

MISE EN PLACE D'UNE STRATÉGIE D'ÉLECTRIFICATION EN CÔTE D'IVOIRE A LA LUMIERE DES SOURCES D'ENERGIE

Résumé

L'accès à l'énergie électrique est un enjeu fondamental pour le développement socio-économique des différentes régions de la Côte d'Ivoire. Malgré les avancées réalisées dans le domaine de l'électrification, des disparités subsistent, exacerbées par des facteurs socio-économiques. L'objectif de ce travail est la mise en place d'une stratégie optimale d'électrification rurale à la lumière des différentes sources d'énergies en Côte d'Ivoire.

La méthode adoptée, consiste à faire un diagnostic portant sur le cadre général de l'électricité en Côte d'Ivoire par une description de la situation électrique de la localité, tout en la comparant à la situation des autres localités et le cas échéant, à d'autres expériences nationales.

Cela a donné comme résultat, l'établissement d'un organigramme présentant tous les scénarios possibles pour l'électrification d'une localité quel que soit sa situation géographique.

Cette solution permettra d'électrifier un grand nombre de localités tout en minimisant les coûts

Mots clés : *Électrification ; Localité ; Stratégie optimale ; Electrification rurale ; Diagnostic.*

Introduction

Le monde avance vers des économies dont la vitalité est basée sur l'utilisation de l'énergie. Par conséquent, le développement du secteur énergétique devient un préalable au développement des pays [1 – 3]. C'est dans ce contexte que la Côte d'Ivoire fait de l'accès des populations à l'électricité, une des composantes essentielles de son développement. Ainsi, grâce à une politique énergétique soutenue dès les années soixante-dix, elle a développé des infrastructures électriques qui se classent à ce jour parmi les meilleures en Afrique subsaharienne[4]. Malgré cette ambitieuse politique, une bonne partie du territoire (zone rurale surtout), n'a pas accès à l'électricité. Et pourtant, le pays dispose d'importantes sources d'énergie (hydroélectrique, hydrocarbures, solaire, biomasse, etc.) non encore exploitées. Pour permettre à cette frange de la population d'avoir accès à l'électricité, et réduire ainsi cette disparité entre les différentes parties du pays, le défi à relever dans notre étude est :Quelle stratégie mettre en place, afin de permettre aux principaux secteurs d'activités et populations d'avoir accès à l'électricité bon marché sur toute l'étendue du territoire ? Pour répondre à cette question, nous analyserons d'une part, le potentiel énergétique de la Côte d'Ivoire, et d'autre part, procéderons à une étude technique de la stratégie d'électrification en Côte d'Ivoire afin de choisir la technologie représentant l'optimum économique.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

D'une superficie totale de 322 462 km², la Côte d'Ivoire est située entre les Longitudes 2°30' - 8°30' Ouest et les Latitudes 4°30' - 10°30' Nord. Limitée au Sud par l'Océan Atlantique sur une côte de 550 km, la Côte d'Ivoire partage les frontières avec le Ghana à l'Est, le Burkina Faso et le Mali au Nord, la Guinée et le Libéria à l'Ouest.



Figure 1 : Situation géographique de la Côte d'Ivoire

Méthodologie

La Côte d'Ivoire, du fait de sa situation géographique, son climat et son couvert végétal peut compter sur son potentiel hydraulique, biomasse et solaire énorme, dont l'exploitation reste encore marginale.

Potentiel hydraulique de la côte d'ivoire

La Côte d'Ivoire est drainée par un ensemble de cours d'eau subdivisé en quatre principaux bassins versants (le Cavally, le Sassandra, le Bandama, la Comoé), sept fleuves côtiers (le Tabou, le San Pédro, le Niouniourou, le Boubo, l'Agnéby, la Mé, la Bia) et quelques affluents

(le Gbanhala, le Baoulé, le Dégou, le Kankélaba, la Bagoué, le Koulou, le Gbanlou, le Gougoulo, le Kohodio) [5 – 7]. Les eaux de surface se composent de cours d'eau, de retenues réparties sur l'ensemble du territoire ainsi que des lagunes situées dans la zone côtière.

A ces cours d'eau classiques, s'ajoutent les lagunes qui sont une particularité du réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire qui dispose d'un littoral d'environ 555 km de long. La superficie totale des lagunes est approximativement de 1200 km².

Ainsi, d'Ouest en Est, il faut distinguer :

- La lagune de Grand-Lahou ou Tagba (superficie 190 km², longueur 50 km) qui comprend une suite de quatre lagunes de petite taille [5 – 7] ;
- La lagune Ebrié (superficie 560 km², largeur moyenne 4 km, longueur moyenne 140 km, profondeur moyenne inférieure à 10 m), divisée en plusieurs sections par les lagunes Aghien et Potou, le canal d'Assinie, la ville d'Abidjan et le canal de Vridi [5 – 7] ;
- La lagune Aby (superficie 424 km², s'étend sur 56 km d'Est en Ouest et 24 km du Nord au Sud) qui est un complexe de trois lagunes (tendo, Aby et Ehy) [5 – 7].



Figure 2 : Réseau hydrographique et principaux bassins versants de la Côte d'Ivoire [8]

La mobilisation des eaux de surface a nécessité la réalisation de 578 retenues d'eau [9] à vocation agro-pastorale, hydro-électrique et approvisionnement en eau potable. La plupart d'entre elles sont de moyenne ou de petite envergure, mais les barrages hydro-électriques sont les plus importants. La capacité de stockage des retenues est de 38.223 milliards de mètre cube (m³), dont 36,8 milliards de mètre cube (m³) pour l'hydro-électricité et 1,2 milliard de

mètre cube (m³) pour les autres[9]. Des stations de pompage sont aussi utilisées pour les prélèvements en rivière en vue de l'approvisionnement en eau potable des populations et l'irrigation des domaines agro-industriels. Le tableau12 présente les principaux ouvrages de mobilisation des eaux de surface en Côte d'Ivoire.

Niveau d'exploitation de l'énergie hydraulique en Côte-d'Ivoire

Essentiellement hydraulique à l'origine, l'électricité produite par la Côte d'Ivoire aujourd'hui est également thermique. Le potentiel hydroélectrique non exploité est estimé à 7000 MW, dont 1847 MW Potentiellement exploitables économiquement. Cependant seulement 35,95% de ce potentiel est en exploitation. Dans le cadre du plan 2020, sept nouveaux projets totalisant plus ou moins 1150 MW de capacité ont été annoncés[8] :

- ✓ Trois sur le fleuve Sassandra, au sud-ouest, d'une puissance totale de 548 MW, en aval du barrage de Soubré au nord-ouest ;
- ✓ Deux barrages d'une puissance totale de 206 MW au sud-est ;
- ✓ Deux barrages de 200 MW sur le fleuve Comoé.

Le tableau 13 ci-dessous présente le potentiel hydraulique ivoirien et son niveau d'exploitation

Tableau 1 :Présentation du niveau d'exploitation de l'énergie hydraulique[10]

Sources	Estimation du potentiel MW	Exploitation actuelle MW	Puissance exploitée par barrage MW	Nom du barrage
Hydraulique (<10MW)	37,9	5	5	Fayé (grah)
Hydraulique (>10MW)	1642	879	50	Ayamé 1et 2
			165	Buyo
			210	Taabo
			174	Kossou
			275	Soubré

La figure 6 présente la répartition du parc de production hydraulique sur le territoire national :

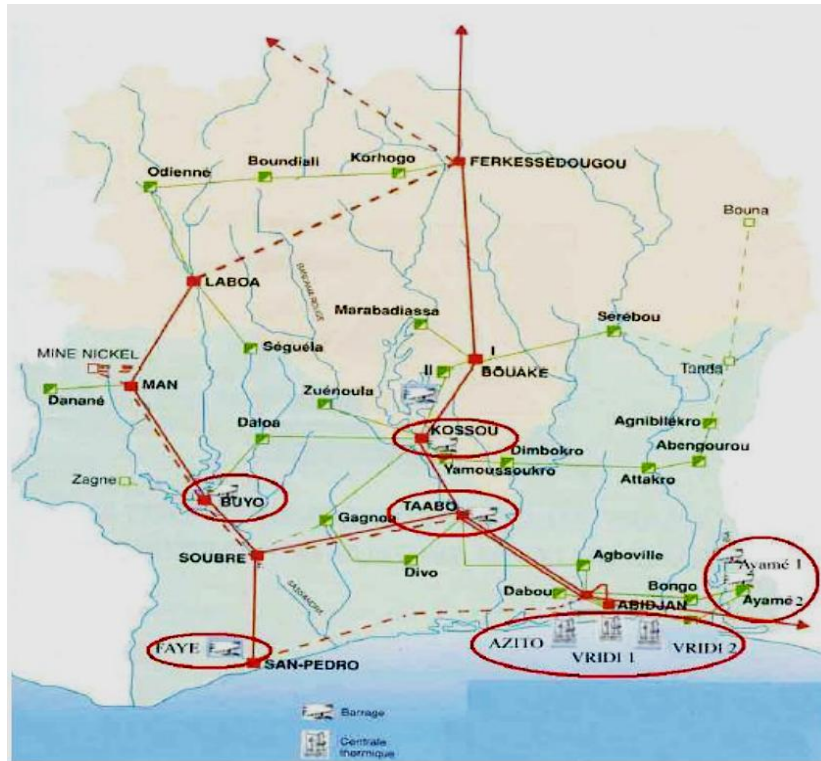


Figure 3 : Répartition géographique des ouvrages hydraulique

Les projets en vue de réalisation mais non encore réalisés sont dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Liste de quelques projets

N°	Projet	Fleuve	Puissance (MW)	Exécution
1	Tahibli	Cavally	19,5	2021
2	Aboisso-Bia	Bia	5	2016
3	Drou	Drou	1,5	2021
4	Agneby	Agneby	0,3	2016

Situation géographique de zones susceptibles d'abriter des Projets hydroélectriques.

Le tableau 15 ci-dessous montre la production hydroélectrique probable de la Côte d'Ivoire en cas de valorisation de son potentiel hydroélectrique, repartie sur toute l'étendue du territoire. Si tous ces projets voient le jour, c'est une puissance cumulée de 1847MW qui s'ajoutera à sa production actuelle [8 ; 10]. Ce qui portera à 10151GWh sa productibilité annuelle actuelle

Tableau 3 : Potentiel hydroélectrique non encore exploité[8 ; 10].

Sites	Cours d'eau	Puissance (MW)	Estimation de productibilité annuelle (GWh)
Soubré	Sassandra	270	1600
N'dieliesso	Comoé	100	835
Malasso	Comoé	90	605
Louga	Sassandra	280	1330
Singrobo	Bandama	67	315
Kokumbo	Bandama	78	350
Bouloumere	Sassandra	156	785
Daboitier	Sassandra	91	375
Gribopoli	Sassandra	112	515
Tayaboui	Sassandra	100	515
Tiasala	Bandama	51	215
Brou Atakro	Bandama	90	410
Aboisso Comoé	Comoé	150	986
Gao	Sassandra	74	475
Drou(man)	Cavally	1,6	11
Tahibli	Cavally	19,5	128
Kouroukoro	Sassandra	32	215
Aboisso bia	Bia	5	33
Agneby	Agneby	0,3	
Tiboto	Cavally	220/2(LIB)	1500
Total		1847	10151

127 Ces sites peuvent fournir des capacités de puissance de moins de 10 MW. L'évaluation d'une
 128 valorisation de ces sites donne des coûts d'installation compris entre 750 et 4 000 FCFA/W et
 129 des coûts de cession de l'électricité produite variant de 10 à 140 FCFA/kWh[11].

130 **Potentiel solaire de la côte d'ivoire**

131 La Côte d'Ivoire dispose d'un abondant gisement solaire. La lumière du soleil reçue dans
 132 l'ensemble du pays varie de 2,0 à 6,0 kWh/m²/jour, et la durée de l'ensoleillement moyen
 133 journalier est de 6 heures, un potentiel jugé de niveau moyen[12]. En général, une capacité de
 134 production d'électricité plus importante peut être vraisemblablement obtenue dans le nord du
 135 pays à proximité du Mali et du Burkina Faso, et en ce qui concerne la production d'électricité
 136 photovoltaïque dans l'ensemble du pays, il est possible d'assurer une capacité de production
 137 d'électricité de 10 325 TWh/an[13].

138 La figure suivante nous présente l'irradiation globale horizontale de la cote d'ivoire.

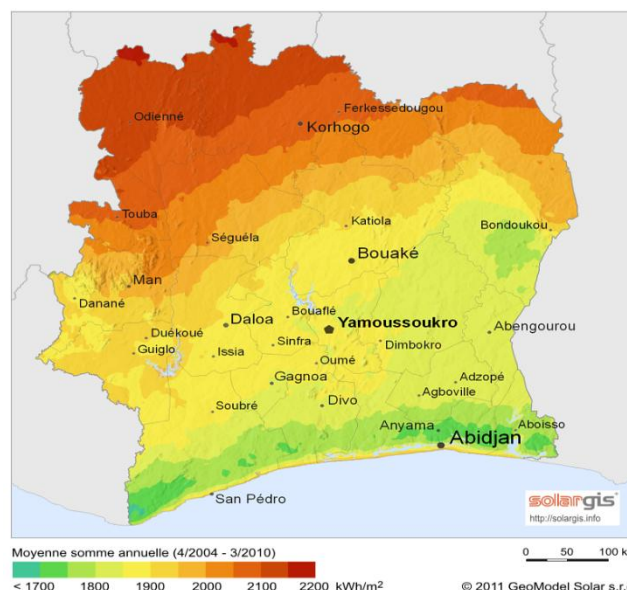


Figure 4 : Irradiation globale horizontale de la Côte d'Ivoire

La carte ci-dessus présente la répartition de l'irradiation en Côte d'Ivoire.

En matière d'énergie solaire, il faut remarquer que l'irradiation solaire annuel moyen sur un plan horizontal pour la Côte d'Ivoire ces dernières années, varie entre $4 \text{ kWh.m}^{-2} \cdot \text{J}^{-1}$ au sud et $6 \text{ kWh.m}^{-2} \cdot \text{J}^{-1}$ au nord avec une durée d'insolation moyenne quotidienne de 6 heures [14 ; 15]. La durée d'ensoleillement varie entre 2 000 et 2 700 heures par an selon les régions [15 ; 16]. Ces données suffisent à convaincre de l'existence d'un potentiel pouvant satisfaire largement les besoins énergétiques de la population, notamment rurale selon les technologies en place.

Malgré l'ensoleillement important dont bénéficie la Côte d'Ivoire, les initiatives de fourniture de l'électricité par le solaire photovoltaïque (SPV) restent encore embryonnaires dans les zones rurales et périurbaines. L'électrification par le système photovoltaïque est restée au stade d'initiative et de projets pilotes. En 1995, un vaste programme de pré-électrification par le solaire photovoltaïque portant sur 105 localités a été initié, mais n'a pu être mis en œuvre. Seuls quelques projets pilotes isolés ont été développés par le secteur privé ou des ONG, destinés à des écoles, des centres de santé ou quelques résidences isolées.

Dans le document de planification 2018-2030 de CI-ENERGIES, il est question de six (06) projets de production d'électricité photovoltaïque, auxquels vient s'ajouter le projet de Poro Power-1 annoncé en octobre 2018, soit 7 projets au total. Cependant, aucun de ces projets n'a vu encore le jour, hormis la centrale de Boundiali qui a effectivement démarré.

161

162

Tableau 4 : Liste des projets de production d'électricité photovoltaïque[16]

Numéro	Nom de la centrale	Ville retenue	Capacité de production (MW)	Prévision
1	Korhogo solaire	Korhogo	25	2019
2	Poro solaire	Korhogo	50	2020
3	Centrale solaire de Ferkessédougou	Ferkessédougou	25	2020
4	Daoukro solaire	Daoukro	30	2020
5	Boundiali solaire	Boundiali	37,5	2020
6	Centrale électrique solaire 1	Odienné	25	2020
7	Korhogo Poro Power 1 S.A Poro power	Korhogo	66	INCONNU
Total de la Capacité de production			258,5MW	

163

164 **Potentiel éolien de la Côte d'Ivoire**

165 La vitesse moyenne des vents en Côtes d'Ivoire est en deçà des valeurs qui permettent une exploitation
 166 efficiente (6m/s), cette technologie a un avenir incertain en côte d'ivoire[16].

167 **Potentiel biomasse de la Côte d'Ivoire**

168 La biomasse est la production totale de matière végétale mesurée en kilogramme de matière
 169 sèche (MS) par hectare (kg/ha). Le terme matière sèche est utilisé pour décrire toute forme de
 170 végétation au-dessus du sol sans tenir compte de sa teneur en eau. Pour une analyse de la
 171 situation pastorale, la biomasse est un moyen efficace pour mesurer la disponibilité en
 172 ressources fourragères. Le potentiel de la biomasse en Côte d'Ivoire est significatif, soutenu
 173 par de nombreuses ressources agricoles comme le cacao, le palmier à huile et le coton.

174 Côte d'Ivoire Énergies, entité publique en charge de la promotion des technologies efficaces
 175 en matière énergétique, estime le potentiel de résidus de cacao à 13 millions de tonnes par an,
 176 0,2 million pour le coton, 2,5 millions pour l'huile de palme et 1 million pour le caoutchouc,
 177 soit 16,7 millions de tonnes avec une puissance électrique totale évaluée à « 1.645 MW et un
 178 rendement moyen de 25% ». [17].

179 **Niveau d'exploitation de la Biomasse en Côte d'Ivoire**

180 La part de biomasse dans la production d'électricité est très faible et quasiment inexistante. Ce
 181 qui prive le secteur d'une composante essentielle de son mix énergétique, notamment dans le
 182 cadre d'une gestion durable de l'environnement. Cependant, certains industriels utilisent les

résidus de leurs activités agro-industrielles pour la production de chaleur et d'électricité. Le niveau de production d'énergie à partir de la biomasse est estimé à 79,5 MW [12].

Tableau 5 :projets étatiques existants de la biomasse énergie enCôte d'Ivoire [12].

Biomasse pour la production énergétique			
Projets	Puissance (MW)	Statut	Financement
Centrale Biomasse de Biokala 1 (Aboisso), (à basse de résidus de palmier et hévea)	23	En négociation	Groupe SIFCA
Centrale Biomasse de Biokala 2 (Aboisso), (à basse de résidus de palmier et hévea)	23	En négociation	Groupe SIFCA
Centrale Biomasse de Biokala 3 (Aboisso), (à basse de résidus de palmier et hévea)	20	En attente	Groupe SIFCA
Centrale Biomasse de Biokala 4 (Aboisso), (à basse de résidus de palmier et hévea)	10	En attente	Groupe SIFCA
Centrale Biomasse de Biokala 5 (Aboisso), (à basse de résidus de palmier et hévea)	10	En attente	Groupe SIFCA
Biomasse Cacao (Abidjan)	160	En attente	Privé
Biomasse Cacao (Gagnoa)	80	En attente	Privé
Biomasse Cacao (Yamoussoukro)	80	En attente	Privé
Biomasse Caoutchouc (San-Pedro)	60	En attente	Privé
Biomasse Coton (Boundiali)	25	En attente	Privé
TOTAL	491		

Potentiel des ressources fossiles

Le bassin sédimentaire ivoirien, d'une superficie d'environ 87.000 km² compte à ce jour, 61 blocs pétroliers dont 7 blocs en onshore et 54 en offshore (48 blocs en offshore peu profond et 6 blocs en offshore ultra profond)[16].

Sur ces 61 blocs pétroliers, 20 blocs sont en activités (4 blocs en production et 16 blocs en exploration), 41 blocs sont libres dont 11 faisant l'objet de négociation[18].

Selon le centre de promotion des investissements en Côte d'Ivoire (CEPICI) le potentiel ivoirien en matière d'hydrocarbures, est estimé à 100 millions de barils[18].

Par ailleurs, les réserves de gaz naturel de la Côte d'Ivoire sont estimées à 30 milliards de m³[18].

Niveau d'exploitation des ressources fossiles dans la production de l'électricité en Côte d'Ivoire

Concernant la production pétrolière de la Côte d'Ivoire, elle provient de cinq champs, à savoir, Foxtrot (bloc CI-27), Lion et Panthère (bloc CI-11), Espoir (bloc-26) et Baobab (bloc CI-40).

La mise en exploitation des ressources pétrolières n'a débuté qu'à partir de 1980 sur le gisement Bélier suivi en 1982 du gisement Espoir. La production nationale était estimée en 2000 à 2,6 millions de barils de pétrole brut[18]. Depuis 2001, la production de brut est en hausse continue grâce à la mise en production des champs Espoir et Baobab, par l'opérateur Canadian Natural Ressources (CNR). Depuis 2020, on signale une production journalière de pétrole dépassant 65 000 barils et une production de gaz qui se stabiliserait autour de 200 millions de pieds cubes[18]. Le mix énergétique en Côte d'Ivoire est principalement thermique. Il y a quatre grandes centrales thermiques qui fournissent 72,90% de la production nationale. La source principale est le gaz naturel[18]. Mais la production nationale de gaz en Côte d'Ivoire ne permet pas de satisfaire la demande nationale des centrales thermiques. Le HVO (Heavy Fuel Oil) et le DDO (Distillate Diesel Oil) sont donc les combustibles de secours, pour la production de l'électricité en Côte d'Ivoire.

Stratégie d'électrification

En générale, la desserte en électricité d'un ensemble d'habitations ou d'une zone d'activités économiques rend nécessaire la construction d'un certain nombre d'infrastructures électriques. Ces infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production (centrales électriques) vers les lieux de consommation de l'énergie. Ces infrastructures énergétiques sont configurées en mode centralisé ou décentralisé. Ces différents types de configuration de l'électrification permettent de rendre plus dynamique la gestion de l'ensemble production – transport – consommation, permettant ainsi d'assurer la stabilité de l'ensemble du réseau.

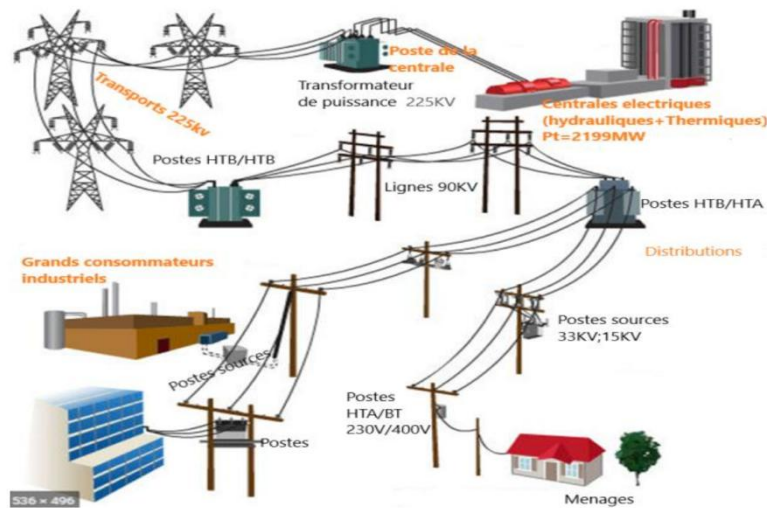


Figure 5 :architecture du réseau Électrique de la côte d'ivoire

Critères pour la sélection des localités à électrifier

Une localité est une entité territoriale de taille indéterminée ou non, généralement habitée.

On définit ainsi un seuil de 1000 habitants en dessous duquel la localité est considérée comme rurale. Les infrastructures de base telles que les centres de santé, les écoles, les adductions d'eau, les routes carrossables, les complexes agro-industriels, les petits commerces peuvent servir de critères pour caractériser une localité rurale [19 ; 20].

La distance au réseau électrique existant ne constitue pas un critère. Cependant, les localités situées proches (moins de 2 kilomètres) du réseau électrique Moyenne Tension existant (localité sous ligne) doivent être prise en compte dans la conception des programmes d'électrification.

Concernant la rentabilité des projets d'électrification rurale, le critère recommandé pour son évaluation est le taux de rentabilité interne économique (TRIE). Son évaluation est basée sur une analyse de type coûts/bénéfices [19 ; 20].

Projet d'électrification Rurale

Les besoins d'une localité sont essentiellement constitués de besoins domestiques, de besoins des petites et moyennes industries (minoteries, huileries, artisanat, etc.), d'éclairage public, de besoins sociaux et collectifs (centres de santé, postes de police, écoles, etc.).

Secteur résidentiel

La première approche est l'estimation de la consommation domestique (E_{C_d}) en kWh/an par rapport à sa population et sa composition, selon l'expression suivante :

$$E_{C_d} = C_s(t) \times N(t) \times I(t) \quad (1)$$

246 Avec : E_{C_d} : Consommation énergétique domestique par année MWh/an ; C_s : Puissance
 247 unitaire par concession kWh ; t : Le temps (s) ; I : Taux de desserte.

248 La puissance de pointe peut être déterminée par la relation :

249
$$P_{C_d} = \alpha(1.1 \times E_{C_d}) + \beta\sqrt{1.1 \times E_{C_d}} \quad (2)$$

250 Les paramètres α et β sont déduits de l'analyse des données observées dans les localités
 251 semblables. Pour les localités à faible concentration industrielle, on a respectivement les
 252 valeurs $\alpha = 0.1675 \times 10^{-3}$ et $\beta = 4.4 \times 10^{-3}$ (3)

253 La deuxième approche est la détermination de la puissance appelée dans les localités à
 254 électrifier par la relation suivante :

255
$$P_{C_d} = E_{C_d} \times C_{FC} \quad (4)$$

256 Avec : C_{FC} : Facteur de composition : $C_{FC} = s \times d \times h \quad (5)$

257 E_{C_d} : Consommation domestique

258 où : s (coefficient de simultanéité), d (coefficient de diversité), h (coefficient d'utilisation).

259 Les valeurs moyennes de d et h pour les ménages sont respectivement 0,7 et 0,6[21].

260 Les valeurs du coefficient de simultanéités sont données en fonction du nombre d'abonnés.

261 **Tableau 6** : coefficient de simultanéité s en fonction du nombre d'abonnés après la révision de la
 262 norme NF C 15-100[21].

Nombre d'abonnés	[2 ;4]	[5 ;9]	[10 ;14]	[15 ;19]	[20 ;24]	[25 ;29]	[30 ;34]	[35 ;39]	[40 ;49]	]50 ;→[
Coefficient de simultanéité	1	0.75	0.56	0.48	0.43	0.40	0.38	0.38	0.36	0.34

263

264 **Secteur industriel**

265 La méthode ci-dessus s'applique aussi au secteur des Petites et Moyennes Industries avec
 266 comme valeurs respectives pour :

- 267 • Le coefficient de simultanéité s : voir tableau ci-dessus ;
 268 • Le coefficient de diversité $d=0.5$;
 269 • Le coefficient d'utilisation $h=0.6$.

270 La puissance consommée par les petites et moyennes industries est égale à :

271
$$P_{C_{indus}} = P_{inst} \times C_{FC} \quad (6)$$

où P_{inst} : puissance installée

Le tableau ci-après donne les puissances unitaires de certaines catégories de petites et moyennes entreprises, telles que retenues par la Commission Nationale de l'Énergie

Éclairage public

Pour évaluer la consommation de l'éclairage public, la connaissance du nombre de points lumineux (N_l) et de la puissance installée par point lumineux sont importantes. Les paramètres retenus pour le calcul de la puissance consommée selon la compagnie ivoirienne d'électricité (CIE) sont :

- douze (12) heures d'éclairage par jour de 18h à 6h ;
- chaque point lumineux est équipé d'un tube fluorescent de puissance P_u ;
- une distance uniforme entre les points lumineux de 50 mètres.

D'où : $P_{C_{EP}} = N_l \times P_u$ (7)

Besoins sociaux et collectifs

Les besoins sociaux correspondant à la consommation des centres de santé publics, les postes de police ou de gendarmerie, etc. La puissance installée pour ces structures sera appelée $P_{C_{social}}$ dans notre cas. Les coefficients de simultanéité sont supposés égaux à 1 par mesure de sécurité, sauf lorsque les entités visitées sont de grande importance ou capacité.

Ainsi, le besoin énergétique global vaut :

$$P_G = \sum P(8)$$

$$P_G = P_{C_d} + P_{C_{indus}} + P_{C_{EP}} + P_{C_{social}} \quad (9)$$

Calcul de la puissance maximale utilisée (P_{max})

La puissance maximale utilisée sera calculée en tenant compte de l'ensemble des extensions futures sur une période de n années. Cette évaluation des charges pour n années suppose que l'on ait à notre disposition un outil de prévision à partir des valeurs actuelles. Celui que nous utiliserons est basé sur un modèle mathématique de suite géométrique.

En supposant que la charge électrique d'une année donnée est égale à la charge de l'année qui précède plus une charge due à l'augmentation de la consommation et de la population, appelé θ . On obtient ainsi, la charge électrique pour n années comme suit :

$$\diamond \text{ Pour l'année } n=1, P_1 = P_0 + \theta P_0 = P_0 (1 + \theta)$$

$$\diamond \text{ Pour l'année } n=2, P_2 = P_1 + \theta P_1 = P_1 (1 + \theta) = P_0 (1 + \theta)^2$$

Ainsi, par récurrence, pour l'année n, on a : $P_n = P_0 (1 + \theta)^n$

$$\text{Par correspondance, } P_0 = P_G \text{ donc } P_n = P_G (1 + \theta)^n \quad (10)$$

Technologies d'électrification

Technologie centralisée

Pour l'alimentation en énergie électrique des populations rurales proches d'un réseau centralisé préexistant, l'extension du réseau sera la solution la mieux adaptée.

La structure type d'un réseau de distribution haute tension (A) (HTA) rural est de type « radial aérien » ou en « antenne aérien ». Tout point de consommation sur une telle structure ne peut être alimenté que par un seul chemin. Deux types de lignes peuvent alors être distinguées comme le montre la figure ci-dessous. Les lignes d'ossature principale qui assurent les transits de puissance entre les sources et les zones de charges (villages) sont réalisées avec une section assez importante. Les lignes de dérivation assurent le raccordement de chaque poste HTA/BT à l'ossature principale, elles sont réalisées en technique plus allégée et avec une section plus faible.

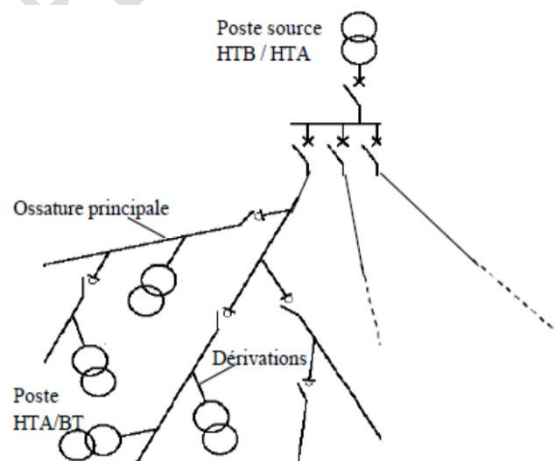


Figure 6 : Structure type d'un réseau de distribution en zone rurale[13]

Technologie décentralisée

Ce mode d'électrification doit être destiné aux villages dont le coût de branchement au réseau centralisé, dépasse un montant raisonnable et hors de portée des ménages ruraux.

L'électrification rurale décentralisée peut s'opérer à travers la mise en place de mini-réseaux alimentés par un générateur diesel ou par le truchement des énergies renouvelables elles-mêmes pouvant se faire par l'installation des systèmes individuels ou des systèmes collectifs dans le cadre d'une localité par mini-réseaux.

Dans le cadre d'un générateur diesel, l'investissement est modéré, le réseau est configuré, il y a une panoplie de choix en ce qui concerne le matériel. L'exploitation comme la gestion sont centralisées. En revanche, en l'absence de spécialistes, l'entretien est difficile, il y a fréquemment des pannes. Les difficultés sont dues au transport du combustible dont le coût fluctue assez souvent.

Dans le cadre du recours aux énergies renouvelables, notre analyse ne prendra en compte que l'énergie solaire photovoltaïque dont le potentiel est intéressant pour l'électrification en côte d'ivoire. L'installation des systèmes individuels permet d'éluder les frais du réseau. Étant donné que la production se fait sur le lieu même de la consommation, elle ne nécessite pas non plus de carburant et la durée de vie du matériel est élevée[15]. Il y a lieu de souligner que le photovoltaïque est réservé pour les applications qui demandent quelques kWh par jour. L'installation de systèmes collectifs à travers des mini-réseaux a des avantages liés à la configuration du réseau, à une gamme de choix variés en matière de matériel et à une optimisation du dimensionnement. Cependant, les investissements restent élevés, les pertes en ligne sont importantes et les coûts d'entretien, de réparation et de gestion sont élevés. Ce choix est particulièrement adapté pour les localités pour lesquelles une électrification par réseau ne se justifie pas. En outre, dans le cadre de l'électrification rurale, il peut être envisagé des systèmes hybrides soit solaire-hydro, soit solaire-diesel, soit mini centrale hydroélectricité.

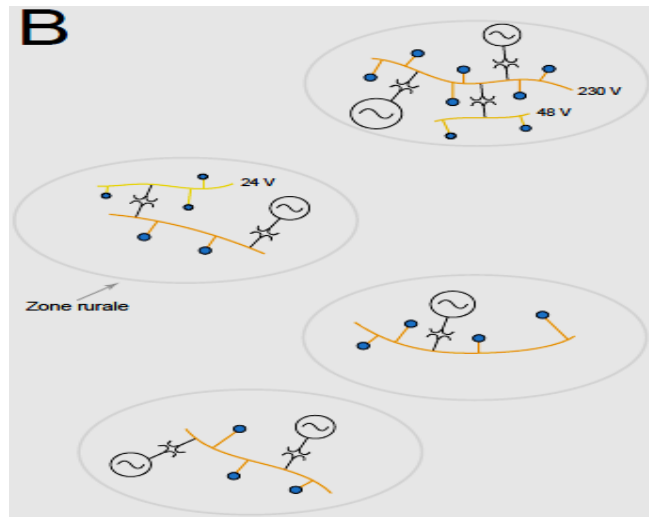


Figure 7 :schéma synoptique d'un réseau décentralisé [2]

La figure ci-dessus, présente le système de production décentralisée aussi appelé production distribuée. C'est une production d'énergie électrique à l'aide d'installations de petite capacité avec des niveaux de tension peu élevée : basse ou moyenne tension permettant d'approvisionner les sites difficilement raccordables au réseau.

Choix de la technologie représentant l'optimum économique

L'objectif est de présenter les principaux critères de choix qui permettront de retenir la technologie appropriée.

Étude de faisabilité

Elle doit faire le diagnostic et l'état des lieux de l'électrification dans la localité. Le diagnostic porte sur le cadre général de l'électricité et une description de la situation électrique de la localité, celui-ci doit être comparé à la situation dans les autres localités et le cas échéant, à d'autres expériences nationales.

En ce qui concerne les options de développement de l'électrification rurale, l'étude doit se focaliser sur l'adéquation entre les systèmes d'électrification rural et les sources d'énergies locales. Au cours de cette étude, il est nécessaire de faire une comparaison entre les localités rurales déjà électrifiées et celles qui ne le sont pas encore. Cela permet de connaître la demande potentielle des ménages non électrifiés et la consommation actuelle des ménages électrifiés, les dépenses et les coûts de l'énergie à éviter en cas d'électrification, les revenus supplémentaires dus à la création d'activité résultant de l'électrification, et les bénéfices socio-économiques tirés de l'électrification.

Dans le cadre de cette enquête, quatre types de questionnaires peuvent être proposés :

- Un questionnaire pour les ménages non électrifiés ;
- Un questionnaire pour les ménages électrifiés ;
- Un questionnaire pour les localités non électrifiées et leurs infrastructures ;
- Un questionnaire pour les localités électrifiées et leurs infrastructures.

Pour pérenniser l'électrification rurale, l'étude de faisabilité doit s'appesantir sur la détermination des mécanismes de valorisation locale de l'électricité et l'appropriation des projets qui passent par l'obtention de l'adhésion et du soutien du projet par les bénéficiaires.

Étude économique et financière

Le coût du projet est constitué par la valeur hors taxes de l'investissement nécessaire au raccordement de la localité. C'est-à-dire, à partir du bordereau du prix unitaire (BPU) de chaque équipement et du nombre, nous pouvons calculer le coût total des équipements du réseau HTA.

Le calcul du prix unitaire (PU) du Kw/m² loti est le suivant :

$$PU = \frac{\text{PRIX}_{\text{Total lotissement}}}{\text{Surface}_{\text{Lotissement}}} \quad (11)$$

La formule utilisée pour le calcul de la rentabilité du projet est le taux de rentabilité interne économique (TRIE). Son évaluation est basée sur une analyse de type coûts/bénéfices.

$$\text{TRIE} = \frac{\text{Coût du projet}_{\text{HT}}}{\text{Benefice du projet}} \quad (12)$$

Le bénéfice du projet correspond à la substitution de l'électricité du réseau aux dépenses énergétiques liées aux consommations des ménages ainsi qu'à la valorisation économique de l'éclairage public

La durée d'amortissement (Da) est donnée par la formule suivante :

$$D_a = \frac{\text{Coût}_{\text{investissement}}}{\text{Coût}_{\text{consommation annuelle}}} \quad (14)$$

Étude environnementale

L'étude environnementale consiste à évaluer les risques que peut présenter le projet pour l'environnement et les effets qu'il est susceptible d'exercer dans sa zone d'influence, à étudier des variantes du projet, à identifier des moyens d'améliorer la sélection du projet, sa localisation, sa planification, sa conception et son exécution en prévenant, en minimisant, en

atténuant ou en compensant ses effets négatifs sur l'environnement et en renforçant ses effets positifs. La méthode de travail va consister à faire une analyse comparée de l'état initial de l'environnement de la zone d'étude et fait ressortir les impacts probables que chaque type de technologies d'électrification rurale pourrait avoir sur chaque composante des milieux physique, biologique et humain.

Résultats et Discussion

Analyse du secteur électrique

Analyser le réseau existant en amont de la zone à électrifier et définir les niveaux de contraintes techniques, qu'il s'agisse entre autres des chutes de tension, des taux de charges, des problèmes de pertes en lignes pour les agglomérations éloignées, de la distance de l'extension, du relief, de l'hydrographie, de la situation des voies d'accès etc.

Analyse des modes de productions et de distribution possibles

Établir un catalogue de solutions techniques possibles pour la zone considérée, c'est-à-dire, analyser les options technologiques ou techniques à retenir en matière d'électrification rurale selon les domaines suivants : production, réseau moyenne tension et distribution.

La production d'énergie électrique peut se faire essentiellement par groupe diesel, énergie de la biomasse, microcentrale hydraulique, système solaire ou système éolien, raccordement au réseau électrique.

Pour le réseau moyenne tension, il est important de disposer des caractéristiques telles que le niveau de tension optimal, les conducteurs (nombre, section, alliage), les supports (nature, armements, isolateurs), la mise à la terre, les postes MT/BT (haut de poteau, au sol, protection transformateur).

En ce qui concerne la distribution, il est important de connaître la configuration adéquate et pour se faire, il faut disposer des conducteurs (nombre, section, alliage), des supports (nature, armements, isolateurs), de mise à la terre, de raccordement des abonnés (branchement, compteurs, prépayés).

Toutes ces différentes options, les orientations technologiques du pays et le cadre institutionnel du secteur électrique seront mises en œuvre selon le type de localité à électrifier.

Analyse des potentiels énergétiques disponibles

Cette analyse consiste à dresser la liste des centres de production autonome, non reliés au réseau électrique national et à établir la cartographie des ressources énergétiques de la localité (Hydraulique, Biomasse, Solaire).

Analyse de la prévision de la demande

La prévision de la demande consiste à quantifier la demande d'énergie nécessaire pour alimenter les nouveaux clients ruraux et les moyens de production additionnels nécessaires.

Cette prévision s'appuie sur des enquêtes socio-économiques auprès d'un échantillon de villages (demande électrique potentielle, à l'année initiale et son évolution dans le temps, données démographiques, taux de croissance et leur projection...) et permettra de déterminer la puissance dont on a besoin. Pour l'analyse, il est recommandé de procéder en une segmentation des villages et bien distinguer les villages ou hameaux de quelques habitations. La démarche consistera en l'Analyse de l'évolution passée, la prévision synthétique de la demande, la Prévision analytique de la demande, l'identification et analyse des charges ponctuelles.

L'établissement de la cible d'électrification est généralement projeté sur 20 ans, en tenant compte des coûts actualisés sur la durée d'étude, l'investissement, les recettes escomptés.

Pour chaque village, on effectue un calcul des fonctions de coûts des solutions décentralisées, de l'extension de réseau, du réseau conventionnel.

Il y a des localités qui seront alimentées par un raccordement au réseau le plus proche. Dans d'autres localités, des centrales isolées seront mises en place. Le choix entre les deux systèmes d'approvisionnement devra être fait dans une vision d'optimisation de l'économie nationale. Le choix est porté sur la centrale isolée si le prix par kWh est moins cher que celui du raccordement au réseau le plus proche. Dans le cas contraire, c'est l'inverse.

Le choix dépendra entre autres des trois éléments fondamentaux suivants :

- La distance entre la localité et le réseau le plus proche (moins d'un kilomètre) ;
- La taille de la population qui traduit donc la demande potentielle en électricité ;
- Le coût de production pour une centrale isolée.

La figure suivante montre le choix proposé de la technologie représentant l'optimum économique de l'électrification rurale à un contexte donné.

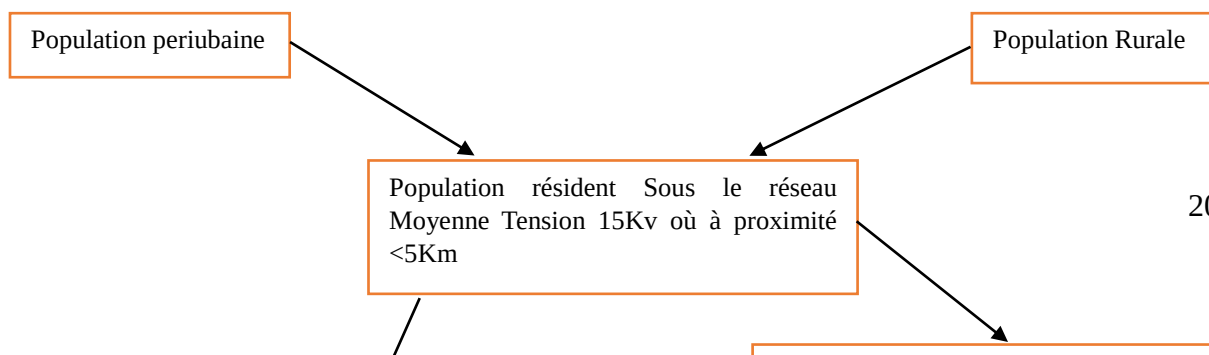


Figure 8 : Organigramme présentant le choix de la technologie représentant l'optimum économique de l'électrification rurale à un contexte donné

Cet organigramme présente tous les scénarios possibles à prendre en compte dans l'établissement d'un projet d'électrification rurale.

En effet, il faut dans un premier temps, définir le statut administratif de la localité, à savoir si elle est urbaine ou rurale. Cette étape permet de définir le niveau de priorité de la localité en termes d'infrastructures électriques. Ensuite, on définit la position géographique de la localité par rapport à un réseau Moyen Tension existant. Il en découlera donc deux cas de figures, à savoir :

- La localité est située à moins de cinq(5) kilomètres d'un réseau Moyen Tension 15 Kv. Il est dans ce cas recommandé de faire une électrification soit par connexion réseau, système prépaiement, délégation gestion client ou rétrocession d'électricité.

- La localité est située à moins de dix (10) kilomètres d'un réseau Moyen Tension 30kv, il est dans ce cas recommandé de faire une électrification par raccordement conventionnel ou par extension de réseau.

Enfin, si la localité n'est pas située dans un rayon de dix kilomètres d'un réseau moyen tension 30 Kv, dans ce cas, une étude de comparaison de technologies doit se faire. Cette étude consiste à faire une comparaison entre le coût de l'électrification par extension de réseau et une électrification en hors réseau.

Conclusion

L'objectif de ce travail était la mise en place d'une stratégie optimale d'électrification à la lumière des sources d'énergies en Côte d'Ivoire. Il fallait donc proposer une solution permettant aux principaux secteurs d'activités et populations d'avoir accès à l'électricité bon marché sur toute l'étendue du territoire.

Cette étude a permis d'établir un organigramme présentant tous les scénarios possibles pour l'électrification d'une localité quel que soit sa situation géographique. Ainsi, cette solution permettra d'électrifier un grand nombre de localité en fonction des moyens de l'Etat.

En effet, la Côte d'Ivoire dispose d'un important gisement énergétique (solaire, hydraulique, thermique, biomasse, etc.) repartie sur tout son territoire, ce qui lui permet de densifier l'électrification dans toutes ces localités. Si les investissements en matière de l'électrification urbaine semblent porteurs, ce n'est pas toujours le cas pour l'électrification rurale qui éprouve des difficultés quelque fois à s'insérer dans le secteur « marchand ».

Ce qui d'ailleurs, justifie le fait qu'elle soit pour la plupart du temps exclue du périmètre contractuel en cas de concession ou alors fortement subventionnée par l'Etat.

Par ailleurs, Le coût de l'énergie en Côte d'Ivoire est encore trop élevé au vu de son potentiel énergétique. Il est donc clair que beaucoup de choses restent à faire dans ce domaine afin d'accroître la qualité du service et réduire les coûts d'accès à ce service.

La divergence de contexte qui existe entre localité urbaine et localité rurale dans le domaine énergétique nécessite de revisiter les modèles conventionnels. En substance, cela consiste, du point de vue de l'électrification, à réévaluer la pertinence du modèle centralisé, ou autrement dit, à évaluer le modèle décentralisé pour mettre à la portée de la population ivoirienne, les services énergétiques élémentaires à moindre coût. Il est donc nécessaire de mener des études comparatives des différentes technologies d'électrification.

515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Lazar D. Gitelman and Mikhail V. Kozhevnikov (2020). Electrification in industrialrevolution 4.0. International Journal of Energy Production and Management, Vol. 5, No. 4 pp. 367-379.
- [2] ZainalArifin and al. (2024). Techno-Economic Evaluation of Hybrid Solar-Wind Power Plant for GeneratingElectricity at TollMerakRest Area Electric VehicleCharging Station. International Journal of Energy Production and Management, Vol. 9, No. 4, pp. 247-254.
- [3] Md Safiullah Kayesh1 and AshmaSiddiqa (2023). The Impact of Renewable Energy Consumption on

- EconomicGrowth in Bangladesh : Evidence from ARDL and VECM Analyses. International Journal of Energy Production and Management, Vol. 8, No. 3, pp. 149-160.
- [4] Noumen Robert et Tchapgua Flavien (2022). Les systèmes électriques d'Afrique subsaharienne francophone à la fin du 20ème siècle : Organisation importée face à un retard de développement, Institut d'Appui au Développement (IAD).
- [5] P. Dubreuil et al. (1951 – 1969). Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux, Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, 24, rue Bayard, PARIS.8^e-1972.
- [6] Sanyu Consultants Inc. (2001). Plan directeur de gestion intégrée des ressources en eau en République de Côte d'Ivoire, rapport final, Katahira&Engineers International.
- [7] G. GIRARD et al. (1970). Aperçu sur les régimes hydrologiques de Côte d'Ivoire, Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.
- [8] Unité de Formation et Recherche en Sciences de la Terre et des Ressources minières (UFR-STRM), Etude de faisabilité des forages manuels : identification des zones potentiellement favorables,
- [9] Chantraine Jean-Marie (1980). La lagune Aby, morphologie, hydrologie, paramètres physico-chimiques, Centre de Recherches Océanographiques, B.P. V 18 Abidjan (Côte d'Ivoire).
- [10] Déshaies Michel et Kouadio Arsène (2019). Les enjeux du développement des énergies renouvelables pour la production d'électricité en Côte d'Ivoire. Revue espace géographique et société marocaine, n° 26.
- [11] HoussamatouDoudoua Maman Kabirou (2018). Etude de la construction d'une ligne haute tension catégorie a (20 kV) et la conception d'un réseau HTA/BT pour l'alimentation en énergie électrique de la cité Maourey. Mémoire d'Ingénieur en génie électrique et énergétique, 2IE Ouagadougou.
- [12] Plan d'Actions National des Energies Renouvelables (PANER), Côte d'Ivoire Période (2016 – 2020 / 2030).
- [13] Diagnostic du Secteur de l'Energie en Côte d'Ivoire Rapport final de l'étude de collecte des données relatives au secteur de l'énergie électrique (2016).
- [14] Blaise K. Koua (2015). Presentstatus and overview of potential of renewableenergy in Côte d'Ivoire. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 41, pp. 907 – 914.
- [15] B. E. Boya Bi (2020). Etude et Modélisation d'un système hybride (Piles à combustible – panneaux solaires photovoltaïques) pour la couverture totale en énergie électrique d'un site isolé en zone rurale. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique Félix-Houphouët Boigny de Yamoussoukro.
- [16] Séminaire national sur l'énergie / Groupe thématique N°4 : Energie Renouvelable et Maîtrise de l'Energie (2012).
- [17] <https://news.abidjan.net/articles/641302/energie-biomasse-la-cote-d8217ivoire-envisage-de-produire-1-645-mw-par-an>. Consulté le 09 novembre 2025.
- [18] Evaluation rapide et analyse des gaps de la côte d'Ivoire : Energie durable pour tous, Conférence des Nations Unies sur le Développement Durable, Rio de Janeiro, Brésil (Juin 2012).
- [19] Côte d'Ivoire (Mars 2013). Evaluation des besoins en technologies et plans d'action technologiques aux fins d'atténuation de changement climatique.
- [20] BiaouChabi Luc Ogousinya et AkpinfaDossou Edouard (2025). Problématique de l'accès à l'énergie électrique dans les espaces périurbains de la Commune d'Abomey-Calavi : disparité et stratégies d'adaptation, *Afrique SCIENCE* Vol. 26, no. 4, pp. 59 – 71.
- [21] Rapport final d'évaluation de la politique d'électrification rurale du Bénin (novembre 2010).
- [b7] [AI3] BimenyimanaNyoni Janvier (2022). Electrification du territoire de Massi, défi et perspectives d'avenir. Centre d'Etude pour le Développement de la Région des Grands Lacs « CEDRGL, n° 21.
- [8] [AI4] Ba Boubacar (2024). Electrification rurale et développement territorial au Sénégal : regard sur un cheminement complexe autour de la commune de GAE (Région de Saint-Louis). *Revue Internationale Donni (RID)*, Vol. 4, no. 2, pp. 107 – 123.