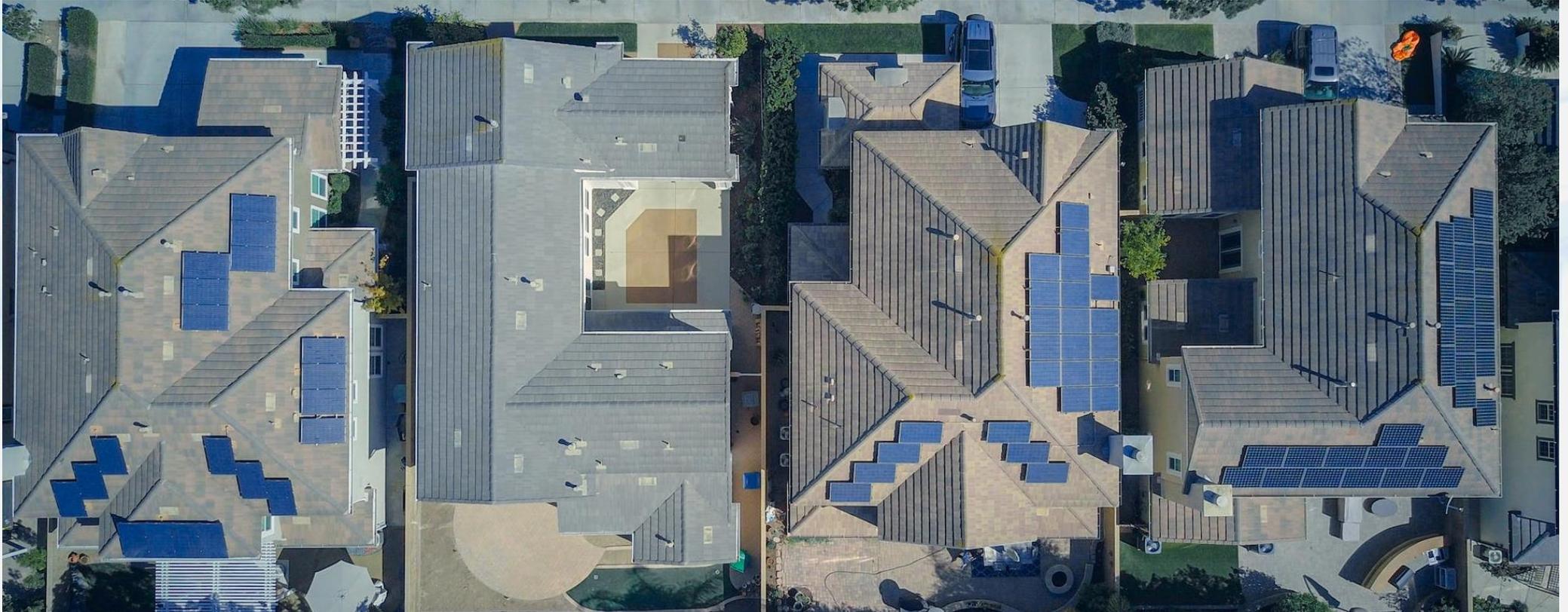


Décentralisation de l'Énergie en Afrique subsaharienne : Défis et Opportunités pour l'Électrification



Hugo Le Picard,
Chercheur associé
29/06/2023

L'accès à l'électricité, fondamental pour le développement économique

Pauvreté et accès limité à l'électricité en Afrique

La moitié des 700 millions de personnes vivant dans l'extrême pauvreté dans le monde se situe en Afrique

En 2020, 51,5% de la population subsaharienne n'avait pas accès à l'électricité.

En 2018, la puissance installée en Afrique subsaharienne (hors Afrique du Sud) était d'environ 80 GW.

Dans les régions connectées au réseau central, il y a en moyenne plus de 51 heures de coupures par mois.

L'importance de l'électricité pour le développement et le bien être

L'électricité augmente le temps disponible pour les activités productives,.

En tant que vecteur d'énergie flexible, l'électricité facilite une organisation efficace des activités productives.

L'électricité a également un impact significatif sur la santé publique.

Disparités d'accès à l'électricité et opportunités du solaire

Une disparité d'accès entre les zones rurales et urbaines

Dans les zones rurales seulement 28,7% d'accès à l'électricité en 2020, comparé à 78,3% dans les zones urbaines.

L'électrification des zones rurales par l'extension du réseau central est très coûteuse.

Peu d'économies d'échelle sont possibles pour l'extension du réseau dans les zones rurales africaines.

Néanmoins, l'extension du réseau central n'est plus la seule solution pour un accès universel à l'électricité.

➤ La baisse des coûts du solaire a entraîné un changement de paradigme.

L'essor des systèmes décentralisés

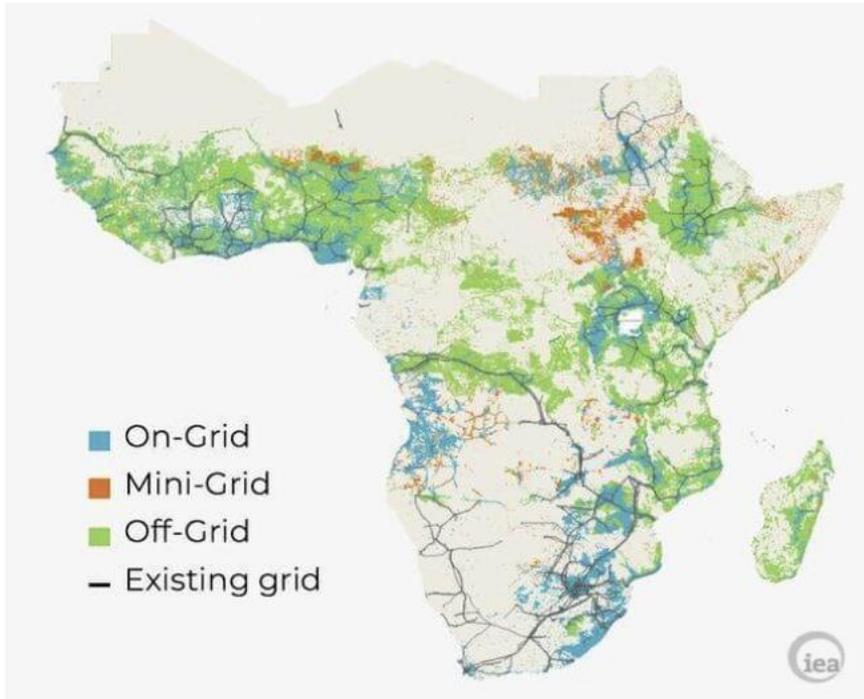
Un recours aux systèmes décentralisés pour répondre aux besoins énergétiques.

En 2018, 3,8 millions de systèmes solaires décentralisés ont été vendus en Afrique.

Ces systèmes sont utilisés à la fois dans les zones rurales non connectées et par des consommateurs connectés au réseau.

Approche classique du développement électrique

Plan d'électrification : entre extension du réseau, mini-réseaux et SHS



Le développement du secteur électrique est souvent vu à travers un schéma "classique".

L'électrification de l'Afrique est généralement envisagée comme une combinaison de trois options :

- Le réseau centralisé pour les zones urbaines.
- Les mini-réseaux pour les zones périurbaines.
- Les systèmes individuels pour les zones rurales excentrées et peu peuplées.

Hypothèse classique : les consommateurs se connectent automatiquement au réseau lorsqu'il est disponible. Cette hypothèse n'est pas toujours validée en pratique.

Déconnexion entre couverture du réseau et taux d'accès à l'électricité

Blimpo et al. (2020) ont étudié l'accès à l'électricité dans les zones couvertes par le réseau dans plus de 31 pays subsahariens.

D'importantes variations entre taux de couverture et taux d'accès ont été constatées.

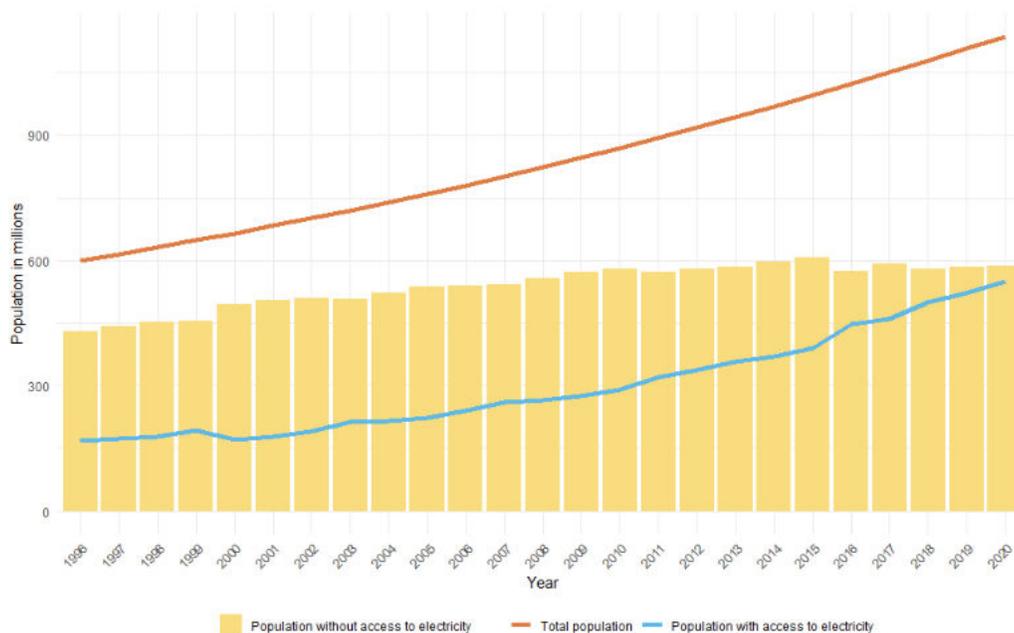
Les taux de couverture varient de 21% au Burundi à plus de 99% au Cap Vert.

Les taux d'accès (dans les zones couvertes) varient de 35% au Malawi à près de 100% en Afrique du Sud.

Des facteurs liés à la demande, tels que le revenu des ménages, la qualité du logement et la fiabilité du réseau électrique, ont une influence significative sur les choix de raccordement.

Défis de l'urbanisation rapide et de la croissance de la demande en électricité

Croissance démographique, population avec et sans électricité en Afrique subsaharienne (en millions)



L'Afrique subsaharienne a un taux d'urbanisation et d'accroissement démographique parmi les plus importants au monde.

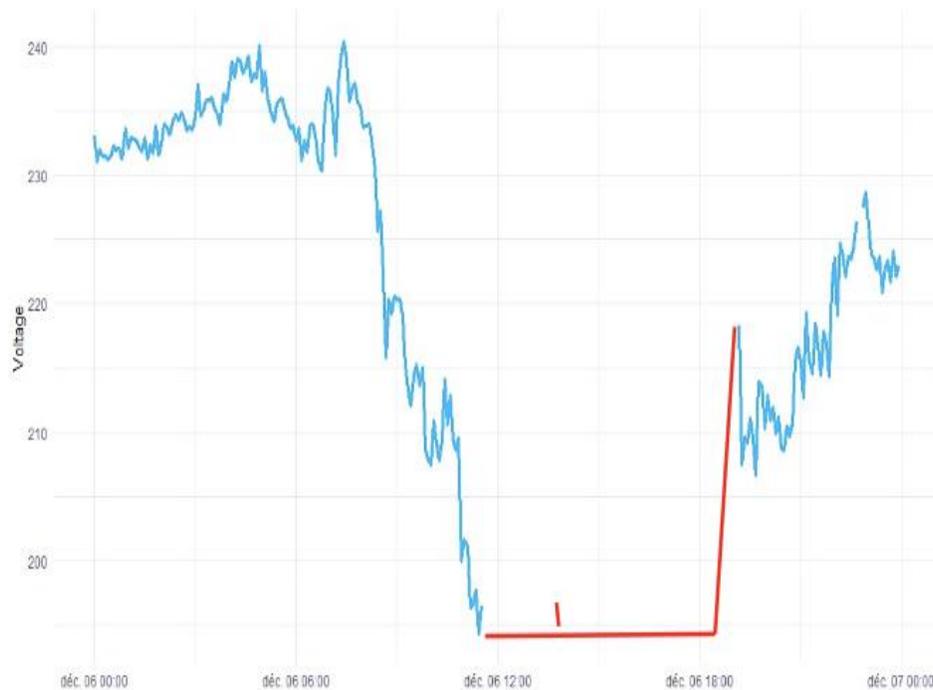
Prévisions des Nations Unies : 60% de la population d'Afrique subsaharienne vivra dans des zones urbaines d'ici 2050, avec une population doublant de 1,1 milliards à 2,2 milliards.

Les réseaux électriques pourraient être mis à rude épreuve par cette croissance de la demande d'électricité.

Ce rythme rapide de l'urbanisation exerce une pression supplémentaire sur le réseau et peut entretenir la faiblesse des réseaux.

Conséquences des coupures de courant sur l'économie

Une journée typique au Nigeria



Plus de 51 heures par mois en moyenne dans la région subsaharienne.

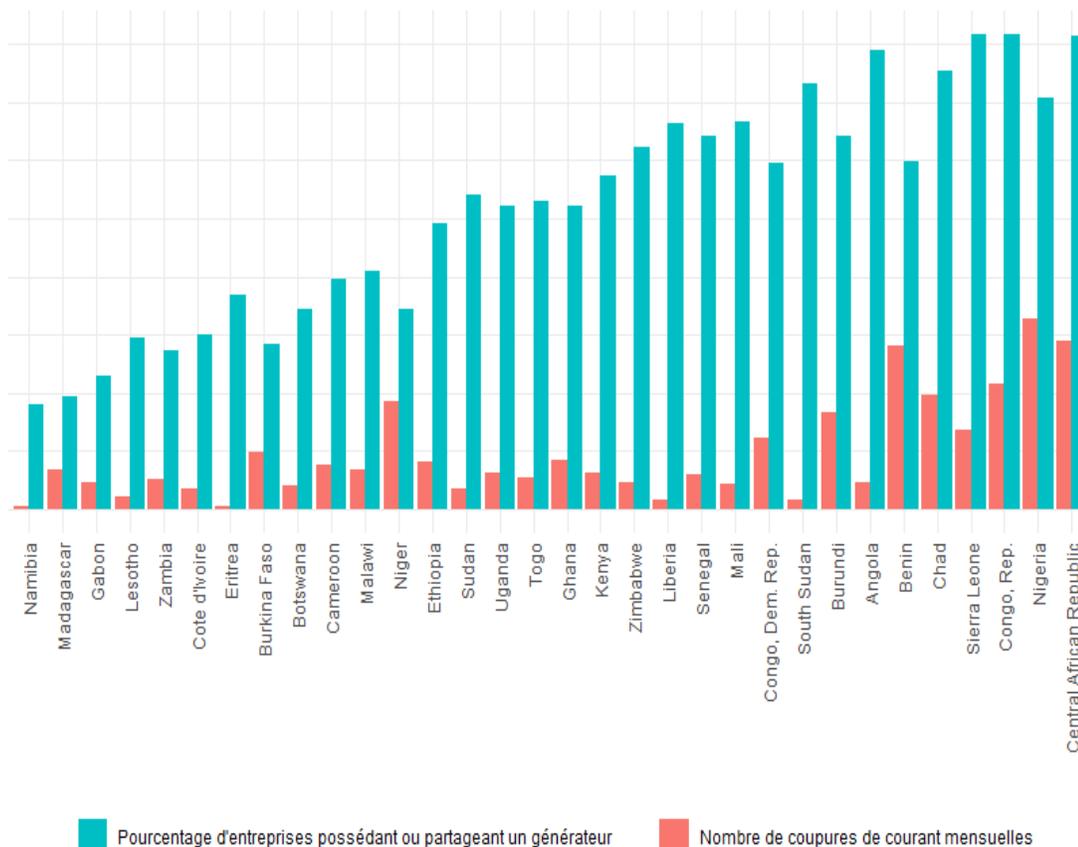
Cela représente une contrainte majeure pour l'activité économique.

Le manque d'accès à l'électricité peut réduire la productivité et augmenter les coûts de production.

- Un coût de 1 à 4 % des PIB nationaux selon les pays.
- Au Nigeria, le coût des coupures de courant s'élève à plus de 29 milliards de dollars par an.

L'autonomisation des consommateurs dans les zones couvertes par le réseau

Diffusion des générateurs parmi les entreprises et nombre de coupures de courant mensuelles (2009-2016)



Plus de 53,5% des entreprises d'Afrique subsaharienne sont équipées de générateurs.

La capacité cumulée des générateurs de secours dépasse la capacité installée du réseau central dans au moins 17 pays subsahariens.

La capacité de secours sur l'ensemble du continent est estimée à 123 GW.

Au Nigéria la capacité des générateurs installés est 2 à 3 fois supérieure à la capacité du réseau central.

L'essor du solaire décentralisé en Afrique subsaharienne

Les technologies décentralisées, initialement destinées aux consommateurs ruraux, sont largement utilisées dans les zones desservies par le réseau.

Les générateurs sont particulièrement répandus dans ces zones.

Le solaire est également en plein essor.

Grâce au système PAYG (Pay-as-you-go), de nombreuses entreprises ont investi dans ce marché.

En une décennie: plus de 2,3 milliards de dollars d'investissement en Afrique subsaharienne dans ce marché.

En 2018, 3,8 millions d'unités ont été vendues en Afrique (contre 3,16 millions en Asie).

➤ L'Afrique est le premier marché au monde pour ces systèmes.

Émergence d'un nouveau segment de marché dans les zones desservies par le réseau

Initialement, les entreprises solaires décentralisées ciblaient principalement les zones rurales non desservies.

Un nouveau segment de marché émerge aujourd'hui dans les zones desservies par le réseau.

On estime que le marché potentiel pour les personnes ayant un accès irrégulier à l'électricité pourrait atteindre 153 millions de clients en Afrique subsaharienne, soit environ 14% de la population du continent (source : Gogla2020).

- Mais très peu de recherche et d'éléments concrets pour analyser ce développement à l'échelle du continent.

L'apprentissage profond pour analyser le développement des systèmes électriques

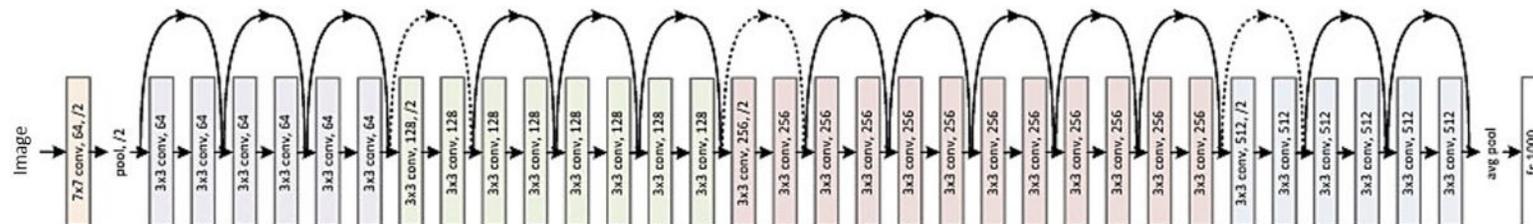
L'étude menée au Centre Energie combine l'analyse d'images satellites et des algorithmes d'intelligence artificielle.

Objectif : analyser la propagation de systèmes solaires décentralisés dans 14 villes d'Afrique subsaharienne.



```
class ResNet(nn.Module):
    def __init__(self, block, layers, num_classes=1000, zero_init_residual=False):
        super(ResNet, self).__init__()
        self.inplanes = 64
        self.conv1 = L.Conv2d(3, 64, kernel_size=7, stride=2, padding=3, bias=False)
        self.bn1 = L.BatchNorm2d(64)
        self.relu = nn.ReLU(inplace=True)
        self.maxpool = nn.MaxPool2d(kernel_size=3, stride=2, padding=1)
        self.layer1 = self._make_layer(block, 64, layers[0])
        self.layer2 = self._make_layer(block, 128, layers[1], stride=2)
        self.layer3 = self._make_layer(block, 256, layers[2], stride=2)
        self.layer4 = self._make_layer(block, 512, layers[3], stride=2)
        self.avgpool = nn.AdaptiveAvgPool2d((1, 1))
        self.fc = nn.Linear(512 * block.expansion, num_classes)

    for m in self.modules():
        if isinstance(m, nn.Conv2d):
            nn.init.kaiming_normal_(m.weight, mode="fan_out", nonlinearity="relu")
        elif isinstance(m, nn.BatchNorm2d):
            nn.init.constant_(m.weight, 1)
            nn.init.constant_(m.bias, 0)
```



Collecte d'images satellites

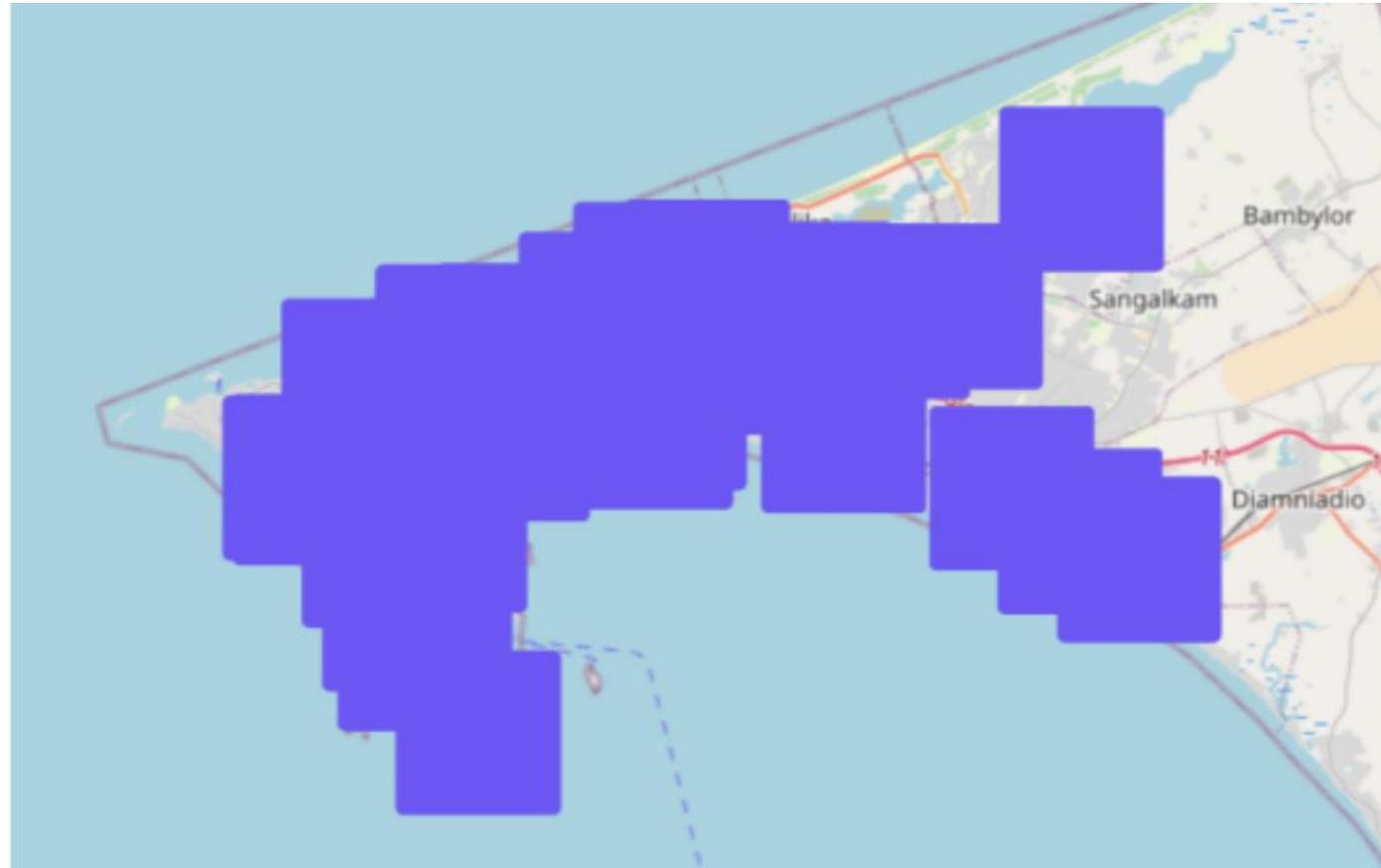
Exemple d'une image satellite d'une résolution de 70 cm par rapport à une résolution de 50 cm à Cape Town, Afrique du Sud



Source : CNES (côté gauche), Google Maps Static API (côté droit)

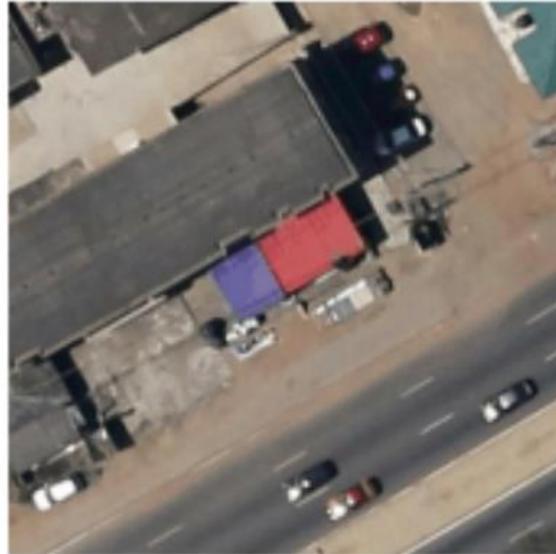
Collecte d'images satellites

Exemple de la zone couverte par notre étude pour la ville de Dakar



Collecte d'images satellites

Exemple d'images téléchargées - ville de Bamako (Mali)

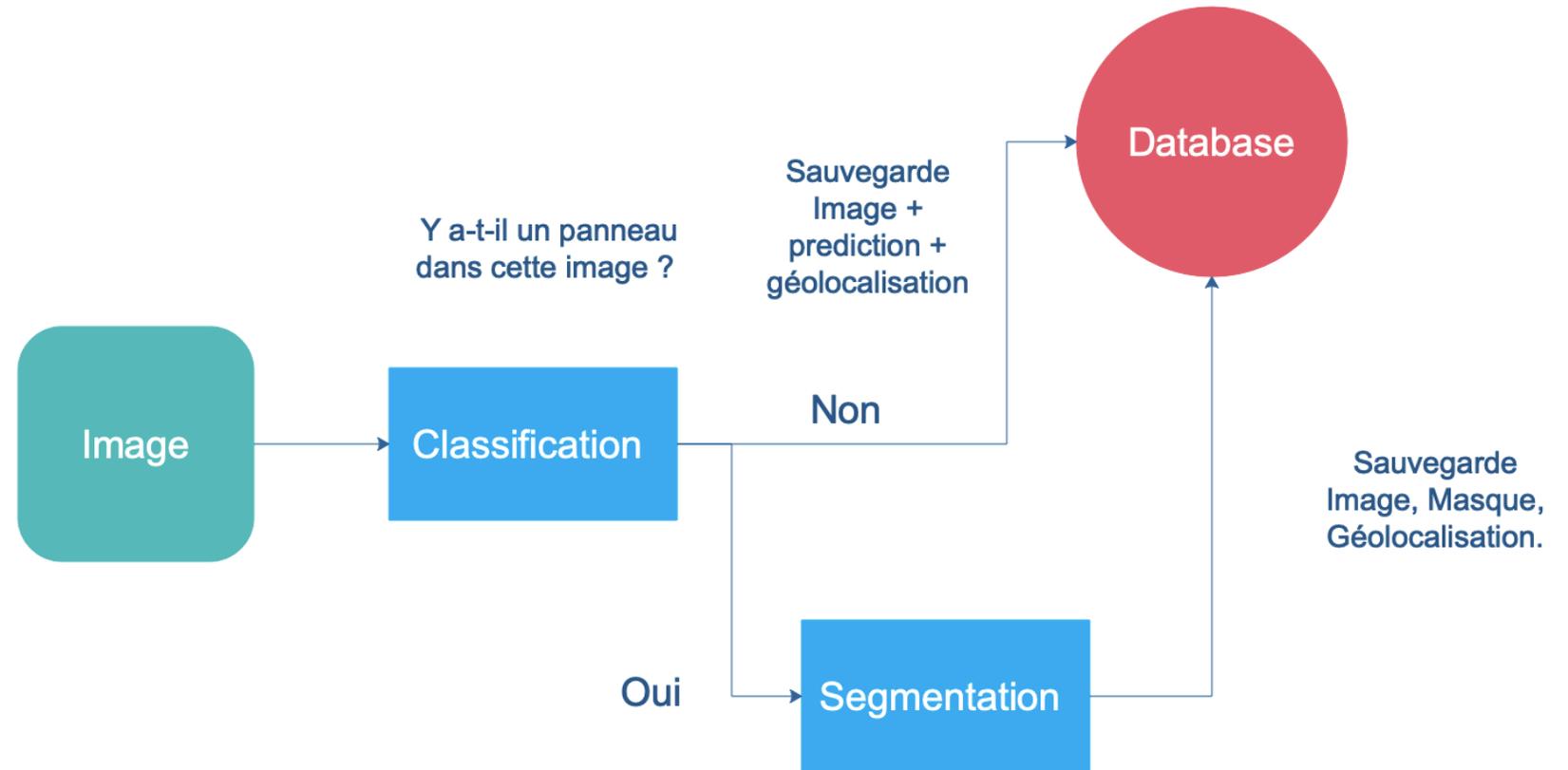


Source : Google Static Map API

La surface totale analysée s'élève à 4,6 milliards de mètres carrés.

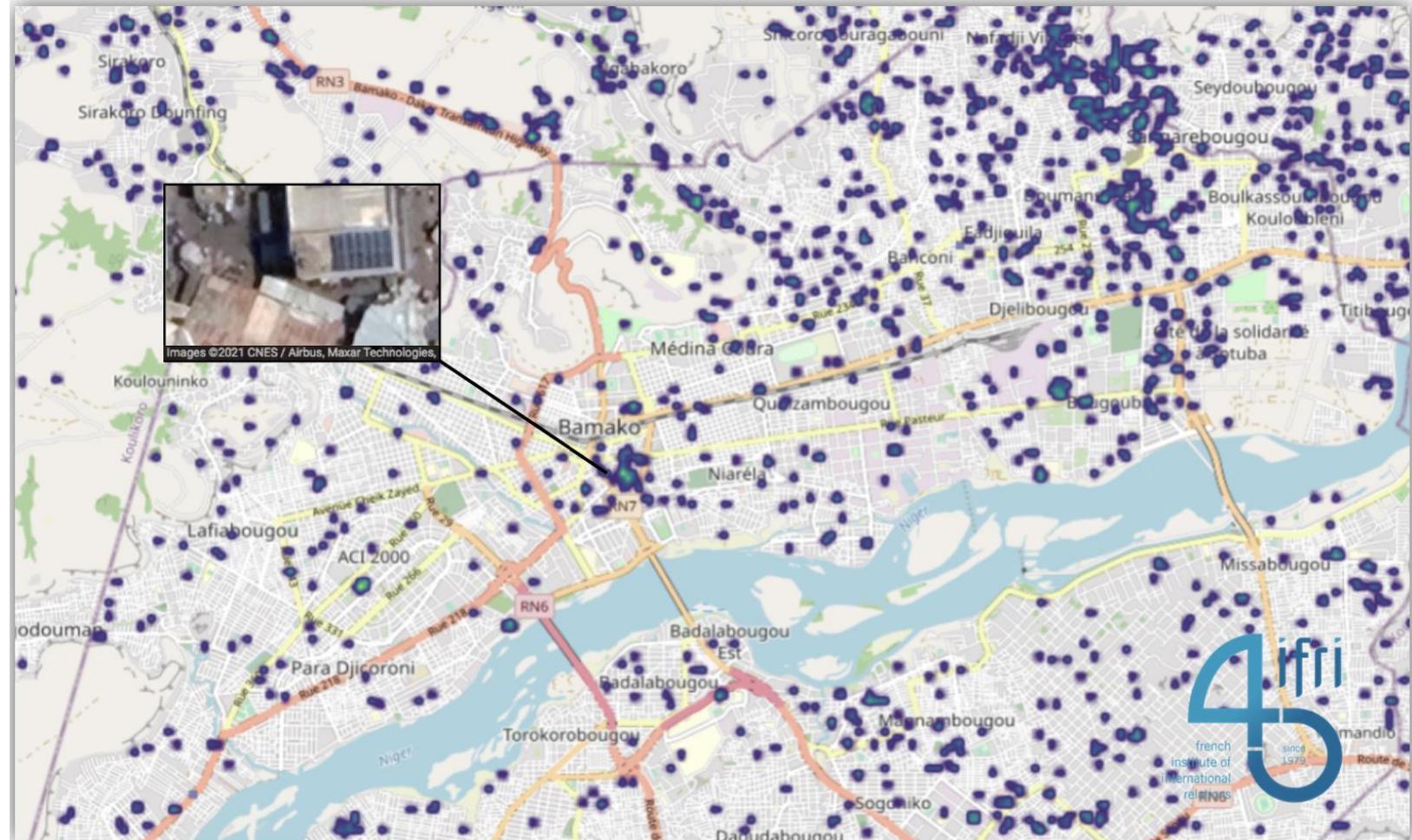
Machine Learning « Pipeline »

L'ordre des étapes de l'analyse



Le marché solaire arrive dans les villes africaines

Pénétration des systèmes solaires décentralisés dans la ville de Bamako, Mali



Modèle de segmentation : résultats

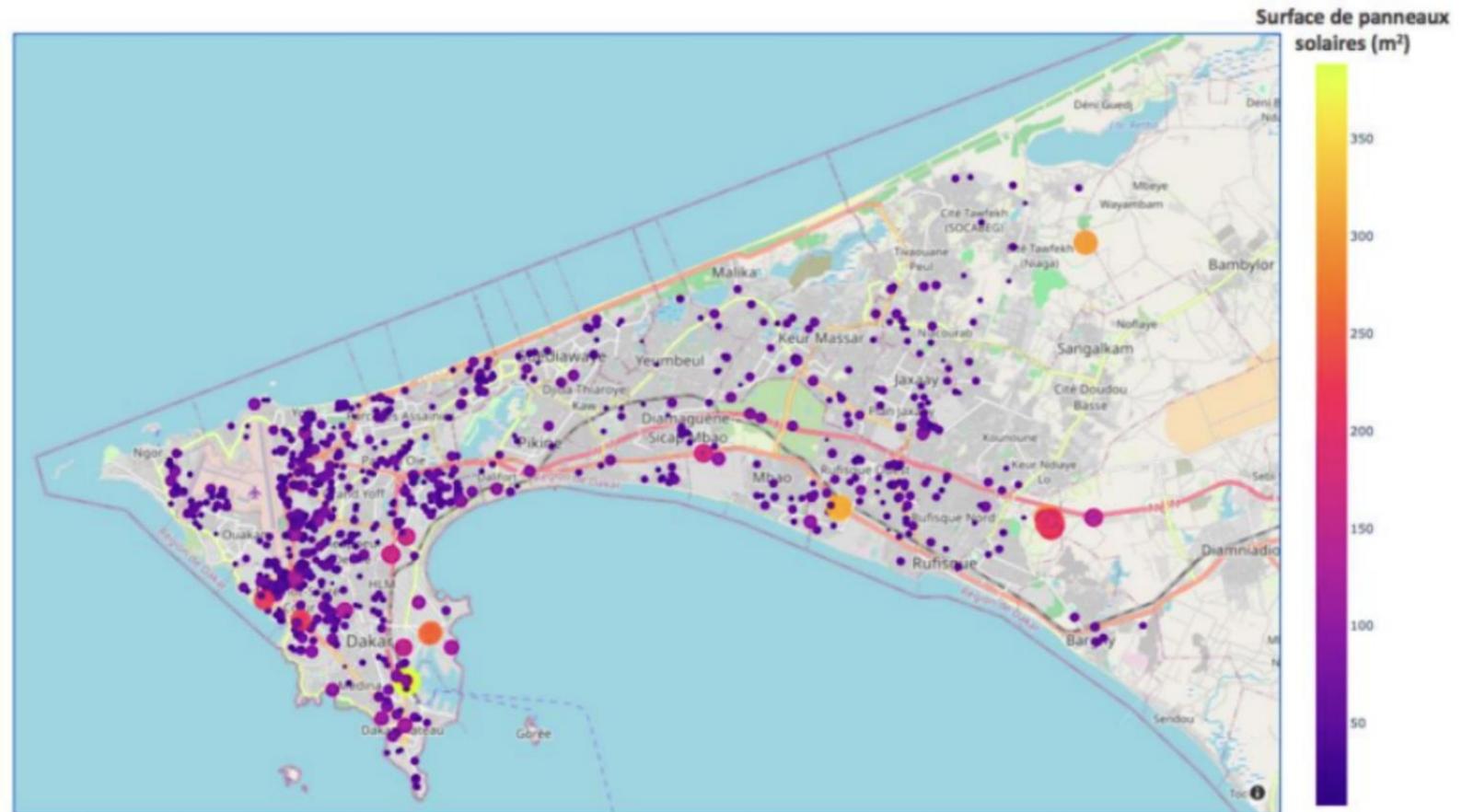
Exemple de résultats du modèle de segmentation pour une image classée comme ayant un panneau solaire par le classifieur



Source : Google Static Map API et *Ifri*

Les résultats de la pipeline

L'intensité de la « Solar Panel Area » (surface installée par localisation) pour la ville de Dakar



Estimations et Résultats

Les résultats montrent qu'entre 184 et 231 mégawatts de capacité solaire décentralisée sont présents dans ces villes.

Cette estimation représente environ 10% de la capacité solaire centralisée installée dans la région, en excluant l'Afrique du Sud.

Il est probable que cette estimation augmenterait si l'analyse était étendue à d'autres villes africaines.

➤ **Le code utilisé pour cette analyse a été rendu public récemment.**

Défis et opportunités des systèmes solaires décentralisés

L'autonomisation des consommateurs pose un défi pour le secteur de l'électricité, en particulier pour les clients les plus lucratifs qui adoptent des systèmes solaires décentralisés.

Cependant, cette tendance peut aussi présenter des avantages :

- Les systèmes solaires décentralisés offrent des solutions sur mesure, adaptées à la capacité de paiement des consommateurs.
- Ils peuvent réduire les coûts pour les entreprises, augmenter leur compétitivité et pallier les problèmes de fiabilité de l'approvisionnement électrique.
- Ils ont des avantages environnementaux et sanitaires par rapport aux générateurs auxiliaires.
- L'urbanisation rapide, la croissance de la demande d'électricité et le développement des systèmes décentralisés sont des tendances clés à prendre en compte dans la planification du développement des réseaux électriques.