



Le solaire décentralisé à l'assaut des villes africaines

Une analyse originale d'imagerie satellite
et de *Deep Learning*

En partenariat avec :

CGEMP

PSL
UNIVERSITÉ PARIS

► Points clés

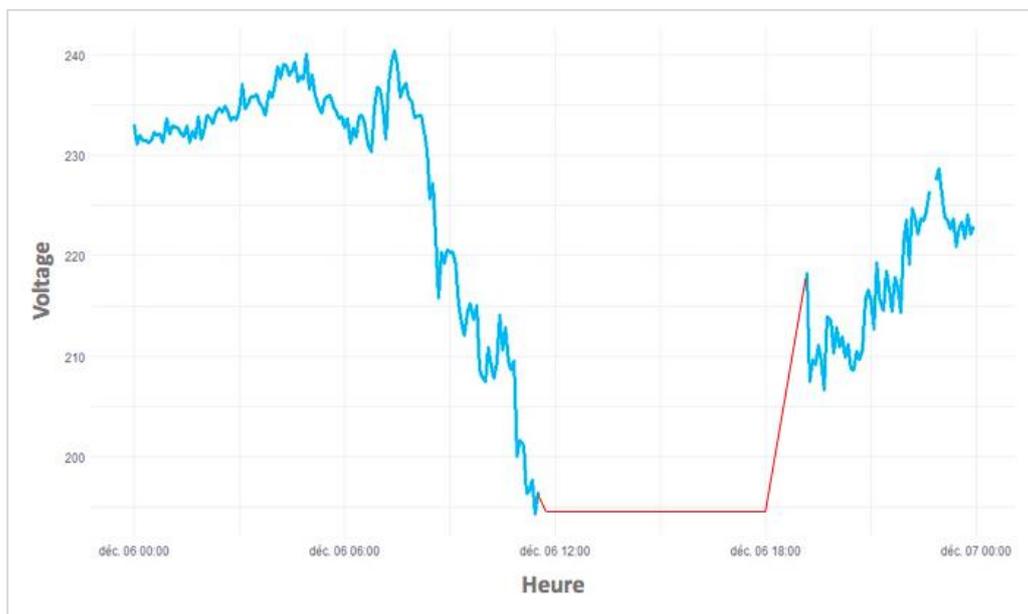
- Le marché des systèmes solaires décentralisés s'est développé ces dernières années dans les zones rurales africaines. Il part aujourd'hui à l'assaut des villes du continent, pourtant couvertes par le réseau.
- L'analyse de millions d'images satellite dans 14 villes d'Afrique subsaharienne montre que la capacité solaire décentralisée qui y est installée se situe entre 184 MW et 231 MW. Cela représente déjà près de 10 % de la capacité solaire installée dans la région (hors Afrique du Sud). L'élargissement de cette analyse aux autres villes africaines augmenterait donc très probablement et de façon importante cette estimation.
- Les personnes faisant partie des classes supérieures de la société sont les plus susceptibles d'adopter des systèmes solaires décentralisés, quelle que soit la fiabilité de leur approvisionnement électrique du réseau centralisé.
- L'autonomisation progressive des consommateurs vis-à-vis du réseau est donc une tendance de fond. Elle ne pourrait s'infléchir simplement en améliorant la gestion et la fiabilité de l'approvisionnement électrique. Les secteurs électriques subsahariens font face à un défi existentiel : les stratégies d'hybridation de leurs clients solvables.

Introduction¹

Malgré les progrès réalisés en termes d'électrification, le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'électricité en Afrique subsaharienne est reparti à la hausse en 2020 du fait de la crise du Covid-19, rendant plus difficile encore l'atteinte du 7^e Objectif de développement durable (ODD).

Cependant, le taux d'électrification n'est pas toujours un bon indicateur pour juger de l'accès réel à l'électricité. Même dans les zones pourtant électrifiées, ce taux est à remettre dans le contexte de la qualité et de la stabilité de l'approvisionnement électrique. Les coupures de courant sont fréquentes dans de multiples pays subsahariens, et même lorsque le réseau fonctionne, les baisses de voltage peuvent limiter l'utilisation d'appareillages électriques. Le Nigeria a, par exemple, un taux de connexion au réseau d'environ 83,9 %² dans les zones urbaines mais celui-ci ne fonctionne que 50 % du temps³. Cette faiblesse des réseaux électriques subsahariens a un effet négatif considérable sur les économies, représentant en moyenne selon les pays, un coût allant de 1 à 5 % du produit intérieur brut (PIB) national (Ouedraogo, 2017⁴).

Graphique 1 : Une journée typique sur le réseau électrique nigérian (2019)



Source : donnée A2EI.

1. Ce projet a été mené en collaboration avec le Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières (CGEMP) de l'Université Paris-Dauphine.
2. « World Development Indicators », Banque mondiale, disponible sur : <https://databank.worldbank.org>.
3. « Enterprise Survey Indicators Data », Banque mondiale, disponible sur : www.enterprisesurveys.org.
4. N. Ouedraogo, « Modeling Sustainable Long-Term Electricity Supply-Demand in Africa », *Applied Energy*, vol. 190, 2017, disponible sur : www.sciencedirect.com.

En plus de leurs lacunes en termes d'électrification et de fiabilité des réseaux centralisés, les secteurs électriques subsahariens sont confrontés à un défi de taille : faire face à la forte croissance démographique et à l'urbanisation rapide de la région. Selon les projections de l'Organisation des Nations unies (ONU), la population de la région subsaharienne va presque doubler pour atteindre 2,1 milliards en 2050. Celle-ci sera principalement concentrée dans les villes qui représenteront 60 % de la population d'ici le milieu du siècle (UNW, 2019⁵).

Face à l'augmentation des besoins en électricité engendrée par la croissance économique et démographique, la cherté ainsi que la faible fiabilité des réseaux électriques centralisés dans la plupart des pays de la région incitent les consommateurs à subvenir seuls à leurs besoins de consommation d'électricité. De nombreuses technologies de production autonomes d'électricité comme les générateurs diesels ou les systèmes solaires décentralisés, dédiées à l'origine aux zones rurales non couvertes par le réseau, atteignent les zones urbaines où elles sont utilisées par les citoyens pour pallier les faiblesses du réseau central (Jaglin, 2019⁶). En parallèle, le marché des systèmes solaires décentralisés s'est développé rapidement ces dernières années dans les zones rurales africaines. Celui-ci part aujourd'hui à l'assaut des villes du continent, pourtant couvertes par le réseau.

Les consommateurs s'autonomisent vis-à-vis du réseau

Ce *Briefing* montre qu'une partie du marché des systèmes solaires décentralisés en Afrique subsaharienne se situe dans les zones urbaines même là où l'approvisionnement électrique est de bonne qualité : c'est une tendance de fond qui peut présenter des opportunités ou au contraire des menaces si elle n'est pas correctement appréhendée.

Il s'appuie sur une méthodologie originale basée sur l'utilisation d'outils de *Deep Learning* pour analyser des images satellite. Plus de 4,6 milliards de mètres carrés de zones urbaines ont été scannés à la recherche de panneaux solaires, dans plus de 14 villes subsahariennes⁷. La première partie de cet article fait état du développement du marché solaire décentralisé ces dernières années sur le continent africain ; la deuxième partie présente de façon générale la méthodologie de *Deep Learning* utilisée⁸ ; la troisième partie discute des résultats obtenus au regard du développement des réseaux électriques subsahariens.

5. « World Urbanization Prospects 2019 », United Nations, Urbanization Division, disponible sur : <https://population.un.org>.

6. S. Jaglin, « Off-Grid Electricity in Sub-Saharan Africa: From Rural Experiments to Urban Hybridisations », HAL, 2019.

7. Ouagadougou, Accra, Bamako, Cape Town, Dakar, Harare, Ibadan, Kampala, Khartoum, Lagos, Lusaka, Nairobi, Niamey, Windhoek.

8. Il convient de noter que la méthodologie utilisée dans cet article est présentée de façon sommaire. Elle fera l'objet d'une présentation détaillée dans une publication académique à venir.

Essor inégal du solaire en Afrique subsaharienne

À ce jour, l'Afrique n'exploite qu'une petite partie de son potentiel solaire. Selon les statistiques de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), 10 térawatts-heure (TWh) d'électricité à partir de l'énergie solaire ont été produits dans la région en 2019⁹, soit moins de 0,01 % de son potentiel théorique¹⁰. Même au regard des capacités de production d'électricité installées en Afrique subsaharienne, le solaire s'élève à 1,7 gigawatts (GW)¹¹ (7,7 GW avec l'Afrique du Sud¹²) soit 2 % seulement des capacités installées (6 % avec l'Afrique du Sud).

Alors que les capacités solaires centralisées ne se déploient que progressivement en Afrique subsaharienne car les risques sont élevés pour les développeurs privés et la capacité d'absorption des réseaux est faible, le marché des systèmes solaires décentralisés a connu une forte croissance ces dernières années. Les deux premières entreprises à émerger sur ce marché ont été fondées dans la dernière décennie. Progressivement, ce marché a attiré des investisseurs du secteur privé et s'est développé rapidement en Afrique subsaharienne grâce notamment à l'introduction du système de *Pay-As-You-Go* (PAYG).

La Global Off-Grid Lighting Association (GOGLA), l'organisation de référence pour la collecte de données et d'informations sur l'industrie hors réseau, compte aujourd'hui plus de 107 sociétés affiliées dans le monde, parmi lesquelles un nombre important opère en Afrique. Le marché est en croissance constante. Le montant des ventes de systèmes solaires décentralisés de toutes tailles¹³ a atteint au niveau mondial plus de 1,75 milliard de dollars en 2019 avec une augmentation des revenus générés par le secteur de plus de 30 % par entre 2017 et 2019. En une décennie, plus de 180 millions de produits solaires ont été vendus dans le monde, dont 150 millions de produits pico-solaires et environ 30 millions de systèmes solaires domestiques¹⁴ (Gogla, 2020¹⁵). En 2018, 3,8 millions d'unités ont été vendues en Afrique, contre 3,16 millions en Asie, faisant du continent africain le plus important marché de systèmes solaires décentralisés au monde.

Le marché des systèmes solaires domestiques s'est développé de manière différente entre les différentes régions d'Afrique. Tous systèmes et moyens de vente confondus, l'Afrique de l'Est représente près de 78 % du marché contre 15 % pour l'Afrique de l'Ouest et respectivement 5 % et 1 % pour l'Afrique centrale et du Sud. De même, les ventes en PAYG se sont développées plus rapidement en Afrique de l'Est qu'en Afrique de l'Ouest, qui ne représentait que 12 % des ventes PAYG en Afrique entre 2013 et 2017 (Barry et

9. Data & Statistics, IEA, disponible sur : www.iea.org.

10. Z. Liu, *Global Energy Transition*, Academic Press, 2015.

11. Ce chiffre comprend les capacités solaires photovoltaïques et thermiques.

12. IRENA, *Renewable Energy Statistics*, 2021, disponible sur : www.irena.org.

13. Les systèmes solaires décentralisés peuvent appartenir à différentes catégories de produits en termes de capacités, qui vont de 0 Wc à 100+Wc. Les plus petits appareils solaires fournissent des éclairages élémentaires, tandis que les plus importants peuvent fournir suffisamment d'électricité pour alimenter un réfrigérateur ou une télévision par exemple.

14. Pour plus d'information sur les différentes définitions des systèmes solaires décentralisés : www.gogla.org.

15. Gogla, « 2020 Off-Grid Solar Market Trends Report », mars 2020, disponible sur : www.gogla.org.

Creti, 2020¹⁶). Ceci, en raison de la pénétration plus lente du *mobile money* en Afrique de l'Ouest par rapport à l'Afrique de l'Est.

Jusqu'à aujourd'hui, les entreprises de systèmes solaires décentralisées ont principalement ciblé les zones rurales non couvertes par le réseau, pour donner aux consommateurs un premier accès à l'électricité. Un nouveau segment du marché émerge aujourd'hui dans des zones couvertes par le réseau mais où celui-ci est peu fiable et, où les systèmes solaires décentralisés sont utilisés pour pallier les coupures de courant. Gogla (2020)¹⁷ estime à 153 millions le nombre de clients potentiels ayant accès au réseau principal mais faisant face à un réseau peu fiable en Afrique subsaharienne¹⁸. Le marché du solaire décentralisé pourrait aussi se développer dans les zones où le réseau est fiable. Ainsi, la compréhension des nouveaux choix d'adoption des technologies décentralisées dans les zones urbaines couvertes par le réseau est essentielle pour mieux appréhender l'évolution des systèmes électriques en Afrique subsaharienne.

Un nouveau segment du marché solaire émerge

L'utilisation de *Deep Learning* et d'économétrie spatiale pour l'analyse d'imagerie satellite change la donne

Pour évaluer la pénétration du marché des systèmes solaires décentralisés dans les villes africaines, des méthodes de *Deep Learning* ont été utilisées pour analyser 2,4 millions d'images satellite. Cela permet de déterminer la présence de panneaux solaires et d'évaluer leur surface dans une sélection de capitales africaines. Une base de données originale et géolocalisée de panneaux solaires présents dans les villes subsahariennes comprenant à la fois leur localisation et leur superficie a donc été mise en place. Par la suite, cette base de données est jointe avec la dernière base de données socio-économiques géolocalisée d'Afrobarometer¹⁹ (Round 7). Le croisement de ces deux bases de données permet de mener une analyse fine des déterminants socio-économiques qui expliquent le développement du marché des systèmes solaires décentralisés dans les zones urbaines de la région, grâce notamment à des modèles d'économétrie spatiale. L'analyse menée teste avant tout l'hypothèse selon laquelle les niveaux de richesse des ménages sont essentiels pour adopter de tels systèmes décentralisés dans les zones urbaines africaines tout en contrôlant pour la fiabilité de l'électricité fournie par le réseau principal.

16. M. Barry et A. Creti, « Pay-As-You-Go Contracts for Electricity Access: Bridging the “Last Mile” Gap? A Case Study in Benin, Energy Economics », août 2020, disponible sur : www.sciencedirect.com.

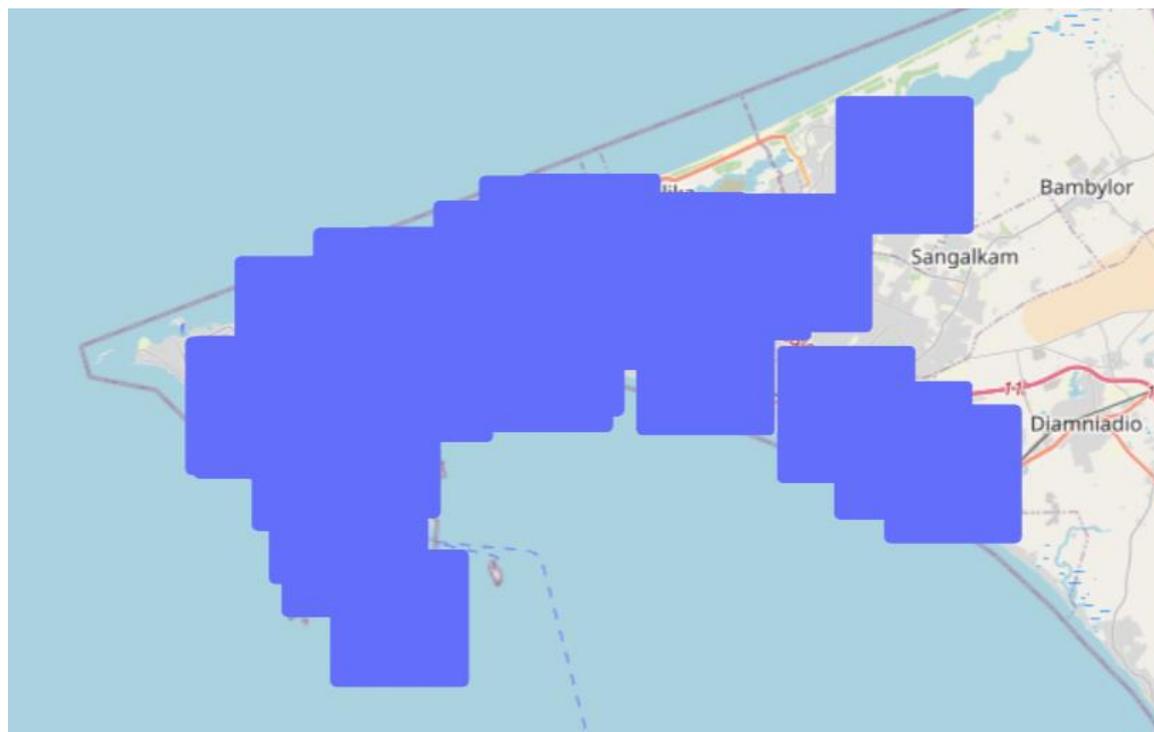
17. Gogla, « 2020 Off-Grid Solar Market Trends Report », *op. cit.*

18. En comparaison, le marché des consommateurs sans accès est estimé à environ 588 millions.

19. Pour plus d'information sur les enquêtes d'Afrobarometer et les méthodologies utilisées : <https://afrobarometer.org>.

Pour collecter des images satellite, l'*API Maps Static* de Google a été utilisée. Elle permet de collecter des images satellite géolocalisées d'une résolution satisfaisante sur le territoire africain. Pour éviter de collecter des informations qui ne pourraient pas être utilisées par la suite, seules des zones carrées de rayon de 2,5 kilomètres (km) autour des points géolocalisés de la base de données socio-économique d'Afrobarometer ont été téléchargées. L'analyse a été limitée à 14 villes pour lesquelles la résolution était suffisante. À l'avenir, l'accès à des images de meilleure résolution pourrait permettre d'étendre l'analyse à de nouvelles villes non couvertes par cet article. Le graphique 1 ci-dessous montre un exemple de téléchargement de zone pour la ville de Dakar au Sénégal. Trois images types de l'*API Static Maps* de Google sont données à titre d'illustration sur le graphique 2. Plus de 2,4 millions d'images, représentant une superficie totale d'environ 4,6 milliards de mètres carrés ont ainsi été téléchargées.

Graphique 2 : Zone téléchargée pour la ville de Dakar



Source : auteurs.

Graphique 3 : Exemple d'images téléchargées – Villes de Dakar, Bamako, Accra (de gauche à droite)



Source : Google Static Maps API.

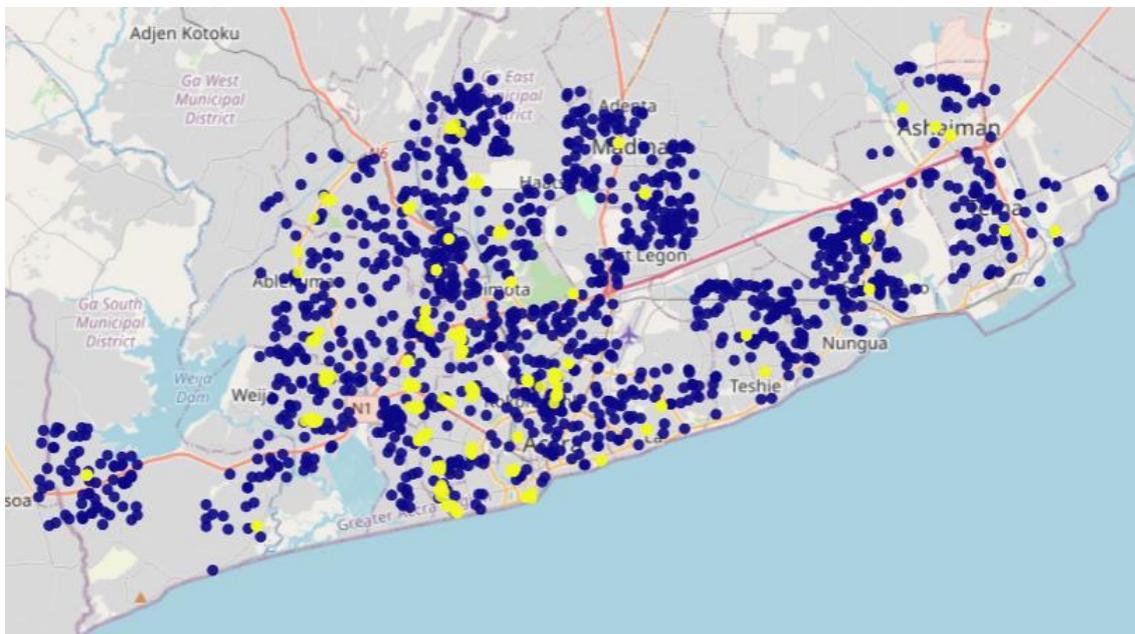
Pour analyser les images satellite, un *pipeline* articulé autour de deux modèles différents a été établi pour déterminer d'abord la géolocalisation des panneaux solaires, puis en extraire la surface. Premièrement, un modèle de classification est utilisé et donne la probabilité qu'un panneau soit présent dans une image. Ensuite, un modèle de segmentation est appliqué afin de déterminer la surface du panneau. Dans les deux cas, des réseaux de neurones convolutifs sont utilisés, particulièrement courant en *Deep Learning*.

Le graphique 4 ci-dessous montre l'emplacement des panneaux détectés par le modèle de classification²⁰ dans une des 13 villes subsahariennes couvertes, les points en jaune représentent les emplacements des points de données socio-économiques d'Afrobarometer. Le graphique 5 montre un exemple d'image classée comme ayant un panneau solaire et son masque de segmentation²¹ qui permet de déterminer la surface des panneaux.

20. Le modèle utilisé pour la classification est un Resnet50. Voir K. He, X Zhang, *et al.*, "Deep Residual Learning for Image Recognition." *ArXiv:1512.03385 [Cs]*, December. <http://arxiv.org/abs/1512.03385>. (L'architecture d'un Resnet32 est illustrée sur le graphique 3 à titre d'exemple). De l'apprentissage par transfert (*transfer learning*) à partir d'un réseau pré-entraîné a été utilisé pour améliorer les performances du modèle tout en augmentant la vitesse d'entraînement. Ainsi, un Resnet50 Dino pré-entraîné, publié récemment par les équipes de recherche de Facebook, a été utilisé (voir <https://github.com/facebookresearch/dino>). Cela a permis d'améliorer les performances du modèle par rapport à un resnet pré-entraîné sur *Imagenet*. La base de données d'entraînement compte plus de 23 957 images, dont 12 131 sont annotées positivement et 18 925 négativement. Le modèle a ensuite été entraîné sur des machines virtuelles de Google Cloud pendant plusieurs heures. À la fin de l'entraînement, le modèle de classification atteint une *accuracy*, une précision et un *recall* de 92.6.

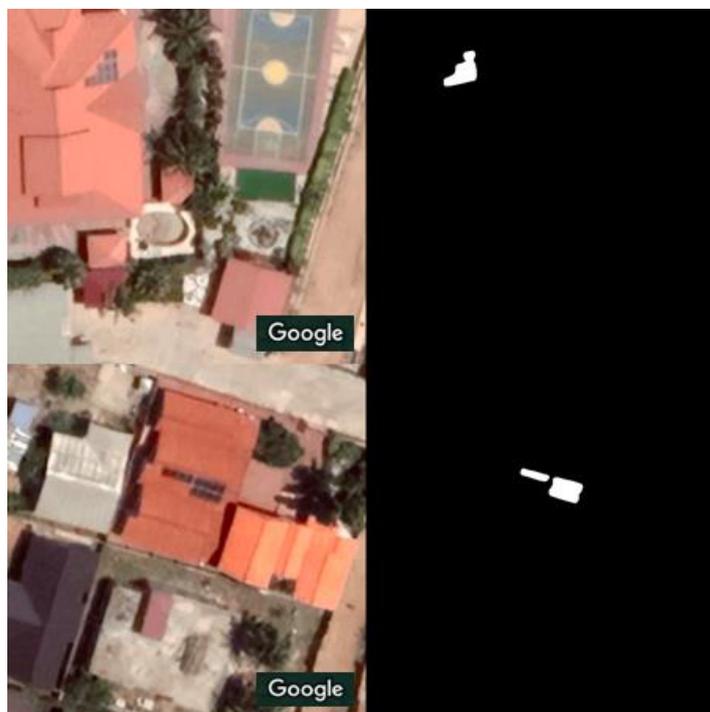
21. Pour la segmentation, un U-Net (voir O. Ronneberger, P. Fischer et T. Brox, « U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation » in N. Navab, J. Hornegger, W. Wells et A. Frangi (dir.), *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, Springer, Cham, 2015, p.234-241, <https://doi.org>) a été entraîné sur plus d'un millier d'images annotées manuellement. Il s'agit d'un modèle couramment utilisé en vision informatique car il est particulièrement efficace pour les tâches de segmentation et ce, même avec des bases de données d'entraînement restreintes. À la fin de l'entraînement, le modèle atteint un score Dice de 0,97. Le modèle est ensuite appliqué plusieurs fois à la même image qui subit quatre rotations pour améliorer les performances de segmentation. Encore une fois, la puissance de calcul requise pour entraîner ce type de modèle a nécessité l'utilisation des machines virtuelles de Google.

Graphique 4 : Panneaux solaires détectés, ville d'Accra (Ghana)



Source : auteurs.

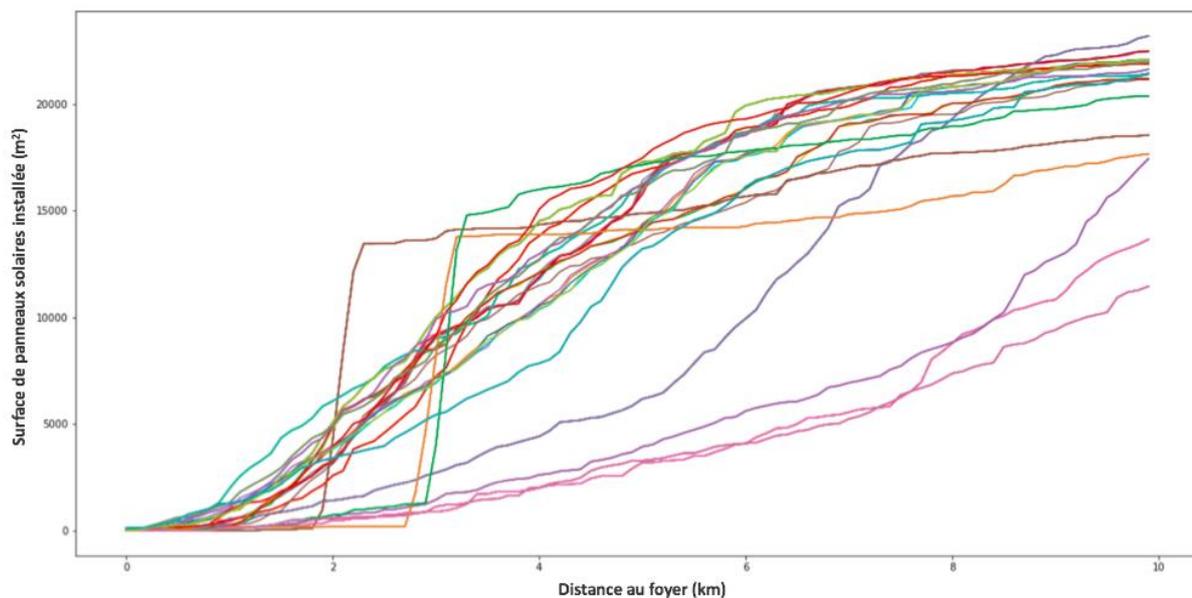
Graphique 5 : Exemple de résultats du modèle de segmentation pour deux images positives



Source : Images : Google Static Maps API ; Masques de segmentation : auteurs.

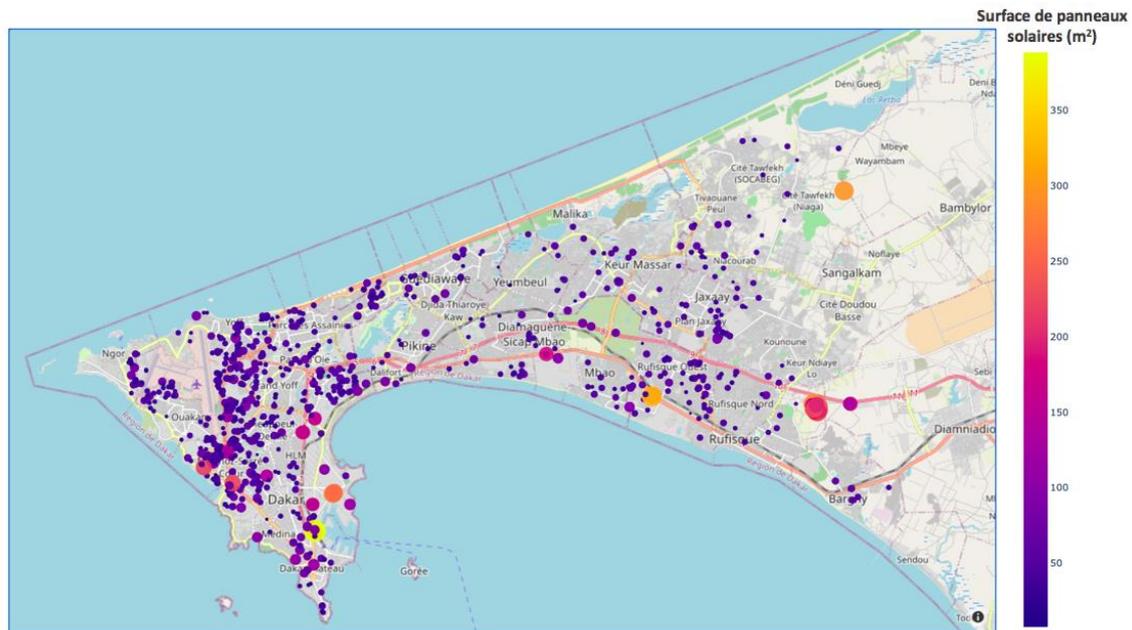
Le principal problème avec les données collectées à partir d'imagerie satellitaire est que le modèle ne peut pas différencier les panneaux solaires résidentiels d'une part et les panneaux solaires installés sur les installations commerciales d'autre part. Ceci peut par la suite introduire un biais dans l'analyse économétrique car les données socio-économiques de l'étude ne concernent que les enquêtes auprès des ménages résidentiels. Ne pas en tenir compte peut fausser l'analyse économétrique ultérieure. En effet, un ménage vivant dans un local commercial avec plusieurs mini-centrales solaires semblerait disposer d'une grande surface de panneaux solaires installés, sans que ceux-ci soient nécessairement des panneaux solaires résidentiels. Le graphique 6 ci-dessous montre l'exemple de la superficie des panneaux solaires installés à Dakar (Sénégal) pour une sélection de personnes sondées. L'axe des abscisses montre la distance depuis l'emplacement du foyer et l'axe des ordonnées montre la superficie des panneaux solaires installés. On peut observer le phénomène précédemment énoncé sur ce graphique avec un effet de « marche » qui correspond à une mini-centrale installée dans la ville de Dakar. Le graphique 7 ci-dessous montre la localisation des panneaux solaires dans la sélection des villes africaines, et leurs surfaces relatives. Pour séparer les panneaux solaires résidentiels des panneaux solaires commerciaux, une méthode de *machine learning* a été utilisée : un modèle de mélange Gaussien (Gaussian Mixture Model – GMM).

Graphique 6 : Surface de panneaux solaires installés par foyer pour la ville de Dakar



Source : Auteurs.

Graphique 7 : Surface de panneaux solaires installés, Dakar



Source : auteurs.

Le solaire décentralisé à l'assaut des villes

La capacité installée estimée par ce modèle dans les différentes villes d'Afrique subsaharienne en fonction de deux valeurs hypothétiques de rendements des panneaux est résumée dans le tableau ci-dessous. On observe sur ce tableau que les villes les plus riches, notamment Windhoek, Nairobi, et Cape Town, sont celles qui ont la plus grande capacité installée de panneaux solaires, celles-ci sont de respectivement 23,7 MW, 21,7 MW, et 55,7 MW, avec un rendement de 16 % ; et 29,6 MW, 27,1 MW et 69,6 MW avec un rendement de 20 %. Les villes les plus pauvres comme Khartoum ou Harare ont des capacités installées beaucoup plus faibles, respectivement 0,8 MW et 3,6 MW et 1 MW et 4,5 MW dans l'hypothèse d'un rendement de 16 % et 20 %. L'estimation totale pour toutes ces villes se situe entre 184 MW et 231 MW.

**10 % de la capacité
solaire centralisée
installée**

Si cela peut paraître marginal au regard des normes européennes, il faut rappeler que dans toute l'Afrique subsaharienne (hors Afrique du Sud), il n'y a qu'environ 1,7 GW de capacité solaire centralisée installée. Le décentralisé représente donc près de 10 % de ce chiffre. De plus, dans notre analyse nous n'avons couvert que 14 villes subsahariennes qui représentent 32 millions d'habitants. Or, il y a plus de 80 villes de plus de 500 000 habitants en Afrique subsaharienne, représentant une population totale de 115 millions d'habitants. Par conséquent, si nous avons couvert toutes les autres villes africaines, cette estimation aurait très probablement été beaucoup plus élevée.

Estimation de la capacité de solaire décentralisé par ville (MW)

Ville	Rendement	
	16 %	20 %
Ouagadougou	17,177	21,472
Accra	8,671	10,839
Bamako	17,624	22,052
Cape Town	55,715	69,644
Dakar	6,928	8,660
Harare	3,578	4,472
Ibadan	1,957	2,446
Kampala	3,171	3,963
Khartoum	0,836	1,045
Lagos	14,353	17,941
Lusaka	4,626	5,783
Nairobi	21,684	27,105
Niamey	4,888	6,110
Windhoek	23,696	29,620
Total	184,927	231,159

L'analyse économétrique à partir du croisement des données socio-économiques d'Afrobarometer et des données collectées permet de déterminer quels sont les facteurs qui peuvent expliquer les différences de développement du marché que l'on observe entre les villes et entre les différents quartiers. Cette analyse tient compte par exemple des niveaux de vie, du niveau éducatif, de la modernité du quartier, de la fiabilité de l'accès à l'électricité, etc. Les résultats du modèle économétrique montrent que les personnes faisant partie des classes supérieures de la société, ayant un niveau de vie élevé, sont les plus susceptibles d'adopter des systèmes solaires décentralisés. Lorsque l'on tient compte du niveau de vie, la fiabilité du facteur de fourniture d'électricité ne semble plus être un facteur déterminant dans le choix d'adoption d'un système solaire décentralisé. En d'autres termes, un foyer particulièrement aisé sera plus susceptible de posséder un système solaire quelle que soit la qualité de l'approvisionnement électrique du réseau centralisé.

**L'importance du
niveau de vie pour
l'adoption**

Les effets d'autres facteurs socio-économiques sont proches des attentes initiales. Les personnes sondées qui ont reçu une formation universitaire sont plus susceptibles de vivre dans une zone où la pénétration du marché solaire décentralisé est élevée. De même, le facteur de modernité du quartier : vivre dans un quartier moderne, bien desservi par les services publics, tend à augmenter la probabilité de posséder un système solaire décentralisé. Ceci confirme que la pénétration de ce marché dans les zones urbaines d'Afrique subsaharienne n'est pas nécessairement directement liée à une déficience des services publics. Des entretiens qualitatifs avec des professionnels et des habitants de la région tendent à confirmer les résultats présentés ci-dessus.

Une idée supplémentaire ressort de ces entretiens et des résultats du modèle. Il y aurait une pénétration en forme de « U » des systèmes solaires décentralisés de toutes tailles dans les zones urbaines de la région, en fonction du niveau de vie des populations. Pour les populations les plus pauvres vivant dans des zones pourtant couvertes par le réseau, le raccordement à celui-ci peut être rendu inaccessible par leurs maigres revenus ; la seule façon de consommer de l'électricité serait d'utiliser des systèmes pico-solaires tels que des lampes solaires et des systèmes permettant uniquement la recharge de téléphones. À mesure que les revenus augmentent, ces systèmes sont abandonnés par les consommateurs pour un raccordement au réseau, devenu alors plus accessible. Par conséquent, l'utilisation de systèmes solaires décentralisés devient marginale. Enfin, les technologies solaires réapparaissent sous la forme de grands systèmes solaires décentralisés parmi les couches les plus aisées de la population.

Conclusion : pleinement appréhender l'importance des enjeux d'autonomisation des consommateurs

Cette analyse montre que l'autonomisation progressive des consommateurs vis-à-vis du réseau est une tendance de fond et qu'elle ne peut être contrée simplement en améliorant la gestion et la fiabilité de l'approvisionnement électrique. La décentralisation progressive des systèmes électriques en Afrique subsaharienne est en marche et est renforcée par l'urbanisation rapide du continent. De plus, elle se décorrèle progressivement de la fiabilité du réseau.

L'autonomisation se décorrèle de la fiabilité du réseau

Si ces nouveaux usages sont pensés et intégrés dans les politiques de développement des systèmes électriques, ils pourraient représenter des opportunités. L'autonomisation des consommateurs pourrait faire baisser les coûts de l'électricité pour ceux-ci et favoriser la pénétration de la technologie solaire sur le continent, tout en faisant baisser la pollution liée à l'utilisation des générateurs diesels par exemple. La décentralisation des capacités de production pourrait aussi augmenter la résilience des réseaux face à des événements naturels extrêmes qui pourraient endommager les réseaux, rendant les consommateurs moins dépendants aux infrastructures centralisées. L'autonomisation de certains consommateurs pourrait même

avoir des effets bénéfiques, bien que marginaux, sur les finances des *utilities*. En effet, de nombreux consommateurs ne paient pas leurs factures d'électricité en Afrique subsaharienne, l'autonomisation de ces consommateurs en particulier pourrait ainsi permettre de faire baisser les pertes de revenus liés aux impayés. Enfin, à plus long terme, si l'électricité est produite principalement là où elle est consommée, elle n'a pas besoin de transiter par des lignes de transmission. Cela permettrait ainsi d'éviter que l'électricité fasse l'objet de pertes en lignes, qui sont élevées dans de nombreux pays de la région. De plus, cela limiterait aussi les besoins d'investissements dans de nouvelles infrastructures de transmission d'électricité et donc cela permettrait de dégager des revenus pour la maintenance des infrastructures existantes tout en limitant les besoins en cuivre. Ainsi, ces nouveaux usages pourraient être favorisés avec des outils fiscaux comme une baisse de la TVA ou une réduction des tarifs d'importation sur les produits solaires. Ces outils fiscaux déjà mis en place dans plusieurs pays d'Afrique de l'Est expliquent en partie les différences de prix, plus bas, et de pénétration du marché, plus élevée, par rapport aux autres régions du continent²². Dans les autres pays africains, ces mesures permettraient d'abaisser le seuil d'adoption des systèmes solaires de tailles importantes des foyers appartenant aux classes sociales les plus aisées vers les classes moyennes et l'utilisation des petits systèmes parmi les consommateurs les plus pauvres.

Cette autonomisation des consommateurs pourrait aussi avoir des conséquences néfastes pour le secteur centralisé. Compte tenu de la situation financière difficile dans laquelle se trouvent presque toutes les compagnies d'électricité africaines, la perte partielle à court terme de leurs meilleurs clients (résidentiels mais aussi commerciaux ou petit industriels) porterait un coup sévère à leurs finances. De surcroît, la viabilité financière des stratégies d'extension du réseau central vers les consommateurs les plus pauvres des zones périurbaines et rurales adjacentes repose sur des subventions croisées. En effet, les plus importants consommateurs paient des tarifs plus élevés que les plus pauvres, qui consomment moins et bénéficient ainsi de tarifs subventionnés. Ce système risque de trouver d'autant plus vite ses limites si les clients les plus rentables des villes se détournent du réseau. L'autonomisation des consommateurs pourrait donc contribuer à fragmenter les réseaux centralisés subsahariens.

Des répercussions profondes sur le développement des réseaux centralisés

Cette nouvelle tendance aura donc des répercussions profondes tant sur l'accès indispensable des populations africaines à l'électricité que sur la santé financière des réseaux centralisés de la région. Si celles-ci sont encore difficiles à évaluer, le phénomène d'autonomisation des consommateurs vis-à-vis du réseau central offre en tout état de cause des pistes de recherche et d'étude en vue de l'élaboration de politiques publiques futures, afin de continuer à œuvrer au bon développement des systèmes électriques d'Afrique.

22. Au Bénin et au Niger cependant ces outils fiscaux incitatifs sont déjà en place depuis plusieurs années.

Hugo Le Picard est chercheur au Centre Énergie & Climat de l'Ifri, où il travaille en particulier sur les questions de pauvreté énergétique, d'accès à l'électricité et de financement d'infrastructures électriques en Afrique subsaharienne. Il effectue aussi en parallèle une thèse en économie industrielle appliquée au secteur électrique africain à l'Université Paris-Dauphine.

Conjointement à ses activités de recherche, il est enseignant à l'Université Paris-Dauphine où il donne des cours de microéconomie, d'analyse d'images et d'introduction au Deep Learning. Il est titulaire d'un master en économie et en ingénierie financière spécialisé dans l'énergie de l'Université Paris-Dauphine et d'une double licence de mathématiques et d'économie de l'Université de Nottingham.

Matthieu Toulemont est Senior Machine Learning Engineer chez PhotoRoom. Il a précédemment travaillé dans plusieurs start-ups parisiennes et fait de la recherche en Machine Learning en France et en Corée du Sud. Ingénieur de formation, il a étudié à l'école nationale des Ponts et Chaussées ainsi qu'à l'école Nationale Supérieure Paris Saclay.

Comment citer cette publication :

Hugo Le Picard et Matthieu Toulemont, « Le solaire décentralisé à l'assaut des villes africaines.

Une analyse originale d'analyse satellite et de *Deep Learning* »,

Briefings de l'Ifri, Ifri, 18 janvier 2022.

ISBN : 979-10-373-0463-6

Les opinions exprimées dans ce texte n'engagent que la responsabilité des auteurs.

© Tous droits réservés, Ifri, 2022

Couverture : © Grant Duncan-Smith/Shutterstock.com



27 rue de la Procession
75740 Paris cedex 15 – France

Ifri.org

