenir plus compactes que les agglomérations de plus petite taille, avec une réduction de la distance entre les bâtis, tandis que la forme des villes devient plus circulaire pour les villes de plus grandes taille (graphique 2). En Afrique centrale et du Sud, les variations observées en fonction de la taille des villes sont encore plus marquées : une ville cinq fois plus peuplée y présente ainsi un étalement urbain réduit de près de 20 % et 10 %, respectivement. De même, les villes de ces régions deviennent nettement plus circulaires au fil du temps. À l'inverse, les villes d'Afrique du Nord et de l'Est voient leur compacité diminuer significativement, avec un espacement plus important entre les bâtiments (et donc un degré d'étalement plus élevé), comme le met en évidence le graphique 2. En Afrique du Nord et de l'Est, dans une ville cinq fois plus peuplée, l'espacement entre les bâtiments sera ainsi respectivement 20 % et 10 % plus important. La forme des villes reste quant à elle relativement constante dans ces régions, plutôt circulaire en Afrique du Nord et plus elliptique en Afrique de l'Est.

Graphique 2.

Variation de la compacité en fonction de la taille des villes dans les différentes régions du continent africain



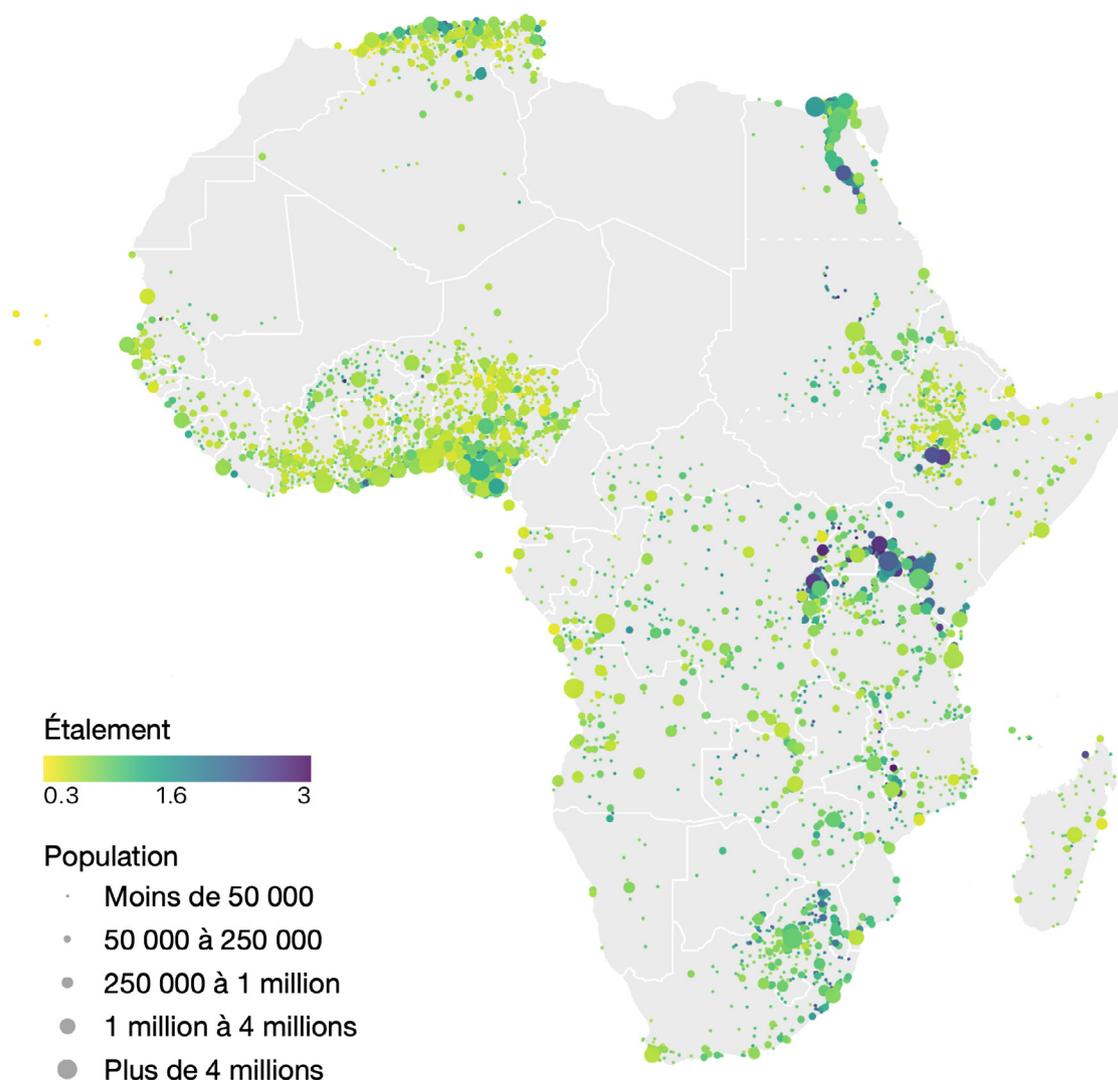
Note : L'étalement et l'allongement sont deux indices calculés à partir des distances entre bâtis. Un degré plus élevé d'étalement et d'allongement indique une agglomération moins compacte. Les graphiques représentent les prévisions d'un modèle d'effet d'échelle. L'Afrique de l'Ouest comprend le Bénin, le Burkina Faso, le Cap-Vert, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée-Bissau, la Côte d'Ivoire, le Libéria, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Nigéria, le Sénégal, la Sierra Leone et le Togo. L'Afrique centrale comprend l'Angola, le Burundi, le Cameroun, la République centrafricaine, le Tchad, la République démocratique du Congo, la République du Congo, la Guinée équatoriale, le Gabon, le Rwanda et São Tomé et Príncipe. L'Afrique du Sud comprend le Botswana, l'Eswatini, le Lesotho, la Namibie et l'Afrique du Sud. L'Afrique du Nord comprend le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Égypte, le Soudan et le Sahara occidental. L'Afrique de l'Est comprend la Tanzanie, le Kenya, l'Ouganda, le Rwanda, le Burundi, la République démocratique du Congo, le Soudan, le Soudan du Sud, Djibouti, l'Érythrée, l'Éthiopie, la Somalie, le Mozambique, Madagascar, le Malawi, la Zambie, le Zimbabwe, les Comores, Maurice et les Seychelles.

Source : Calculs des auteurs.

La carte 5 représente l'indice d'«étalement» dans 5 625 agglomérations urbaines africaines, permettant une visualisation plus précise des tendances régionales. C'est dans des pays d'Afrique de l'Est – le Rwanda, le Kenya et l'Ouganda – que les villes présentent le degré le plus élevé d'étalement urbain (points bleus, verts et jaunes) et donc le plus d'espacement entre les bâtis. Les caractéristiques topographiques expliquent en partie ce constat. Le territoire montagneux favorise un certain espacement entre les bâtis des agglomérations d'Afrique de l'Est. L'empreinte du bâti s'adapte au terrain utilisable, adoptant ainsi des formes organiques. Une hausse de 136 m des différences d'altitude au sein d'une ville entraîne ainsi l'augmentation d'une unité de son degré d'allongement.

Carte 5.

Étalement urbain dans 5 625 agglomérations africaines



Note : Valeurs de l'indice d'étalement urbain dans différentes villes d'Afrique. Plus les valeurs sont élevées, plus il y a d'espace vide entre les bâtiments.

Source : Calculs des auteurs.

Le degré d'étalement urbain est également assez élevé en Égypte. Sa valeur moyenne pour une ville de moins de 50 000 habitants y est de 0.81, les villes de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants) se situant en moyenne à 1.2, tandis que les grandes villes (plus de 1 million d'habitants) atteignent 1.4. En 2015, 93 % de la population y était urbaine, soit 84 millions de personnes (OCDE/CSAO, 2020_[16]). Chaque année, la population du delta du Nil augmente de 2.4 millions de personnes et croît d'environ 40 habitants/km² (OCDE/CSAO, 2020_[16]). Le réseau urbain égyptien est historiquement dominé par deux capitales, Le Caire et Alexandrie. Plusieurs autres villes se démarquent dans le delta du Nil depuis les années 1950, notamment Tanta, El-Mahalla El-Koubra, Zagazig et Assiout. Cette expansion intervient en partie sous le régime de Nasser (1954-70) qui, s'inspirant du modèle soviétique, déplace les industries de base (aluminium, sucre et textile) dans les villes secondaires (OCDE/CSAO, 2020_[16]). Le quadruplement de la population entraîne le développement de d'agglomérations grandes et denses dans la vallée du Nil, façonnées par la morphologie agricole du terrain (OCDE/CSAO, 2020_[16]). Des parcelles agricoles sont ainsi aménagées le long des canaux d'irrigation alimentés par les eaux du Nil, jetant les bases des futures villes.

L'héritage historique peut également contribuer à expliquer les degrés élevés d'étalement des Côtes. Il est en général supérieur de 5 % à celui des villes de l'intérieur, le littoral imposant probablement un développement urbain moins compact (carte 5).

Le degré d'étalement des villes frontalières est 15 % plus élevé que celui des villes non frontalières, en raison de difficultés de coordination de gouvernance. L'étalement moyen dans un rayon de 20 km autour d'une ville frontalière est de 1.02, contre environ 0.89 pour les villes non frontalières. De même, le degré d'allongement des villes frontalières est 14 % plus élevé (carte 5).

Il existe une certaine interaction entre étalement et allongement. Les villes plus fragmentées tendent ainsi à être plus allongées, présentant parfois différents niveaux de fragmentation, ou d'espacement, entre les bâtis. Kigali (Rwanda) et Hawassa (Éthiopie) possèdent des degrés d'allongement similaires, de 15 et 14 respectivement. Hawassa affiche toutefois un degré d'étalement près de deux fois plus élevé, à 2.6 contre 1.0 pour Kigali. De même, Kigali et Abuja présentent quasiment le même degré d'étalement, de 1 environ, mais Kigali affiche un degré d'allongement trois fois supérieur à celui d'Abuja, avec des valeurs de 15 contre 5.

● CARACTÉRISTIQUES DES AGGLOMÉRATIONS MOINS COMPACTES

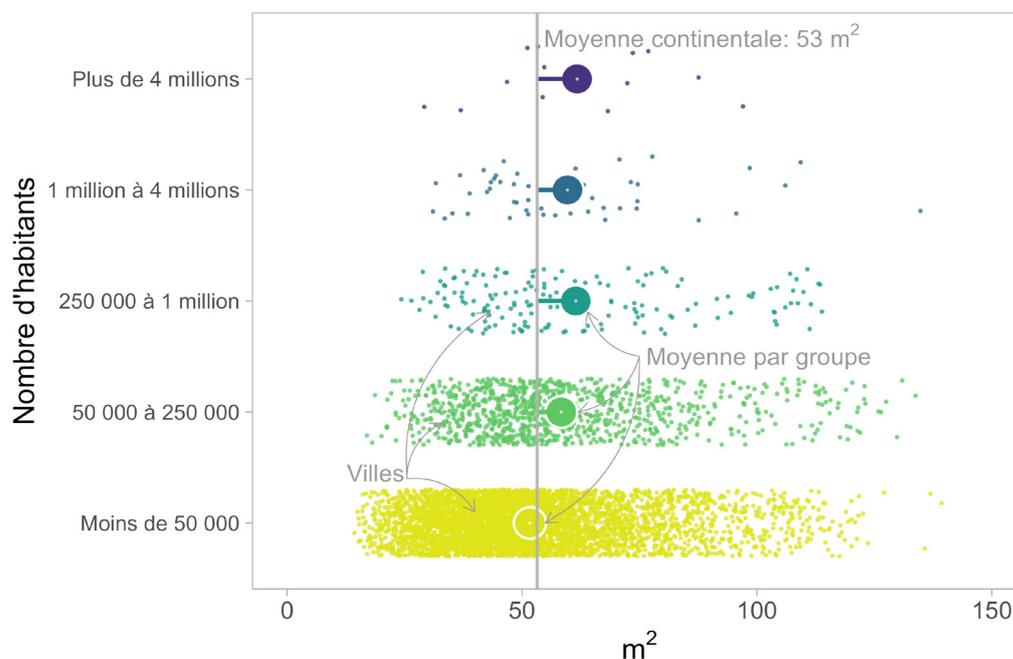
L'analyse souligne plusieurs caractéristiques communes aux agglomérations urbaines moins compactes (en termes d'étalement et d'allongement) : (1) bâtiments plus petits, (2) forme urbaine relativement plate et basse, (3) centres moins remplis (potentiel de remplissage des espaces non bâtis) et (4) structure polycentrique – autant d'aspects typiques de l'habitat informel (avec des poches de petits bâtiments clairsemant le tissu urbain).

Multitude de petits bâtiments

Dans les agglomérations moins compactes, les bâtiments sont plus petits, tandis que dans les très grandes agglomérations, les bâtiments sont plus grands en termes d'empreinte au sol et de hauteur. Les petits bâtiments n'en restent pas moins omniprésents même dans les grandes et très grandes agglomérations. En moyenne, 31 % de l'empreinte totale du bâti en Afrique est constituée d'empreintes au sol de moins de 50 m². C'est dans les petites villes (10 000 à 50 000 habitants) que l'on observe les bâtiments les plus petits (en moyenne 51.7 m²), même s'ils ne sont pas beaucoup plus grands dans les grandes villes (graphique 3). Dans les villes de plus de 4 millions d'habitants, l'empreinte au sol des bâtiments n'est que de 61.7 m² en moyenne (généralement un carré de 7.8 mètres de côté).

Graphique 3.

L'empreinte au sol des bâtiments est en moyenne faible dans toutes les villes d'Afrique, quelle que soit leur taille



Note : Chaque rond représente une agglomération urbaine africaine. La ligne verticale en gris foncé indique la moyenne continentale (53 m²) et les plus gros ronds colorés, les moyennes des différents groupes.

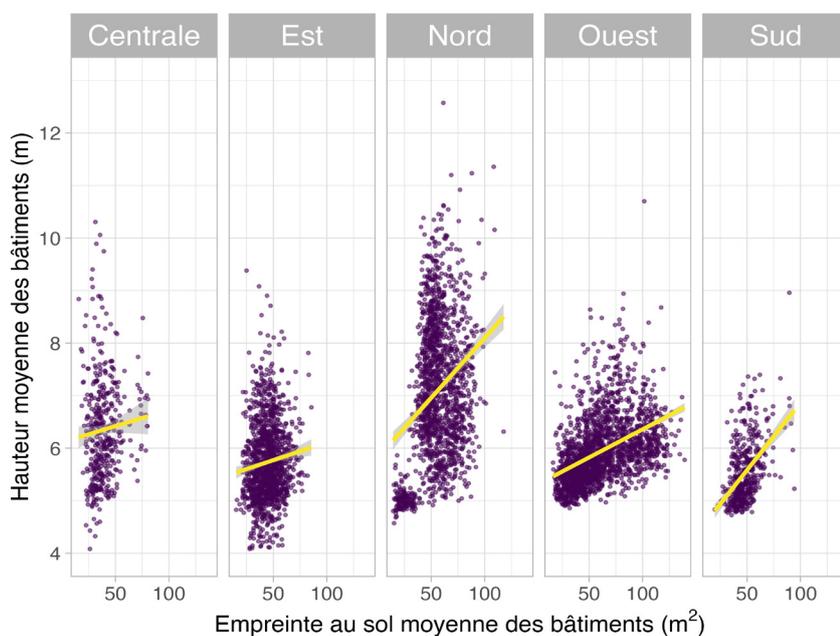
Source : (Wojciech et al., 2021^[15] ; OCDE/CSAO, 2020^[16]).

La prévalence des petits bâtiments ne se traduit pas nécessairement par de faibles densités de population. Dans certains quartiers informels de Nairobi, se dénombrent 1 500 habitants ou plus par hectare, une densité de population comparable à celle de l'île de Manhattan à New York (OCDE/CSAO, 2020_[11]). La concomitance de petits bâtiments et de fortes densités est signe de surpopulation. En Afrique de l'Ouest, environ 40 % à 60 % des ménages vivent ainsi déjà dans des logements surpeuplés (Chipeta et al., 2022_[19]).

Dans près de la moitié des agglomérations urbaines africaines étudiées, la hauteur moyenne des bâtiments n'est que d'un ou deux étages, soit moins de 6 m (la hauteur d'un étage étant généralement comprise entre 2.5 m et 3 m) (Esch et al., 2020_[20])⁴. Il y a une corrélation positive entre l'empreinte au sol moyenne des bâtiments et leur hauteur dans chaque agglomération et chaque région (graphique 4). Les bâtiments dont l'empreinte au sol est plus grande tendent ainsi à être plus élevés. Dans certaines régions, cette corrélation n'est toutefois pas aussi forte, ce qui peut signifier que les empreintes au sol de grande superficie sont occupées par des entrepôts, des usines ou des sites de fabrication, en général peu élevés. Le graphique 4 montre également que des empreintes au sol de même superficie peuvent être associées à des bâtiments de hauteurs différentes. Des empreintes au sol d'une superficie moyenne de 50 m² sont ainsi associées à des bâtiments de 5 à 12 m de haut (deux à cinq étages). Si les « petites empreintes au sol » peuvent imposer certaines limites de hauteur, à la fois d'un point de vue structurel et pratique, elles n'excluent toutefois pas les constructions de plusieurs étages. Il existe donc des possibilités de croissance verticale, non seulement pour les nouveaux bâtiments, mais aussi avec l'ajout de nouveaux étages aux structures existantes.

Graphique 4.

Empreinte au sol et hauteur du bâti dans les différentes régions d'Afrique



Note : Chaque point violet indique l'empreinte au sol moyenne des bâtiments en mètres carrés et leur hauteur moyenne en mètres. Chaque panneau représente une région.

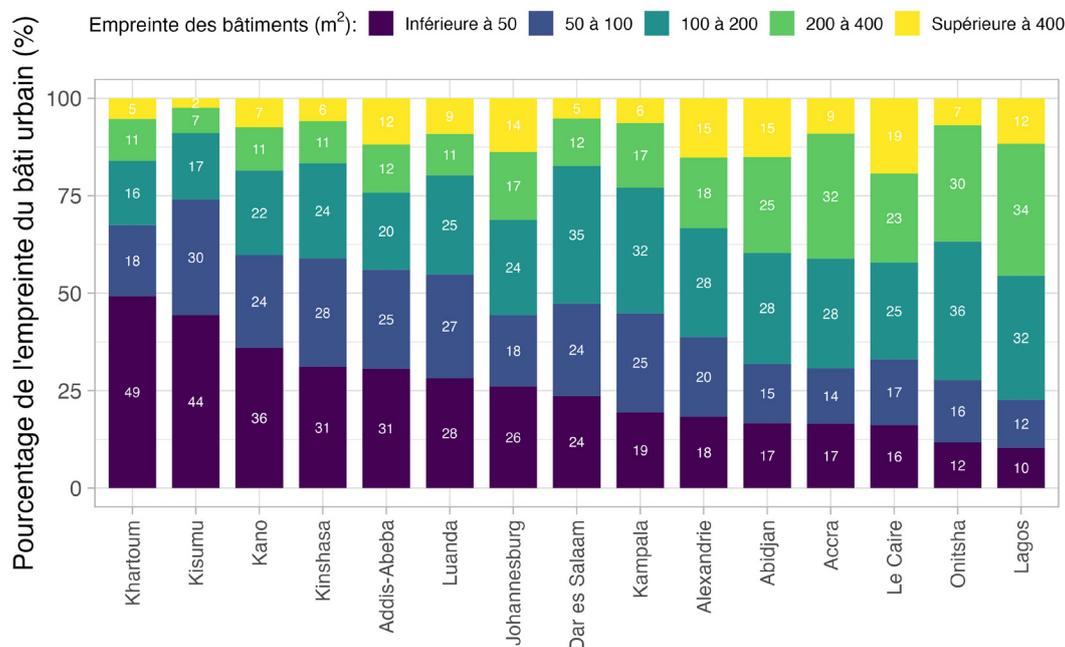
Source : Les données relatives à la hauteur moyenne des bâtis sont tirées de (Esch et al., 2020_[20]) et celles relatives à leur empreinte au sol moyenne, des calculs des auteurs à partir de Open Buildings (Wojciech et al., 2021_[15]) et de la délimitation des agglomérations urbaines d'Africapolis (OCDE/CSAO, 2020_[16]).

Dans les grandes villes, les grands bâtiments sont plus nombreux

Dans les grandes villes, le nombre de grands bâtiments – en termes d’empreinte au sol et de hauteur – est relativement plus important, ce qui contribue à la plus grande compacité des très grandes villes (voir section précédente). Dans quatre villes nigérianes – Benin City, Ibadan, Port Harcourt et Lagos –, les bâtis d’une empreinte au sol de plus de 100 m² représentent ainsi plus de 75 % de l’empreinte totale du bâti (soit près du double de la moyenne continentale). Il en va de même à Kisumu (Kenya), où les bâtis de grande empreinte au sol contribuent fortement à l’empreinte du bâti de la ville (graphique 5).

Graphique 5.

Pourcentage de l’empreinte occupée par de grands bâtis



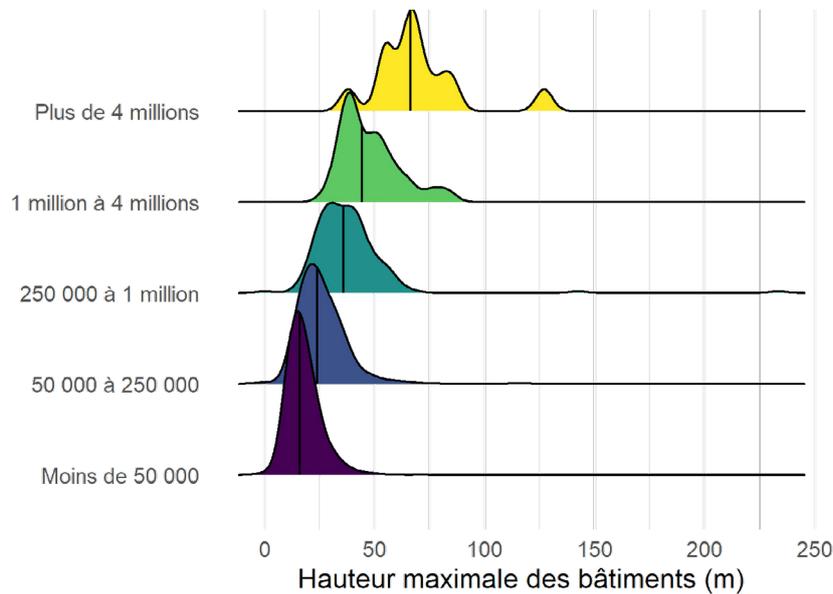
Note : Composition de l’empreinte du bâti des 15 villes les plus peuplées d’Afrique en fonction de l’empreinte au sol de leurs bâtiments. À Khartoum (Soudan), par exemple, 49 % des bâtiments ont une empreinte au sol inférieure à 50 m² et 84 %, une empreinte au sol inférieure à 200 m². En revanche, à Lagos, seuls 10 % des bâtiments ont une empreinte au sol inférieure à 50 m² et 54 %, une empreinte au sol inférieure à 200 m².

Source : Calculs des auteurs à partir de la base de données Open Buildings (Wojciech et al., 2021^[15]) et de la délimitation des agglomérations urbaines d’Africapolis (OCDE/CSAO, 2020^[16]).

La hauteur maximale des bâtiments est également plus élevée dans les grandes villes africaines (graphique 6). Elle est en moyenne proche de 70 m dans les villes de plus de 4 millions d’habitants, de 50 m dans celles de 1 à 4 millions d’habitants, de 38 m dans celles de 250 000 à 1 million d’habitants, de 36 m dans celles de 50 000 à 250 000 habitants et de 18 m dans celles de moins de 50 000 habitants. La hauteur des bâtiments varie donc en fonction de la taille des villes.

Graphique 6.

Les bâtiments les plus élevés se trouvent dans les grandes villes



Note : Hauteur maximale des bâtiments (en mètres) observée dans toutes les agglomérations urbaines en fonction de leur taille (en nombre d'habitants).

Source : Données fournies par (Esch et al., 2020_[20]).

Même si la proportion de « petits » bâtiments est faible dans les très grandes villes, leur nombre reste important, même dans des villes comme Lagos (Nigéria). Au total, d'après les données du projet Open Buildings de Google AI Africa, Lagos compterait ainsi plus de 1.1 million de bâtiments d'une empreinte au sol de moins de 50 m². Il ne faut donc pas croire que parce que Lagos est une grande ville, elle compte moins de petits bâtiments.

Une silhouette urbaine basse et plate à travers l'ensemble du tissu urbain

Même dans les grandes villes où les grands bâtiments sont plus nombreux, la silhouette urbaine tend à être basse et plate à travers l'ensemble du tissu urbain. Dans les villes compactes, les bâtiments les plus élevés se trouvent au centre de l'agglomération, et la hauteur du bâti diminue de manière régulière à mesure que l'on avance vers l'extérieur de la ville, selon une distribution « pyramidale » (Lall et al., 2021_[21]). Ces villes « pyramides » n'échapperont toutefois jamais totalement aux moteurs économiques de l'étalement horizontal. Quant aux villes plates, dites villes « pancakes » (Lall et al., 2021_[21]), elles risquent de voir les gens s'entasser, avec une faible surface habitable par habitant, alors que des bâtiments plus élevés permettraient d'accueillir un plus grand nombre de résidents et d'entreprises, évitant ainsi la surpopulation, tout en laissant de l'espace entre les bâtiments pour les espaces verts.

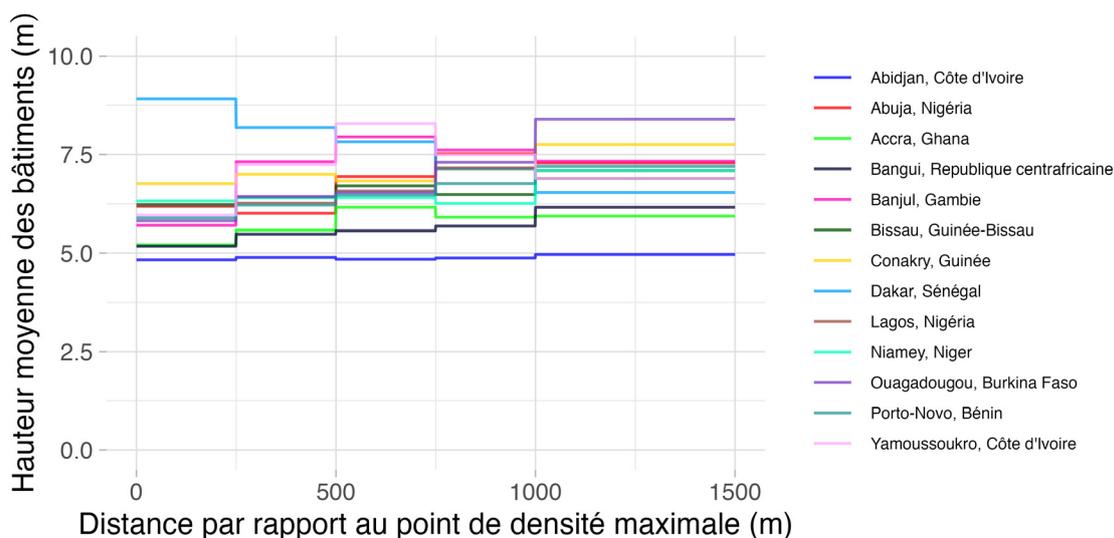
Dans les villes africaines il n'y a aucune différence significative de taille moyenne des bâtiments – en termes de hauteur ou d'empreinte au sol – dans un rayon d'un kilomètre autour du centre. Dans les grandes villes et celles de taille intermédiaire, la diminution de la taille des bâtiments est progressive, et non marquée comme dans les villes des pays à revenu intermédiaire et élevé.

De nombreuses villes présentent une silhouette urbaine plate, avec des bâtiments d'un ou deux étages seulement, à l'instar d'Abidjan (Côte d'Ivoire), d'Accra (Ghana) ou de Conakry (Guinée). Dakar (Sénégal) échappe à ce constat, avec des bâtiments de trois étages en moyenne, dont la hauteur diminue légèrement à mesure que l'on s'éloigne du centre (graphique 7).

Avec le point de densité maximale comme point de départ, la hauteur moyenne des bâtiments est mesurée en cercles concentriques vers l'extérieur. Des tendances similaires s'observent dans d'autres villes à faible revenu et à revenu intermédiaire de la tranche inférieure d'autres régions du monde (Lall et al., 2021^[21]). La hauteur moyenne des bâtiments dans les quartiers d'affaires centraux (central business districts [CBD]) des villes à faible revenu est d'environ 10 m et augmente progressivement avec le revenu pour atteindre près de 30 m (Lall et al., 2021^[21]).

Graphique 7.

Hauteur moyenne des bâtiments jusqu'à 1 500 mètres du point de densité maximale des villes



Note : Hauteur moyenne des bâtiments estimée à partir d'images satellite par le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique (DLR).

Source : Calculs du DLR pour chacun des rayons définis dans cette étude à partir des points de densité maximale.

Encadré 2.

Agglomérations de type « pancake » ou « pyramide » ?

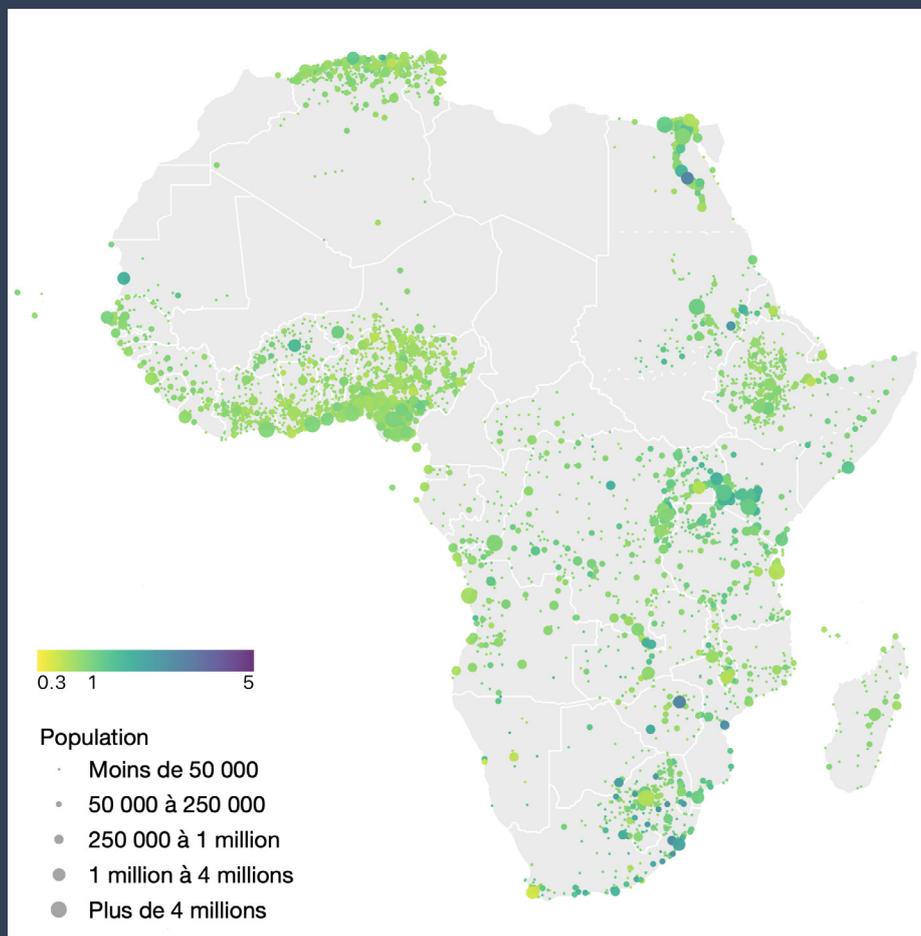
L'analyse de la hauteur et de l'empreinte au sol des bâtiments est fastidieuse. C'est pourquoi le CSAO a développé un indicateur rendant compte de l'horizontalité d'une ville, en divisant la taille moyenne des bâtiments (en termes d'empreinte au sol) dans un rayon d'un kilomètre autour du centre-ville (point de densité maximale) par la taille moyenne des bâtiments situés hors de ce rayon.

Une valeur inférieure à 1 signifie que les bâtiments situés au point de densité maximale sont plus petits que ceux du reste de la ville, une valeur égale à 1, de même taille, et une valeur supérieure à 1, plus grands (carte 6).

Sur les 5 625 agglomérations urbaines, 1 734 présentent des valeurs inférieures à 1, 1 984, des valeurs égales à 1, 1 825, des valeurs comprises entre 1 et 2, et 82, des valeurs supérieures à 2. Lorsque les valeurs sont supérieures à 1, les bâtiments sont plus grands dans le centre que dans le reste de la ville, ce qui se traduit par une forme urbaine légèrement pyramidale.

Carte 6.

De la ville « pancake » à la ville « pyramide »



Note : Rapport entre la taille moyenne des bâtiments dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale de la ville et celle des bâtiments du reste de la ville. Les villes présentant des valeurs supérieures à 1 sont celles où les bâtiments sont plus grands au point de densité maximale.

Source : Calculs des auteurs à partir de la base de données Open Buildings (Wojciech et al., 2021^[15]) et de la délimitation des agglomérations urbaines d'Africapolis (OCDE/CSAO, 2020^[16]).

Obstacles à la présence de bâtiments plus grands

La construction de bâtiments plus grands et élevés favorise la compacité (en particulier lorsqu'elle se conjugue à des densités élevées et une occupation mixte des sols). L'élévation du bâti n'implique toutefois pas nécessairement la construction de gratte-ciel, mais celle de bâtiments de plus d'un ou deux étages, ou l'ajout de niveaux aux bâtiments existants.

La taille et la hauteur des bâtiments sont fonction de la disponibilité des ressources et de la demande, et évoluent avec le temps, comme en témoigne la plus forte prévalence de bâtiments plus grands dans les grandes villes. Les bâtiments de faible hauteur et empreinte au sol sont ainsi généralement l'option la plus abordable, car ils minimisent à la fois les coûts fonciers et de construction. La construction de bâtiments plus élevés est plus coûteuse, dans la mesure où elle nécessite des investissements en technologie et en capital, avec l'attente de bonnes perspectives de rentabilité. Or, cette rentabilité dépend des investissements publics antérieurs dans les infrastructures de transport (bus, trottoirs, etc.) et les services publics, ainsi que de la conjoncture et de l'environnement économiques. C'est pourquoi les grandes villes, où les ressources et la demande sont en général plus élevées, présentent des bâtiments plus grands et élevés.

Logement inabordable, petits bâtiments, informalité et agglomérations moins compactes

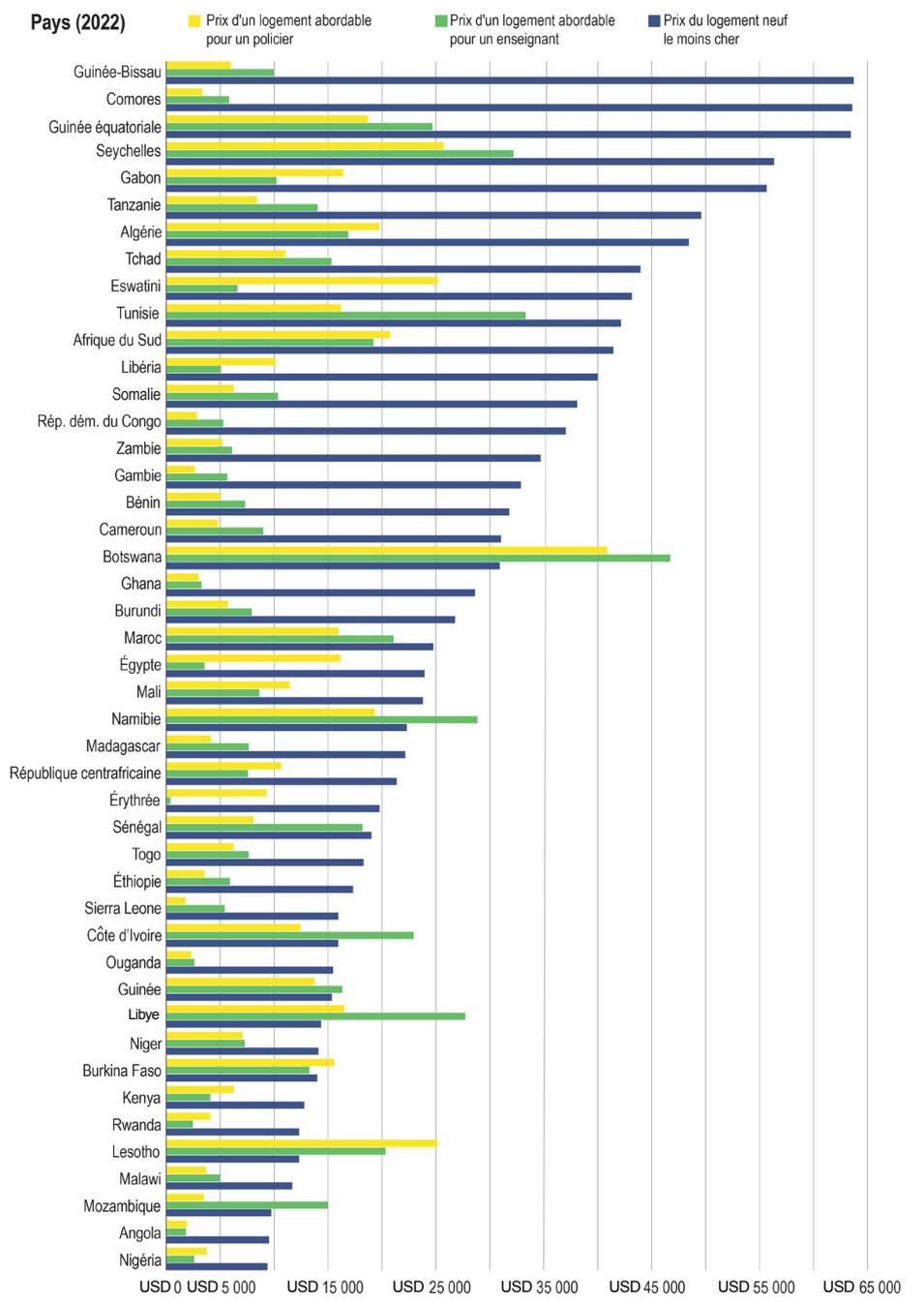
La présence de petits bâtiments – en termes d'empreinte au sol et de hauteur – peut indiquer que les habitants ont conservé leurs petites habitations lors de la transformation de leurs villages en villes, voire en conurbations, avec la hausse des taux démographiques (urbanisation in situ), plutôt que de reconstruire.

Elle peut également être le signe d'une urbanisation rapide et d'une inadéquation entre l'offre de logements, leur accessibilité financière et la taille de la population. Près de 78 % des zones résidentielles développées entre 1990 et 2014 en Afrique subsaharienne (régions situées au sud du Sahara) sont informelles (Angel, Parent et Civco, 2010_[22]). Le marché du logement formel n'offre pas de logements abordables à la plupart des gens. Or, cette recherche de logements abordables s'est avérée un facteur d'accélération de la croissance urbaine dans d'autres parties du monde, entraînant une augmentation de la consommation d'énergie et de la demande de transports lorsque l'infrastructure nécessaire n'est pas fournie.

Selon le Centre pour le financement du logement abordable en Afrique, le logement neuf le moins cher dans le secteur formel en Afrique en 2022 coûte, selon le pays, entre 10 000 et 65 000 USD, un montant largement supérieur à ce que la plupart des gens sont en capacité de payer (Centre for Affordable Housing Finance in Africa, 2022_[23]). Même les travailleurs du secteur formel, comme les enseignants et les policiers, peinent à s'acquitter de telles sommes (graphique 8).

Graphique 8.

Accessibilité financière du logement pour les enseignants et policiers en Afrique



Note : Le Centre pour le financement du logement abordable en Afrique a procédé au calcul du salaire type d'un policier et d'un enseignant en milieu urbain dans les 54 pays d'Afrique, puis du prix du logement que chacun d'entre eux aurait les moyens de se payer avec un prêt hypothécaire, compte tenu des taux et conditions en vigueur dans chaque pays. Le graphique compare (a) le prix d'un logement abordable pour un policier ou un enseignant avec (b) le prix du logement neuf le moins cher – le tout converti en USD. Le prix du logement neuf le moins cher n'est abordable pour un enseignant que dans huit des 54 pays. Pour un policier, le logement neuf le moins cher est probablement inabordable dans tous les pays sauf cinq. Un ménage à deux revenus pourrait être en mesure d'en acquérir un, mais même dans ce cas, si les deux personnes percevant un revenu sont des enseignants ou des policiers, le logement neuf le moins cher leur resterait inabordable dans plusieurs pays.

Source : Modifié d'après Centre for Affordable Housing Finance in Africa (2022_[23]).

Ce manque d'accessibilité financière des logements neufs du marché formel, même pour les personnes exerçant un emploi formel, pointe la persistance de normes réglementaires obsolètes aux effets inhibiteurs dans le secteur de la construction neuve. Les exigences en matière de taille minimale des terrains et de hauteur des bâtiments ont par exemple un fort impact sur les formes de développement urbain et limitent la disponibilité des logements et le développement d'environnements urbains plus compacts et durables, ainsi que l'accessibilité financière des logements.

- Certaines de ces exigences par trop contraignantes en matière de taille des terrains sont un héritage de la période coloniale (Visagie et Turok, 2020_[24]). À Nairobi, la taille réglementaire des parcelles est par exemple de 250 m², entre celle d'un terrain de tennis et d'un terrain de basket (Visagie et Turok, 2020_[24]). À Dar es Salaam, la taille minimale d'un terrain est de 300 m² pour le développement résidentiel dans les zones à faible densité. De même, au Ghana, les directives d'aménagement urbain précisent que dans une zone de développement résidentiel à faible densité (10 à 15 logements par hectare), la construction prédominante doit être la maison individuelle sur des parcelles d'au moins 500 m², là encore de la taille d'un terrain de basket.

- Des restrictions de hauteur des bâtiments peuvent également limiter la compacité des villes et la disponibilité de logements abordables, et entraver le développement d'environnements urbains durables, facilement praticables à pied. Les villes africaines pourraient, à ce titre, rechercher un meilleur équilibre entre avantages et inconvénients des restrictions de hauteur des bâtiments lors de l'élaboration de leurs politiques d'urbanisme. De nombreuses villes imposent des restrictions de ce type : à Addis-Abeba (Éthiopie), la hauteur autorisée est ainsi de 22 m dans la plupart des quartiers de la ville, avec un maximum de 32 m, ce qui se traduit par une silhouette urbaine globalement basse ; à Nairobi (Kenya), elle est de 67 m, avec un maximum de 80 m ; à Lagos (Nigéria), de 30 m, avec un maximum de 50 m dans certains quartiers ; à Dar es-Salaam (Tanzanie), de 30 m dans la plupart des quartiers, avec un maximum de 60 m ; à Accra (Ghana), de 60 m, avec un maximum de 80 m. Notons toutefois que ces restrictions peuvent aussi servir des objectifs importants de préservation des zones historiques, de protection des vues et de sécurité.

Ces contraintes réglementaires de taille des terrains et de hauteur des bâtiments sont autant de raisons pour que les citadins à faibles revenus restent dans l'habitat informel. Cela bloque également les efforts de modernisation des bâtiments existants et décourage l'investissement.

« L'étalement urbain résulte en partie du prix plus faible des terrains à la périphérie des villes. Il implique pour les citadins de parcourir de plus longues distances, [souvent] à un coût personnel et environnemental plus élevé » (Moreno Monroy et al., 2020_[25]). Lorsque les coûts fonciers et de construction à proximité du centre sont trop élevés, les gens cherchent ainsi à se loger en périphérie, où les coûts du foncier sont moindres. Cela peut en résulter des formes urbaines moins compactes et la construction de bâtiments dans des zones potentiellement vulnérables ou services écosystémiques essentiels. En outre, si la construction des logements est de faible densité (en raison, par exemple, de réglementations imposant une taille minimale de terrains ou d'empreinte au sol élevée), ou si les zones nouvellement bâties ne sont pas desservies par les infrastructures adéquates, l'accès aux transports publics peut alors être difficile, ce qui entraîne une plus grande dépendance à l'automobile, ainsi qu'une hausse des besoins d'énergie. Autant de facteurs susceptibles de générer une augmentation des émissions et de la pollution provenant des transports et des bâtiments.

Défis de l'offre pour les grands bâtiments : croissance verticale

L'obtention d'un prêt à la construction est difficile, en particulier pour les grands projets ; d'où la forte prévalence de bâtiments partiellement construits et inachevés à travers tout le continent africain. Au Sénégal, environ 40 % des promoteurs pointent l'accès aux financements comme principal obstacle, contre 14 % dans le reste du monde (The Economist, 2021_[26]). Les promoteurs entament ainsi parfois la construction d'un immeuble de plusieurs étages dans l'espoir que ses futurs habitants verseront un acompte sur la construction partiellement achevée. Mais lorsque cela ne fonctionne pas, le promoteur se retrouve acculé sur le plan financier (Devermont et Salmon, 2021_[27]).

D'autres facteurs peuvent également bloquer les projets de grandes constructions. De nombreux promoteurs sont ainsi pris de court par la fluctuation du coût des matériaux, exacerbée par la pandémie de COVID-19. La hausse ininterrompue des prix des matériaux au Nigéria devrait par exemple ralentir encore les projets de développement en 2023 et faire grimper le prix des logements. Ces deux dernières années, le prix des matériaux de construction essentiels – notamment ciment, armatures, peinture, équipements sanitaires, sable, toitures, tuiles et granit – a augmenté de plus de 50 % (Gbonegun, 2023^[28]). La faiblesse des droits de propriété peut en outre constituer un autre frein (Devermont et Salmon, 2021^[27]). Les gens décident de construire parce que le foncier n'a pas de base juridique solide ou que la législation sur la propriété foncière est laxiste.

L'augmentation du coût des matériaux a par ailleurs un impact sur l'accessibilité financière des logements, accentuant les mouvements de population vers la périphérie des villes. Au Nigéria, le prix des loyers a ainsi grimpé en flèche dans les centres-villes de Lagos, Abuja, Ogun, Ibadan, Port Harcourt, Anambra, Abia et Kano, avec un relèvement des loyers de plus de 75 % par les propriétaires et gestionnaires immobiliers ces deux dernières années (Gbonegun, 2023^[28]).

Des agglomérations plus compactes plus remplies

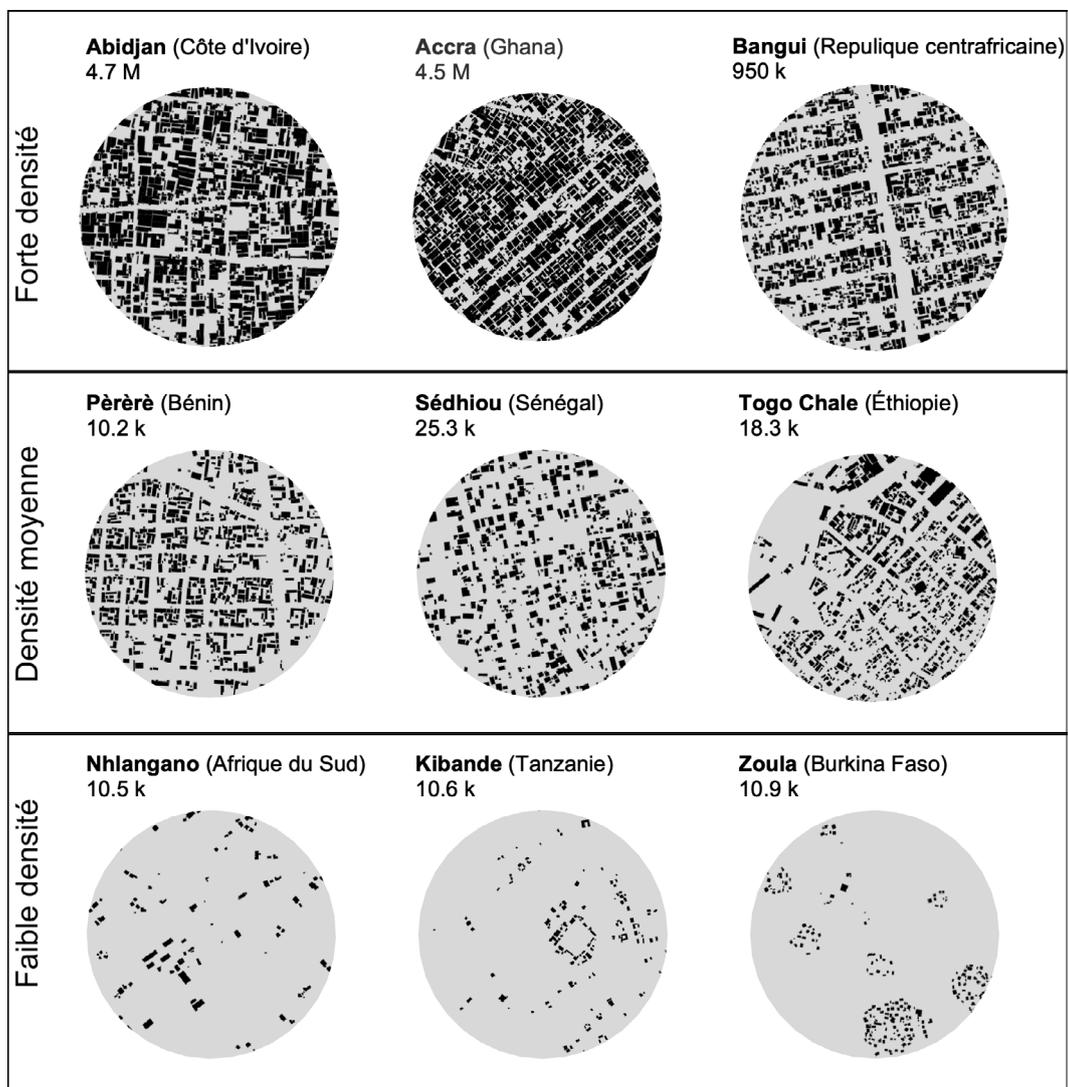
Le « centre » des agglomérations plus compactes tend à être plus rempli. Les quartiers d'affaires centraux – centres-villes – favorisent ainsi la durabilité en contribuant à des densités plus élevées au centre des agglomérations et à une réduction des coûts d'infrastructures comme les transports publics et de la consommation d'énergie des bâtiments et à une amélioration de la qualité de vie en ville. Dans les agglomérations dont le centre est moins construit, il est possible d'opter pour une approche de remplissage des espaces non bâtis et de freiner ainsi l'étalement horizontal tout en augmentant la compacité, pour autant que des questions comme l'accessibilité financière et l'offre de logements soient résolues.

L'identification du ou des quartiers d'affaires centraux de près de 6 000 agglomérations urbaines est une tâche ardue, sans compter ensuite la question de la comparabilité. Parti a été pris d'identifier le point le plus densément construit des villes étudiées et d'évaluer le pourcentage de superficie bâtie dans un rayon de 250 mètres et d'un kilomètre autour de ce point⁵. On obtient ainsi deux indications du degré de fragmentation de l'environnement bâti (c'est-à-dire s'il existe une possibilité de remplissage des espaces non bâtis) ou au contraire de compacité au détriment d'autres aspects de la résilience, comme les espaces verts (qui permettent de réduire l'impact des vagues de chaleur). Ces indicateurs (nommé « degré de remplissage ») garantissent une bonne comparabilité entre agglomérations. Ses valeurs n'atteindront jamais 100 % en raison de la présence d'autres types d'infrastructures, comme les voies de circulation, ou les espaces naturels (verts et bleus).

À Abidjan (Côte d'Ivoire), Accra (Ghana) et Bangui (République centrafricaine), plus de 60 % de la superficie dans un rayon de 250 mètres autour du point de densité maximale est bâtie (graphique 9). Le « degré de remplissage » y est de respectivement 73 %, 75 % et 60 %, contre 49 %, 48 % et 30 % à Pèrèrè (Bénin), Sédhiou (Sénégal) et Togo Chale (Éthiopie). Dans les trois agglomérations du bas du graphique, moins de 10 % de la superficie dans un rayon de 250m autour du point de densité maximale est bâtie. Dans les villes du milieu et du bas du graphique, il existe un potentiel de remplissage des espaces non bâtis.

Graphique 9.

Degré de remplissage des zones les plus bâties des agglomérations



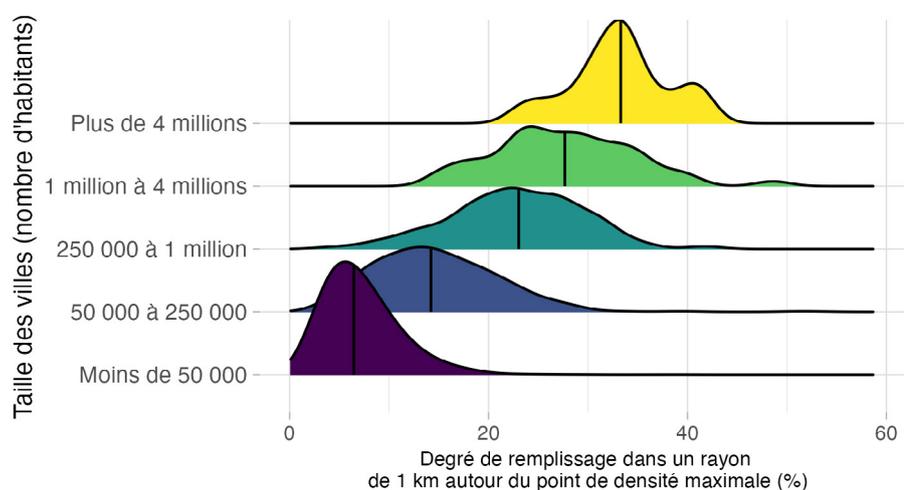
Note : Empreinte du bâti autour du point de densité maximale à Abidjan (Côte d'Ivoire), Accra (Ghana) et Bangui (République centrafricaine), où plus de 60 % de la superficie dans un rayon de 250 m autour du point de densité maximale est bâtie.

Source : Modifié d'après Prieto-Curiel, Patiño et Anderson (2023_[29]).

La taille des villes est étroitement liée au degré de remplissage à leur point de densité maximale (graphique 10). Dans les petites villes, seuls 7 % de la superficie dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale est bâtie, contre respectivement 15 % et 23 % pour les villes de taille intermédiaire (50 000 à 250 000 habitants) et celles entre 250 000 à 1 million d'habitants, 28 % pour les grandes villes (1 million à 4 millions d'habitants) et 33 % pour les très grandes villes (plus de 4 millions d'habitants). Pour celles dont la proportion de superficie bâtie dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale est relativement faible (moins de 10 %), le remplissage de ces espaces non bâtis peut constituer une alternative partielle à l'expansion horizontale en périphérie urbaine, pour autant que des logements abordables soient disponibles.

Graphique 10.

Taille des villes et degré de remplissage au point de densité maximale



Note : Proportion de superficie bâtie dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale, en fonction de la taille des villes.

Source : Calculs des auteurs à partir de la base de données Open Buildings (Wojciech et al., 2021^[15]) et de la délimitation des agglomérations urbaines d'Africapolis (OCDE/CSAO, 2020^[16]).

Bien que le degré de remplissage soit plus élevé dans les grandes villes, celui-ci est généralement imputable à la présence de bâtiments en plus grand nombre et pas nécessairement de plus grande hauteur. En moyenne, l'empreinte au sol des bâtiments situés dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale des agglomérations est 10 % à 16 % plus grande que celle de ceux hors de ce périmètre. En Afrique centrale, la superficie bâtie dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale est multipliée par 3.3 si la ville compte 10 fois plus d'habitants, mais l'empreinte au sol des bâtiments n'augmente que de 1 % à proximité du centre. En Afrique du Nord, la superficie bâtie dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale est multipliée par 2.6 si la ville compte 10 fois plus d'habitants, mais l'empreinte au sol des bâtiments n'augmente que de 6 % à proximité du centre. En Afrique de l'Ouest, la superficie bâtie dans un rayon de 1 km autour du point de densité maximale est multipliée par 3 si la ville compte 10 fois plus d'habitants, mais l'empreinte au sol des bâtiments diminue de 1.7 % à proximité du centre. On note donc que dans certaines villes, la superficie bâtie augmente bel et bien à proximité du point de densité maximale, mais principalement en raison du nombre élevé de bâtiments et non de leur plus grande taille.

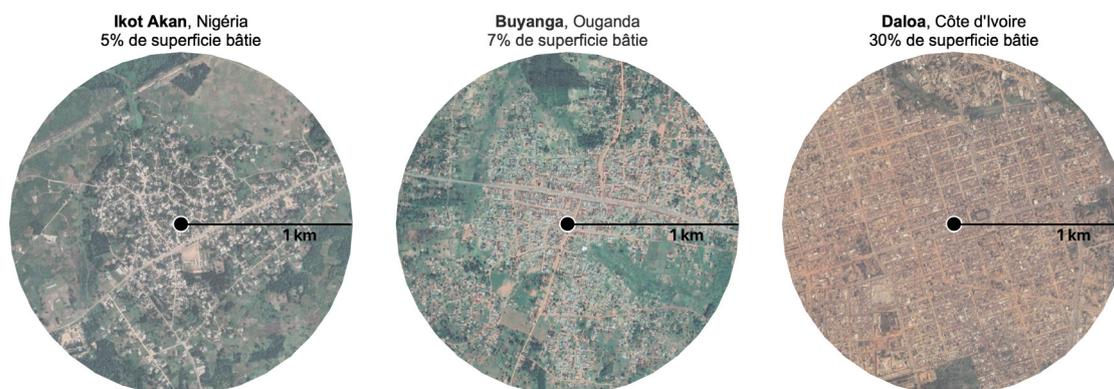
Remplissage versus espaces verts dans les centres à forte densité : gérer les arbitrages

La carte 7 propose une série de vues satellite du point de densité maximale de plusieurs villes de taille intermédiaire (100 000 à 250 000 habitants) présentant différents degrés de remplissage : faible (moins de 4.5 % de superficie bâtie), moyen (6.4 % à 9.6 %) et élevé (28.7 %) ⁶. Au cours des 30 prochaines années, ces villes sont amenées à connaître des transitions majeures. Se pose alors la question pressante du potentiel remplissage de leurs espaces non bâtis.

À Ikot Akan (Nigéria), sur l'image de gauche, et Buyanga (Ouganda), au centre, le remplissage des espaces non bâtis reste une possibilité. Cependant, cette approche risque de se faire au détriment des espaces verts, comme c'est déjà le cas à Daloa (Côte d'Ivoire), sur l'image de droite. Or, les espaces verts contribuent à améliorer à la fois la résilience (en réduisant l'impact des vagues de chaleur) et la durabilité (en absorbant la pollution). Pour éviter leur perte tout en faisant face à la croissance de la population urbaine, les villes pourraient adopter une stratégie de préservation de ces espaces en en faisant l'acquisition pour les convertir en parcs. Cette option nécessite toutefois de mobiliser des ressources d'entretien et de surveillance (Anderson, Patiño Quinchía et Prieto-Curiel, 2022 ^[31]), mais aussi, d'encourager la construction de bâtiments plus élevés en améliorant l'accès aux financements et les droits de propriété. On note à quel point l'empreinte du bâti de villes de taille similaire peut être différente à leur point de densité maximale.

Carte 7.

Degré de remplissage au point de densité maximale de villes de taille intermédiaire



Note : Vues satellites tirées du service de cartographie web Google Satellite le 21 janvier 2023.

Source : Service de cartographie web Google Satellite Image dans QGIS.

Qualité de vie dans un centre « rempli » : infrastructures à Kano et Ibadan

La superficie de Ibadan (308 000 habitants) et Kano (388 000 habitants) bâtie à hauteur de respectivement 40 % et 36 % dans un rayon de 1 km autour de leur point de densité maximale. Si le coût des infrastructures publiques (des transports à l'électricité) s'en trouve réduit, ce degré élevé de remplissage ne garantit toutefois pas une meilleure qualité de vie (San Emeterio et Moriconi-Ebrard, 2022 ^[30]).

À Ibadan, le centre ville est très délabré (San Emeterio et Moriconi-Ebrard, 2022 ^[30]) : vétusté des logements, absence d'égouts et de trottoirs, inadéquation des voies de circulation et absence d'éclairage public. On n'y dénombre 83.9 intersections par km², soit moins de la moitié qu'à Kano avec 202 par km² (Open Street Map, 2022 ^[18]). Cela signifie qu'il y a moins d'accessibilité à Ibadan par rapport à Kano (facilité d'accès à pied, par le

réseau routier, aux différents services et opportunités). Le manque d'éclairage urbain limite la vie commerciale aux seules heures de la journée, freinant ainsi l'activité économique et la croissance. Ce piètre état du centre résulte d'un manque d'investissement public et de ressources d'entretien (San Emeterio et Moriconi-Ebrard, 2022_[30]). À Kano, malgré un centre pas nécessairement plus attrayant, « de nombreuses maisons sont rénovées, reconstruites en dur, surélevées, équipées de terrasses et de charpentes modernes » (San Emeterio et Moriconi-Ebrard, 2022_[30]). « La présence d'éclairages publics y facilite les déplacements nocturnes ce qui permet une vie urbaine après le coucher du soleil ». Kano bénéficie cependant d'investissements et de ressources publics, en partie parce qu'elle est inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO. Les investissements privés dans la rénovation des bâtiments s'ajoutent aux investissements publics. En plus de mettre en évidence l'importance de l'investissement public, ces exemples rappellent que le simple fait qu'un centre-ville soit « rempli » ne garantit en rien, à lui seul, le bien-être de ses habitants ni l'accessibilité ou la durabilité d'une ville.

Comment expliquer le plus faible degré de remplissage du centre de certaines agglomérations urbaines ?

Le degré de remplissage du centre d'une agglomération est en partie lié à la taille de cette agglomération. Moins d'habitants impliquent une plus faible demande d'espace dans le centre. Ces dynamiques ne peuvent cependant être appréhendées qu'à la lumière du contexte local. Des variables comme le foncier, la réglementation, l'accessibilité financière, le financement et l'offre, peuvent également influencer la taille des bâtiments. Un autre facteur est le zonage à usage unique des terrains réglementés par l'État, qui limite les possibilités de développement à usage mixte en séparant les utilisations résidentielles, commerciales et industrielles (comme au Ghana, au Lesotho, au Malawi, à Maurice, en Namibie, en Tanzanie et en Zambie). La spéculation foncière et les caractéristiques physiques du terrain jouent également un rôle (variations d'altitude, ou présence de services écosystémiques essentiels - bassins versants_ ou d'espaces verts ou bleus protégés). La prise en compte de l'ensemble de ces aspects est donc un préalable à toute décision de remplissage de ces zones.

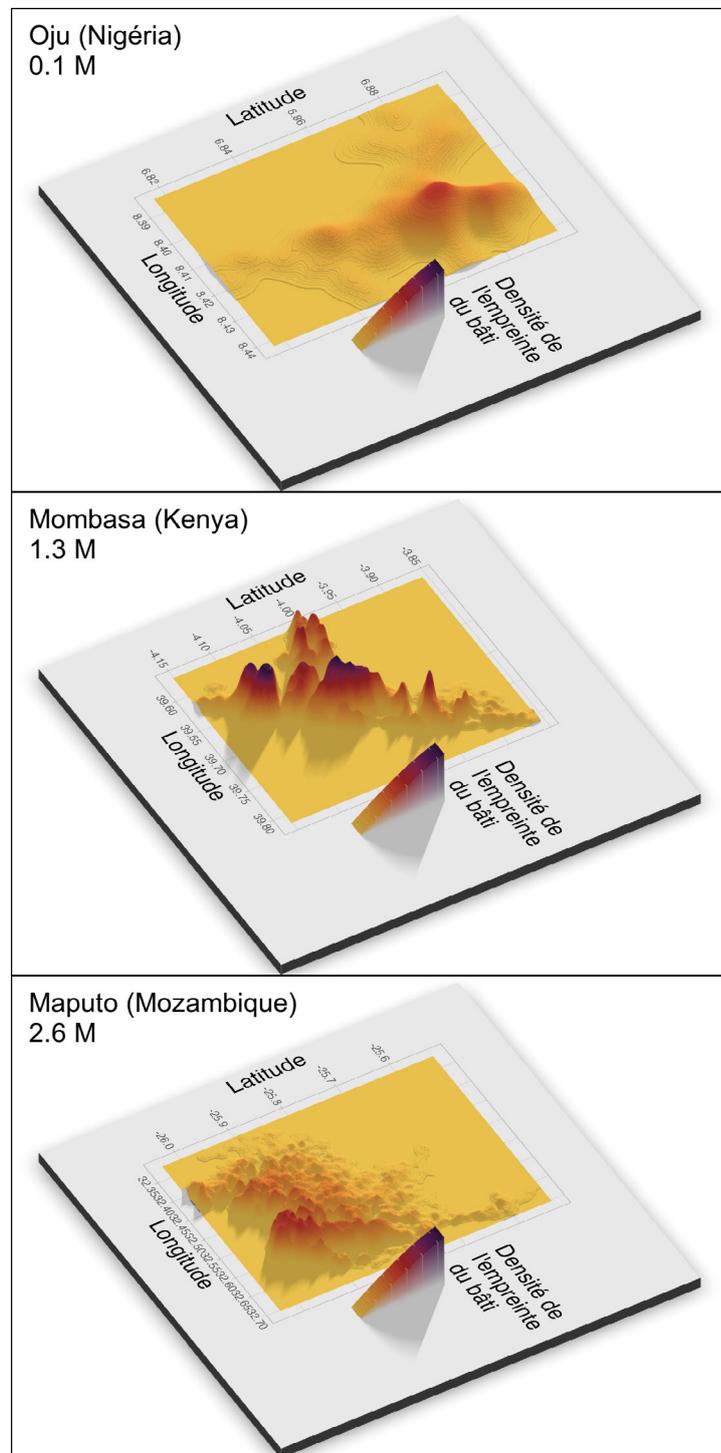
Arbitrer entre polycentrisme et compacité

Les agglomérations polycentriques tendent à être moins compactes. À mesure qu'une ville voit sa population augmenter, sa structure évolue, tant sur le plan morphologique que fonctionnel (Derudder et al., 2021_[31]). Pour de nombreuses villes d'Europe, de Chine et d'Amérique latine, la forme urbaine monocentrique (un seul centre) passe alors à une structure polycentrique (plusieurs centres). Dans une ville monocentrique, les activités se concentrent en majorité dans une zone centrale, tandis que dans une structure polycentrique, elles se répartissent de manière plus uniforme à travers le tissu urbain. Les formes urbaines polycentriques réduisent les temps et coûts moyens des trajets domicile-travail, et donc les émissions et la pollution de l'air extérieur (Did et al., 2022_[32]). En Afrique, les grandes et très grandes villes sont en général polycentriques, tandis que les villes petites et intermédiaires peuvent s'étaler, en restant toutefois monocentriques. L'héritage historique influe également sur la morphologie urbaine : les villes des anciennes colonies britanniques sont plus polycentriques et s'étalent davantage que celles des anciennes colonies françaises. Dans les quartiers coloniaux plus anciens, l'occupation des sols est moins intense et le tissu urbain plus irrégulier, avec un développement plus discontinu à la périphérie (Baruah, Henderson et Peng, 2021_[33]).

Le graphique 11 illustre la polycentricité morphologique de trois agglomérations urbaines africaines à partir de l'étude de la distribution du bâti (Derudder et al., 2021_[31]; Yang et al., 2021_[34])⁷. 1 indique une ville monocentrique, tandis que des valeurs plus élevées signalent la présence de plusieurs centres. Oju, petite ville du Nigéria, est par exemple monocentrique, comme l'indique le pic unique, tandis que Mombasa (Kenya) et Maputo (Mozambique) sont polycentriques (graphique 11).

Graphique 11.

Visualisation 3D de la densité de l’empreinte du bâti de trois villes



Note : La densité de l’empreinte du bâti à Oju (Nigeria) présente un indice de polycentricité de 1, contre 8 à Mombasa (Kenya) et 5 à Maputo (Mozambique). Cet indice se base sur une estimation par noyau de l’intensité du nombre de bâtiments et de la superficie bâtie par unité de superficie (voir annexe C). Une ville avec un indice polycentricité de 1 est monocentrique (là où la densité est la plus élevée) (Prieto-Curiel, Patino et Anderson, 2023^[29]). Si la ville présente deux centres éloignés de taille égale, la valeur de l’indice sera alors de 3 ; et si elle présente trois centres éloignés de taille égale, la valeur sera de 6 (soit une valeur comprise entre celles des villes de Mombasa et Maputo).

Source : Calculs des auteurs.

Les agglomérations urbaines africaines présentent des tendances similaires à celles observées dans le reste du monde. En moyenne, les petites villes tendent à être monocentriques, tandis que celles de taille intermédiaire et grandes et très grandes se développent autour d'un plus grand nombre de centres (tableau 2).

Tableau 2.

Augmentation du degré de polycentricité avec la taille des villes

| | Indice de Polycentricité | Interprétation |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Moins de 50 000 habitants | 1.1 | Monocentrique |
| 50 000 à 1 million | 1.8 | Relativement monocentrique |
| Plus de 4 million | 21.5 | Polycentrique |
| Over 4 million | 32.8 | Polycentrique |

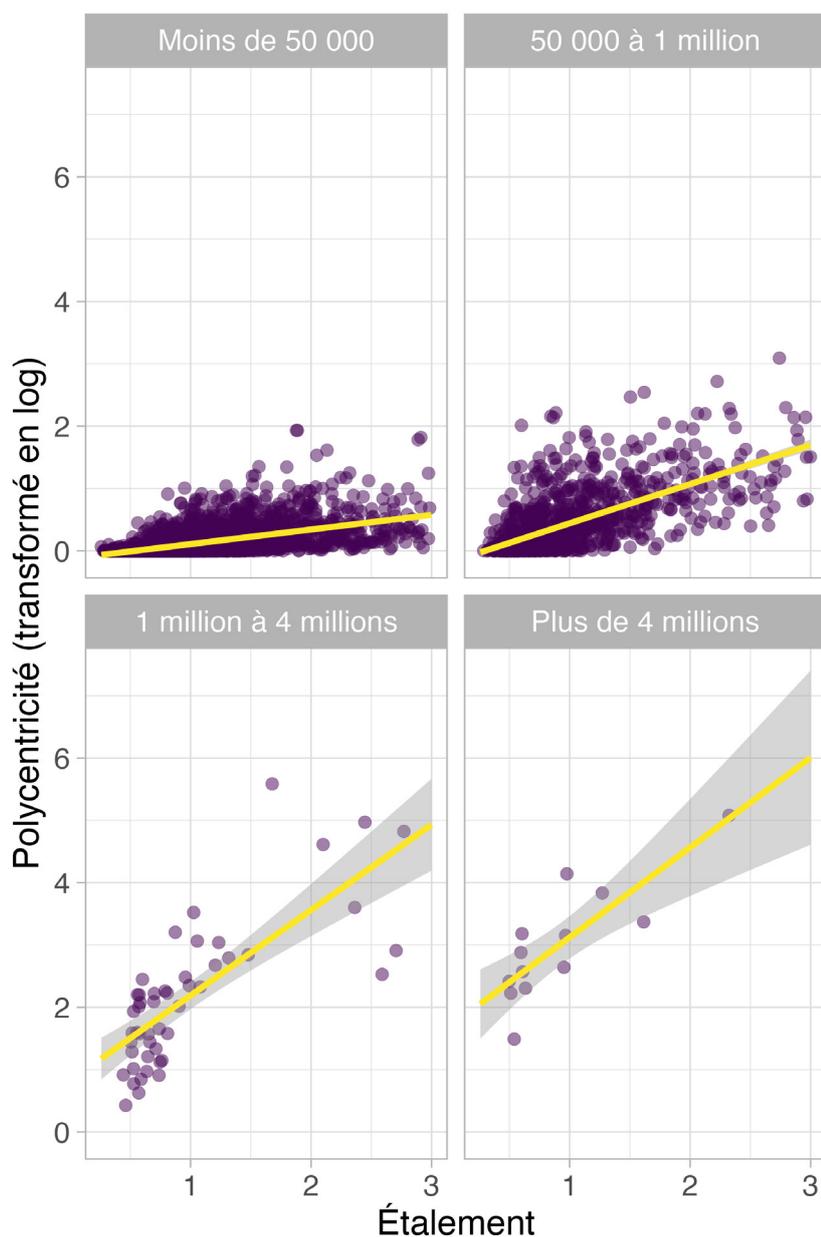
Note : Cet indice se base sur une estimation par noyau de l'intensité du nombre de bâtiments et de la superficie bâtie par unité de superficie (Voir annexe C). Une ville présentant un indice de polycentricité de 1 est monocentrique. Si la ville présente deux centres éloignés de taille égale, la valeur de l'indice sera alors de 3 ; et si elle présente trois centres éloignés de taille égale, la valeur sera de 6 (soit une valeur comprise entre celles des villes de Mombasa et Maputo) (graphique 11).

Source : Calculs des auteurs à partir de Open Buildings (Sirko, W. et al., 2021^[39]) et d'Africapolis (OCDE/CSAO, 2020^[16]).

La relation entre taille des villes, compacité et polycentricité est plus complexe. Dans les agglomérations petites (moins de 50 000 habitants) et intermédiaires (50 000 à 1 million d'habitants), les formes urbaines monocentriques et étalées sont courantes. En résultent une plus grande dépendance à l'automobile et un allongement des trajets et de l'accès aux services et opportunités (graphique 12). Dans les grandes et très grandes agglomérations, les formes urbaines monocentriques sont moins fréquentes et l'expansion est associée à la multiplication des centres. Compte tenu de l'étalement souvent plus important des grandes et très grandes agglomérations, leur polycentrisme y améliore la qualité de vie grâce à la présence de plusieurs centres d'activité. Il semble donc que l'augmentation de la taille des villes s'accompagne d'une amélioration de la gestion de l'espace.

Graphique 12.

Relation entre polycentricité et étalement urbain en fonction de la taille des villes



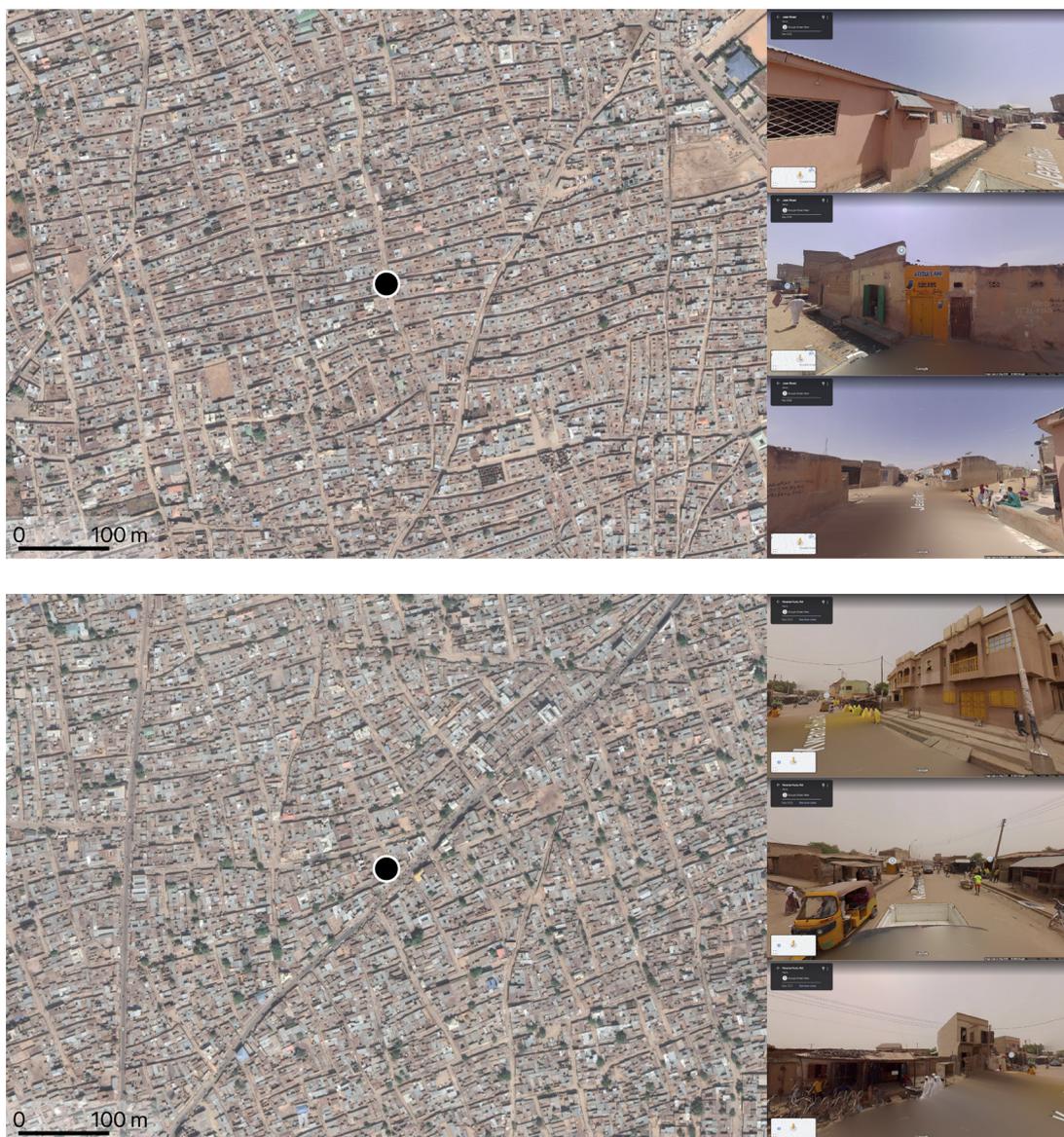
Note : Cet indice se base sur une estimation par noyau de l'intensité du nombre de bâtiments et de la superficie bâtie par unité de superficie (voir annexe C). Une ville présentant un indice de polycentricité de 1 est monocentrique. Si la ville présente deux centres éloignés de taille égale, la valeur de l'indice sera alors de 3 ; et si elle présente trois centres éloignés de taille égale, la valeur sera de 6 (soit une valeur comprise entre celles des villes de Mombasa et Maputo) (graphique 11). Ici, l'indice de polycentricité est converti à l'aide d'une transformation logarithmique afin d'observer la relation avec l'étalement en fonction de la taille des villes (dans l'échelle ainsi transformée, la valeur de l'indice d'une ville monocentrique est de 0, celle d'une ville avec deux centres de taille égale, de 1.1, et celle d'une ville avec trois centres de taille égale, de 1.8).

Source : Calculs des auteurs à partir de Open Buildings (Sirko, W. et al., 2021^[39]) et d'Africapolis (OCDE/CSAO, 2020^[16]).

Les cartes 8 et 9 illustrent deux centres à Kano (Nigéria) puis à Mombasa (Kenya). Les vues aériennes montrent des groupes de bâtiments condensés probablement des quartiers informels (rues non goudronnées, agencement organique). Les bâtiments y sont bas, d'un ou deux étages. On y distingue des cafés, restaurants, hôpitaux, églises ou écoles, attestant de la forte activité.

Carte.8

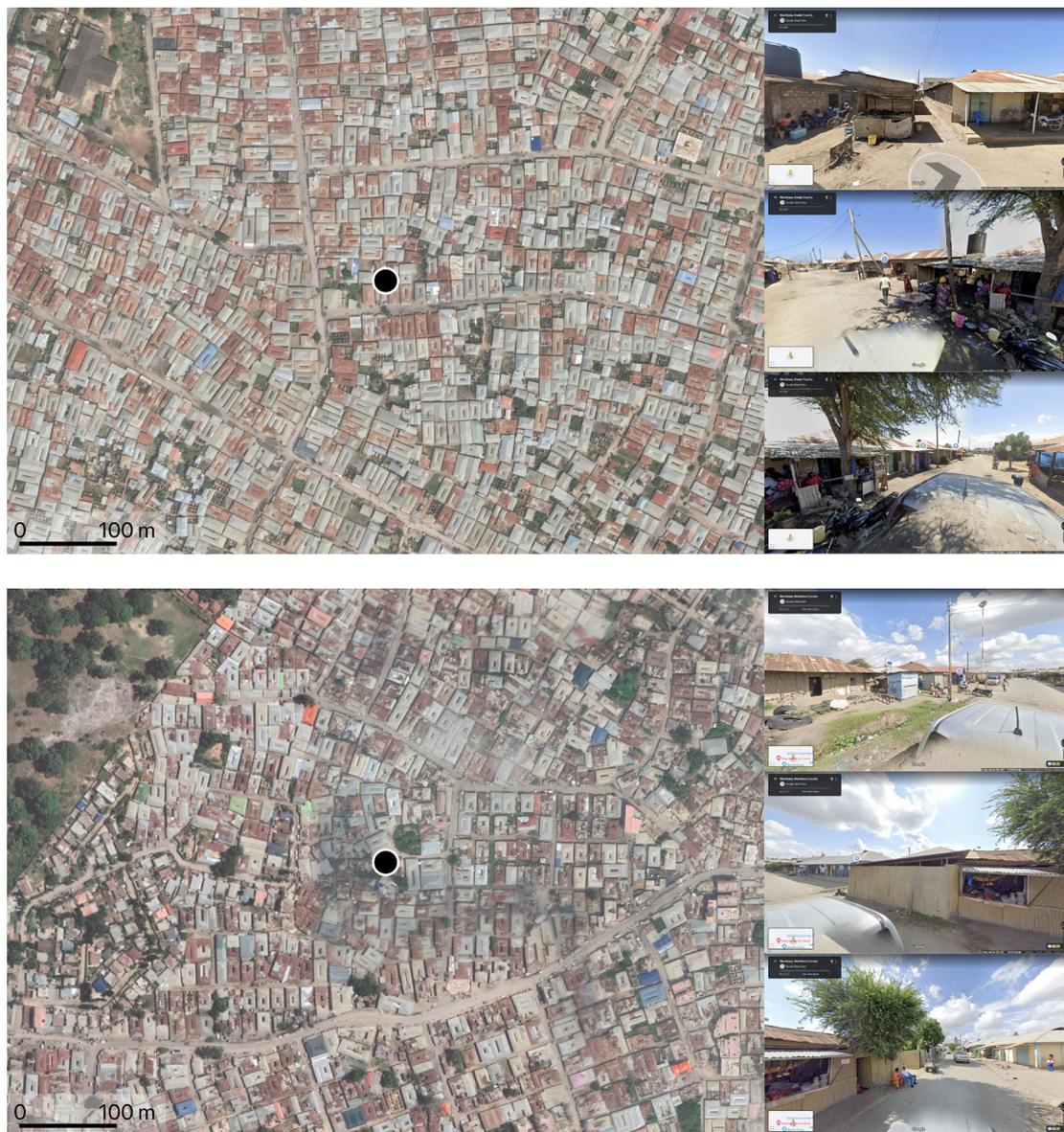
Kano (Nigéria) : centres morphologiques



Source : Vue satellite Google, consultée le 24 janvier 2023.

Carte 9.

Mombasa (Kenya) : centres morphologiques



Source : Image satellite Google WMS dans QGIS et Google Street View.

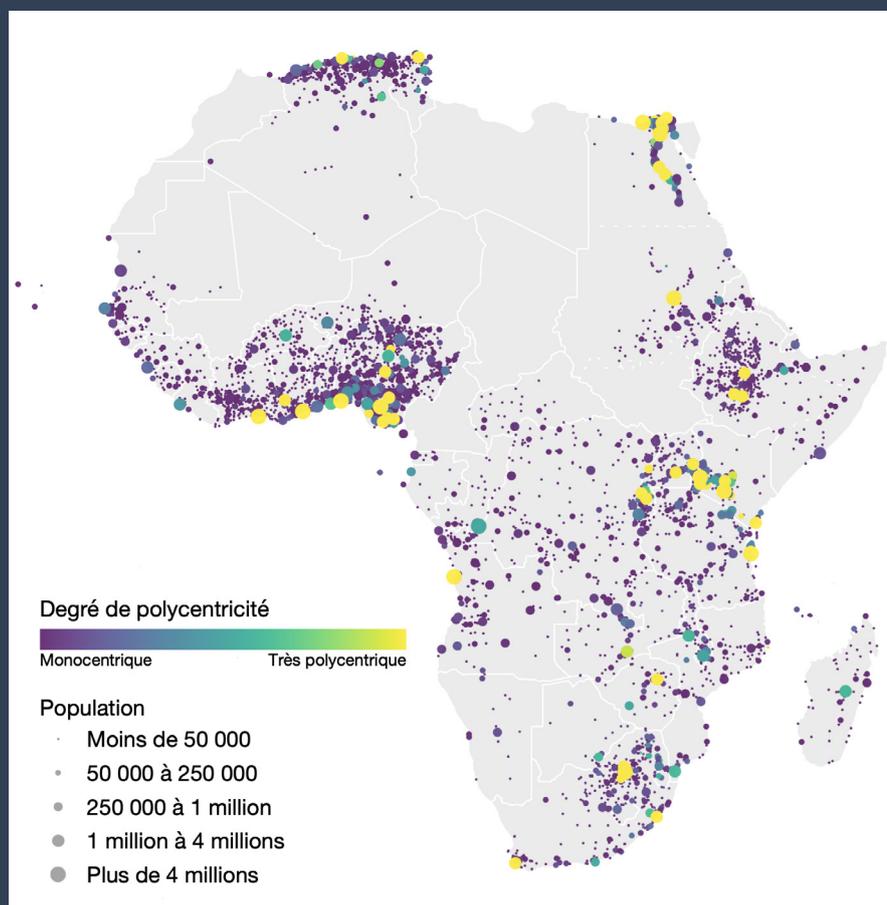
Encadré 3.

Polycentricité des agglomérations urbaines africaines

Larger cities tend to be more polycentric, while smaller cities are monocentric (purple). No clear differences between regions exist.

Carte 10.

Degré de polycentricité



Note : La taille des ronds correspond au nombre d'habitants, et leur couleur, au degré de polycentricité.

Source : Calculs des auteurs.

● **COMPACTITÉ, DURABILITÉ, QUALITÉ DE VIE ET RÉSILIENCE**

La forme urbaine a un impact sur la durabilité et la résilience des villes, et donc sur la qualité de vie de leurs habitants. Cette section souligne la hausse de la demande énergétique pour la mobilité dans les agglomérations plus fragmentées, la moindre accessibilité et la plus grande dépendance à l'automobile. Elle explique le rôle crucial des espaces verts pour pallier les effets d'îlot de chaleur urbain.

Allongement des distances dans les villes moins compactes

La population plus nombreuse des grandes villes multiplie la pollution, le bruit, les embouteillages entre autres. Les villes plus peuplées occupant de plus grandes superficies, la distance entre les lieux est allongée ainsi que le temps et l'énergie investis dans la mobilité décourage les formes actives de mobilité (marche et vélo) et accroît le coût des transports publics, les besoins d'énergie et les émissions des véhicules particuliers.

La modération de la demande d'énergie provenant des utilisations finales (comme l'industrie, les transports et le bâtiment) serait essentielle pour les agglomérations urbaines africaines (AIE, 2022^[17]) et pour la prospérité économique future. Si l'offre d'énergie continue à peiner à répondre à la demande, la flambée des prix se poursuivra. Or, l'octroi de subventions (par exemple à l'industrie) commence déjà à être intenable pour de nombreux pays africains en proie au surendettement (AIE, 2022^[17]).

La compréhension des modalités de déplacement dans les villes nécessite de très nombreuses données dont on ne dispose pas pour la plupart des villes africaines. La distance moyenne de déplacement pour chaque ville est estimée en considérant des paires de bâtiments dans la ville et en mesurant la distance les séparant (Annexes A et B). Bien que la distance entre tous les bâtiments d'une ville ne soit pas celle domicile-travail, elle donne une idée approximative de leur augmentation en lien avec la population. Sans tenir compte de l'étalement urbain, les distances au sein d'une ville augmentent presque de la racine carrée de sa population (Prieto-Curiel, Patino et Anderson, 2023^[29]), notamment dans les grandes villes. En l'absence d'allongement ou d'étalement, les distances entre les bâtiments augmentent ainsi en moyenne de 41 % dans une ville deux fois plus peuplée.

Sans réelle influence sur cette relation, la compacité peut toutefois jouer un rôle crucial sur d'autres facteurs d'augmentation des, comme l'allongement et l'étalement des villes entraînant une hausse des émissions et du temps associés à la mobilité des habitants entre leur domicile et le travail. À Durban (Afrique du Sud), 3.1 millions d'habitants, les distances domicile-travail sont le double de ce qu'elles pourraient être dans une agglomération de même population mais de forme compacte, du fait de sa forme urbaine allongée (indice de 5.3) et étalée (indice de 0.8). Dans certaines villes, ce surcoût lié à la forme urbaine est extrêmement élevé, comme à Assiout (Égypte), 1.3 million d'habitants, où les trajets domicile-travail sont 3.3 fois plus longs, et à Kisii (Kenya), environ 3.4 millions d'habitants, où ils sont 4 fois plus longs.

La comparaison entre Ibadan (Nigéria) et Durban (Afrique du Sud), qui comptent toutes deux environ 3.2 millions d'habitants, illustre l'impact de la forme urbaine. La distance moyenne entre deux bâtiments est ainsi de 12.3 kilomètres à Ibadan, contre une distance moyenne 44 % plus longue (17.7 kilomètres) à Durban, en raison de sa forme urbaine moins compacte.

Dans les grandes villes, les longs trajets produisent d'importantes émissions. Non seulement les distances sont plus importantes, mais aussi le nombre de personnes qui les parcourent. Une façon de mesurer cet impact consiste à déterminer le nombre total de kilomètres parcourus dans une ville. Lorsque la population d'une ville double, le nombre total de kilomètres parcourus par l'ensemble de la population de cette ville est multiplié par 2.8. Dans les cas des villes de Ibadan (Nigéria) et de Nairobi (Kenya, 5.8 millions d'habitants), sur la base de la distance entre les bâtiments, le trajet moyen domicile-travail est estimé 80 % plus long pour la seconde. La distance totale parcourue dans une ville dépend à la fois de sa population et de la distance du trajet moyen domicile-travail (Prieto-Curiel, Patino et Anderson, 2023_[29]). Étant donné que davantage de personnes parcourent des distances plus longues à Nairobi, on estime que 3.4 fois plus de kilomètres sont parcourus à Nairobi qu'à Ibadan. Même si seule une minorité de la population se déplace en voiture particulière dans ces deux villes, il n'en demeure pas moins que cette minorité génère 3.4 fois plus d'émissions à Nairobi.

Dans les agglomérations urbaines moins compactes, la distribution allongée et étalée des infrastructures se traduit directement par un allongement des trajets, une augmentation du temps et de l'énergie investis dans la mobilité et une hausse des émissions auxquelles se trouve exposée la population.

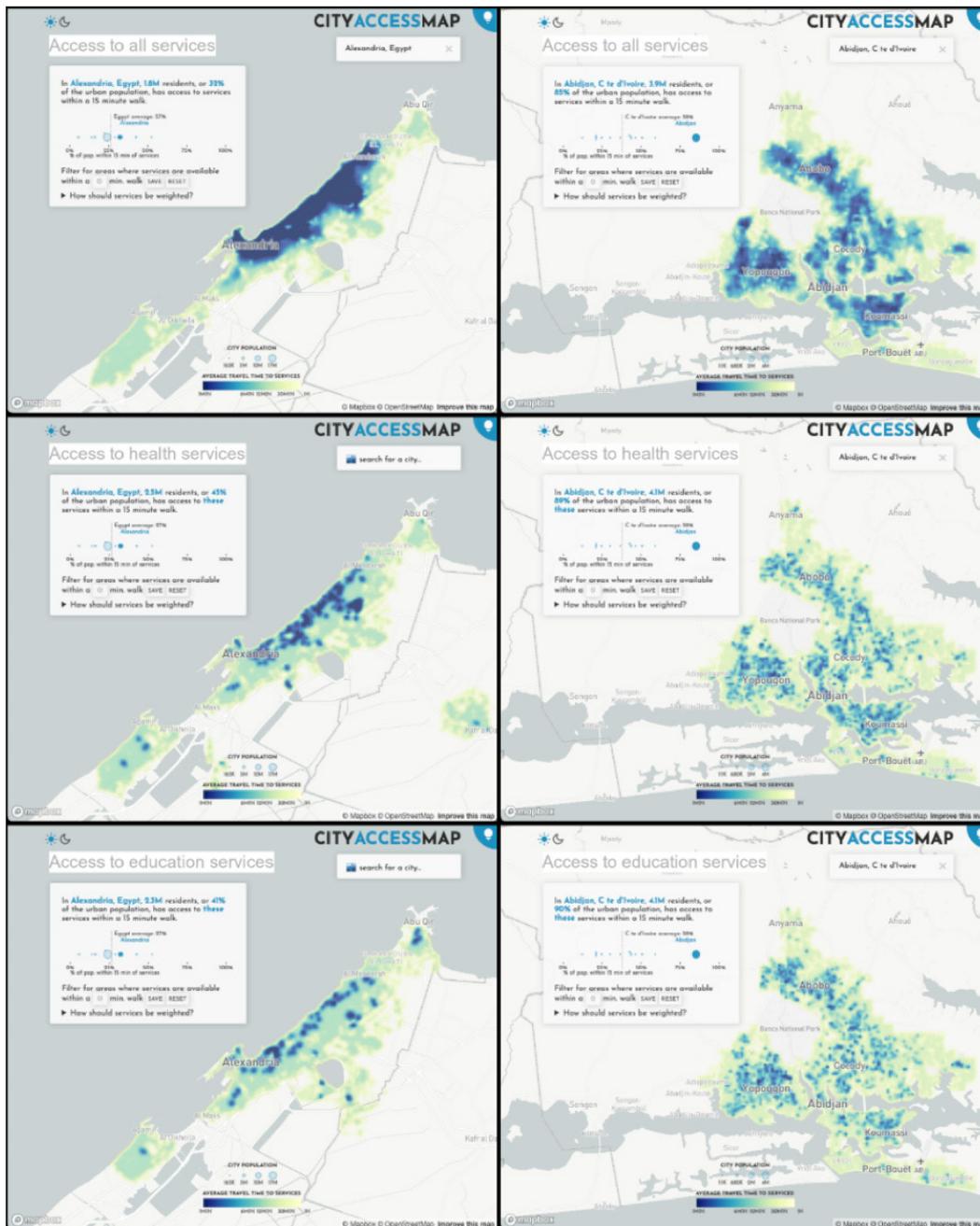
L'étalement urbain réduit l'accessibilité à pied

L'allongement des distances contribue à réduire l'accessibilité, c'est-à-dire l'accès aux services et opportunités à une distance raisonnable. Le risque est que des modes de transport non durables, tels que les véhicules particuliers, soient privilégiés au détriment de modes de transport bas-carbone, comme la marche, le vélo ou les transports publics, avec pour conséquence une augmentation de la pollution et des effets sur la santé.

Abidjan (Côte d'Ivoire) avec ses 4.7 millions d'habitants et un indice d'étalement de 0.6, et Alexandrie (Égypte) avec 6.6 millions d'habitants et un indice de 1.6, sont pertinents à comparer, notamment avec CityAccessMap (carte 11). Dans la première très compacte, 85 % de la population peut accéder en moins de 15 minutes à pied à tous les services disponibles. Alexandrie, ville allongée et étalée affiche un pourcentage de 32 % (carte 11) (qui comprend les stations de transport en commun ; les établissements d'enseignement; pharmacies, cliniques et hôpitaux; parcs, stades et gymnases ; bibliothèques et centres communautaires; restaurants, food trucks et supermarchés). Les habitants des quartiers d'El Dekheila, El Mandarah et Abu Qir, situés aux extrémités d'Alexandrie, mettent plus de 30 à 60 minutes pour accéder à ces mêmes services. 89 % et de la population d'Abidjan accède en 15 minutes à pied aux infrastructures de santé, contre 45 % et 41% à Alexandrie peuvent accéder en 15 minutes à pied, aux services de santé et d'éducation, respectivement.

Carte.11

Estimation des niveaux d'accessibilité à Abidjan et Alexandrie à partir de CityAccessMap



Note : À gauche : Alexandrie, Égypte (6.6 millions d'habitants ; étalement : 1.6). À droite : Abidjan, Côte d'Ivoire (4.7 millions d'habitants ; étalement : 0.6). Estimation du temps de trajet à pied pour accéder à différents services. De haut en bas : zones des villes ayant accès à tous les services, aux services de santé et aux services d'éducation. Le bleu foncé représente un temps de trajet à pied plus court que les couleurs plus claires. L'accessibilité à pied à différents services au sein de deux agglomérations urbaines de taille (nombre d'habitants) similaire est comparée à l'aide de CityAccessMap, outil développé par le Centre for Urban Science and Policy de l'Université de technologie de Delft (Nicoletti, L., M. Sirenko et T. Verma, 2022_[40]) qui quantifie les services accessibles en 15 minutes à pied sur la base du réseau de rues et de l'API de Google.

Source : Nicoletti, L., M. Sirenko et T. Verma (2022_[40]), <https://www.cityaccessmap.com>.

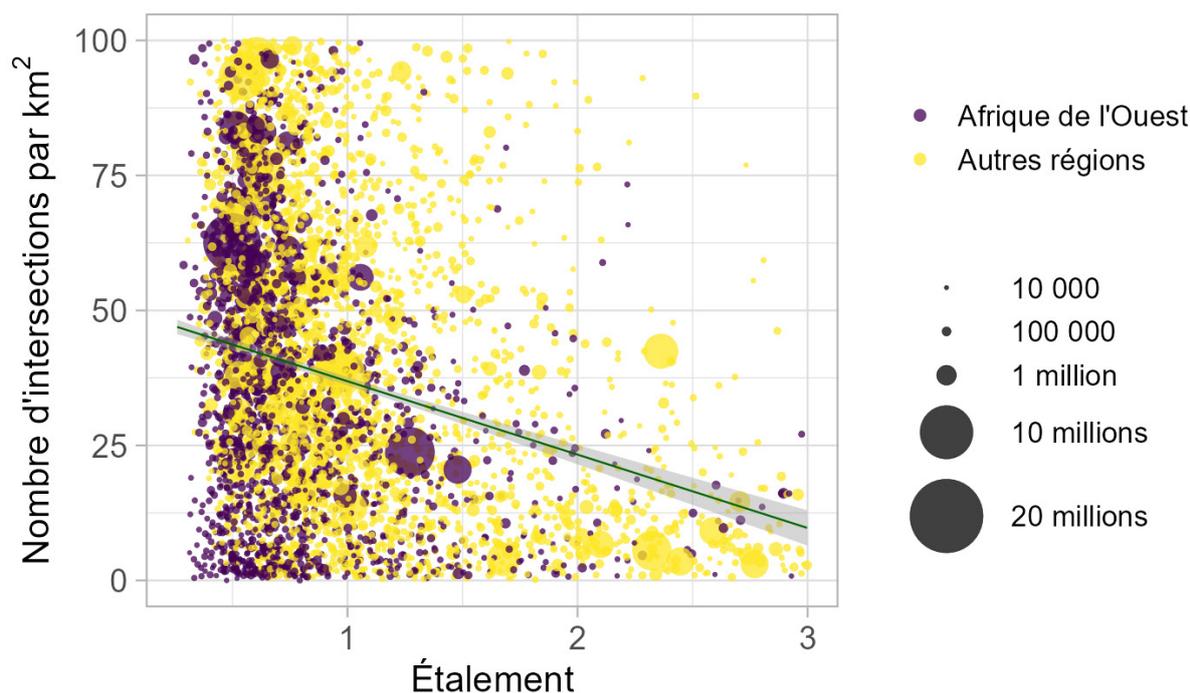
L'utilisation d'une voiture risque de devenir le moyen de transport de facto à Alexandrie, l'accessibilité des services à pied comptant parmi les facteurs (aux côtés du revenu et les antécédents) qui influent sur les taux de motorisation. 20 % des habitants d'Alexandrie vivent ainsi dans un ménage avec voiture, contre 8.5 % à Abidjan (World Bank, 2019^[35]). Cela induit une augmentation potentielle de la consommation d'énergie, de la pollution et des embouteillages.

Plus d'étalement, moins d'intersections, moins de possibilités de se déplacer à pied

Plus le nombre d'intersections par kilomètre carré est élevé, plus son réseau de rues est praticable à pied. En calculant le nombre moyen d'intersections par km² à l'aide d'Open Street Map⁸, on observe la diminution du nombre d'intersections par km² avec l'augmentation du degré d'étalement urbain, et donc la limitation des possibilités de se déplacer à pied. Cette situation est d'autant plus problématique que la marche est le principal moyen de locomotion des urbains en Afrique.

Graphique. 13

Plus d'étalement, moins de possibilités de se déplacer à pied



Note : Étalement (axe horizontal) et nombre d'intersections de rues par km² (axe vertical) dans les villes d'Afrique.

Source : Calculs des auteurs à partir d'OpenStreetMap.

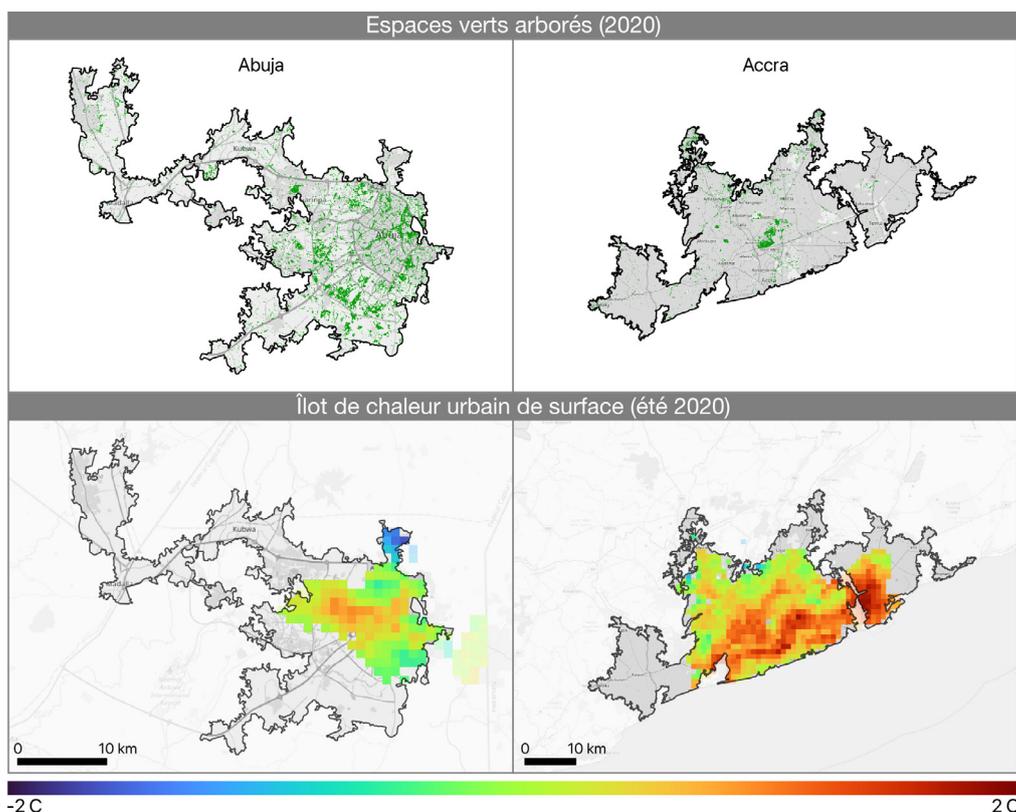
Renforcer la résilience face aux effets d'îlot de chaleur urbain

Les agglomérations urbaines sont exposées aux effets d'îlot de chaleur urbain (ICU) en raison des routes goudronnées, bâtiments et autres surfaces absorbant et retenant la chaleur. En résultent une augmentation des températures diurnes et réduction du rafraîchissement nocturne, susceptibles d'exposer les citoyens (en particulier les plus âgés et les plus jeunes) à un risque accru de décès et maladies. Il apparaît donc impératif de veiller à la préservation des espaces verts lors de l'expansion des villes.

Les parcelles arborées limitent les effets d'îlot de chaleur urbain, en particulier dans un rayon de 300 mètres, l'ombre des arbres permettant une baisse de la température jusqu'à 2°C. Un suivi attentif des modalités d'occupation des sols est ainsi essentiel dans les villes compactes. La comparaison des effets d'îlot de chaleur urbain à l'été 2020 à Accra (Ghana) et Abuja (Nigéria) (carte 12 souligne une température régulièrement supérieure de 2°C dans certaines zones d'Accra. Dans ces deux villes, la disponibilité d'espaces verts est toutefois la même en termes absolus (33 %), mais avec une plus grande dispersion des arbres à Abuja qu'à Accra. Des études antérieures pointent ainsi la diminution de la disponibilité d'espaces verts (en pourcentage absolu) avec l'augmentation de la compacité des agglomérations urbaines africaines.

Carte.12

L'effet d'îlot de chaleur urbain est plus marqué à Accra qu'à Abuja



Note : Espaces verts arborés en vert pour l'année 2020 et intensité de l'îlot de chaleur urbain de surface (ICUS) en journée, à l'été 2020. Les rouges plus foncé indiquent des températures plus élevées.

Source : Données sur les espaces verts tirées de l'ensemble de données WorldCover 2020 de l'ESA (Zanaga et al., 2021^[36]) et sur l'îlot de chaleur urbain de surface, de Global Surface UHI Explorer (Chakraborty et Lee, 2019^[37]).

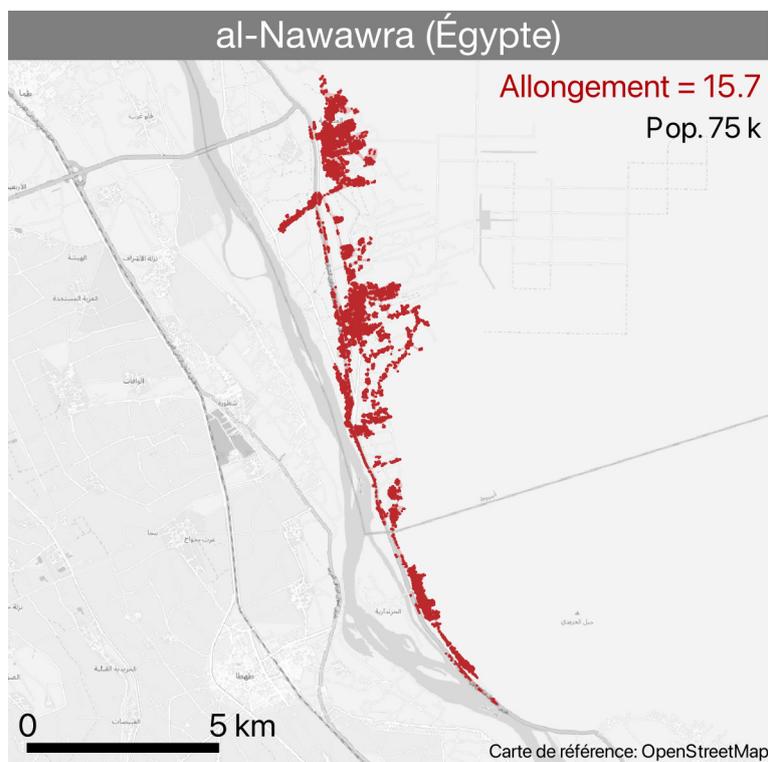
Ces dynamiques vont s'intensifier au cours des prochaines décennies. Tout le continent africain verra ses températures augmenter. L'Afrique de l'Ouest sera probablement confrontée à des chaleurs extrêmes pendant près de la moitié de l'année, même dans les scénarios où le réchauffement mondial reste en deçà de 2°C. Des villes comme Accra et Abuja présentent un risque élevé d'îlot de chaleur urbain. À Accra, seuls 11 % de la population vit à moins de 300 mètres d'une parcelle arborée (de 1 hectare ou plus), contre près de 54 % des habitants d'Abuja. Dans les décennies à venir, les arbres pourraient donc être une solution naturelle pour atténuer la chaleur à Abuja (Anderson, Patiño Quinchía et Prieto-Curiel, 2022^[3]).

Des villes plus allongées, une pollution atmosphérique plus élevée

Les villes à la forme la plus allongée se sont développées le long d'une seule route principale à laquelle sont reliées de petites routes secondaires selon une structure en arête de poisson. Cette structure contraint la circulation urbaine à emprunter un unique corridor principal, et entraîne de forts encombrements et consommation de carburant, et par conséquent par une pollution atmosphérique plus élevée (Anderson, Patiño Quinchía et Prieto-Curiel, 2022^[3]). La forme allongée d'al-Nawawra (Égypte) explique une concentration moyenne de PM2.5 (particules fines) de 53.6 en 2019, contre une moyenne nationale de 45 (carte 13).

Carte.13

L'allongement des villes entraîne une pollution atmosphérique supérieure à la moyenne



Source : Calculs des auteurs

● DE MEILLEURES DONNÉES POUR UNE PRISE DE DÉCISION ÉCLAIRÉE

Les données spatiales, combinées à des indicateurs facilement interprétables, peuvent aider les pouvoirs publics à planifier, gérer et orienter le développement urbain, et relever le double défi de l'urbanisation rapide et du changement climatique. Les agglomérations africaines et leurs partenaires doivent pouvoir s'appuyer sur tous les outils disponibles dont les bases de données ouvertes – de plus en plus nombreuses – pour dresser un diagnostic informé des réalités urbaines, anticiper et concevoir des options plus territorialisées.

L'hétérogénéité du développement urbain, une approche contextualisée et plus déconcentrée

Le rôle des formes urbaines sur certains paramètres - îlots de chaleur urbains ou accessibilité – et leurs impacts environnementaux varie. Compact ou polycentrique, le tissu urbain est hétérogène selon les régions et la taille des villes. Jamais deux villes ne seront identiques. Les très grandes villes (plus de 4 millions d'habitants) montrent une plus grande compacité (en termes d'étalement et d'allongement) par rapport aux villes grandes et intermédiaires. La vitesse d'urbanisation de ces dernières étant parmi les plus élevées et leur rôle clé dans l'intégration entre territoires urbains et ruraux, comment leur donner les moyens de dresser un diagnostic urbain et spatial de leurs dynamiques et de leurs besoins futurs?

Une ville plate, aux bâtiments peu élevés résulte-t-elle d'un choix de politique ou de ses habitants, d'un manque de financements, ou des caractéristiques géographiques? Autant de questions qui soulignent l'importance de coordonner les politiques nationales aux échelles locales aussi bien en termes de problématiques urbaines que climatiques.

Les gouvernements nationaux négligent souvent l'importance des villes en Afrique en matière d'action climatique (comme en atteste leur faible mention dans les contributions déterminées au niveau national) (Anderson, Rhein and Acosta, 2022^[9]), alors que l'Accord de Paris (COP 21) souligne leur rôle moteur dans la lutte contre le changement climatique. Une plus grande décentralisation politique suivi d'engagements budgétaires peuvent contribuer à donner aux acteurs locaux la possibilité d'agir en matière d'aménagement urbain et de responsabilités climatiques. Ceci nécessite une meilleure connaissance de l'existant, un accès facilité aux données et des capacités humaines à même de nourrir la définition, la mise en œuvre et le suivi-évaluation des politiques.

Une planification des villes africaines, intégrative des informalités

La croissance des villes est fragmentée entre mouvements planifiés et spontanés. La régulation et la construction urbaines africaines sont et resteront en partie informelles. Même si des réflexions et actions sont menées sur et en faveur d'une meilleure compacité pour une meilleure durabilité, il n'en reste pas moins que des options devraient être pensées pour l'existant et ses quartiers précaires dont les bâtis sont souvent bas et trop peu accessibles. Les fragmentations ont généré des modalités de fonctionnement adaptatives ou informalités souvent concentrées dans les périphéries avec des services urbains moindres. Une mauvaise mobilité renforce ces poches d'exclusion, notamment environnementale. Se doter d'une grille de lecture des infrastructures et des équipements et capitaliser sur la résilience des services existants constitueraient des premiers pas d'un diagnostic nécessaire et participatif.

Favoriser une gouvernance horizontale et verticale pour planifier avec les populations et non pour elles pour que l'investissement majoritairement dans le formel construise une intégration avec les habitats informels. Les habitants – notamment les plus précaires – « sont des acteurs importants dans le processus de fabrication des villes, à travers notamment des pratiques et économies informelles » (Cisse, 2018_[38]).

Si, « la formalisation du secteur informel part de la mise en œuvre de modalités strictes : délimiter la trame urbaine, interdire et sauvegarder des espaces non propices à l'habitat (les zones à risque et les zones naturelles et agricoles), veiller sur l'occupation des espaces destinés aux équipements publics » (Cisse, 2018_[38]), elle ne peut se construire que par une approche intégrative (Cisse, 2018_[38]).

Les maires doivent regarder les villes dans leur hinterland et raisonner à hauteur des territoires intégrés (urbain, périphéries et rural qui forment un tout). La croissance de la périphérie des villes devrait par exemple être mieux informée et les modes de transport au regard de leur rapport à l'économie étudiés. Cela peut représenter une formidable opportunité économique pour les villes de construire l'adaptation et la résilience climatique territoriale.

● NOTES

- 1 - <https://mapping-africa-transformations.org/climate-urbanform/>.
- 2 - <https://africapolis.org/>.
- 3 - Tout au long de cette analyse, ces indicateurs ainsi que d'autres informations relatives à la méthodologie seront présentés au lecteur (l'annexe A explique quant à elle le modèle sous-jacent, tandis que l'annexe B décrit l'analyse de sensibilité). Pour plus d'informations sur la méthodologie, consulter Prieto-Curiel, Patiño Quinchía et Anderson (2022 ^[38]).
- 4 - https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/c40_johannesburg_peer_exchange_report_11.11.2019.pdf.
- 5 - <https://guardian.ng/property/lagos-new-rail-transport-system-to-trigger-shift-in-land-use-pattern-hike-in-property-prices/>.
- 6 - L'ensemble de données récemment produit par le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique (DLR) sur la hauteur des bâtiments dans les zones urbaines donne une estimation de la hauteur des bâtiments au niveau de l'agglomération (Esch et al., 2020 ^[20]). La prudence est toutefois de mise lors de l'interprétation de ces données, car pour l'Afrique, elles ne sont disponibles qu'au niveau de l'agglomération, et non des bâtiments.
- 7 - Le point de densité maximale d'une agglomération urbaine, c'est-à-dire sa zone la plus construite, est encore relativement vide dans de nombreuses villes africaines. La distribution de la densité de l'empreinte du bâti dans les agglomérations urbaines du continent a ici été calculée à l'aide de la méthode dite de « l'estimation par noyau », qui permet d'identifier les zones les plus construites des villes, soit le point de densité maximale de chacune d'elles.
- 8 - Seuils déterminés sur la base de la distribution des données.
- 9 - L'ensemble de données Open Buildings est ici utilisé pour déterminer si les agglomérations développent plusieurs centres d'un point de vue morphologique, en examinant le regroupement des bâtiments à travers le tissu urbain. La fonction de ces centres ne peut toutefois pas être identifiée, car l'usage des bâtiments (p. ex. commercial, industriel, résidentiel) n'est pas clair. D'autres chercheurs se servent des données d'éclairage pour identifier les centres fonctionnels (en termes d'activité économique) (Yang et al., 2021 ^[34]), mais on ne sait pas bien dans quelle mesure ces données reflètent réellement l'activité économique informelle.
- 10 - Le nombre d'intersections par km² est ici calculé à l'aide d'Open Street Map pour toutes les agglomérations urbaines de l'ensemble de données (Open Street Map, 2022 ^[18]). Open Street Map n'est pas idéal pour mesurer la forme urbaine, mais il s'agit de l'ensemble de données le plus accessible sur les réseaux de rues.

● RÉFÉRENCES

- Ahlfeldt, G. et al. (2018), « Demystifying compact urban growth : Evidence from 300 studies from across the world », *OECD Regional Development Working Papers*, n° 2018/03, Éditions OCDE, Paris, https://www.oecd-ilibrary.org/development/demystifying-compact-urban-growth_bbea8b78-en (consulté le 31 mars 2022). [11]
- AIE (2022), *Africa Energy Outlook 2022*, Agence internationale de l'énergie, <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2022> (consulté le 27 janvier 2023). [7]
- Anderson, B., J. Patiño Quinchía et R. Prieto-Curiel (2022), « Boosting African cities' resilience to climate change : The role of green spaces », *West African Papers*, n° 37, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/3303c3fb3-en>. [3]
- Anderson, B., S. Rhein et D. Acosta (2022), « West Africa and the global climate agenda », *West African Papers*, n° 38, Éditions OCDE, Paris, https://www.oecd-ilibrary.org/development/west-africa-and-the-global-climate-agenda_e006df00-en (consulté le 24 novembre 2022). [9]
- Angel, S., J. Parent et D. Civco (2010), « The Fragmentation of Urban Footprints: Global Evidence of Sprawl, 1990-2000 ». [22]
- Banque mondiale (2019), *Abidjan: Combined Project Information Documents / Integrated Safeguards Datasheet (PID/ISDS)*, Banque mondiale, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/839521557475874408/pdf/Project-Information-Document-Integrated-Safeguards-Data-Sheet-Abidjan-Urban-Mobility-Project-P167401.pdf> (consulté le 8 décembre 2022). [35]
- Baruah, N., J. Henderson et C. Peng (2021), « Colonial legacies: Shaping African cities », *Journal of Economic Geography*, Vol. 21, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4033412>. [33]
- Centre for Affordable Housing Finance in Africa (2022), *2022 Yearbook: Housing Finance in Africa*, The Centre for Affordable Housing Finance in Africa, https://housingfinanceafrica.org/app/uploads/2022/11/2022_English-Yearbook-compressed.pdf (consulté le 2 février 2023). [23]
- Chakraborty, T. and X. Lee (2019), « A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability », *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 74, pp. 269-280, <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2018.09.015>. [37]
- Chipeta, M. et al. (2022), « Mapping local variation in household overcrowding across Africa from 2000 to 2018: a modelling study », *The Lancet Planetary Health*, Vol. 6/8, pp. e670-e681, [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00149-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00149-8). [19]
- Cisse, C. (2018), *En Afrique la ville est fabriquée en permanence par la planification et par l'informel*, L'Afrique des Idées, <https://www.lafriquedesidees.org/afrique-ville-fabriquee-permanence-planification-linformel/> (accessed on 17 August 2023). [38]
- Commission européenne et al. (2021), *Global Human Settlement Layer: Understanding human presence on planet Earth: Science based information on population and human settlements to support informed policy decisions*, Commission européenne, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ffff4ae8-5971-11ec-91ac-01aa75ed71a1/language-en> (consulté le 24 novembre 2022). [17]

- Derudder, B. et al. (2021), « Measuring polycentric urban development: The importance of accurately determining the 'balance' between 'centers' », *Cities*, vol. 111, <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2020.103009>. [31]
- Devermont, J. et K. Salmon (2021), *Dotting the Landscape: Unfinished Buildings in Sub-Saharan Africa*, <https://www.csis.org/analysis/dotting-landscape-unfinished-buildings-sub-saharan-africa> (consulté le 8 mars 2023). [27]
- Did, Y. et al. (2022), « Citation: Polycentric and Compact Structure Reduce Carbon Emissions? A Spatial Panel Data Analysis of 286 Chinese Did Polycentric and Compact Structure Reduce Carbon Emissions? A Spatial Panel Data Analysis of 286 Chinese Cities from 2002 to 2019 », <https://doi.org/10.3390/land11020185>. [32]
- Esch, T. et al. (2020), « remote sensing Towards a Large-Scale 3D Modeling of the Built Environment-Joint Analysis of TanDEM-X, Sentinel-2 and Open Street Map Data », *Remote Sensing*, Vol. 12, <https://doi.org/10.3390/rs12152391>. [20]
- Gbonegun, V. (2023), « High cost of building materials to trigger low construction, high rents in new year », <https://guardian.ng/property/high-cost-of-building-materials-to-trigger-low-construction-high-rents-in-new-year/> (consulté le 8 mars 2023). [28]
- Gnacadjia, L. (2022), « The Cities of #TheAfricaWeWant », *Rise Africa: Inspiring Action for Sustainable Cities*, ICLEI Africa; African Centre for Cities, https://riseafrica.iclei.org/wp-content/uploads/2022/04/The-AfricaWeWant_Luc-Gnacadjia_pdf.pdf (consulté le 24 novembre 2022). [2]
- Lall, S. et al. (2021), *Pancakes to Pyramids: City form to promote sustainable growth*, World Bank Group, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/554671622446381555/pdf/City-Form-to-Promote-Sustainable-Growth.pdf> (consulté le 15 mars 2022). [21]
- Maplecroft (2022), *Climate Change Vulnerability Index*, <https://www.maplecroft.com/risk-indices/climate-change-vulnerability-index/> (consulté le 24 novembre 2022). [5]
- Moreno Monroy, A. et al. (2020), « Housing policies for sustainable and inclusive cities: How national governments can deliver affordable housing and compact urban development », *OECD Regional Development Working Papers*, n° 2020/03, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/d63e9434-en>. [25]
- Nicoletti, L., M. Sirenko et T. Verma (2022), « Disadvantaged communities have lower access to urban infrastructure », *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, vol. 50(3), pp. 831–849, <https://doi.org/10.1177/23998083221131044>. [40]
- OCDE (2019), *Accelerating Climate Action: Refocusing Policies through a Well-being Lens*, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/2f4c8c9a-en>. [13]
- OCDE (2018), *Rethinking Urban Sprawl: Moving Towards Sustainable Cities*, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264189881-en>. [12]
- OCDE (2017), *Investing in Climate, Investing in Growth*, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264273528-en>. [6]
- OCDE/CSAO (2020), *Africapolis (base de données)*, www.africapolis.org. [16]

- OECD/CSAO (2020), *Dynamiques de l'urbanisation africaine 2020 : Africapolis, une nouvelle géographie urbaine*, Cahiers de l'Afrique de l'Ouest, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/b6bccb81-en>. [1]
- OECD et Commission européenne (2020), *Cities in the World A NEW PERSPECTIVE ON URBANISATION*, OCDE/Commission européenne, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/d0efcbda-en.pdf?expires=1674489754&id=id&accname=ocid84004878&checksum=7188B230D9669E6EAF6E71EC47D2825> (consulté le 23 janvier 2023) [14]
- OCDE/UNCEA/BAD (2022), *Dynamiques de l'urbanisation africaine 2022 : Le rayonnement économique des villes africaines*, Cahiers de l'Afrique de l'Ouest, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/aa4762cf-fr> (consulté le 16 août 2023). [10]
- Open Street Map (2022), *OpenStreetMap*, <https://www.openstreetmap.org/#map=7/4.259/2.274> (consulté le 19 juillet 2022). [18]
- Prieto-Curiel, R., J. Patiño Quinchía et B. Anderson (2022), « MEASURING THE MORPHOLOGY OF AFRICAN CITIES », *Arxiv*, <https://arxiv.org/pdf/2207.03003.pdf> (consulté le 19 juillet 2022). [39]
- Prieto-Curiel, R., J. Patino et B. Anderson (2023), « Scaling of the morphology of African cities », *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, <https://doi.org/10.1073/pnas.2214254120>. [29]
- San Emeterio, J. et F. Moriconi-Ebrard (2022), « Nigéria », *Geopolis*. [30]
- Sirko, W. et al. (2021), « Continental-scale building detection from high resolution satellite imagery », *arXiv*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.12283>. [39]
- Stucki, M. (2015), « Policies for Sustainable Accessibility and Mobility in Urban Areas of Africa », n° 106, SSATP: African Transport Policy Program, https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publication/SSATPW106-Urban%20Mobility_IO_0.pdf (consulté le 24 novembre 2022). [4]
- The Economist (2021), *Why are there so many unfinished buildings in Africa?*, <https://www.economist.com/middle-east-and-africa/2021/04/29/why-are-there-so-many-unfinished-buildings-in-africa> (consulté le 8 mars 2023). [26]
- UNFCCC (2015), *ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT - Paris Agreement text English*, United Nations, https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (consulté le 25 juin 2018). [8]
- Visagie, J. et I. Turok (2020), « Getting urban density to work in informal settlements in Africa », *Environment and Urbanization*, vol. 32/2, pp. 351-370, <https://doi.org/10.1177/0956247820907808>. [24]
- Wojciech, S. et al. (2021), « Continental-Scale Building Detection from High Resolution Satellite Imagery », *arxiv*, <https://doi.org/10.48550/arxiv.2107.12283>. [15]
- Yang, Z. et al. (2021), « Using nighttime light data to identify the structure of polycentric cities and evaluate urban centers », *Science of the Total Environment*, vol. 780, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146586>. [34]
- Zanaga, D. et al. (2021), *ESA WorldCover 10 m 2020 v100*, <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5571936>. [36]

● ANNEX A. LE MODÈLE BASE

Cette analyse vise à caractériser les différentes formes urbaines en fonction de la distribution physique et de la taille de leurs bâtiments. Dans un premier temps, les bâtiments de chaque ville sont identifiés en considérant son polygone dans l'ensemble de données Africapolis et tous les bâtiments qui s'y trouvent. Ainsi, pour la ville i , le nombre de bâtiments à l'intérieur de son polygone est nommé B_i , et leur taille moyenne en mètres, A_i . La superficie bâtie d'une ville correspond alors à $B_i A_i$, soit l'empreinte totale du bâti d'une ville, compte tenu de l'ensemble des bâtiments construits à l'intérieur de son polygone. On considère ensuite différentes paires de bâtiments au sein de la ville afin de déterminer les caractéristiques de distance, à savoir la distance moyenne entre les bâtiments, que l'on nomme D_i , et la distance maximale entre eux, que l'on nomme M_i . Le calcul des distances par paire entre un trop grand nombre de bâtiments n'étant pas réalisable en pratique, lorsque les villes comptent plus de 10 000 bâtiments, un échantillon aléatoire de 10 000 bâtiments est retenu pour calculer les distances moyenne et maximale. Bien qu'il s'agisse d'un échantillon, aucun impact n'est à noter sur les mesures de distance (voir l'annexe D, où les calculs sont basés sur un nombre différent de bâtiments).

Les villes plus peuplées comptent plus de bâtiments et les distances moyenne et maximale entre les bâtiments ont donc tendance à être plus longues dans les grandes villes. La classification de la forme urbaine directement à partir des caractéristiques de distance n'est pas assez précise, dans la mesure où le résultat dépend alors principalement de la taille de la ville. Il convient donc de développer un nouvel ensemble d'indicateurs qui ne soient pas directement tributaires de la taille des villes. Sur la base des caractéristiques de distance, le degré d'allongement de la ville i , que l'on nomme E_i , est ainsi défini comme suit (sur le modèle de l'ellipse) :

$$E_i = \frac{\sqrt{\pi}M_i}{2\sqrt{B_iA_i}},$$

où le coefficient E_i est toujours supérieur à 1. Les valeurs plus faibles correspondent à des villes de forme circulaire, et celles plus élevées, à des villes plus allongées. Une façon d'interpréter le degré d'allongement est que la distance moyenne entre les bâtiments d'une ville augmente proportionnellement à $\sqrt{E_i}$. Si une ville a une valeur de 4 sur l'indice d'allongement, la distance moyenne entre ses bâtiments est alors doublée, car la ville a une forme allongée. De même, dans une ville présentant une valeur de 9 sur cet indice, la distance moyenne sera trois fois plus grande.

Le degré d'étalement de la ville i , que l'on nomme S_i , est alors défini comme suit :

$$S_i = \gamma \frac{D_i^2}{M_i \sqrt{B_i A_i}},$$

où $\gamma = 1.38$ est une valeur constante. Le coefficient d'étalement S_i peut, comme celui d'allongement, être interprété comme un facteur d'augmentation des distances au sein des villes. Ainsi, lorsqu'une ville a une valeur de 4 sur l'indice d'étalement, la distance moyenne entre ses bâtiments se trouve doublée, en raison de l'étalement entre les bâtiments. Ces indicateurs permettent de déterminer les facteurs suivants d'augmentation de la distance moyenne entre les bâtiments d'une ville : (1) la ville a trop de bâtiments, (2) ses bâtiments sont plus grands, (3) ses bâtiments sont dispersés, et (4) sa forme est allongée. Ce qui donne l'équation suivante :

$$D_i = \frac{128}{45\pi} \sqrt{B_i A_i S_i E_i},$$

où les deux premiers termes à l'intérieur de la racine carrée, $B_i A_i$, représentent l'empreinte de la ville et correspondent à son infrastructure, et les deux derniers termes, $S_i E_i$, correspondent à la forme de la ville. La formule de calcul de la distance entre les bâtiments d'une ville est similaire à celle de la distance moyenne entre deux points quelconques à l'intérieur d'un cercle. Deux composantes (B_i et A_i) sont mesurées directement à partir des données, et une formule mathématique est définie pour S_i et E_i , soit les degrés d'étalement et d'allongement.

La distance moyenne entre les bâtiments de la ville i en l'absence d'allongement ($E_i = 1$) et d'étalement ($S_i = 1$) montre comment les distances augmentent uniquement sous l'effet de l'empreinte du bâti de la ville.

Les indices d'allongement et d'étalement sont des indicateurs urbains qui permettent de caractériser les différentes morphologies urbaines. Il est alors possible de faire la distinction entre les villes dont la morphologie se caractérise par un faible degré d'étalement et d'allongement (villes compactes et circulaires) et celles se caractérisant par un degré élevé d'étalement et d'allongement (villes fragmentées). Comme ces indicateurs sont des coefficients, l'allongement, l'étalement et la fragmentation sont indépendants de l'échelle de la ville, ce qui signifie que si une ville est une version à l'échelle d'une autre ville, les indicateurs devraient rester constants. Aussi les villes plus grandes ne présenteront-elles pas nécessairement un degré d'allongement ou d'étalement plus élevé.

Une autre série d'indicateurs est également considérée, basée sur le nombre, la taille et l'empreinte au sol des bâtiments dans un rayon de 1 kilomètre du centre-ville. Si l'on considère uniquement les bâtiments situés à moins de 1 kilomètre du centre-ville, la même forme et la même taille sont analysées pour toutes les villes. Dans le centre-ville, la distance moyenne et maximale attendue entre les bâtiments est donc la même, de sorte qu'il n'y a pas de facteur d'allongement. L'étude de l'empreinte au sol, du nombre et de la taille des bâtiments d'une ville à proximité de son centre permet ainsi d'en savoir plus sur sa morphologie.

● ANNEX B. ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Ces indicateurs présentent trois sources d'incertitude : la première est liée aux données sur les bâtiments et à la manière dont l'empreinte du bâti d'une ville est identifiée ; la deuxième, à la manipulation des données pour le calcul des indicateurs ; et la troisième, aux modèles utilisés pour déterminer le degré de densité des villes.

Incertitude liée à l'empreinte du bâti d'une ville

Les bâtiments sont identifiés à l'aide d'images satellite du continent. Chacun des pixels de ces images se voit attribuer un repère visuel distinct selon qu'il s'agit d'un élément de bâti ou non. En raison du contraste avec le terrain et les matériaux utilisés pour les constructions dans les différentes villes, l'identification d'un pixel comme élément de bâti peut varier considérablement. Un score est ensuite attribué à chaque pixel, indiquant le degré de certitude que ce pixel fait bien partie d'un bâtiment. Puis les constructions sont identifiées en trouvant les pixels contigus classés comme éléments de bâti à un certain seuil de confiance. Pour chaque bâtiment, l'indice de confiance correspond à la moyenne des indices de confiance des différents éléments qui le constituent. Un indice de confiance est ainsi attribué à chaque bâtiment. Les données portent uniquement sur les bâtiments dont l'indice de confiance est supérieur à 0.6. En fonction de cet indice de confiance, un code de trois couleurs (rouge, jaune, vert) est ensuite appliqué à chaque bâtiment. Les bâtiments dont l'indice de confiance est compris entre 0.6 et 0.65 sont colorés en rouge, ceux dont l'indice de confiance est supérieur à 0.65 mais inférieur à 0.7, en jaune, et ceux dont l'indice de confiance est supérieur à 0.7, en vert.

Il est possible de ne pas retenir les bâtiments dont l'indice de confiance est faible (en supprimant par exemple tous les bâtiments colorés en rouge). Les bâtiments plus grands sont plus susceptibles d'obtenir un indice de confiance plus élevé. En cas de filtrage et de suppression des bâtiments dont l'indice de confiance est faible, ce seront donc surtout les petits bâtiments qui ne seront pas retenus.

À titre d'exemple, en considérant l'ensemble des bâtiments d'Abidjan, il est possible de mesurer l'impact de l'indice de confiance attribué aux bâtiments. Il suffit ainsi d'éliminer des données les bâtiments dont l'indice de confiance est faible et d'identifier les changements qui en découlent dans les indicateurs urbains. En filtrant les bâtiments dont l'indice de confiance est supérieur à 0.65 (pour ne conserver que ceux colorés en jaune et vert) ou supérieur à 0.7 (pour ne conserver que ceux colorés en vert), les résultats obtenus sont ainsi les suivants :

| Filtre | Ensemble des bâtiments (indice de confiance supérieur à 0.6) | Bâtiments colorés en jaune et vert (indice de confiance supérieur à 0.65) | Bâtiments colorés en jaune et vert (indice de confiance supérieur à 0.65) |
|--|--|---|---|
| Bâtiments conservés | 100% | 85.6% | 69.8% |
| Superficie conservée | 100% | 93.8% | 85.4% |
| Distance moyenne entre les bâtiments | 12.3 km | 12.4% | 12.6 km |
| Distance maximale entre les bâtiments | 40.9 km | 41.3km | 41.4 km |

Si l'on note bien une modification des indicateurs urbains en cas d'élimination des données des bâtiments dont l'indice de confiance est plus faible, l'ampleur de ce changement reste toutefois négligeable. Les distances moyenne et maximale entre bâtiments, composantes clés du calcul des indicateurs urbains, varient ainsi de moins de 2 % selon les différents indices de confiance retenus.

Il n'y a pas de biais spatial dans l'indice de confiance des bâtiments d'une ville, et la variation de cet indice ne constitue donc pas une source pertinente d'incertitude dans les indicateurs urbains.

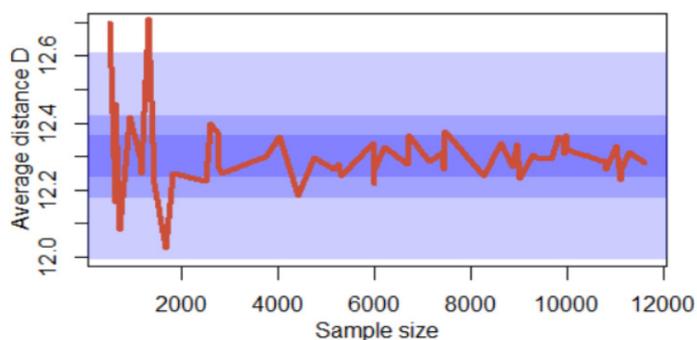
Incertitude liée aux indicateurs urbains

Les indicateurs urbains de distance requièrent une attention particulière. En effet, étant donné l'impossibilité de mesurer la distance entre des paires de millions de bâtiments, les données sont échantillonnées. Lorsqu'une ville compte plus de 10 000 bâtiments, un échantillon aléatoire de 10 000 bâtiments est ainsi retenu pour le calcul des distances moyenne et maximale au sein de la ville. Or, certaines villes, comme Johannesburg, Le Caire, Lagos, Khartoum ou Accra, comptent des millions de bâtiments ; le calcul de la distance moyenne entre un échantillon de bâtiments seulement pourrait donc introduire une source d'incertitude.

Le fait de ne prendre en compte qu'un nombre limité de bâtiments à Abidjan illustre l'impact de la taille de l'échantillon sur les indicateurs. Abidjan compte un peu plus d'un million de bâtiments. Ici, un échantillon de taille variable, allant de 200 à 12 000 bâtiments, est sélectionné de manière aléatoire, puis la distance moyenne entre les bâtiments ainsi échantillonnés est mesurée.

Graphique B.1.

Distance moyenne entre les bâtiments à Abidjan, à partir d'un échantillon de taille variable allant de 200 à 12 000 bâtiments



Les intervalles bleus représentent respectivement des intervalles de confiance de 2.5 %, 1 % et 0.5 %.

La valeur obtenue pour la distance moyenne entre les bâtiments à Abidjan, si l'échantillon comporte au moins 3 000 bâtiments, varie de moins de 1 %. Ainsi, avec un échantillon suffisamment grand, la distance moyenne entre les bâtiments varie de moins de 1 %, ce qui signifie que l'échantillonnage aléatoire de 10 000 bâtiments dans les villes de plus de 10 000 bâtiments ne modifie pas les résultats de manière significative. Il en va de même pour la distance maximale entre les bâtiments, qui converge rapidement vers une certaine valeur lorsque la taille de l'échantillon augmente.

Incertitude liée aux modèles utilisés pour déterminer le degré de densité

Enfin, une autre source d'incertitude provient des modèles analysés. Les données utilisées ici n'indiquent que l'empreinte au sol d'une construction, mais pas sa hauteur. Or, le fait de ne pas connaître la hauteur des bâtiments peut s'avérer problématique en cas d'un nombre important de constructions verticales dans une ville. Une zone d'une ville pourrait ainsi se révéler plus dense que prévu lorsque les structures verticales sont plus nombreuses. En Afrique, les bâtiments ont en général une faible empreinte au sol, ce qui suggère des constructions ne pouvant pas supporter de nombreux étages. Environ 85 % des bâtiments du continent ont ainsi une empreinte au sol inférieure à 100 m². Cependant, les grands bâtiments, bien que peu répandus, contribuent de façon non négligeable à l'empreinte totale du bâti d'une ville. Ainsi, à Abidjan, seuls 5 % des bâtiments ont une empreinte au sol supérieure à 250 m², mais ils contribuent à hauteur de 30 % de l'empreinte totale du bâti de la ville.

Outre la mesure de la distance entre les bâtiments, une moyenne pondérée est également calculée. Pour chaque paire de bâtiments, la distance entre eux est mesurée. Le poids attribué à cette distance est ensuite déterminé par le produit de la superficie des deux bâtiments. La distance entre deux petits bâtiments aura ainsi un poids faible, celle entre un petit et un grand bâtiment, un poids moyen, et seule la distance entre deux grands bâtiments se verra attribuer un poids élevé. Dans 72 villes seulement (soit 1.2 % des villes à l'étude), l'écart entre la distance moyenne et la distance moyenne pondérée est supérieur à 500 mètres. Dans la plupart des cas, la prise en compte de la distance moyenne et de la distance moyenne pondérée entre les bâtiments donne à peu près les mêmes résultats et valeurs sur les indicateurs de la forme urbaine. Ainsi, bien que la hauteur des bâtiments des villes ne puisse être observée, son impact sur les indicateurs de la forme urbaine (notamment l'allongement, l'étalement et la fragmentation) est, dans la plupart des cas, négligeable.

● ANNEX C. MESURER LE DEGRÉ DE POLYCENTRICITÉ

La mesure du degré de polycentricité repose généralement sur trois étapes méthodologiques : la délimitation des zones urbaines, l'identification des sous-centres et l'application d'une fonction mathématique afin d'obtenir l'indice de la ville considérée. Ici, une estimation par noyau donne une estimation de l'intensité du nombre de bâtiments et de la superficie bâtie par unité de superficie. La densité du noyau est obtenue en ajoutant une superficie décroissante pour chaque bâtiment, ce qui permet l'identification de points névralgiques à partir des bâtiments. Formellement, pour un point \mathbf{X} dans l'espace, le noyau est défini comme une fonction entre le nombre de bâtiments, leur superficie et la distance entre le point \mathbf{X} et le centroïde de chaque bâtiment. Une fonction gaussienne est utilisée pour obtenir la densité des bâtiments. En résulte une surface sur chaque zone urbaine qui met en évidence les parties où les constructions sont plus nombreuses ou plus grandes (pics), considérées comme les centres de la ville. Ensuite, sur la base de la densité du noyau, un arbre relationnel est construit (Li, 2018), où chaque nœud correspond à un nouveau contour. Des centres urbains distincts sont identifiés comme les branches de l'arbre, reliées en fonction des différents niveaux de contour de la surface.

Cette procédure donne \mathbf{N} branches, où $\mathbf{N} = 1$ est une ville monocentrique. Chaque branche a trois indicateurs : la hauteur (correspondant à l'estimation du noyau), la superficie (représentant la superficie totale de la ville qui appartient à cette branche) et le volume (obtenu en multipliant la superficie et la hauteur de chaque branche). L'indice de polycentricité ϕ_i est défini comme suit :

$$\phi_i = \frac{1}{v_1} \sum_{k=1}^{Br_j} k v_k ,$$

où Br_j est le nombre de branches de la ville, v_k est le volume de chaque branche par ordre décroissant (de sorte que $v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_{Br}$). Si $\phi_i = 1$, la ville est monocentrique. Dans une ville avec deux centres éloignés et de taille égale (de sorte qu'ils appartiennent à des branches différentes), $\phi_i = 3$, tandis que dans une ville avec trois centres de taille égale, $\phi_i = 6$.

● ANNEX D. IMPACT DE LA TAILLE DES VILLES SUR LES INDICATEURS URBAINS

Les indicateurs urbains sont caractérisés afin de déterminer s'ils varient en fonction de la taille de la ville. Une manière traditionnelle de détecter l'impact de la taille de la ville consiste à considérer une régression entre un indicateur et la population. En outre, en prenant le logarithme des deux côtés de l'équation de la régression, il est possible d'obtenir des valeurs pour un effet d'échelle de la population lors de l'ajustement de la régression linéaire. La valeur critique à prendre en compte dans la régression est l'exposant de la population, généralement nommé β car il détecte tout impact en termes de taille de la ville. Les valeurs de $\beta < 0$ indiquent que les indicateurs diminuent lorsque la population augmente. Les valeurs de $\beta \approx 0$ indiquent que la taille de la ville a peu, voire pas d'impact statistique sur l'indicateur correspondant. Les valeurs de $\beta \approx 1$ indiquent une croissance linéaire, ce qui signifie qu'un habitant supplémentaire dans la ville correspond à des unités supplémentaires dans la partie gauche de l'équation. Les valeurs de $\beta < 1$, signifient que la taille de la ville a un impact sous-linéaire, c'est-à-dire que les indicateurs augmentent moins vite que la population, tandis que les valeurs de $\beta > 1$ signalent un impact supra-linéaire et signifient que les indicateurs augmentent plus vite que la population. L'équation offre également un moyen simple d'observer les unités par habitant. En divisant les deux côtés de la régression par la population P_i , le seul changement dans le côté droit de l'équation est que l'exposant est $\beta - 1$ (c'est pourquoi les facteurs explicatifs de valeurs de $\beta = 1$ sont souvent considérés comme essentiels).

| | $y = \log B$ | $y = \log A$ | $y = \log S$ | $y = \log E$ | $y = \log D$ | $y = \log FP$ |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| (Intercept) | -0.846*** (0.068) | -10.603*** (0.052) | -0.322*** (0.063) | 1.779*** (0.054) | -5.095*** (0.061) | 2.366*** (0.067) |
| log(Population_2015) | 0.981*** (0.007) | 0.067*** (0.005) | 0.011 (0.006) | 0.005 (0.005) | 0.532*** (0.006) | 1.048*** (0.006) |
| R ² | 0.799 | 0.031 | 0.001 | 0.000 | 0.594 | 0.825 |
| Adj. R ² | 0.799 | 0.031 | 0.000 | -0.000 | 0.594 | 0.825 |
| Num. obs. | 5625 | 5625 | 5625 | 5625 | 5625 | 5625 |

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Les résultats montrent qu'en Afrique, le nombre de bâtiments augmente moins vite que la population (puisque $\beta < 1$), et que les bâtiments sont plus grands dans les plus grandes villes (d'où la valeur correspondante de $\beta > 0$). En outre, le degré d'étalement urbain augmente avec la taille de la ville (d'où la valeur correspondante de $\beta > 0$), mais celui d'allongement est statistiquement le même pour toutes les villes, quelle que soit leur taille. La distance moyenne entre les bâtiments d'une ville augmente quant à elle selon la valeur $\beta = 0.532$ donc légèrement supérieure à la racine carrée de la population (qui serait $\beta = 0.5$), tandis que l'empreinte du bâti augmente également avec la taille de la ville.

Cette technique permet de prendre en compte toutes les villes du continent et de considérer un sous-ensemble de villes et de détecter l'impact de la taille des villes, par exemple dans les cinq régions d'Afrique. Les résultats montrent que l'impact de la taille des villes n'est pas uniforme entre les différentes régions.

| | $y = \log B_N$ | $y = \log B_W$ | $y = \log B_E$ | $y = \log B_C$ | $y = \log B_S$ |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| (Intercept) | -0.370** (0.135) | -0.715*** (0.116) | -1.388*** (0.107) | -1.038*** (0.181) | -0.472** (0.148) |
| log(Population_2015) | 0.926*** (0.013) | 0.957*** (0.011) | 1.042*** (0.010) | 0.990*** (0.017) | 1.005*** (0.014) |
| R ² | 0.763 | 0.792 | 0.886 | 0.889 | 0.916 |
| | $y = \log A_N$ | $y = \log A_W$ | $y = \log A_E$ | $y = \log A_C$ | $y = \log A_S$ |
| (Intercept) | -10.300*** (0.095) | -11.264*** (0.102) | -10.413*** (0.072) | -10.992*** (0.131) | -10.151*** (0.109) |
| log(Population_2015) | 0.044*** (0.009) | 0.144*** (0.010) | 0.035*** (0.007) | 0.076*** (0.012) | 0.018 (0.010) |
| R ² | 0.015 | 0.100 | 0.019 | 0.082 | 0.007 |
| | $y = \log S_N$ | $y = \log S_W$ | $y = \log S_E$ | $y = \log S_C$ | $y = \log S_S$ |
| (Intercept) | -1.366*** (0.128) | -0.073 (0.095) | -0.351* (0.136) | 1.528*** (0.147) | 0.843*** (0.192) |
| log(Population_2015) | 0.106*** (0.012) | -0.026** (0.009) | 0.026* (0.013) | -0.156*** (0.014) | -0.078*** (0.019) |
| R ² | 0.045 | 0.004 | 0.003 | 0.231 | 0.038 |
| | $y = \log E_N$ | $y = \log E_W$ | $y = \log E_E$ | $y = \log E_C$ | $y = \log E_S$ |
| (Intercept) | 0.964*** (0.100) | 1.909*** (0.074) | 2.094*** (0.108) | 3.150*** (0.153) | 2.514*** (0.200) |
| log(Population_2015) | 0.071*** (0.010) | -0.017* (0.007) | -0.001 (0.010) | -0.109*** (0.015) | -0.065*** (0.019) |
| R ² | 0.033 | 0.003 | 0.000 | 0.120 | 0.025 |

Par exemple, le nombre de bâtiments est sous-linéaire par rapport à la population en Afrique du Nord et de l'Ouest (ce qui signifie moins de bâtiments par habitant dans les plus grandes villes), linéaire en Afrique centrale et du Sud, mais supra-linéaire en Afrique de l'Est (ce qui signifie plus de bâtiments par habitant dans les plus grandes villes). Les bâtiments deviennent considérablement plus grands en Afrique de l'Ouest dans les plus grandes villes (avec $\beta = 0.144$). Par ailleurs, les plus grandes villes présentent un degré d'étalement moins élevé en Afrique centrale (avec $\beta = -0.156$) et en Afrique de l'Ouest, ce qui y signifie moins d'espaces vides dans les plus grandes villes. Le degré d'étalement augmente en revanche dans les plus grandes villes d'Afrique du Nord. En termes de degré d'allongement, les plus grandes villes d'Afrique centrale, de l'Ouest et du Sud sont plus circulaires, tandis que celles d'Afrique du Nord sont plus allongées.

Le modèle BASE permet de décomposer les raisons de l'augmentation de la distance moyenne dans les villes en quatre composantes : le nombre de bâtiments, B_i , leur superficie, A_i le degré d'étalement d'une ville, S_i et son degré d'allongement, E_i . En écrivant l'expression de la mise à l'échelle par rapport à la population, on obtient une expression des distances dans les villes qui dépend de leur population, comme suit :

$$D_i = \alpha P_i^{(\beta_B + \beta_A + \beta_S + \beta_E)/2},$$

ce qui signifie que le coefficient d'échelle de B_i , A_i , S_i et E_i contribue à créer des distances plus grandes en divisant le coefficient par deux. Il est ainsi possible de calculer le coefficient d'échelle de la distance moyenne entre les bâtiments et d'identifier les raisons qui font qu'une ville présente de plus longues ou de plus courtes distances. Dans une ville où le nombre de bâtiments augmente linéairement avec la population, mais où les bâtiments ont la même superficie, et où les degrés d'allongement et d'étalement restent inchangés, c'est-à-dire $\beta_D = 0.5$, mais on obtient un coefficient différent d'une région à l'autre.

| | $y = \log D_N$ | $y = \log D_W$ | $y = \log D_E$ | $y = \log D_C$ | $y = \log D_S$ |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| (Intercept) | -5.635*** (0.128) | -5.170*** (0.085) | -5.128*** (0.111) | -3.776*** (0.130) | -3.732*** (0.226) |
| log(Population_2015) | 0.574*** (0.012) | 0.528*** (0.008) | 0.551*** (0.011) | 0.400*** (0.012) | 0.440*** (0.022) |
| R ² | 0.579 | 0.681 | 0.672 | 0.717 | 0.474 |

En Afrique du Nord, le coefficient d'échelle des distances est bien plus élevé que 0.5, car, bien que les plus grandes villes de cette région comptent moins de bâtiments par habitant ($\beta = 0.926$), les bâtiments y sont plus grands ($\beta = 0.044$) et les degrés d'étalement ($\beta = 0.106$) et d'allongement ($\beta = 0.071$), plus élevés. Le coefficient d'échelle des distances en Afrique du Nord donne donc $(0.926 + 0.044 + 0.106 + 0.071)/2 = 0.574$.

La situation est similaire en Afrique de l'Est et de l'Ouest. En revanche, en Afrique centrale et du Sud, le fait que les plus grandes villes présentent des degrés considérablement plus faibles d'étalement et d'allongement y contrebalance légèrement l'impact de la présence de bâtiments plus nombreux et plus grands.

NOTES OUEST-AFRICAINES

FORMES URBAINES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE

L'Afrique connaît une transition urbaine et climatique sans précédent. Si certaines conditions sont réunies, une plus grande compacité urbaine pourrait contribuer à améliorer la qualité de vie, la résilience, et la durabilité au cours des prochaines décennies. S'appuyant sur des outils novateurs et de nouvelles données, cette analyse remédie à certaines lacunes en présentant des mesures de la compacité et d'autres variables des formes urbaines pour près de 5 625 agglomérations urbaines du continent. Même si l'urbanisation reste souvent un phénomène non planifié et non coordonné, une tendance prometteuse se dessine : les mégalo-poles (plus de 4 millions d'habitants) sont en moyenne plus compactes que les grandes villes (1 million à 4 millions d'habitants) et celles de taille intermédiaire (50 000 à 1 million d'habitants). Les agglomérations moins compactes présentent des bâtiments plus petits, une forme urbaine plate et basse, un centre moins dense (reflétant une utilisation peu optimale de l'espace) et une structure polycentrique (plusieurs centres, par opposition à une ville monocentrique). Cette note analyse les conséquences d'une moindre compacité urbaine en termes de durabilité et de qualité de vie, soulignant des besoins d'énergie plus élevés, une moindre accessibilité aux services et opportunités, des espaces urbains où il est moins facile de se déplacer à pied et où la dépendance à l'automobile est plus forte, ainsi qu'une plus grande pollution de l'air extérieur. Elle examine également les compromis potentiels en termes de résilience; une plus grande compacité peut résulter en la perte d'espaces verts et donc en plus grandes effets d'îlot de chaleur urbain. Elle identifie enfin les options susceptibles d'améliorer, dans les années à venir, la résilience incluant le suivi-évaluation des progrès.