

République de Djibouti
Unité – Egalité – paix



Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme
Direction de l'Environnement et du Développement Durable

Rapport 1 : Identification et hiérarchisation des technologies

Evaluation des Besoins en Technologies Atténuation

Secteurs

Energie
Transports

Consultant national : Idriss Ahmed Hared

Juin 2020

Supported by





Projet Evaluation des Besoins en Technologies aux changements climatiques

Rapport 1 : Identification et hiérarchisation des technologies d'atténuation des gaz à effet de serre

Le Rapport d'identification et de hiérarchisation des technologies d'atténuation du projet d'Evaluation des Besoins en Technologies est le résultat d'un effort national qui a impliqué différents acteurs. Les travaux qui ont abouti au développement dudit rapport ont été coordonnés et supervisés au niveau national par le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme (MUET) de Djibouti.

Cette publication est un produit du projet "Evaluation des Besoins en Technologies", financé par le Fonds pour l'Environnement Mondial (en anglais Global Environment Facility, GEF) et mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) et le centre UNEP DTU Partnership (UDP) en collaboration avec le centre régional ENDA Energie (Environnement et Développement du Tiers Monde - Energie). Les points de vue et opinions exprimés dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues du UNEP DTU Partnership, UNEP ou ENDA. Nous regrettons toute erreur ou omission que nous pouvons avoir commise de façon involontaire. Cette publication peut être reproduite, en totalité ou en partie, à des fins éducatives ou non lucratives sans autorisation préalable du détenteur de droits d'auteur, à condition que la source soit mentionnée. Cette publication ne peut être vendue ou utilisée pour aucun autre but commercial sans la permission écrite préalable du UNEP DTU Partnership.

Chapitre 1 Table des matières

| | | |
|------------|--|----|
| Chapitre 1 | Introduction..... | 9 |
| 1.1 | A propos du projet EBT | 9 |
| 1.2 | Politiques nationales en matière d'atténuation des émissions de GES et priorités de développement..... | 9 |
| 1.3 | Sélection des secteurs..... | 12 |
| 1.3.1 | Un aperçu des secteurs, de la situation et des tendances GES dans les différents secteurs..... | 13 |
| 1.3.2 | Processus et résultats de la sélection des secteurs..... | 15 |
| Chapitre 2 | Arrangement institutionnel pour l'EBT et l'implication des parties prenantes | 16 |
| 2.1 | Equipe de l'EBT au niveau national et international..... | 16 |
| 2.2 | Processus d'implication des parties prenantes- Évaluation générale..... | 17 |
| 2.3 | Considération des aspects genres dans le processus EBT..... | 18 |
| Chapitre 3 | Priorisation des technologies pour le secteur de l'énergie | 19 |
| 3.1 | Emissions de GES et technologies existantes pour le secteur de l'énergie | 19 |
| 3.2 | Contexte de décision | 19 |
| 3.3 | Un aperçu des options technologiques pour l'atténuation dans le secteur de l'énergie, de leurs potentiels d'atténuation des autres co-bénéfices..... | 23 |
| 3.3.1 | Processus de présélection..... | 29 |
| 3.4 | Critères et processus pour la priorisation des technologies pour le secteur énergie..... | 31 |
| 3.4.1 | Rappel sur la méthodologie de l'analyse multicritère (AMC) | 31 |
| 3.4.2 | Définition des critères et calcul des notations | 31 |
| 3.5 | Résultats de la priorisation des technologies pour le secteur de l'énergie et analyse de sensibilité..... | 38 |
| Chapitre 4 | Priorisation des technologies pour le secteur des transports | 41 |
| 4.1 | Emissions de GES et technologies existantes pour le secteur des transports..... | 41 |
| 4.2 | Contexte de décision | 41 |
| 4.3 | Un aperçu des options technologiques pour l'atténuation dans le secteur de l'énergie, de leurs potentiels d'atténuation des autres co-bénéfices..... | 45 |
| 4.4 | Critères et processus pour la priorisation des technologies pour le secteur des transports | 50 |

| | |
|--|----|
| 4.5 Résultats de la priorisation des technologies pour le secteur des transports | 52 |
| Chapitre 5 Résumé et conclusions | 54 |
| Liste des références | 55 |
| Annex I: Fiches technologique pour les technologies sélectionnées..... | 56 |
| Annexe II: Liste des parties prenantes et leurs contacts | 80 |
| Annexe III : explication de l'échelle de LICKERT | 82 |
| Annexe IV : feuilles de calcul excel | 83 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|-----|
| FIGURE 1: PROJECTION DES EMISSIONS DE GES A L'HORIZON 2030 (REF: CDN DJIBOUTI) | 134 |
| FIGURE 2: STRUCTURE DE L'EQUIPE EBT DE DJIBOUTI | 178 |
| FIGURE 3: PREVISION DE LA POINTE DE CHARGE PAR METHODE ANALYTIQUE (REF RAPPORT SCHEMA DIRECTEUR NATIONAL DE TRANSPORT D'ELECTRICITE A L'HORIZON 2030) | 201 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|------|
| TABLEAU 1: CRITERES DE PRIORISATION SECTEUR ENERGIE | 8 |
| TABLEAU 2: CRITERES DE PRIORISATION SECTEUR TRANSPORTS | 9 |
| TABLEAU 3: SCHEMA DE TRANSFORMATION STRUCTURELLE DU PIB (SOURCE: SCAPE) | 112 |
| TABLEAU 4: OBJECTIFS STRATEGIQUES DU SECTEUR DE L'ENERGIE (SCAPE) | 123 |
| TABLEAU 5: AXES STRATEGIQUES DE LA STRATEGIE NATIONALE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE | 123 |
| TABLEAU 6: EMISSIONS DE CO2 DU SECTEUR DE L'ENERGIE | 20 |
| TABLEAU 7: DESCRIPTION DE L'OFFRE ET DEMANDE | 20 |
| TABLEAU 8: LISTE DES TEXTES JURIDIQUES POUR LES ENERGIES RENOUVELABLES ET L'EFFICACITE ENERGETIQUE | 23 |
| TABLEAU 9: LISTE DES TECHNOLOGIES SECTEUR ENERGIE | 301 |
| TABLEAU 10 : COUT D'INVESTISSEMENT ET COUT O&M DES TECHNOLOGIES SELECTIONNEES [IRENA] | 323 |
| TABLEAU 11: PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES CAPACITES DE PRODUCTION ELECTRIQUE ENTRE 2020 ET 2035 | 334 |
| TABLEAU 12: ECONOMIE D'ENERGIE ENGENDREE PAR LE PROGRAMME D'ISOLATION THERMIQUE DES BATIMENTS | 345 |
| TABLEAU 13: PUISSANCE TOTALE ET PRODUCTION ENERGETIQUE TOTALE SUR LA PERIODE 2020-2035 | 356 |
| TABLEAU 14: EMISSIONS EVITEES | 367 |
| TABLEAU 15: NOTATIONS ABSOLUES DES CRITERES (AVANT NORMALISATION) | 378 |
| TABLEAU 16: NOTATIONS NORMALISEES DES CRITERES | 378 |
| TABLEAU 17: FACTEURS DE PONDERATION UTILISEE POUR L'AMC | 40 |
| TABLEAU 18: SOMME DES NOTES PONDEREES POUR LES CINQ TECHNOLOGIES (SECTEUR ENERGIE) | 41 |
| TABLEAU 19: RESULTATS DE L'AMC POUR LE SECTEUR DE L'ENERGIE | 3941 |
| TABLEAU 20: EMISSIONS DE GES SECTEUR DES TRANSPORTS | 413 |
| TABLEAU 21: IMMATRICULATIONS DE NOUVEAUX VEHICULES A DJIBOUTI DEPUIS 2007 | 413 |
| TABLEAU 22: TECHNOLOGIES PRESELECTIONNEES POUR L'AMC (SECTEUR DES TRANSPORTS) | 502 |
| TABLEAU 23: NOTATIONS ABSOLUES DES CRITERES (SECTEUR DES TRANSPORTS) | 524 |
| TABLEAU 24: NOTATIONS NORMALISEES DES CRITERES (SECTEUR DES TRANSPORTS) | 524 |
| TABLEAU 25: NOTATIONS ET FACTEURS DE PONDERATION SECTEUR DES TRANSPORTS | 524 |
| TABLEAU 26: SOMME DES NOTES PONDEREES DES TECHNOLOGIES DU SECTEUR TRANSPORT | 535 |
| TABLEAU 27: CLASSEMENT DES TECHNOLOGIES DE TRANSPORT | 535 |
| TABLEAU 28: NOTATION SELON ECHELLE DE LIKERT | 824 |

Résumé exécutif

La République de Djibouti s'est engagée dans un processus d'évaluation des besoins en technologies en matière d'adaptation et d'atténuation. L'identification des technologies pertinentes et prioritaires est une étape clé pour atteindre les objectifs de réduction de vulnérabilité et de réduction des émissions que Djibouti s'est fixé dans le cadre de sa Contribution Déterminée au niveau National. En effet, Djibouti a ratifié l'Accord de Paris sur le climat en octobre 2016 et les engagements pris par Djibouti nécessitent forcément un transfert de technologies en matière d'adaptation et d'atténuation. Le processus EBT donne une méthodologie et un ensemble d'outils pour identifier et prioriser les options d'adaptation et d'atténuation.

Djibouti a reçu un financement du Fonds pour l'Environnement Mondial afin d'identifier et de prioriser les technologies prioritaires en matière d'adaptation et d'atténuation. Le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme (MUET) qui exécute et coordonne le processus EBT à Djibouti a signé un accord d'assistance technique avec le centre technique de l'Université du Danemark (UNEP-DTU Partnership) associé avec un appui technique de ENDA-Energie afin de conduire le processus EBT au niveau national. Une mission d'information des décideurs politiques a été dépêchée par ENDA-Energie en 2019. Ainsi le MUET et ENDA-Energie ont réalisé un tour des institutions clés pour le processus EBT et discuté des secteurs potentiels entre autres. Par la suite, deux consultants nationaux ont été sélectionnés pour piloter le processus EBT.

Afin que le processus soit conduit de façon participative et dans les règles de l'art, une équipe nationale EBT a été mise en place. Ladite équipe est composée d'un coordonnateur national de l'EBT, d'une assistante au coordonnateur ainsi que le comité national directeur sur les changements climatiques. Les personnes ressources provenaient des institutions clés comme les ministères, d'agences gouvernementales, des universités ou encore de la chambre de commerce de Djibouti.

En matière d'atténuation deux secteurs clés ont été identifiés pour la priorisation des technologies qui permettront au pays de tenir ses engagements vis-à-vis de l'Accord de Paris. Il s'agit des secteurs énergie et transport qui sont les deux secteurs les plus émetteurs historiquement à Djibouti, toutes proportions gardées. L'analyse du contexte de décision jette les projecteurs sur les défis clés auxquels font face les deux secteurs. Le processus EBT doit donc s'assurer que les technologies prioritaires sélectionnées répondent à ces défis de développement tout en permettant la réduction des émissions de gaz à effet serre.

Secteur de l'Energie

Dans le secteur de l'énergie, le pays fait face à des défis importants portant sur la sécurité de l'approvisionnement énergétique, un faible taux d'accès à l'énergie dans le secteur rural ainsi qu'une intensité énergétique élevée pour les ménages urbains.

Le secteur de la production électrique a connu une transformation majeure en 2011 avec l'arrivée de l'importation d'électricité produite par les barrages hydroélectriques d'Ethiopie. Cette diversification de l'offre énergétique a permis des réductions substantielles des émissions issues du secteur électrique. Un groupe d'experts techniques avec des personnes ressources très qualifiés a été mis en place afin d'identifier et de prioriser les technologies prioritaires à même de répondre aux défis de développement du secteur tout en permettant des réductions substantielles des émissions de CO₂. Une liste de quinze technologies ont été identifiés dans un premier temps sur la base des informations collectés auprès de personnes ressources au niveau local ainsi qu'en se basant sur la littérature spécifique au processus EBT.

Sur la base d'une analyse poussée, cinq (05) technologies ont été présélectionnées pour être soumises à l'analyse multicritère. Un groupe de cinq (05) critères a été défini pour caractériser les technologies. Trois de ces critères sont décrits par des indicateurs quantitatifs dont on peut calculer les valeurs avec les données disponibles et deux sont qualitatifs. Pour les indicateurs qualitatifs, les notations ont été attribuées par consensus entre les experts. Les notations obtenues sont ensuite normalisées en utilisant

une méthode de normalisation qui réduit les notations à des valeurs comprises entre 0 et 100. Ensuite les experts du groupe de travail ont affecté des poids aux différents critères afin d'évaluer l'importance d'un critère sur les résultats de la priorisation. Les notations normalisées et pondérées par les poids des critères sont additionnées pour chaque technologie et les technologies sont classées de façon hiérarchique. Les poids des critères sont variés afin d'analyser la sensibilité des résultats par rapport aux poids des critères.

| Critère | Indicateurs de calcul ou d'estimation |
|---|---|
| Coût | Coût combiné prenant en compte les coûts suivants : <ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement en USD/KW - Coût d'opération et de maintenance |
| Facilité d'adoption de la technologie | - Echelle de mesure de Likert (classement du plus facile au plus difficile) |
| Potentiel de sécurisation de l'approvisionnement énergétique | - Production énergétique sur 15 ans de la technologie |
| Potentiel d'impact environnemental et climatique | - Emissions évitées de CO2 sur une période de 15 ans |
| Potentiel d'impact social | - Taux d'accès à l'énergie (critère apprécié de façon qualitative dans les exercices) |

Tableau 1: critères de priorisation secteur énergie

Les résultats de l'exercice de priorisation pour le secteur de l'énergie ont donné la hiérarchisation suivante :

Technologie prioritaire 1 : Géothermie binaire

Technologie prioritaire 2 : Solaire PV pour l'autoconsommation de l'énergie

Technologie 3 : Mini-réseaux solaires pour l'électrification rurale

Les trois technologies sélectionnées feront l'objet lors de la prochaine étape du processus EBT, d'une analyse multicritère. Les autres options qui n'ont pas été sélectionnées par l'analyse multicritère sont l'énergie éolienne et l'isolation thermique des bâtiments. Bien que ces deux options n'arrivent pas parmi les trois premières options, l'énergie éolienne mobilise quand même des investissements visant à développer un parc éolien au Ghoubbet. Par ailleurs, l'isolation thermique des bâtiments aurait le mérite de réduire l'intensité énergétique du secteur résidentiel et tertiaire. Bien que n'ayant pas été sélectionnées par l'analyse multicritère, ces deux options mériteraient amplement la considération des planificateurs pour faire l'objet d'un plan de mise en œuvre de projets concrets dans ces deux domaines. Ce qui est d'ailleurs le cas pour l'énergie éolienne.

Secteur des Transports

Le secteur des transports à Djibouti fait face à des défis de développement importants et en particulier le transport urbain et interurbain des personnes, sous-secteur le plus émetteur du secteur transport. Les défis les plus importants sont :

- Une augmentation considérable du nombre de voitures particulières avec une proportion importante qui sont des voitures d'occasion qui émettent plus des gaz à effet de serre que des voitures neuves et qui émettent des particules fines également ;
- L'ensemble du parc de véhicules qui assurent le transport public appartiennent à des particuliers ou des sociétés privées.
- Un plan de déplacement urbain qui n'a pas été actualisé depuis 2006 tandis que l'urbanisation de la ville s'accélère et que des nouvelles zones urbaines sont apparues.

- L'augmentation du nombre de véhicules entraîne une augmentation de la congestion des voies urbaines d'année en année.

Dans le cadre du processus EBT, un groupe d'experts technique a été mis en place afin d'identifier et de prioriser les technologies pertinentes pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports. Une liste de onze technologies a été préparée sur la base des discussions avec les acteurs clés du secteur et les experts universitaires. Le groupe de travail a sélectionné une liste de quatre technologies qui ont été soumises à l'analyse multicritère afin de ranger les technologies par ordre de priorité. A cet effet, une série de six (06) critères ont été définis ainsi que les indicateurs pour ces critères. Les notations pour les critères ont été établies par consensus entre les différents experts. Les notations ont été ensuite normalisées puis des poids ont été affectés à chaque critère par consensus entre les experts. Les notations pondérées par les poids des critères sont additionnées pour chaque technologie et les technologies sont classées de façon hiérarchique. Les poids des critères sont variés afin d'analyser la sensibilité des résultats par rapport aux poids des critères.

| Critère | Indicateurs de calcul ou d'estimation |
|---|---|
| Coût | - Coût d'investissement en USD/KW - Coût d'opération et de maintenance |
| Facilité d'adoption de la technologie | - Échelle de mesure de Likert (classement du plus facile au plus difficile) |
| Potentiel de fluidification de la circulation | - Nombre ou volume de passagers transportés annuellement |
| Potentiel d'impact environnemental et climatique | - Émissions évitées de CO2 sur une période de 15 ans - Emission de PM2.5 évitées |
| Potentiel d'impact social négatif | - Risque de déplacement (risque d'empiètement des nouvelles voies sur l'habitat ou le commerce) |
| Potentiel économique | - Création d'emploi |

Tableau 2: critères de priorisation secteur transports

Les résultats de la priorisation dans le secteur des transports donnent le classement suivant :

Technologie prioritaire 1 : BRT

Technologie prioritaire 2 : tramway

Technologie prioritaire 3 : transport maritime côtier par ferry rapide

La deuxième phase du processus EBT est portée sur l'analyse des barrières et la proposition d'un cadre propice ainsi que les solutions pour mettre en œuvre ces technologies prioritaires.

Chapitre 1 Introduction

1.1 A propos du projet EBT

Le projet d'évaluations des besoins en technologies (EBT) a démarré à Djibouti en 2019 avec une mission d'ENDA Energie, partenaire technique du projet. Au niveau de Djibouti, le processus de l'EBT est piloté par le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme en collaboration avec le comité national sur les changements climatiques. Lors de la mission d'exploration, le MUET et ENDA-Energie ont fait une tournée des acteurs clés au niveau national afin de les informer du lancement ultérieur du projet EBT à Djibouti. Les acteurs visités incluent notamment le Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles, le Ministère du Transport et de l'Equipeement, le Ministère de l'Agriculture, ainsi que le Parlement. Une réunion d'information sur le processus EBT a été organisée en Janvier 2019 avec les parties prenantes. La réunion a été l'occasion de présenter le processus EBT et de sélectionner les secteurs. .

Le processus de préparation de l'EBT est actuellement à la fin de la phase 1 c'est-à-dire la phase d'identification et de priorisation des technologies. L'identification des technologies prioritaires pour le secteur énergie et transport est réalisée et le processus d'identification et de priorisation a été inclusif et participatif.

1.2 Politiques nationales en matière d'atténuation des émissions de GES et priorités de développement

La République de Djibouti est un pays parmi les pays les moins avancés, situé sur la Corne de l'Afrique à la jonction de la mer rouge et du Golfe d'Aden. Le pays compte un peu plus d'Un (01) Million d'habitants en 2020 dont une très grande majorité est concentrée dans les milieux urbains. Le climat du pays est de type désertique avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 150 à 300 mm par année. Les populations rurales du pays comptent pour environ un tiers de la population totale du pays et vivent de l'élevage intensif des petits ruminants et des camélidés et plus rarement des bovins. La pratique de l'agriculture est marginale dans le pays et se pratique essentiellement sur les berges des oueds dans les bas-fonds des vallées. L'agriculture ne contribue qu'à environ 4% du PIB du pays. Le pays est très vulnérable aux effets du changement climatique tels que les sécheresses récurrentes, les inondations et les vagues de chaleur. Selon les évaluations post-catastrophes réalisées à la suite de la sécheresse en 2011, les pertes et dommages causées à l'économie nationale ont été évaluées à près de 127 millions de dollars US.

L'économie de Djibouti repose historiquement sur le secteur tertiaire et notamment le secteur des services. Les contributions des secteurs primaire et industriel à l'économie nationale ont toujours été faibles comparés au secteur tertiaire bien que le secteur manufacturier commence lentement à se développer et en particulier le secteur de l'agro-industrie et le secteur des produits de construction.

La chaîne de transport organisée autour des activités portuaires a toujours été le moteur de l'économie nationale. Le Port International de Djibouti qui a été mis en place depuis des décennies a toujours entraîné une activité économique comme le commerce et le transport des marchandises entre l'Ethiopie et le reste du Monde.

Depuis une dizaine d'années, Djibouti déploie des efforts considérables pour assoir son rôle de hub régional. Les investissements dans le secteur de la chaîne logistique ont augmenté de façon exponentielle et le pays a construit en l'espace de 20 années cinq nouveaux ports, à savoir :

- Le Doraleh Container Terminal (DCT) qui est un port de conteneurs
- Le Horizon Terminal qui est un port pétrolier.
- le Multipurpose Port de Doraleh qui a vocation à remplacer le Port historique de Djibouti et qui est port de conteneurs et un port vraquier
- Le port de Tadjourah qui a vocation à desservir la partie Nord de l'Ethiopie et notamment l'exportation de la potasse.
- Le Port minier du Ghoubbet qui est destiné à l'évacuation des produits issus de l'exploitation minière dans la zone du Lac Assal et Ghoubbet

Par ailleurs, le pays a commencé le développement d'un site technologique gazier à Damerjog avec la construction d'un pipeline gazier entre l'Ethiopie et Djibouti ainsi qu'une usine de liquéfaction du gaz et un port méthanier. Il s'agit d'un site industriel majeur qui aura un impact significatif sur l'économie du pays et éventuellement le paysage énergétique. Il est escompté que l'utilisation du gaz naturel va augmenter dans le pays à la suite de l'installation de ce site industriel. En parallèle de ces infrastructures portuaires, le pays a développé également les infrastructures routières et ferroviaires. Une voie ferrée longue de 750 km reliant Djibouti à Addis Abeba vient d'être finalisée et est opérationnelle depuis 2018. Cette ligne ferroviaire permet le transport de conteneurs vers l'Ethiopie ainsi que le transport de passagers.

D'autre part, la route Tadjourah-Balho destinée autant à développer les régions Nord du pays que faciliter le transport de marchandises vers la partie Nord de l'Ethiopie a été finalisée et inaugurée en 2019.

Avec cette chaîne de transport multimodale et dotée d'infrastructures technologiques de pointe, Djibouti a pour ambition de devenir la porte d'entrée d'une bonne partie des pays enclavés d'Afrique pour les marchandises qui viennent des pays étrangers ainsi qu'une porte de sortie pour les exportations de pays comme l'Ethiopie, le Sud-Soudan et plus tard le Centrafrique, le Rwanda, une partie du Congo.

Par ailleurs, en parallèle avec le développement du secteur des transports, le pays ambitionne de diversifier son économie et ne pas limiter uniquement au seul secteur de la logistique. Plusieurs secteurs porteurs pour la création d'emploi et la diversification de l'économie nationale ont été identifiés dans le cadre de plusieurs études et réflexions conduites entre 2014 et 2016.

La Vision Djibouti 2035 définit les ambitions de développement de Djibouti à l'horizon 2035. La Vision repose sur un ensemble de cinq piliers qui sont :

1. Paix et Unité Nationale
2. Bonne Gouvernance
3. Economie diversifiée et compétitive, avec comme moteur le secteur privé
4. Consolidation du capital humain
5. L'intégration régionale

L'objectif de la Vision Djibouti 2035 à l'horizon 2035 est le triplement du revenu par habitant en réalisant une croissance annuelle de l'ordre de 7 à 10% du PIB réel avec un schéma de croissance qui doit créer plus de 200 000 (deux cent mille) emplois sur la période 2013-2035. Les perspectives de croissance sur la période 2013-2035 reposent sur un nouveau modèle de croissance qui a pour moteur la diversification de l'économie nationale en développant les secteurs suivants :

- La télécommunication et les technologies de l'information : le pays a pour ambition de mettre en valeur sa position unique et stratégique de nœud de passage pour les câbles de télécommunication maritime.
- Le tourisme : le pays accueille très peu de touristes comparés à son potentiel touristique.
- La pêche : malgré un potentiel halieutique estimé à 47,000 tonnes annuelles, le pays ne produit qu'un maigre 3,600 tonne et dispose donc d'une marge de progression considérable
- La finance
- Le secteur manufacturier

Le schéma de transformation défini par la Vision Djibouti 2035 pour atteindre l'objectif du triplement du revenu par habitant est montré dans la figure suivante :

| Sur cette base, le schéma de croissance conduira à la transformation structurelle suivante du PIB: | | | |
|--|------------|------------|------------|
| Les secteurs | % PIB | | |
| | 2012 | 2022 | 2035 |
| Agriculture | 3,7 | 4,1 | 5 |
| Industrie Manufacturière | 2,7 | 5,8 | 7 |
| Bâtiments et travaux publics | 14,4 | 15 | 16 |
| Commerce et tourisme | 16,8 | 18,3 | 20 |
| Banques et assurance | 13,7 | 13,8 | 14 |
| Transport télécommunications | 27,6 | 26 | 24 |
| Autres services | 2 | 2 | 2 |
| Administration publique | 19,1 | 15 | 12 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Tableau 3: schéma de transformation structurelle du PIB (source: SCAPE)

Les investissements dans le secteur de l'énergie sont jugés essentiels par la Vision Djibouti 2035 aux fins de la transformation structurelle du PIB de Djibouti. En particulier les énergies renouvelables sont hissées au rang de priorité nationale et le pays ambitionne d'avoir un mix énergétique de 100% pour soutenir son développement économique. Pour opérationnaliser la Vision Djibouti 2035, le gouvernement de Djibouti a prévu le développement et l'exécution de plans quinquennaux dont le premier appelé SCAPE a pris fin en décembre 2019. Ce plan exécuté sur la période 2015-2019 a donné une importance capitale à l'énergie qu'elle a considéré comme un secteur porteur de croissance.

| Objectif stratégie (OS) : | Actions planifiées |
|--|---|
| OS1 : développement de l'efficacité et de la transparence du secteur | <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'une cellule de régulation du secteur de l'électricité - Finalisation du code de l'électricité - Finalisation de la Loi cadre sur l'électricité - Renforcement du cadre de la planification sectorielle |
| OS2 : Optimisation de l'utilisation de l'énergie traditionnelle et renforcement des infrastructures de transport de l'énergie | <ul style="list-style-type: none"> - Elargir l'accès à l'électricité dans les quartiers populaires - Réaliser les investissements de la centrale thermique de Jaban-as (78 MW) - Réaliser la deuxième ligne d'interconnexion électrique avec l'Ethiopie - Construction pipelines d'exportation gaz naturel d'Ethiopie et terminal méthanier |
| OS3 : développement des énergies renouvelables | <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser 30 MW de solaire PV dans le Grand Bara - Réaliser une centrale géothermique de 50 MW au Lac Assal - Réaliser une ferme éolienne au Ghoubbet |
| OS4 : promotion de l'efficacité énergétique | <ul style="list-style-type: none"> - Développement et adoption d'un Loi Cadre pour la maîtrise de l'énergie et lan d'action pour l'ADME |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Etudes sur la demande d'énergie et réalisation d'un système d'information énergétique - Sensibilisation et information sur l'efficacité énergétique |
| OS5 : développement de l'électrification rurale | <ul style="list-style-type: none"> - Définition d'un cadre de subventions spécifiques - Electrification de villages par énergie solaire |

Tableau 4: objectifs stratégiques du secteur de l'énergie (SCAPE)

En matière de changement climatique, le gouvernement de Djibouti dispose d'une Stratégie Nationale sur le Changement Climatique définie en 2018. La SNCC comprend deux volets dont un sur l'adaptation et l'autre sur l'atténuation. Plusieurs axes stratégiques ont été définis pour l'atténuation comme suit :

| Axes stratégiques : | Actions préconisées |
|---|--|
| AX1 : Accélérer la transition vers les énergies propres pour tous | <ul style="list-style-type: none"> - Surmonter les barrières à l'intégration des énergies renouvelables dans le système énergétique national mais aussi au niveau des producteurs individuels |
| AX2 : Réduire la consommation énergétique par plus d'efficacité et une consommation responsable | <ul style="list-style-type: none"> - Promotion d'actions pour la consommation responsable de l'énergie - |
| AX3 : Engager la transition vers des villes durables avec mobilité, gestion des déchets et une empreinte carbone réduite | <ul style="list-style-type: none"> - Le développement urbain durable - Les bâtiments et l'habitat en milieu urbain comme rural - La mobilité des personnes et des biens - La gestion des déchets, le recyclage et l'économie circulaire - Mise en place d'un modèle de smart city |
| AX4 : Réduire les émissions de polluants à courte durée de vie et améliorer les conditions de vie et de santé | <ul style="list-style-type: none"> - Transfert de technologies vers des installations et des moyens de transport moins polluants |
| AX5 : Promouvoir les bonnes pratiques en matière d'agriculture et de foresterie | <ul style="list-style-type: none"> - Sanctuariser les forêts et espaces protégées - Promouvoir une utilisation rationnelle des ressources forestières |

Tableau 5: axes stratégiques de la Stratégie nationale sur le changement climatique

La SNCC a ainsi tracé les lignes directrices pour un développement sobre en carbone et résilient au climat. Les priorités définies dans la SNCC vont donc orienter le travail d'identification et de priorisation des technologies prioritaires pour le secteur de l'énergie.

1.3 Sélection des secteurs

Le choix des secteurs a été fait à travers une large consultation avec les parties prenantes au processus et en tenant compte des secteurs les plus émetteurs en gaz à effet de serre. Ce choix a été guidé par la documentation nationale et a été validé lors de la réunion d'information organisé en Janvier 2019. Les deux secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre sont le secteur de la production énergétique et le secteur des transports en République de Djibouti selon le rapport d'inventaire des GES.

1.3.1 Un aperçu des secteurs, de la situation et des tendances GES dans les différents secteurs

Les ambitions climatiques de Djibouti sont consignées et décrites dans plusieurs documents stratégiques de portées nationale et internationale dont les principaux sont la stratégie nationale sur le changement climatique et la CDN (Contribution Déterminée au niveau National). La CDN contient les engagements de Djibouti vis-à-vis de la communauté internationale tant en ce qui concerne les réductions des émissions de gaz à effet de serre que les efforts en matière d'adaptation afin de préparer au mieux le pays face aux chocs climatiques actuels et futurs.

Engagements de Djibouti en matière de réduction des GES

Les engagements de Djibouti portent sur un horizon de temps de 15 années à partir de l'année 2015. En effet, la réduction des émissions de GES implique des efforts significatifs dans des secteurs comme la production énergétique, les transports, la reforestation ou encore les traitements des déchets. Cela implique la mise en place de projets et programmes dont l'exécution peut s'étaler sur plusieurs années en raison des longs délais nécessaires pour leur mise en place à ces secteurs. Par exemple, le développement de projets géothermiques qui est une très bonne option de réduction des GES, nécessite de nombreuses phases dont chacune peut prendre plusieurs années. En effet, les études de surface et l'exploration géothermique peuvent nécessiter entre 2 et 5 années tandis que le développement des centrales et des lignes de transport peut nécessiter encore cinq années. Il est de même pour le développement de l'énergie éolienne dont l'évaluation du potentiel éolien nécessite la mise en place de campagnes de mesure avec des longues durées.

Djibouti a proposé dans sa CDN, deux scénarios de réduction des émissions de GES, à savoir un **scénario dit inconditionnel** et un **scénario dit conditionnel**. Chacun des deux scénarios est jugé par rapport à un scénario dit **scénario de référence** ou **scénario BAU (business as usual)** qui consiste à continuer un développement basé principalement sur les énergies fossiles. Le scénario inconditionnel est un scénario ambitieux dans lequel le pays va mettre en place avec ses propres moyens financiers, des projets d'énergie propres qui permettront de réduire ses émissions de GES à l'horizon 2030 par rapport au scénario BAU.

Les différents scénarios proposés sont décrits dans le graphique suivant, tiré de la CDN.

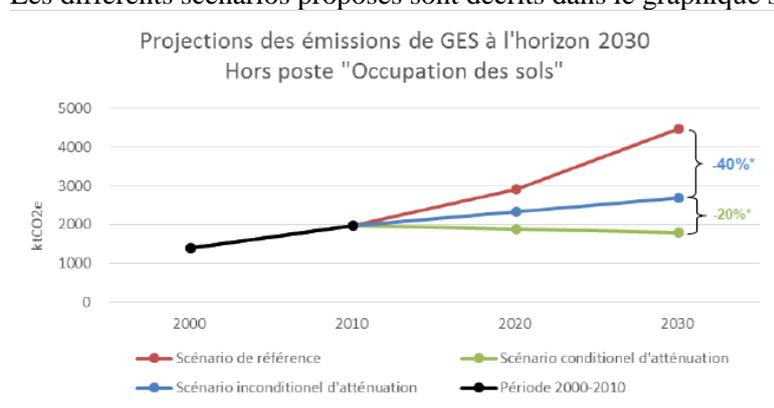


Figure 1 : Sans mesure d'atténuation, le niveau d'émission de GES doublera d'ici 2030.
* Par rapport aux émissions du scénario de référence.

Figure 1: projection des émissions de GES à l'horizon 2030 (Ref: CDN Djibouti)

Le scénario de référence

Dans le scénario de référence, il est supposé que les émissions de GES vont croître de façon linéaire et systématique en fonction de l'accroissement naturel de la population et du PIB en l'absence de mesure d'atténuation de ces émissions. Cela s'explique par le fait que la population de Djibouti grandit de 3% chaque année et que le PIB du pays s'accroît en moyenne de 6% chaque année. La population qui grandit et surtout en milieu urbain aura donc besoin de plus d'énergie pour les besoins en éclairage, en froid ou plus de carburant pour se déplacer. Par ailleurs, la croissance économique de 6% signifie de plus grands besoins énergétiques pour l'industrie ou pour le tertiaire. C'est le cas notamment de Djibouti

qui mise beaucoup sur le développement du secteur tertiaire et en particulier les zones franches et l'hôtellerie pour tirer sa croissance vers le haut. Par ailleurs le secteur industriel naissant du pays demande d'importantes quantités d'énergie sous forme électrique ou thermique. En particulier les industries de transformation comme les cimenteries ou les aciéries seront particulièrement gourmandes en énergie une fois que les processus de fabrication sont pleinement fonctionnels. En effet, il s'agit pour le moment d'industries de semi-transformation et les demandes en énergie restent pour l'instant raisonnables.

Et si aucune politique de réduction des GES n'est mise en place (scenario de référence), les émissions vont donc augmenter considérablement (toute proportion étant gardée à l'échelle nationale bien sûr). Dès lors, le scénario de référence de Djibouti prévoit des émissions totales de l'ordre de 4475 ktonne de CO₂ équivalent à l'horizon de temps 2030 comparé à des émissions totales de 1200 kTonne de CO₂ équivalent en l'an 2000. Ces émissions ont été calculées à partir de modèles linéaires simples. Lors des prochaines revues de la CDN, il sera intéressant de modéliser de façon plus détaillée ces émissions. Bien sûr, ces émissions calculées pour Djibouti à l'horizon 2030 sont totalement insignifiantes si on les compare aux émissions des grands pays émetteurs. Il est important pour les planificateurs du pays de retenir ces proportions afin de ne pas rater des opportunités de développement. Malgré ces émissions qui restent tout à fait modestes, le pays a quand même décidé de contribuer aux efforts internationaux de réduction des émissions des gaz à effet de serre. Les efforts de Djibouti sont matérialisés par les deux scénarios précédemment discutés.

Scénario inconditionnel

Le scénario inconditionnel résulte des projets qui étaient finalisés ou en cours de développement en 2015 et qui avaient un potentiel de réduction des GES avérées. Le terme inconditionnel désigne le fait que Djibouti a déjà entrepris ces projets ou bien que ces projets sont en programmation. Il s'agit donc de projets dont les financements sont plus ou moins acquis. Il s'agissait de certains projets dans les secteurs de l'énergie, des transports et du logement avec des forts potentiels de réduction de GES et également une viabilité économique démontré et pour lesquels le pays avait déjà investi ou avait l'intention d'investir. Par exemple, dans le secteur de la production électrique, le pays avait déjà finalisé dès 2011, la construction d'une ligne d'interconnexion électrique avec l'Ethiopie. Cette ligne permet depuis son service d'éviter plus de 50% des émissions de GES dans le secteur de la production d'électricité. Les réductions de GES dans le cadre du scénario inconditionnel sont de l'ordre de 40% par rapport au scenario de référence à l'horizon 2030 et se situeront à un niveau de **2685 kTonne CO₂ équivalent**.

Scénario conditionnel

Dans le scenario conditionnel, Djibouti sollicite l'appui de la communauté internationale pour le financement de projets et programmes qui permettront de réduire davantage ses émissions de GES à l'horizon 2030. Le scenario conditionnel permettra de réduire de 60% les émissions de GES par rapport au scenario de référence avec des émissions de l'ordre de 1882 ktCO₂e. Ce scenario conditionnel intégré dans la CDN démontre une politique très volontariste de Djibouti et un niveau d'ambition qui reste très élevé.

Dans les deux scenarii les technologies privilégiées par le gouvernement sont comme suit pour le secteur énergie:

- Interconnexion électrique avec l'Ethiopie pour l'importation d'électricité d'origine hydroélectrique
- Eolienne onshore
- Centrales solaires de grande puissance
- Centrales géothermiques
- Réhabilitation thermique des bâtiments
- Lampes basse consommation (LBC)
- Systèmes de cuisson au GPL pour réduire l'utilisation de bois
- Centrale marémotrice
- Centrale électrique à cogénération utilisant les déchets municipaux
- Réfrigérateurs et climatiseurs performants en efficacité énergétique

Pour le secteur des transports, les technologies ciblées par la CDN sont :

- Ligne ferroviaire électrique entre Djibouti et l’Ethiopie
- Développement des deux roues motorisées
- Restriction des imports de voitures anciennes

1.3.2 Processus et résultats de la sélection des secteurs

La sélection des secteurs d’atténuation prioritaires pour l’EBT se fait à travers des processus de décision qui se basent sur les priorités identifiées par Djibouti dans sa stratégie nationale sur le changement climatique et dans le CDN. Le processus de sélection des secteurs prioritaires a été réalisé par le MUET en concertation avec les parties prenantes lors de la mission d’information et de présentation de l’EBT en 2019. Le secteur de l’énergie et celui des transports ont été sélectionnés. Le secteur de l’énergie et le secteur des transports sont les deux secteurs qui émettent le plus de gaz à effet de serre selon la communication Nationale Initiale et la Seconde Communication de Djibouti qui avaient respectivement pour année de références 1994 et 2000. La Troisième Communication dont les résultats de l’inventaire sont disponibles montrant également que les deux secteurs restent toujours les plus émetteurs. L’année de référence de l’inventaire des GES pour la Troisième Communication était 2010.

Chapitre 2 Arrangement institutionnel pour l'EBT et l'implication des parties prenantes

Le processus EBT comme tous les autres processus de changement climatique est coordonné par le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme en sa qualité d'institution point focal pour le changement climatique. La coordination du processus est en particulier logée au sein de la Direction de l'Environnement et du Développement Durable. Dans ce qui suit, nous décrivons l'ensemble des acteurs qui interviennent dans le processus EBT à Djibouti.

2.1 Equipe de l'EBT au niveau national et international

Le processus EBT fait intervenir plusieurs catégories de participants qui sont décrits dans la suite.

Point focal de la CCNUCC

Le Point focal opérationnel de la CCNUCC chapeaute le processus EBT de manière globale au niveau national. En tant que président du comité national sur le changement climatique, c'est lui qui convoque les réunions de validation des rapports d'étape du processus EBT.

Comité Directeur National sur les Changement Climatique

A Djibouti, le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme est le point focal de la politique de lutte contre les changements climatiques. Ainsi, les différents programmes de lutte contre les changements climatiques doivent se dérouler dans un cadre de coordination adéquat dont le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme est le chef d'orchestre.

Compte tenu de la transversalité de la question climatique, un Comité Directeur National sur les Changements Climatiques (CDNCC) regroupant différentes parties prenantes a été mis en place en 1999.

En 2018, en raison de l'évolution du contexte national et international en matière de lutte contre les changements, le Ministère en charge de l'environnement a initié un programme de réactivation et de redynamisation dudit comité. Cet organe se propose d'être une plateforme d'échange et de partage d'informations et des discussions de toutes les actions climatiques. A l'heure actuelle, ce comité a été réactivé avec un programme et calendrier conséquents. Ainsi, des activités de renforcement des capacités sur les changements climatiques et sur le financement climatique ont été déjà dispensées aux membres dudit comité. Depuis sa réactivation en 2018, le CDNCC a été impliqué dans un certain nombre de processus climatiques ou environnementaux au niveau national comme par exemple le processus de préparation de Djibouti avec le Fonds Vert pour le Climat. Le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme a décidé de mettre le processus national EBT sous la supervision du CDNCC. Le rôle principal du CDNCC dans le processus EBT est la validation des rapports d'étapes. C'est ainsi que les listes technologiques et les résultats de l'AMC ont été soumis à la validation du CDNCC.

Le Comité National Directeur sur les Changement Climatique (CDNCC) qui joue le rôle du comité national EBT a ensuite été consulté lors d'un atelier national sur l'identification et la priorisation des technologies.

Coordonnateur national du projet EBT

La coordination technique est assurée par le sous-directeur de l'environnement et du développement durable qui bénéficie également d'une assistance au projet. Le rôle du coordonnateur est d'assurer l'exécution pleine des activités du projet et également de faciliter la mise en œuvre du projet. Il assure la tenue des réunions du comité national EBT et est chargé également de l'assurance qualité du projet.

Groupes sectoriels

Dans le cas de l'atténuation, deux groupes sectoriels ont été mis en place dont un groupe sectoriel sur l'énergie et un autre sur les transports. Chacun des groupes était composé de plusieurs personnes (au moins 5 personnes par groupe) issues de différents départements ministériels ou du secteur universitaire.

Les participants des groupes sectoriels sont des experts de leurs domaines ou occupent des postes de responsabilité dans les administrations. Le rôle des groupes sectoriels est d'identifier les technologies prioritaires et de conduire l'analyse multicritère avec l'appui du consultant.

Consultants

Les consultants sectoriels ont été recrutés par ENDA et le Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et de l'Urbanisme. Le rôle des consultants est essentiellement la facilitation du processus EBT en mettant à la disposition de l'équipe EBT leurs expertises techniques initiales ainsi que les connaissances acquises lors des ateliers régionaux sur les outils et processus EBT organisés par ENDA et UNEP-DTU.

ENDA ENERGIE & UNEP-DTU

ENDA et UNEP-DTU sont deux partenaires techniques du projet. A ce titre, ces deux partenaires organisent des formations techniques pour les consultants et les coordonnateurs de l'EBT dans le cadre d'ateliers régionaux. Ainsi les deux consultants nationaux ont reçu des formations qui ont trait à l'identification et la priorisation des technologies et l'analyse multicritère à utiliser pour la phase 1 de l'EBT. Par ailleurs, ces deux partenaires techniques s'assurent que le processus de l'EBT ainsi que les différents livrables respectent un niveau satisfaisant de qualité. Enfin UNDEP-DTU a également un rôle financier en s'assurant que les ressources financières allouées par le GEF atteignent les processus et les bénéficiaires identifiés dans le document de projet. Le schéma qui suit décrit les interactions entre les différents acteurs du processus.

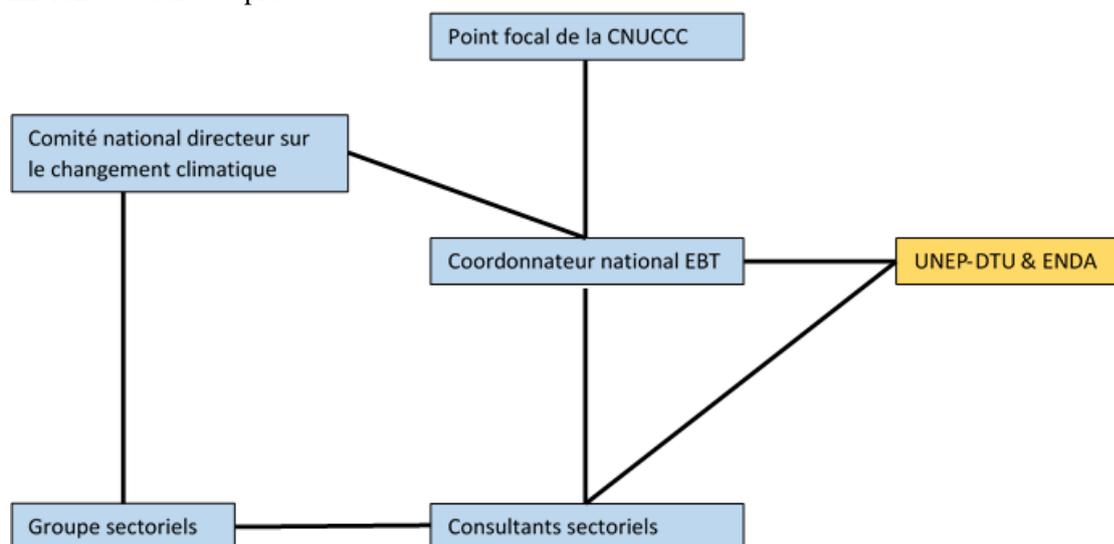


Figure 2: structure de l'équipe EBT de Djibouti

2.2 Processus d'implication des parties prenantes- Évaluation générale

Les parties prenantes au processus de l'EBT sont comme décrits plus haut des ministères, des agences parapubliques, des comités intersectoriels ou encore des ONG. Les parties prenantes ont été impliquées dès le départ du processus. En effet en 2019, le MUET, ministère responsable de la coordination du changement climatique au niveau national et ENDA-ENERGIE ont initié une mission de lancement du processus. Lors de la mission d'information, les membres de la mission ont eu des entretiens de haut niveau avec des parties prenantes clés et un atelier d'information sur l'EBT a également été organisé.

A la suite de la prise de fonction du consultant en atténuation, les parties prenantes au processus ont été engagées à travers des courriers officiels de la Direction de l'Environnement et du Développement Durable ainsi que des entretiens individuels pour la mise en place des groupes de travail sectoriels. Au préalable, le consultant a préparé et soumis au coordonnateur national, une liste d'institutions et d'experts jugés essentiels pour participer à l'étape 1 du processus EBT. Les institutions sollicitées ont pour la plupart, désigné formellement des points focaux de leurs départements pour participer au processus.

2.3 Considération des aspects genres dans le processus EBT

La question du genre a été prise en compte à différents niveaux du processus de l'EBT. Lors de l'étape de l'identification et priorisation des options dans le secteur du transport, les besoins des groupes de personnes comme les enfants ou les personnes âgées et les femmes ont été considérés. Le groupe des enfants est inclus dans l'analyse genre car un grand nombre d'élèves habitent loin de leur école et la disponibilité des moyens de transport est parfois limitée. En particulier en milieu rural les écoliers peuvent marcher des kilomètres pour accéder à leur école. Par ailleurs, les personnes âgées et les personnes handicapées peuvent rencontrer des difficultés pour utiliser les moyens de transport existant actuellement en raison de l'offre inadaptée. En effet les bus et minibus actuellement utilisés comme moyens de transport sont difficilement accessibles aux personnes âgées.

Chapitre 3 Priorisation des technologies pour le secteur de l'énergie

3.1 Emissions de GES et technologies existantes pour le secteur de l'énergie

Les émissions des gaz à effet de serre du secteur de la production énergétique ont été évaluées et publiées dans la première et la deuxième communication nationale respectivement publiées en 2001 et 2013. Les estimations de GES fournies par ces documents sont montrées dans le tableau suivant :

| Année de référence | Emission de GES du secteur de l'énergie (Gg) |
|--------------------|---|
| 1994 | 148,8 |
| 2000 | 169,3 |
| 2010 | 250 (chiffre issu de la Troisième Communication Nationale en cours de préparation) |

Tableau 6: émissions de CO2 du secteur de l'énergie

Le secteur de l'énergie est habituellement modélisé à Djibouti en adoptant les subdivisions décrites dans la suite. Cette approche de modélisation a été adoptée par les premières études du secteur qui date de l'année 1985 avec le Plan Energétique de Djibouti de l'époque. Encore aujourd'hui, la structure de l'économie nationale se prête toujours à la même approche de modélisation. Le secteur industriel peine à décoller et les usages industriels de l'énergie sont encore relativement limités.

| Offre | Demande |
|---|---|
| Production d'électricité | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Centrales thermiques Diesel et Fuel lourd - Importation d'électricité | <ul style="list-style-type: none"> - Demande électrique du secteur résidentiel & tertiaire - Demande électrique du secteur industriel |
| Cuisson des aliments | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Kérosène (technologie du réchaud à kérosène) - Bois et charbon de bois (technologie des réchauds pour charbons de bois et foyer trois pierres pour le bois) - GPL (gazinière) | <ul style="list-style-type: none"> - Sous-secteur résidentiel et restauration, hôtels |

Tableau 7: description de l'offre et demande

Les technologies existantes actuellement au niveau national pour la production d'électricité sont les centrales thermiques Diesel fonctionnant au Diesel ou au fuel lourd, l'importation d'électricité issue de la production hydroélectrique d'Ethiopie et les centrales solaires connectées au réseau dont on dénombre pour l'instant qu'un seul projet effectif. En dehors des zones urbaines et pour les villes non connectées au réseau électrique, ce sont des groupes électrogènes thermiques qui sont utilisés pour l'électrification ou bien des centrales solaires PV avec des mini-réseaux électriques. En ce qui concerne l'usage cuisson, le bois et le charbon de bois sont utilisés principalement par les ménages pauvres de la capitale et quasiment tous les ménages en milieu rural. Le kérosène est utilisé massivement par les ménages urbains et accessoirement utilisé pour l'éclairage par certains ménages dans les villes de l'intérieur (Ref : EDAM Energie 2004).

3.2 Contexte de décision

L'énergie est un secteur clé de l'économie nationale et la consommation énergétique où l'intensité énergétique est un indicateur du niveau de développement du pays. Le secteur énergie comprend comme décrit plus haut plusieurs sous-secteurs aussi bien en termes de demande que d'offre. La production d'électricité est un sous-secteur clé du secteur de l'énergie et concentre actuellement beaucoup d'effort de la part du gouvernement.

Djibouti n'est pas un pays producteur de pétrole et ne dispose par ailleurs pas de cours d'eau pérenne. Les ressources énergétiques renouvelables du pays comme la géothermie, l'éolien ou le solaire sont actuellement dans une phase de développement. Historiquement (de 1960 à 2011), EDD qui est la compagnie nationale d'électricité s'est appuyée exclusivement sur l'utilisation des centrales thermiques Diesel pour produire l'électricité. En 2011, une ligne d'interconnexion électrique entre Djibouti et l'Ethiopie a été établie et Djibouti peut importer depuis cette année-là, de l'électricité d'origine hydroélectrique.

Les prévisions de croissance de la demande de pointe calculées par EDD sont montrées dans le graphique ci-dessous.

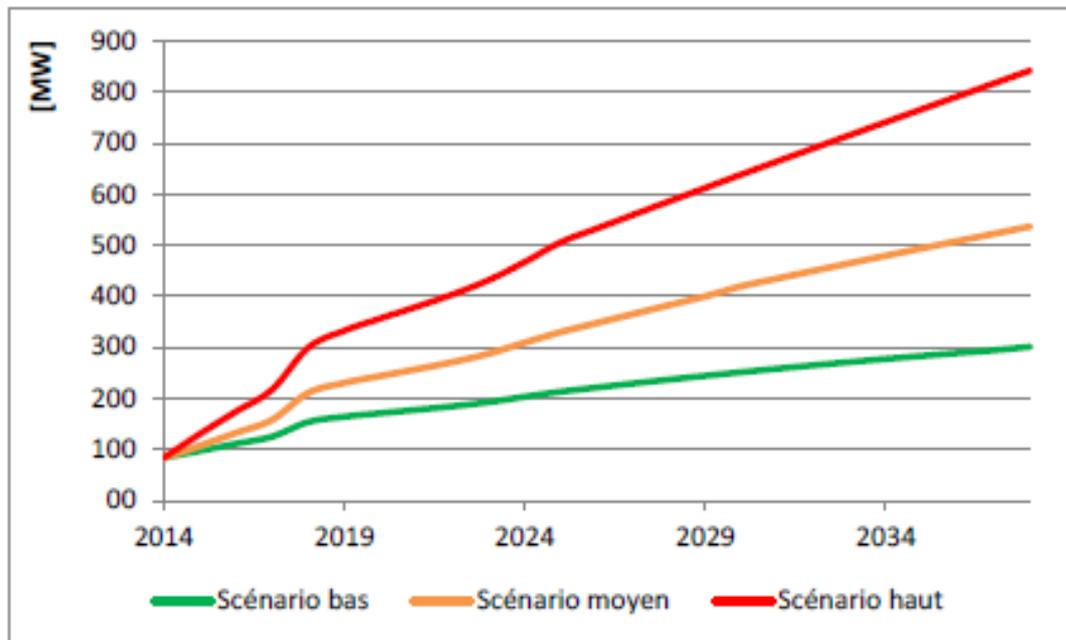


Figure 3: prévision de la pointe de charge par méthode analytique (Ref Rapport schéma directeur national de transport d'électricité à l'horizon 2030)

L'économie de Djibouti est en plein essor depuis une quinzaine d'années avec des taux de croissance annuels de l'ordre de 7%. Le pays a entrepris ces dernières années la mise en place de grands projets structurants qui ont tous des demandes énergétiques importantes. Ces projets incluent la construction de lignes de chemin de fer électrique, des projets immobiliers d'envergure, des projets industriels, des ports ainsi qu'une zone franche internationale. Par ailleurs, de nouveaux projets sont en phase d'étude comme la future marina de Djibouti qui comprendra un quartier d'affaires et des zones de plaisance avec des nombreux hôtels. La demande en énergie électrique de ces nouveaux projets s'ajoute à la croissance normale de l'ordre de 5% annuelle de la demande énergétique nationale. Les projections de la demande énergétique du pays réalisées par plusieurs études indiquent une demande de pointe de 247 MW en 2030 et une demande énergétique de 1306 GWh contre respectivement 157 MW de pointe et 967 GWh d'énergie en 2019. Dans le cas du scénario de moyenne croissance économique, la demande de pointe pour l'an 2030 est estimée à 425 MW et pour le scénario de forte croissance à 644 MW (Ref : *Electricité de Djibouti, 2015. Schéma directeur national de transport de l'électricité à l'horizon 2033*). Dans tous les scénarios modélisés, le défi d'assurer une production fiable et de qualité est colossal pour EDD et le pays. Le défi identifié par les autorités est donc d'assurer la garantie de la livraison d'une énergie de qualité à l'horizon des prochaines années pour satisfaire les besoins d'une économie nationale vigoureuse et gourmande en énergie.

Conscient de cet impératif, EDD a réalisé plusieurs études de prospection sur l'expansion de son parc de production. Les différentes études (*Ref : Electricité de Djibouti, 2015. Schéma directeur national de transport de l'électricité à l'horizon 2033*) concluent à la mise en place d'un parc électrique de production qui met en valeur les ressources énergétiques nationales tout en continuant à importer de l'électricité de l'Éthiopie et en maintenant cependant une capacité de production thermique pour assurer la demande de base si nécessaire. La planification du secteur électrique s'appuiera dans le proche avenir dans les options suivantes comme définies dans ces études :

- 1) Le développement du potentiel géothermique du Rift d'Assal et de Ghoubbet
- 2) Le développement de l'énergie solaire photovoltaïque
- 3) Le développement du potentiel en énergie éolienne du Ghoubbet

Suite à l'exercice de planification, EDD a commencé à mettre en place divers projets pour effectivement valoriser ces différents potentiels. Le projet de développement de l'énergie géothermique sur le rift d'Assal dans la zone dite de Fialé a commencé en 2018 et EDD a investi près de 50 Millions USD pour la réalisation de trois forages géothermiques. Par ailleurs, l'Office Djiboutien de Développement Géothermique a commencé un projet de réalisation de 10 forages dans le rift d'Assal dans la zone dite de Galé Koma. Selon les diverses études de planification, les centrales géothermiques doivent assurer la production de 100 MW à l'horizon 2025. La géothermie est donc assurément une option technologique pour l'EBT en tout cas d'un point de vue de la planification politique.

Par ailleurs, EDD a commencé à développer dans le cadre d'un partenariat public-privé, une ferme éolienne de 60 MW dans la zone du Ghoubbet. L'éolien est donc également une option technologique à considérer pour l'EBT.

Contexte institutionnel du secteur de l'énergie

Les acteurs impliqués dans le secteur de l'énergie sont nombreux et jouent tous un rôle important dans la mise en place d'un système énergétique propre. Il s'agit des institutions suivantes :

- **Ministère de l'Énergie, chargé des Ressources Naturelles** : le MERN est l'acteur clé le plus important dans le secteur de l'énergie. Il est chargé de « de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques sectorielles dans les domaines de l'énergie et des ressources naturelles, de la promotion et du développement de l'exploitation des ressources minières et pétrolières et des énergies renouvelables. A ce titre, il prépare et exécute la politique du gouvernement en matière d'énergie à travers notamment une politique d'investissement et de développement de sources d'énergies alternatives.
Il assure le contrôle de la production, de l'approvisionnement et de la distribution des énergies conventionnelles et renouvelables. Il a également en charge de mettre en œuvre la politique du gouvernement en matière d'accès et d'approvisionnement en électricité sur l'ensemble du territoire. Il prépare et met en œuvre la politique du gouvernement en matière de maîtrise de l'énergie conjointement avec les ministères et établissements publics compétents ».
- **Electricité de Djibouti** : EDD est l'opérateur public de production et de distribution de l'électricité. Il s'agit d'un établissement public qui dispose de l'autonomie administrative et financière et qui est placé sous la tutelle du MERN
- **Agence Djiboutienne de Maîtrise de l'Énergie** : l'ADME s'occupe spécifiquement des questions liées à la maîtrise de l'énergie et à l'efficacité énergétique
- **Office Djiboutien de Développement de l'Énergie Géothermique** : l'ODDEG a été créé afin de développer et mettre en valeur les ressources géothermiques de Djibouti. Cela traduit fort la volonté politique du gouvernement d'investir dans les énergies renouvelables

- **Société Internationale des Hydrocarbures de Djibouti** : la SIHD anciennement appelé Etablissement Public des Hydrocarbures de Djibouti est une société anonyme dont l'Etat détient totalement 100% des actions. La SIHD a pour « objet l'importation et la commercialisation des hydrocarbures et dérivés dans la République de Djibouti. »
- Centre d'Etudes et de Recherches de Djibouti (CERD) : le CERD qui est sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, est un organisme de recherche qui a été très actif dans le domaine des énergies renouvelables depuis des dizaines d'années. C'est une institution qui dispose d'une importante expertise en matière d'évaluation des ressources en énergies renouvelables.
- Chambre de Commerce de Djibouti (CCD) : la CCD de Djibouti dispose d'un programme de promotion de l'énergie solaire à Djibouti. A ce titre est le siège d'un programme de coopération entre Djibouti et l'Allemagne en matière d'énergie solaire.

Contexte juridique et réglementaire

La République de Djibouti s'est doté ces cinq dernières années, d'un arsenal juridique destiné à promouvoir et faciliter les investissements dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Le tableau suivant résume la liste des textes juridiques adoptés ces dernières années.

| Nom et type du texte de loi | Année | Numero | Principales dispositions |
|---|-------|-----------------------------------|---|
| Loi sur le partenariat public-privé | | N°186/AN/17/7eL | La Loi n°186/AN/17/7eL est une Loi clé pour attirer les investissements privés dans le pays et en particulier les investissements dans les énergies propres et les logements. |
| Loi sur les producteurs indépendants d'énergie | 2015 | Loi n°88/AN/15/7eL | la Loi n°88/AN/15/7eL est une avancée réglementaire importante pour le développement des énergies propres à Djibouti. Cette Loi porte la réglementation des activités des producteurs indépendants d'électricité et ouvre pour la première fois la porte aux investissements privés dans le secteur énergétique à Djibouti. C'est grâce à cette Loi que des investisseurs privés internationaux ont pu investir dans l'éolien à Djibouti. |
| Loi sur l'efficacité énergétique | 2015 | Loi n°90/AN/15/7 ^{ème} L | La Loi fixe les orientations clés en matière de maîtrise de l'énergie. Sont inclus les audits énergétiques obligatoires |
| Arrêté ministériel sur l'éclairage public portant application de la Loi n°90/AN/15/7^{ème} L | 2019 | N° 072/PR/MERN 2019- | L'arrêté précise les spécificités techniques relatives aux économies d'énergie pour l'éclairage public, quand le point d'éclairage public est relié au réseau électrique |

| | | | |
|--|------|----------------------------|---|
| Décret sur les producteurs indépendants d'énergie | 2019 | Décret N° 2019-013/PR/MERN | Le Décret porte réglementation des activités des producteurs indépendants d'énergie |
|--|------|----------------------------|---|

Tableau 8: liste des textes juridiques pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique

3.3 Un aperçu des options technologiques pour l'atténuation dans le secteur de l'énergie, de leurs potentiels d'atténuation des autres co-bénéfices

L'exercice de priorisation des technologies prioritaires pour le secteur de l'énergie a été réalisé par un groupe d'experts issus des différentes parties prenantes impliquées dans ce secteur. Le groupe d'experts qui a identifié et sélectionné les options prioritaires provenaient des institutions comme le Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles, l'Office Djiboutien de Développement de la Géothermie, l'Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Energie et la Chambre de Commerce de Djibouti. Plusieurs réunions ont été organisées dans les locaux du MERN et de l'ADME pour faciliter l'exercice de priorisation. Le processus de sélection a été organisé comme suit :

- ✓ le consultant national en atténuation a préparé une liste de onze technologies qui a été soumise au groupe d'experts
- ✓ le groupe d'experts nationaux a amendé la liste avec quatre technologies jugées également pertinentes
- ✓ le consultant a préparé et soumis au groupe de travail des fiches technologiques pour l'ensemble des technologies
- ✓ Le processus de présélection s'est fait par consensus autour de critères importants comme l'alignement sur les politiques nationales dans les domaines de l'énergie, l'impact potentiel sur l'économie ou le social, le potentiel à pouvoir réduire le prix de l'électricité, la maturité commerciale et technique de la technologie ... etc.
- ✓ sur la base des fiches technologiques, le groupe d'experts national a présélectionné une liste de cinq (05) technologies qui ont été soumises à l'analyse multicritère pour la priorisation

La liste des technologies a été préparée en tenant compte du potentiel de réduction des émissions des gaz à effet de serre. Les technologies qui pourraient permettre des réductions importantes de GES ont été identifiées. Une description succincte de l'ensemble des technologies identifiées ainsi que leurs potentiels de réductions des émissions est donné ci-dessous. Pour les technologies présélectionnées, des fiches technologiques détaillées ont été préparées.

Technologie 1 : centrale géothermique binaire

Djibouti se situe dans une zone géologique active avec le Rift d'Assal qui est le prolongement Nord du Rift Est-Africain. A travers tout le pays, il existe de nombreuses manifestations géothermiques comme les roches chaudes, les écoulements d'eau chaude ou les gaz chauds. Les études géothermiques ont montré que le pays dispose de plusieurs zones à fort potentiel géothermique comme le Rift d'Assal, le Nord Ghoubbet, le Lac Abhé, la plage d'Arta et Obock. Le potentiel géothermique est estimé à 800 MW mais le développement du potentiel prend des dizaines d'années. Le gouvernement a entrepris depuis plusieurs années des projets d'exploration géothermique dont le but est de développer des centrales géothermiques avec des capacités de plusieurs centaines MW.

L'accès aux ressources énergétiques géothermiques se fait à travers la mise en place de forages géothermiques qui permettent de pomper l'eau chaude depuis le réservoir géothermique situé à des profondeurs allant de 2000 à 3000m. Il existe deux catégories de centrales géothermiques selon la

température du fluide géothermique. En fonction des conditions géologiques et des conditions de recharge, un réservoir géothermique produit soit de la vapeur sèche à haute pression, de la vapeur mélangée avec de l'eau à haute pression ou de l'eau chaude à haute température. Les réservoirs qui produisent de la vapeur sèche ou de la vapeur mélangée avec de l'eau alimentent les centrales dites flash tandis que les réservoirs qui produisent de l'eau chaude sont valorisés par des centrales géothermiques dites binaires.

En effet l'eau produite par le réservoir est pompée à travers le forage et transfère la chaleur transportée à un fluide caloporteur qui a une basse température d'évaporation (de l'ordre de 30°C) comme l'isopentane.

Les réservoirs géothermiques identifiés par les explorations géothermiques à Djibouti se prêtent plutôt à l'utilisation des centrales géothermiques binaires. Les centrales géothermiques, quel que soit leur catégorie, produisent de l'électricité qui est utilisée pour satisfaire la demande de base au même titre que les centrales hydroélectriques ou les centrales thermiques. Par ailleurs, les centrales géothermiques ont un taux de disponibilité annuel supérieur à 90% et ne dépendent pas des fluctuations instantanées de la météo. Elles sont donc à ce titre très appréciées par les régulateurs du réseau électrique. La gamme de puissance des centrales géothermique à cycle binaire dépend de la taille du réservoir et de sa température ainsi que la température de l'air extérieur si la condensation est réalisée avec de l'air. L'énergie géothermique est une des options retenues par le plan d'expansion du parc de production électrique. La puissance escomptée à l'issue du programme géothermique actuellement en cours est de l'ordre de 150 MW à l'horizon 2030 selon les discussions avec les experts du domaine. Le potentiel de réduction des émissions des centrales géothermiques est important. En raison de leur grande disponibilité annuelle (taux de 98%), une centrale géothermique permettrait de réduire d'environ 4347 Tonne de CO₂ pour chaque MW de puissance. C'est de loin une option intéressante qui permettrait à Djibouti de respecter ses engagements pris dans l'Accord de Paris.

Technologie 2 : mini-réseaux solaire pour l'électrification rurale

Djibouti est un pays avec une grande dualité entre le milieu urbain qui dispose de tous les atouts économiques et qui affiche un taux d'électrification de l'ordre de 60% et le milieu rural qui affiche un taux d'électrification de moins de 10%. Par ailleurs, les opportunités économiques en milieu rural sont faibles en raison (en partie) de l'absence d'offre d'énergie électrique. L'électrification rurale est dès lors une priorité pour le gouvernement qui a mis en place déjà des solutions pilotes afin d'évaluer les options les plus pertinentes. Les mini-réseaux solaires sont une des options expérimentées par MENR et l'ADDS depuis quelques années et les résultats sont tout à fait convaincants d'un point de vue technique en terme de productible et de fiabilité. Le gouvernement souhaite dès lors élargir l'expérience à plusieurs dizaines d'autres villages du pays.

Les mini-réseaux solaires ou hybride solaire/diesel ou éventuellement solaire/diesel/éolien sont une option intéressante pour électrifier les villages éloignés du réseau électrique. En effet, les coûts d'extension du réseau électrique aux villages éloignés sont élevés comparé à la demande énergétique de ces villages et donc l'extension n'est pas rentable. Un mini-réseau solaire est composé d'un champ de panneaux photovoltaïque connectés en série et en parallèle afin de fournir une puissance crête calculée. Le champ de panneaux PV est complété par un banc de batteries connectées ensemble afin de fournir la capacité de stockage requise ainsi qu'un onduleur qui permet de conditionner le courant et le transformer en courant alternatif. L'ensemble est complété par un système de distribution électrique localisé à l'échelle du village. Les discussions avec les experts du MERN et le groupe de consultants ont déterminé que d'ici à l'horizon 2030, la puissance totale requise serait de l'ordre de 1.5 MW. Le

potentiel de réduction de GES de cette option serait de l'ordre de 11 000 Tonne de CO₂ sur une période de 15 ans entre 2020 et 2035. Le potentiel de réduction des émissions des mini-centrales est relativement limité comparée à une technologie comme la géothermie à cycle binaire. Cependant, leur utilité pour le développement du milieu rural est essentielle. La technologie a été donc retenue parmi celles présélectionnées.

Technologie 3 : Centrale solaire photovoltaïque connectée au réseau électrique

Djibouti est dotée de ressources en énergie solaire tout à fait considérable avec un ensoleillement de l'ordre de 5.4 kwh/m²/jour sur l'ensemble du pays. Les centrales solaires PV connectées au réseau électrique offrent des gammes de puissance allant de quelques KWc à plusieurs centaines de MWc. Ce type de centrale est composé d'un champ de panneaux photovoltaïques organisées en rangées et qui délivrent un courant continu qui est transformé en courant alternatif par un groupe d'onduleurs. Ce type de centrale injecte directement l'énergie électrique produite dans le réseau électrique principal. En tenant compte des besoins en puissance du réseau électrique dans les prochaines années, une puissance totale de l'ordre de 30 MW serait à déployer de 2020 à 2035. Avec un facteur d'émission du réseau électrique de 0.52 Tonne CO₂/MWh et un facteur de charge de 20% pour ce type de centrale, une centrale de 30 MW permettra de réduire les émissions de CO₂ de 28 000 Tonne CO₂/année. C'est donc une technologie qui a un fort potentiel de réduction des émissions. Elle a donc été retenue parmi les technologies présélectionnées.

Technologie 4 : Centrale solaire thermique CSP pour la production d'électricité

Les centrales thermiques à énergie solaire concentrée plus connue sous le diminutif anglais de CSP valorise l'énergie thermique contenue dans les rayons solaires. Les centrales CSP utilisent un système de miroirs qui concentrent les rayons du soleil sur un point focal ou sur une ligne focale. Les systèmes de concentrateurs des centrales CSP utilisent le rayonnement solaire direct. Au point de concentration des rayons du soleil, la température est très élevée et l'énergie thermique créée est récupérée grâce à un fluide caloporteur, ce qui alimente un cycle thermodynamique de Rankine et permet de faire actionner un groupe turbo-alternateur pour produire de l'électricité. Les centrales CSP sont généralement construites dans des gammes de puissance élevées. Certaines centrales CSP permettent de stocker de la chaleur à haute température dans des sels fondus, ce qui permet d'augmenter la disponibilité de ces centrales bien après la tombée de la nuit. En raison de leur grand facteur de charge et des gammes de puissance importantes, les centrales CSP permettent des réductions substantielles des émissions de CO₂. Cependant le CAPEX des centrales CSP reste pour l'instant très élevé et limite la rentabilité de ce type de centrale. Par ailleurs c'est une technologie qui utilise le rayonnement solaire direct et nécessite donc un ciel dégagé une bonne partie de l'année. La technologie n'a pas été présélectionnée par le groupe d'expert intersectoriel.

Technologie 5 : Toiture solaire PV pour l'autoconsommation

Les toitures solaires PV pour l'autoconsommation est une technologie destinée essentiellement aux ménages urbains. Tandis que la technologie du solaire PV existe depuis des décennies, l'autoconsommation de l'énergie produite est relativement nouvelle grâce à l'avancée de la réglementation et de la technologie des onduleurs. Le déploiement de cette technologie permettrait aux ménages des milieux urbains de Djibouti de devenir producteur de tout ou partie de l'énergie qu'ils consomment. L'autoconsommation avec batterie permet d'atteindre des taux d'indépendance de 100% tandis que l'autoconsommation sans batterie permet de produire une partie de la demande en énergie du ménage mais avec un coût inférieur d'au moins un tiers par rapport à la solution avec batterie. Si

cette technologie est déployée à grande échelle en milieu urbain, elle permettrait de réaliser des réductions des émissions grâce à l'énergie évitée. Le groupe d'expert et le consultant sont arrivés au consensus que le déploiement de 10 MW de solaire PV en toiture pour autoconsommation est réalisable et réaliste entre 2020 et 2035. Une telle capacité installée permettrait d'éviter annuellement l'émission de 9400 Tonne de CO₂. Cette technologie a été retenue pour la présélection et l'analyse multicritère.

Technologie 6 : Parc éolien onshore

La technologie des aérogénérateurs appelés plus communément éolienne a atteint un stade industriel au milieu des années 80 dans le monde. De nos jours, la technologie est mature et le CAPEX des éoliennes est tout à fait raisonnable avec 2200 USD/KW. Les éoliennes permettent de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation puis en énergie électrique grâce à des pales et un générateur électrique placé dans une nacelle en hauteur. Les éoliennes disponibles sur le marché se situent dans une gamme de puissance de quelques centaines de watt (micro-éolienne) à 5 MW par éolienne. Les grandes éoliennes existantes actuellement sur le marché dispose de pales pouvant mesurer des dizaines de mètres de longueur et leur mat est placé à une hauteur pouvant dépasser 100m au-dessus du sol. Les éoliennes sont regroupées dans des parcs éoliens qui fournissent des puissances conséquentes au réseau électrique. Les éoliennes utilisent l'énergie cinétique des vents et donc le développement des parcs éoliens est conditionné par la disponibilité des ressources éoliennes sur un site particulier. Il est donc nécessaire préalablement de réaliser une évaluation des ressources éoliennes. Les ressources en énergie éolienne de Djibouti ont été évaluées entre 2004 et 2006 sur de nombreux sites au niveau national et certains sites ont montré des conditions très avantageuses (*Ref : Said I. Awaleh, 2004. Djibouti wind resource assessment*).

Le développement de l'énergie éolienne est une option retenue dans le plan de développement à moindre coût de l'électricité (Least cost electricity master plan). L'Electricité de Djibouti (EDD) a d'ailleurs signé un MOU avec une firme étrangère pour le développement de 60 MW sur le site du Ghoubbet, site qui dispose des ressources éoliennes stables et importantes. Avec un facteur de charge annuelle de 40% et un facteur d'émission du réseau électrique de 0.52 Tonne/MWh, un parc éolien de 60 MW permettrait de réaliser des réductions d'émissions d'environ 110 000 Tonne de CO₂ annuellement. Il s'agit là de réductions substantielles qui permettraient à Djibouti de respecter les engagements pris dans l'Accord de Paris. La technologie des parcs éoliens a été également retenue pour la présélection et l'exercice d'analyse multicritère.

Technologie 7 : Parc éolien offshore

Les éoliennes onshore sont identiques aux éoliennes offshore d'un point de vue de la technologie de production de l'électricité. Cependant l'installation des éoliennes en milieu marin est plus difficile et nécessite par ailleurs des investissements beaucoup plus important. En effet, le CAPEX des éoliennes onshore est de l'ordre de 4350 USD/KW en 2018. Malgré le CAPEX élevé, les vitesses de vent en mer sont généralement plus importantes et le vent souffle de façon plus régulière, ce qui explique le développement de mégaprojets éoliens offshore à travers le monde. A Djibouti, les ressources éoliennes en milieu marin n'ont pas encore été évaluées mais le golfe de Tadjourah semble présenter les conditions géographiques potentielles avec un effet d'entonnoir. Les réductions d'émissions de CO₂ sont du même ordre de grandeur que pour les parcs éoliens onshore. La technologie a fait l'objet d'une fiche technologique mais n'a pas été retenue par le groupe d'experts.

Technologie 8 : Centrale à énergie marémotrice

Les centrales électriques fonctionnant avec l'énergie marémotrice utilisent la force mécanique créée par les marées pour produire de l'électricité. Il faut des conditions géographiques spécifiques pour mettre en place ce type de centrale. La passe du Ghoubbet qui sépare le golfe de Tadjourah de la baie du Ghoubbet offre ce type de potentiel énergétique et des études d'évaluation du potentiel ont été commandées par EDD, la compagnie nationale d'électricité. Cette technologie est très peu répandue dans le monde où l'on dénombre que quelques exemples dont celle de la Rance en France qui date des années 80 et qui fournit une capacité de 300 MW. Contrairement à l'énergie solaire et l'énergie éolienne, l'énergie marémotrice est une énergie prévisible puisque les marées sont prévisibles. Le groupe d'expert a écarté cette technologie en raison du CAPEX élevé, du faible déploiement de la technologie au niveau mondial et de la méconnaissance du potentiel exact de cette énergie à Djibouti.

Technologie 9 : Kits solaires photovoltaïques pour l'électrification des ménages hors-réseau

La technologie des kits solaires photovoltaïques est destinée aux familles vivant en dehors des zones couvertes. Il s'agit d'une solution de production localisée et limitée à un seul ménage. Le kit est généralement composé des éléments suivants :

- un ou plusieurs panneaux offrant une dizaine de Watt et quelques centaines de Watts selon les besoins énergétiques des ménages
- une ou deux batteries offrant une capacité de stockage de quelques centaines d'Ampère-Heure
- un régulateur de charge qui protège les batteries contre la surcharge et les décharges profondes
- des câbles électriques

Eventuellement, certains kits peuvent contenir également un onduleur ou inverseur pour transformer le courant continu en courant alternatif. Cependant, pour les systèmes de petite taille limitée à quelques points lumineux, ce sont des appareils à courant continu qui sont utilisés. La technologie des kits solaires a été déjà introduite à Djibouti en 2008 mais le succès a été mitigé. Cette technologie est clairement la seule option possible pour certaines configurations comme les très petits campements situés très loin du réseau électrique et ne pouvant bénéficier d'une mini-centrale solaire. Bien que particulièrement importante pour ce type de configuration, le groupe d'experts n'a pas jugé nécessaire d'intégrer cette technologie dans la liste de présélection.

Technologie 10 : Isolation thermique des bâtiments

Le climat de Djibouti et en particulier celui de la capitale est chaud pendant au moins la moitié de l'année. En effet pendant la période chaude qui dure du mois de Juin au mois d'Octobre, les températures diurnes sont très élevées et se situent dans une fourchette entre 30°C et 45°C tandis les températures nocturnes se situent entre 30°C et 38°C. Le taux d'humidité pendant cette période chaude oscille entre une extrême d'humidité à 90% au mois de Septembre et un extrême bas de 42% au mois de Juillet. Les difficiles conditions climatiques créent un inconfort notoire pour les habitants de la cote et en particulier ceux de la capitale qui n'ont d'autres choix que l'activation des moyens de rafraîchissement comme les ventilateurs et les climatiseurs. La demande énergétique pour la climatisation est estimée à près de 70% de la demande en énergie des ménages et du secteur tertiaire. Des études conduites par le CERD en 2008 ont démontré l'efficacité de l'isolation thermique des murs et des toits pour réduire la demande en énergie des bâtiments de 27%. La quasi-totalité des bâtiments à Djibouti ne sont pas dotés d'isolation thermique et il y'a donc un fort potentiel de réduction de la demande en énergie et conséquemment une réduction de l'utilisation de fuel pour la production électrique. En isolant un parc de trente mille bâtiments (30 000) à l'horizon 2035 à raison de 100 m² par bâtiment, cette technologie permettrait de réduire de 200 tonne de CO₂ par année à l'horizon 2035. Ce n'est pas spécifiquement une technologie qui dispose d'un fort potentiel de réduction mais elle aurait

cependant un fort impact social en réduisant les dépenses d'énergie des ménages et en améliorant le confort thermique. La mise en place d'un plan d'action pour l'isolation thermique permettrait de créer beaucoup d'emplois et donc renforcer l'impact social positif de cette option technologique. La technologie a été retenue dans la liste de présélection par le groupe d'expert.

Technologie 11 : Eclairage public efficient

Cette technologie a été rajoutée par le groupe d'expert à la liste initiale proposée par le consultant en atténuation. L'éclairage public de la ville de Djibouti est constitué d'un ensemble de 7700 poteaux avec des lampes sodium haute pression d'une puissance nominale de 205 W. Il est proposé de substituer les lampes sodium haute pression par des lampes sodium basse pression dont la puissance unitaire est de 135 W. Cette substitution permettrait de réduire la demande pour l'éclairage d'environ 0.89 MW et également lisser la demande de pointe nocturne. Cette substitution permettrait d'éviter annuellement l'émission de 1.3 kTonne de CO2 dans l'atmosphère. Cette technologie n'a pas été retenue par le groupe d'expert pour l'analyse multicritère. L'argument essentiel étant que cette technologie peut être financée directement dans le cadre d'un partenariat public privé ou directement par la compagnie d'électricité et qu'un transfert de technologie spécifique ne serait pas nécessaire.

Technologie 12 : Climatisation solaire à absorption

La climatisation solaire à absorption est une technologie qui utilise l'énergie thermique (infrarouge) du rayonnement solaire pour produire du froid qui est utilisé dans les bâtiments de grande taille comme les hôpitaux, les complexes de bureaux, les grands hotels ou les grands complexes d'habitation. Cette technologie est proposée dans la longue liste en raison de l'importance de la climatisation dans la demande énergétique du pays et en particulier de la capitale. En effet, la climatisation représente plus de 50% de la demande en énergie électrique du secteur résidentiel et tertiaire de Djibouti. La climatisation solaire à absorption combine en réalité deux technologies pour produire du froid à partir des rayonnements solaires. La production de froid par absorption utilise un couple de fluide dont l'un est absorbé par l'autre en présence de chaleur. Les couples souvent utilisés sont l'eau et le bromure de lithium (LiBr)

La technologie proposée est composée des éléments suivants :

- des capteurs de l'énergie thermique contenue dans le rayonnement solaire infrarouge. Ces capteurs captent l'énergie thermique du rayonnement et le transfert à un fluide caloporteur qui est généralement de l'eau. Il existe plusieurs types de capteurs solaires thermiques mais les plus utilisés sont les capteurs plans ou les tubes sous vides.
- une machine à absorption qui permet de créer du froid grâce à une transformation thermodynamique entre le fluide absorbant (par exemple bromure de lithium) et l'eau.

La production de froid par machine à absorption utilisant du gaz naturel est une technologie mature qui existe depuis des décennies et la technologie des capteurs solaires thermiques est également une technologie mature. Cette technologie serait adaptée à Djibouti pour la climatisation des grands hôpitaux, des complexes hôteliers ou des complexes de bureaux comme la cité ministérielle. Cependant la technologie est loin d'être économiquement compétitive du moins en termes d'investissement par rapport à la climatisation classique. En effet, la technologie peine à décoller d'un point de vue commercial et le nombre d'unités dans le monde est relativement limité.

Technologie 13 : Brique monomur

Cette technologie a également été rajoutée par le groupe d'experts et se classe dans la catégorie des technologies utilisés pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Les briques monomurs sont

généralement plus épaisses que le parpaing et sont construites avec de la terre cuite. Les briques monomurs présentent des propriétés d'inertie thermique intéressantes.

Technologie 14 : Gazinière au GPL

L'immense majorité des ménages de Djibouti utilisent des réchauds à kérosène pour la cuisson des aliments. Le kérosène compte pour une grande partie des émissions de gaz à effet de serre du secteur résidentiel et tertiaire de Djibouti. La cuisson au kérosène nécessite une durée importante par rapport à la cuisson au GPL. Pour la préparation de plats standard consommé par les ménages Djiboutiens au quotidien, l'utilisation de gazinière au GPL va nécessiter moins d'énergie que le réchaud à kérosène. Il a été donc proposé d'inclure l'introduction de gazinière au GPL comme technologie de substitution des réchauds à kérosène. La gazinière au GPL est une technologie mature aussi bien techniquement que commercialement et qui est disponible sur le marché de Djibouti. La livraison de gaz GPL ne pose également pas de problème particulier et il existe des fournisseurs de gaz au niveau local. Cependant la gazinière au GPL est associée avec une perception de plus grand risque d'incendie ou d'explosion par rapport au réchaud au kérosène.

Technologie 15 : pyrolyse des déchets

La gestion des déchets municipaux est un défi pour la capitale du pays. Historiquement et actuellement, les déchets sont entreposés dans des décharges municipales aux abords de la ville de Djibouti. Cependant, des décharges sont incapables d'accueillir tous les déchets municipaux en raison de l'augmentation de l'urbanisation et la difficulté technique des services techniques à suivre le rythme de l'urbanisation. Les conséquences immédiates sont la multiplication des décharges sauvages dans la ville ainsi que le brûlage sauvage non contrôlé des déchets. Cela entraîne une dégradation de la qualité de l'air en milieu urbain mais également une perte d'opportunité étant donné que les déchets municipaux sont considérés de nos jours comme une source d'énergie renouvelable qui peut être valorisé énergétiquement.

La pyrolyse des déchets est une réaction chimique obtenue grâce à l'apport de chaleur à haute température (aux alentours de 800°C). Elle est utilisée pour le traitement des déchets municipaux comme alternative écologique à l'incinération ou l'entreposage des déchets. La pyrolyse est une réaction chimique à haute température des déchets municipaux sans apport d'oxygène et donc ne fait pas intervenir la combustion des déchets. La pyrolyse des déchets municipaux produit des produits gazeux et un produit solide appelé Biochar qui peut être ensuite utilisé comme biocombustible. La pyrolyse transforme de façon écologique, les déchets organiques y compris les déchets plastiques. A la date des consultations des parties prenantes, un promoteur privé porte un projet qui va utiliser la pyrolyse des déchets pour produire de l'électricité qui sera injecté dans le réseau. La technologie au cœur de la pyrolyse est l'utilisation de réacteurs chimiques de pyrolyse.

3.3.1 Processus de présélection

Sur la base des fiches technologiques préparées par le consultant, le processus de présélection s'est fait par consensus autour de critères comme l'alignement sur les politiques nationales dans les domaines de l'énergie, l'impact potentiel sur l'économie ou le social, le potentiel à pouvoir réduire le prix de l'électricité, les projets actuellement en cours ou planifiés, l'éventuelle facilité de déploiement de la technologie. Le groupe a privilégié des technologies qui peuvent avoir de plus grandes chances d'être mise en œuvre dans le pays en raison de l'intérêt porté par le gouvernement et les structures privés pour ces technologies. Le groupe d'experts a souhaité éliminé les technologies qui ont peu de chances

d'aboutir dans un avenir proche. Le tableau suivant récapitule les technologies identifiées, celles présélectionnés et enfin celle sélectionnés pour l'analyse multicritère.

| Nom de la technologie | Liste initiale | Technologies proposées par le groupe d'expert | Technologie sélectionnée pour l'AMC |
|--|----------------|---|-------------------------------------|
| Centrales géothermique à cycle binaire | ✓ | | |
| Mini-réseaux solaire pour l'électrification des villages hors-réseau | ✓ | | |
| Centrale solaire photovoltaïque connectée au réseau électrique | ✓ | | |
| Centrale solaire thermique CSP pour la production d'électricité | ✓ | | |
| Climatisation solaire à absorption | ✓ | | |
| Toiture solaire pour l'autoconsommation | ✓ | | |
| Centrale à énergie marémotrice | ✓ | | |
| Isolation thermique des bâtiments | ✓ | | |
| Gazinières au GPL | ✓ | | |
| Pyrolyse des déchets | ✓ | | |
| Centrale éolienne onshore | ✓ | | |
| Centrale éolienne offshore | ✓ | | |
| Kits solaires photovoltaïques pour l'électrification des ménages hors-réseau | | ✓ | |
| Brique monomur | | ✓ | |
| Eclairage public efficient | | ✓ | |

Tableau 9: liste des technologies secteur Energie

Le groupe sectoriel « énergie » a finalement retenu une liste de cinq technologies jugées prioritaires pour le pays.

3.4 Critères et processus pour la priorisation des technologies pour le secteur énergie

3.4.1 Rappel sur la méthodologie de l'analyse multicritère (AMC)

Dans le cadre de l'exercice de l'évaluation des besoins en technologie, l'analyse multicritère est recommandée pour la hiérarchisation des différentes options technologiques identifiées.

L'analyse multicritère (AMC) est un outil d'aide à la décision qui permet de classer des options ou des choix en fonction de certains critères qui peuvent être des critères de coûts, des critères techniques, des critères politiques, des critères environnementaux, des critères d'acceptabilité culturelle et bien d'autres critères qui ne dépendent que de la nature du problème traité. C'est une méthode qui a été développée dans les années 80 et elle est utile dans le cas de prise de décision dans un contexte de problème multicritères et multi-objectifs. L'analyse multicritère est réalisée par un groupe d'experts qui doivent être familiers avec le problème traité. L'AMC est déroulée selon des étapes précises et séquentielles comme suit :

- 1) Identification des critères pertinents qui caractérisent correctement les options retenues. Par exemple la maturité commerciale d'une technologie ou les coûts d'investissement sont des exemples de critères souvent utilisés.
- 2) Attribution de notations à chaque critère : les notations peuvent découler d'un calcul théorique (économique ou technique) quand le critère à noter se prête au calcul ou bien les notations sont attribuées par consensus entre les experts. Dans le cas d'un critère de coût d'investissement par exemple, il est facile de calculer la notation de ce critère car les coûts sont quelque chose de connue et publiés par les revues spécialisées ou obtenues auprès d'experts du domaine.
- 3) Normalisation de chaque notation : les critères peuvent être de nature totalement différente et afin de pouvoir les additionner dans les prochaines étapes, une normalisation est réalisée. Cette normalisation se fait de façon différente selon que le critère exprime un avantage ou un inconvénient comme décrit ci-après. Si V désigne un vecteur de valeurs décrivant les notations des critères tels que $V=(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$ et X_{min} et X_{max} désignant respectivement la valeur minimale et la valeur maximale du vecteur, alors la normalisation se fait comme suit :
 - Si le critère est un critère désavantageux pour la technologie et qu'on cherche donc à minimiser (comme par exemple le coût d'investissement), alors la valeur normalisée de la notation du critère i sera $V_{ni} = (X_{max} - X_i) / (X_{max} - X_{min})$
 - Si le critère est un critère avantageux pour la technologie et qu'on cherche à le maximiser (par exemple le critère environnemental), alors la valeur normalisée de la notation du critère i s'écrira $V_{ni} = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$
- 4) Attribution de poids à chaque critère selon l'importance réelle ou perçue comme telle par le groupe d'expert. Les valeurs des poids des critères sont comprises entre 0 et 1 et reflète l'importance de la notation du critère sur la valeur finale du calcul
- 5) Une addition des valeurs de notations normalisées pondérées par les poids des critères est faite et les options sont classées par ordre hiérarchique en fonction de la note finale obtenue. L'option qui obtient la plus grande note est considérée comme la plus prioritaire. La note obtenue pour chaque critère s'écrit mathématiquement de la manière suivante :

$$Note = \alpha_1 \times V_{n1} + \alpha_2 \times V_{n2} + \dots + \alpha_i \times V_{ni} + \dots + \alpha_n \times V_{nn}$$

Dans cette équation, α désigne le poids des critères et V_n désigne la notation normalisée du critère. La dernière étape de l'analyse multicritère consiste à changer les valeurs des poids α et de regarder la sensibilité du résultat par rapport à cette variation.

3.4.2 Définition des critères et calcul des notations

Pour le secteur de l'énergie, le groupe d'expert national en atténuation a identifié un groupe de cinq (05) technologies sur la base des informations présentées par le consultant national en atténuation. Les cinq options technologiques retenues par le groupe d'expert sont :

- a) Les centrales géothermiques à cycle binaire

- b) Les centrales éoliennes onshore
- c) Les centrales solaires PV pour l'autoconsommation de l'énergie (zéro injection dans le réseau)
- d) Les mini-réseaux solaires ou hybrides pour l'électrification des villages hors réseau
- e) L'isolation thermique des bâtiments

Afin de classer les cinq technologies retenues par ordre prioritaire, une liste de critères quantitatifs et qualitatifs ont été définis par le consultant national et le groupe d'experts. Les critères qui ont été retenus sont décrits dans la suite.

Critère 1 : Coût de la technologie

Le coût d'une technologie est composé de deux parties à savoir le coût d'acquisition de la technologie et le coût de maintenance et d'entretien. Le coût d'investissement comprend lui-même plusieurs parties qui sont d'une part le coût lié à l'achat de la technologie proprement dite, le coût du foncier, le coût des études de faisabilité. Mais tous ces coûts sont regroupés dans le coût d'investissement qui est donc une moyenne à travers les divers coûts réels observés dans différents projets à travers le monde. D'ailleurs, les coûts d'investissements ont tendance à être plus élevés en Afrique en raison de l'inexistence des infrastructures routières dans les zones de projet par exemple. Les informations sur le coût d'investissement et le coût d'entretien et de maintenance de la technologie sont documentées dans les publications spécialisées de l'IRENA et sont regroupées dans le tableau suivant [1][2].

| Nom de la technologie | Coût d'investissement (USD/KW) | Coût d'opération et de maintenance |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| Géothermie binaire | 3000 USD/KW | 0,02 US/kWh |
| Centrale éolienne onshore | 2200 USD/KW | 50 USD/KW/an |
| | | |
| Centrale éolienne onshore | 2200 USD/KW | 50 USD/KW/an |
| Mini-réseau solaire | 6500 USD/KW | 19 USD/KWc/an |
| Toiture solaire auto-consommation | 2000 USD/KW | 19 USD/KWc/an |
| Isolation thermique | 30 USD/m2 | Pour une isolation qui est posée selon les règles de l'art, il n'y'a aucun frais d'opération et de maintenance sur une période de 15 années. |

Tableau 10 : Coût d'investissement et Coût O&M des technologies sélectionnées [Irena]

Les mini-réseaux solaires ont le plus grand coût d'investissement en raison du coût des batteries qui coûtent généralement jusqu'à 30% du coût d'investissement. En terme absolu, c'est l'isolation thermique qui a le plus petit coût d'investissement tandis que ces coûts d'entretien et de maintenance sont négligeables voire inexistantes si la pose est réalisée dans les règles de l'art.

$$\text{Coût de la technologie} = \text{coût d'investissement} + \text{coût d'opération et de maintenance}$$

Le critère de coût englobe donc deux coûts qui sont le coût d'investissement et le coût d'opération et de maintenance. Les deux coûts n'ont pas la même unité selon la technologie et il faut donc harmoniser les coûts afin de pouvoir les additionner. Les coûts d'investissements incluent tous les coûts engendrés pour la mise en place de la technologie. Pour les centrales de production électrique, cela inclut les coûts suivants :

- Les coûts des études préparatoires (faisabilité, préfaisabilité)
- Les coûts du foncier pour le site de la centrale de production
- Les coûts d'achat des équipements de la centrale
- Les coûts du génie civil

- Les coûts de développement du projet

Les différents coûts sont moyennés à travers un coût d'investissement par unité de puissance installée. Les coûts d'investissements moyens pour chaque technologie sont obtenus dans les publications de l'Agence Internationale des Energies Renouvelables (IRENA). En ce qui concerne les coûts d'opération et de maintenance, ils sont calculés sur une base annuelle sur la durée de vie du projet. Il s'agit des coûts engendrés pour assurer le fonctionnement de la centrale, les coûts d'entretien, les coûts de remplacement de certains composants ... etc. Pour les technologies de production d'électricité, les coûts d'opération et de maintenance sont exprimés parfois par unité de puissance et par année et parfois par unité d'énergie produite et par année. Afin de comparer les différentes technologies entre elles en ce qui concerne le coût, un horizon de temps de 15 années est considéré pour le déploiement de ces technologies à partir de 2020. Le programme d'installation probable de différentes technologies est établi sur la base des documents de planification existante dans le secteur de l'énergie ainsi que sur les conseils des experts du groupe de travail. En effet, les cinq technologies identifiées par les experts font l'objet de programmes de développement déjà en cours.

| Année de mise en œuvre | Capacité installée programmée (MW) | | | |
|------------------------|------------------------------------|----------------|---|-----------------|
| | Géothermie binaire | Eolien onshore | Mini-réseaux solaires pour l'électrification rurale | Toiture solaire |
| 2020 | | | | |
| 2021 | | 20 | 0,1 | 1 |
| 2022 | 17 | 40 | 0,2 | 3 |
| 2023 | 27 | 60 | 0,3 | 5 |
| 2024 | | 60 | 0,4 | 6 |
| 2025 | 63 | 60 | 0,5 | 7 |
| 2026 | | 60 | 0,6 | 8 |
| 2027 | | 60 | 0,7 | 9 |
| 2028 | | 60 | 0,8 | 10 |
| 2029 | | 60 | 0,9 | 10 |
| 2030 | 129 | 60 | 1 | 10 |
| 2031 | | 60 | 1,1 | 10 |
| 2032 | 134 | 60 | 1,2 | 10 |
| 2033 | 139 | 60 | 1,3 | 10 |
| 2034 | 139 | 60 | 1,4 | 10 |
| 2035 | 139 | 60 | 1,5 | 10 |

Tableau 11: programme de développement des capacités de production électrique entre 2020 et 2035

Une fois que le programme de développement des capacités de productions est défini, il devient possible de calculer le coût d'investissement ainsi que le coût de maintenance et d'entretien grâce aux informations du tableau 10. Par exemple pour calculer le coût total de la technologie de géothermie binaire pour l'année 2022, on calcule de la manière suivante :

- $cout\ d'investissement = capacité\ installée\ (KW) \times cout\ d'investissement\ \left(\frac{USD}{MW}\right) = 17000KW \times \frac{3000USD}{KW} = 51\ 000\ 000\ USD$
- Pour le coût d'opération et de maintenance, le tableau 10 donne la valeur de 0.02 USD pour chaque kWh produit par la technologie de géothermie binaire. Il faut donc calculer pour l'année d'exemple de 2022, la production énergétique totale. Cela est calculé de la manière suivante. *producton énergétique de géothermie binaire en 2022 = Capacité installé × facteur de charge × 8760heure*. La géothermie binaire a un facteur de charge élevé qui peut aller jusqu'à 95% et donc on obtient une production énergétique pour l'année 2022 de l'ordre de 141474 MWh et le coût d'opération et de maintenance calculé est d'environ 2.38 Millions USD.

- Des calculs précédents, il est déduit le coût total de la technologie de géothermie binaire pour l'année 2022 soit $\text{cout total de la géothermie binaire pour 2022} = 51\text{MUSD} + 2,38\text{MUSD} = 53,38\text{MUSD}$

Un fichier Excel qui calcule pour l'ensemble des différentes technologies et pour l'horizon de temps de quinze années a été développé et partagé avec le groupe d'experts. Pour la technologie de l'isolation thermique des bâtiments qui n'est pas une technologie de production énergétique, la surface d'isolation qui sera potentiellement installée chaque année de la période 2020-2035 a été projetée. La surface installée d'isolant a été ensuite utilisée pour calculer l'économie d'énergie et la quantité d'énergie calculée est considérée comme une énergie qui sera évité par la production. Le tableau suivant donne la surface installée et l'énergie économisée donc évitée par la production. Il devient donc possible de comparer sur une base énergétique l'option d'isolation thermique avec les technologies de production d'énergie. Le parc de bâtiments à isoler sur la période 2020-2035 est de 30000 et la surface moyenne à isoler serait de 100m² (en toiture dans un premier temps) soit un total de trois millions de m² d'isolants à poser. Le déploiement considéré est un déploiement régulier sur une base annuelle à raison de 2000 bâtiments par année soit 200 000 m² par année. L'économie d'énergie espérée pour chaque m² d'isolant est de 0,33 kWh/m²/jour (*Ref: Hared et al. Cisbat Proceedings, 2009*).

| Année | Surface d'isolants installée | Energie évitée par la production (MWh) | Coût d'investissement (MUSD) | Coût d'entretien et de maintenance |
|-------|------------------------------|--|------------------------------|------------------------------------|
| 2020 | | | | |
| 2021 | 200000 | 24,1 | 6 | 0 |
| 2022 | 200000 | 48,2 | 6 | 0 |
| 2023 | 200000 | 72,3 | 6 | 0 |
| 2024 | 200000 | 96,4 | 6 | 0 |
| 2025 | 200000 | 120,5 | 6 | 0 |
| 2026 | 200000 | 144,5 | 6 | 0 |
| 2027 | 200000 | 168,6 | 6 | 0 |
| 2028 | 200000 | 192,7 | 6 | 0 |
| 2029 | 200000 | 216,8 | 6 | 0 |
| 2030 | 200000 | 240,9 | 6 | 0 |
| 2031 | 200000 | 265 | 6 | 0 |
| 2032 | 200000 | 289,1 | 6 | 0 |
| 2033 | 200000 | 313,2 | 6 | 0 |
| 2034 | 200000 | 337,3 | 6 | 0 |
| 2035 | 200000 | 361,4 | 6 | 0 |

Tableau 12: économie d'énergie engendrée par le programme d'isolation thermique des bâtiments

Critère 2 : Facilité d'adoption de la technologie

Ce critère mesure la facilité d'adoption et de déploiement de la technologie. Cela dépend du degré de maturité de la technologie qui est mesurée en nombre d'années d'existence ou en nombre de pays qui l'ont adopté. Ce critère mesure également l'acceptation culturelle de la technologie qui fera en sorte que les barrières administratives ou sociales seront moindres. En effet les technologies n'ont pas la même acceptabilité culturelle et le solaire PV a clairement une grande acceptabilité culturelle comparée à l'isolation thermique qui est associée avec des scandales passés comme l'amiante. Il s'agit donc d'un critère qualitatif et dont les experts du groupe de travail vont apprécier à la lumière de leurs connaissances approfondies du contexte national.

La facilité d'adoption de la technologie est mesuré par un indicateur évalué sur une échelle allant de 0 à 100 avec la notation 0 indiquant une très grande difficulté pour le déploiement de la technologie et 100 indiquant une très grande facilité de déploiement de la technologie.

Critère 3 : Production énergétique ou énergie évitée

Ce critère renseigne sur la production énergétique totale de la technologie sur une durée de vie de plusieurs années. Ce critère est directement lié à plusieurs paramètres économiques et il est jugé crucial par le groupe d'expert. En effet on peut le relier aux paramètres et indicateurs suivants :

- Balance des paiements : Djibouti est un importateur net d'énergie électrique et toute production locale permettrait d'éviter l'importation de fuel lourd ou d'électricité issue de l'Ethiopie. Dès lors, toute production locale permettra de réduire la balance de paiement du pays
- Indépendance énergétique : bien que la tendance régionale est à l'intégration économique entre les pays de la sous-région, favorisant les interconnexions électriques entre les pays, les contrats de fourniture d'énergie signés entre Djibouti et l'Ethiopie ne sont pas pour l'instant de type puissance ferme. L'interconnexion électrique avec l'Ethiopie permet actuellement de garantir les approvisionnements mais la sécurité énergétique du pays n'est pas complètement garantie. Dès lors, Djibouti travaille toujours sur l'amélioration de son indépendance énergétique.

La production énergétique de chaque technologie proposée est calculée en projetant un plan de développement de chaque technologie dans un futur allant jusqu'à 15 ans. Le plan de développement de chaque technologie est développé en considérant le niveau de maturité des projets portant sur cette technologie au niveau national. D'autre part, pour calculer la production énergétique d'une technologie, il faut également connaître le taux de disponibilité de technologie, taux qui est retiré de la littérature spécialisée. Le tableau suivant donne une synthèse du programme de développement des différentes technologies et des quantités d'énergie produite pour chaque technologie.

| Nom de la technologie | Facteur de charge | Puissance cumulée installée pour la technologie sur la période 2020-2035 | Critère de production énergétique ou de production énergétique évitée (dans le cas de l'isolation thermique) | |
|-----------------------------------|-------------------|--|--|--|
| | | | Production énergétique sur la période 2020-2035 en GWh | Production énergétique évitée |
| Géothermie binaire | 95% | 139 MW | 9945 | |
| Centrale éolienne onshore | 40% | 60 MW | 2945 | |
| Mini-réseau solaire | 20% | 1.5 MW | 21 | |
| Toiture solaire auto-consommation | 20% | 10 MW | 214 | |
| Isolation thermique | | | | 3 GWh de consommation énergétique évitée |

Tableau 13: puissance totale et production énergétique totale sur la période 2020-2035

Selon ce critère de production énergétique, c'est l'option de géothermie binaire qui produirait le plus d'énergie sur la période 2020-2035. Cela confirme le fait que la géothermie produit une énergie utile pour la demande de base. C'est une option qui contribuerait considérablement à la sécurité de l'approvisionnement énergétique ainsi qu'à l'indépendance énergétique de Djibouti. Cela réduirait également la balance de paiement.

Pour l'option d'isolation thermique, on calcule l'économie d'énergie réalisée et on transpose en production énergétique évitée. Les travaux réalisés par le CERD en 2008 et 2009 ont montré que l'isolation thermique intérieure d'une épaisseur de 50 mm permet d'économiser 0,33 kWh/m²/jour de climatisation. En fixant la surface d'isolation à poser annuellement, il est donc facile d'estimer la quantité d'énergie économisée et cette quantité est considérée comme une production évitée. Il devient donc possible de comparer sur une même échelle de notation l'isolation thermique et les technologies

de production d'électricité sans que l'on ait besoin de scinder en deux critères différents la production d'énergie et l'économie d'énergie. Il faut se rappeler qu'une partie importante de la production d'électricité est toujours réalisée par des centrales au fuel lourd et notamment lors des pics de la demande en saison chaude. La diffusion de l'isolation thermique permettrait donc de diminuer la contribution des centrales thermiques à la production. Pour les technologies de production il s'agit de maximiser leur contribution au mix et pour l'isolation il s'agit de maximiser l'énergie économisée en lissant les pics qui font intervenir les centrales au fuel lourd. Il ne s'agit pas de critères antagonistes. L'économie d'énergie ne sera pas réalisée par rapport aux technologies de production propre mais par rapport à la production des groupes au fuel lourd.

Critère 4 : Impact environnemental et climatique

L'impact environnemental et climatique a été choisi comme critère important par le groupe d'expert. Le critère d'impact environnemental comporte deux indicateurs dont l'un est quantitatif et l'autre qualitatif. Le critère quantitatif porte sur les émissions de gaz à effet de serre de la technologie exprimé en Tonne de CO₂ équivalent. Un facteur d'émission du réseau électrique (grid emission factor) de 0.5224 TCO₂/MWh a été utilisé pour calculer les émissions de gaz à effet de serre. Les émissions calculées pour les différentes technologies sont regroupées dans le tableau suivant Les détails du calcul sont consignés dans le fichier Excel qui accompagne ce rapport. Enfin, les experts ont également adopté un indicateur portant sur les émissions potentielles de particules fines de la technologie. Cependant il s'agit d'un indicateur qualitatif en l'absence de données concrètes.

| Nom de la technologie | Puissance cumulée installée pour la technologie sur la période 2020-2035 | Production énergétique sur la période 2020-2035 en GWh | Emissions de CO ₂ évitées |
|-----------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Géothermie binaire | 139 MW | 9945 | 5.2 Million tCO ₂ |
| Centrale éolienne onshore | | | |
| Mini-réseau solaire | 1.5 MW | 21 | 0.01 Million tCO ₂ |
| Toiture solaire auto-consommation | 10 MW | 214 | 0.11 Million tCO ₂ |
| Isolation thermique | | 3 GWh de consommation énergétique évitée | 0.002 Million tCO ₂ |

Tableau 14: émissions évitées

Critère 5 : Impact social

Le critère d'impact social évalue le potentiel de la technologie à contribuer à des changements positifs de la vie des communautés du pays. Cela concerne en particulier le potentiel de la technologie à améliorer l'accès à l'énergie en milieu urbain et en milieu rural. C'est un critère jugé important par le groupe d'expert car le taux d'accès à l'énergie est considéré faible avec 60% en milieu urbain et moins de 10% en milieu rural. Ce critère a été noté sur une échelle comprise entre 0 et 100 par le groupe de travail. Les technologies qui permettent d'augmenter le taux d'accès à l'énergie et notamment en milieu rural sont notées favorablement tandis que les technologies qui ne favorisent pas l'électrification rurale sont notées défavorablement.

Les deux tableaux qui suivent présentent les valeurs des notations absolues et des notations normalisées des critères. La normalisation est effectuée selon la méthode expliquée dans la section 3.4.1. Les détails des calculs qui ont mené à la production de ces deux tableaux se trouvent dans le fichier Excel qui accompagne ce rapport.

| | Critères et indicateurs |
|--|-------------------------|
|--|-------------------------|

| | Coût (MUSD) | Facilité d'adoption | Impact économique | Impact climatique et environnemental | Impact social |
|--|-----------------------------|-------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|
| Option technologique | Investissement + O&M (MUSD) | Facilité de déploiement | Production énergétique ou production évitée (MWh) | Potentiel de réduction des GES (Gg) | Accès à l'énergie |
| Centrales éoliennes onshore | 174 | 45 | 2943360 | 1537611 | 25 |
| Centrale de géothermie binaire | 278,49 | 35 | 9944790 | 5195158 | 65 |
| Mini-réseaux solaires pour l'électrification rurale | 9,978 | 75 | 21024 | 10982 | 100 |
| Isolation thermique | 90 | 45 | 2891 | 1510 | 50 |
| Toiture solaire pour autoconsommation d'énergie | 21,4 | 85 | 214200 | 111890 | 90 |

Tableau 15: notations absolues des critères (avant normalisation)

| Critères et indicateurs | | | | | |
|--|----------------------|-------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|
| | Coût | Facilité d'adoption | Impact économique | Impact climatique et environnemental | Impact social |
| Option technologique | Investissement + O&M | Facilité de déploiement | Production énergétique ou production évitée | Potentiel de réduction des GES | Accès à l'énergie |
| Centrales éoliennes onshore | 38,91 | 20 | 29,57 | 29,570 | 0 |
| Centrale de géothermie binaire | 0 | 0 | 100 | 100 | 53,33 |
| Mini-réseaux solaires pour l'électrification rurale | 100 | 80 | 0,18 | 0,18 | 100 |
| Isolation thermique | 70,20 | 20 | 0 | 0 | 33,33 |
| Toiture solaire pour autoconsommation d'énergie | 95,75 | 100 | 2,13 | 2,13 | 86,66 |

Tableau 16: notations normalisées des critères

3.5 Résultats de la priorisation des technologies pour le secteur de l'énergie et analyse de sensibilité

Une réunion s'est tenue le 13 Octobre 2019 dans les locaux de l'Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Energie afin de conduire l'exercice de priorisation. Les institutions qui ont participé à l'exercice de priorisation incluent les suivantes :

- Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles
- Office Djiboutien de Développement de l'Energie Géothermique
- Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Energie
- Centre d'Etude et de Recherches de Djibouti
- Chambre de Commerce de Djibouti
- Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme

Les facteurs de pondération pour chaque critère ont été estimés après un consensus entre les experts. Plusieurs groupes de poids ont été considérés afin d'analyser la sensibilité des résultats à la variation des poids.

| Critère | Indicateur | Poids (s1) | Poids (s2) | Poids (s3) |
|---|--|------------|------------|------------|
| Coûts | Coût d'investissement et coût de M&O | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| Facilité d'adoption | Facilité d'adoption | 0,2 | 0,2 | 0,15 |
| Impact économique | Production énergétique ou énergie évitée | 0,2 | 0,3 | 0,25 |
| Impact environnemental et climatique | Quantité d'émissions de CO2 et potentiel de réduction des particules fines | 0,3 | 0,15 | 0,1 |
| Impact social | Potentiel d'augmentation de l'accès à l'énergie. | 0,15 | 0,15 | 0,25 |

Tableau 17: facteurs de pondération utilisée pour l'AMC

Les arguments et raisonnements explicatifs qui ont mené à la définition de ces valeurs de pondération sont les suivants :

Scénario de sensibilité S1 : pour ce scénario, les experts ont considéré que l'importance devrait être accordée à l'impact économique potentiel de la technologie, à la facilité de déploiement ainsi qu'aux bénéfices d'atténuation en termes de potentiel de réduction de gaz à effet de serre. L'impact économique sera mesuré indirectement par la production énergétique qui permettra de réduire les importations de fuel ou les importations d'électricité des pays voisins. Les coûts d'investissement et d'opération et maintenance ne sont pas considérés comme très importants dans ce scénario.

Scénario de sensibilité S2 : le scénario 2 accorde une plus grande importance aux critères de coûts, de contribution à l'économie du pays, à la facilité d'adoption. Cependant le critère d'accès à l'énergie et le critère de réduction des émissions de GES sont considérés moins importants

Scénario de sensibilité S3 : dans ce scénario, le critère de coût est jugé essentiel et les technologies qui coûtent cher en investissement et en O&M sont pénalisés. La contribution à l'économie du pays ainsi que l'accès à l'énergie sont jugés très importants également.

Avec les poids des indicateurs ainsi définis, on calcule les notes pondérées obtenues pour chaque technologie. Ces notes sont montrées dans le tableau suivant :

| Sensibilité | S1 | S2 | S3 |
|---|-------|-------|-------|
| Centrales éoliennes onshore | 24,62 | 25,09 | 23,08 |
| Centrale de géothermie binaire | 58 | 53 | 48,33 |
| Mini-réseaux solaires pour l'électrification rurale | 46,09 | 51,08 | 62,06 |
| Isolation thermique | 19,53 | 23,40 | 28,88 |
| Toiture solaire pour autoconsommation d'énergie | 48,42 | 53,11 | 61,35 |

Tableau 18: somme des notes pondérées pour les cinq technologies (secteur énergie)

Les résultats de la priorisation pour le secteur de l'énergie sont montrés dans le tableau qui suit en fonction des différents scénarii de pondération.

| Sensibilité | Ordre de classement des options | | | | |
|-------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------|
| | Centrales éoliennes onshore | Centrale de géothermie binaire | Mini-réseaux solaires pour l'électrification rurale | Toiture solaire pour autoconsommation | Isolation thermique |
| S1 | 5 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| S2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 5 |
| S3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |

Tableau 19: résultats de l'AMC pour le secteur de l'énergie

Trois technologies sortent clairement du processus de l'AMC, à savoir :

- Les centrales de production d'électricité par géothermie binaire
- Les toitures solaires PV pour l'autoconsommation
- Les mini-réseaux solaires pour l'électrification hors réseau

L'ordre de priorisation de ces trois technologies entre elles dépend des facteurs de pondération qui ont été considérés. La géothermie arrive une fois en première position, une fois en deuxième position et une fois en troisième position comme la technologie de l'autoconsommation. Les mini-réseaux arrivent une fois en première position et deux fois en troisième position. Compte tenu de la priorité accordée par les politiques nationales du secteur énergétique, l'ordre de priorisation retenue est le suivant dans l'évaluation des besoins en technologie du secteur de la production énergétique.

1. Production d'énergie par géothermie binaire
2. Solaire PV pour l'autoconsommation
3. Mini-réseaux solaire PV

Les trois technologies priorisés répondent parfaitement à des défis de développement du pays. La géothermie binaire concentre des grands espoirs pour assurer l'indépendance énergétique de Djibouti. La géothermie produit une puissance électrique qui sert la base de la demande et les ressources de Djibouti sont conséquentes dans ce domaine. Le gouvernement a investi beaucoup d'argent pour la réalisation de forages d'exploration et il est espéré que les puits forés vont être productifs à partir de 2021. Entre 2021 et 2035, il est espéré que le programme de développement de la géothermie à Djibouti va permettre de développer 139 MW d'électricité. La géothermie binaire a obtenu des bonnes notations sur le critère de sécurisation de l'approvisionnement énergétique et sur le critère d'impact environnemental et climatique. Les poids affectés aux indicateurs de ces deux critères totalisent 50%,

ce qui explique que la géothermie arrive en tête de la priorisation. Et ce, malgré une notation très défavorable en ce qui concerne le critère des coûts et le critère de facilité d'adoption.

Les toitures solaires PV pour l'autoconsommation vont concourir également à l'indépendance énergétique du pays tout en diversifiant l'offre. Cette technologie va offrir à chaque ménage, la possibilité de produire une partie ou à la totalité de ses besoins en énergie électrique.

Les trois technologies sélectionnées feront l'objet lors de la prochaine étape du processus EBT, d'une analyse multicritère. Les autres options qui n'ont pas été sélectionnées par l'analyse multicritère sont l'énergie éolienne et l'isolation thermique des bâtiments. Bien que ces deux options n'arrivent pas parmi les trois premières options, l'énergie éolienne mobilise quand même des investissements visant à développer un parc éolien au Ghoubbet. Par ailleurs, l'isolation thermique des bâtiments aurait le mérite de réduire l'intensité énergétique du secteur résidentiel et tertiaire. Bien que n'ayant pas été sélectionnées par l'analyse multicritère, ces deux options mériteraient amplement la considération des planificateurs pour faire l'objet d'une analyse et d'un plan de mise en œuvre de projets concrets dans ces deux domaines.

Chapitre 4 Priorisation des technologies pour le secteur des transports

4.1 Emissions de GES et technologies existantes pour le secteur des transports

Les émissions de GES du secteur des transports ont été évaluées dans le cadre de la préparation de la première et deuxième communication nationale. Les années de référence de ces deux communications étaient respectivement 1994 et 2000. La Troisième Communication Nationale dont l'inventaire des GES a été finalisé a permis également d'évaluer les émissions de GES de ce secteur pour l'année 2010, année prise comme référence pour cette troisième communication. Les émissions de GES du secteur des transports estimées par les inventaires de ces trois communications sont consignées dans le tableau suivant.

| | |
|-------------|--|
| 1994 | 125,5 |
| 2000 | 108,5 |
| 2010 | 298 (chiffre issu de la Troisième Communication Nationale en cours de préparation) |

Tableau 20: émissions de GES secteur des transports

Les technologies existantes pour le secteur des transports en 2020 sont limitées aux véhicules à moteur à combustion interne, le train électrique et le ferry pour le transport côtier des personnes.

4.2 Contexte de décision

Le secteur des transports est dominé par l'utilisation des véhicules thermiques utilisant exclusivement le gasoil et l'essence. Les stations-services n'offrent aucune autre alternative que l'essence ou le diesel comme l'éthanol et il n'existe actuellement aucun véhicule électrique dans tout le pays qu'il soit hybride ou totalement électrique. Le parc de véhicules circulant dans le pays est dominé par les véhicules d'occasion qui proviennent de Dubai, de Corée du Sud ou du Japon et l'utilisation de véhicules d'occasion entraîne des émissions de polluants plus importante par rapport à des véhicules neufs. Par ailleurs, l'efficacité énergétique des véhicules diminuant avec l'âge, les véhicules émettent probablement plus d'émissions de CO₂ par rapport à des véhicules neufs étant donné qu'ils utilisent plus de carburant pour accomplir les mêmes distances. Cependant, on peut noter que le gouvernement fait des efforts importants par la mise en place du décret N° 2018-203/PR/MET limitant l'importation de véhicules âgés de plus de huit ans. Depuis une dizaine d'années, le nombre de véhicules nouvellement immatriculés augmente considérablement entraînant subséquemment une augmentation des émissions de CO₂ du secteur des transports.

| Type | 2007 | 2008 | 2009 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-----------------------------------|------|------|------------|-------------|-------------|------|------|------|
| Bus | 56 | 45 | 100 | 14 | 148 | 101 | 176 | 202 |
| Camion | 256 | 125 | 377 | 490 | 658 | 505 | 587 | 328 |
| Camionnette | 100 | 95 | 132 | 25 | 33 | 13 | 44 | 23 |
| Voiture particulière | 1358 | 1108 | 1708 | 1881 | 3789 | 2586 | 2620 | 3222 |
| Moto | 35 | 45 | 69 | 75 | 89 | 82 | 128 | 117 |
| Remorque | 13 | 25 | 43 | 100 | 196 | 236 | 302 | 91 |
| Fourgonnette | 4 | 16 | 7 | 35 | 2 | 4 | 13 | 12 |
| Total des immatriculations | 1822 | 1459 | 2436 | 2620 | 4915 | 3527 | 3870 | 3995 |

Tableau 21: immatriculations de nouveaux véhicules à Djibouti depuis 2007

Les immatriculations annuelles de nouveaux véhicules en 2014 ont augmenté de 170% par rapport à l'année 2007. Les catégories qui ont le plus augmenté sont les voitures particulières et les camions. Il s'agit ici essentiellement de camions utilisés pour la collecte de sable dans les carrières. Cela est très corrélé avec la dynamique du secteur de la construction qui connaît une croissance importante depuis une dizaine d'années. L'augmentation du nombre de voitures particulières peut s'expliquer par l'arrivée sur le marché de nouvelles banques qui offrent des financements des produits de consommations, des véhicules particuliers mais également du financement des entreprises.

Cadre institutionnel du secteur des transports

Les acteurs institutionnels impliqués dans le secteur des transports à Djibouti sont :

- Ministère de l'Équipement et des Transports
- Ministère du Commerce
- Autorité des Ports de Djibouti
- Mairie de Djibouti
- Etablissement Public des Hydrocarbures de Djibouti
- Ministère du Budget

Ces institutions sont impliquées à divers niveaux dans l'organisation du secteur du transport. L'institution centrale dans le secteur du transport est bien sur le Ministère de l'Équipement et des Transports (MET).

Selon le Décret N° 2019-116/PRE fixant les attributions des Ministères, le rôle du Ministère du Transport est le suivant :

- la mise en œuvre et de la coordination de la politique en matière de transport routier, ferroviaire, maritime et aérien ainsi que la météorologie nationale.
- Il a en charge de la définition et la mise en œuvre d'une politique de développement des transports en commun urbain.
- Il a en charge également la gestion, le fonctionnement, l'entretien et la rénovation des équipements publics et à ce titre assure l'élaboration et la coordination de la mise en œuvre des programmes d'entretien et de construction.
- Il coordonne les politiques de désenclavement et de développement du territoire national. Il est également chargé de l'aménagement et de la maintenance des voies de desserte des zones de production et des sites touristiques ainsi que de la maintenance des aérodromes des régions de l'intérieur.
- Le Chemin de Fer Djibouto-Ethiopien, les Ports, l'Aéroport International de Djibouti, l'Aviation Civile, l'Agence Nationale de la Météorologie et l'Agence Djiboutienne des Routes sont sous la tutelle du Ministère.

Aux côtés de ces institutions étatiques, il a été créé en 2003, un conseil national des transports (CNT), institution à caractère paritaire et consultatif placé auprès du Ministère chargé des Transports. Le CNT a essentiellement une fonction consultative auprès du MET « sur tout projet de texte législatif ou réglementaire intéressant le secteur des transports publics urbains et interurbains de personnes ». Le décret précise que le CNT est consulté en particulier sur les thématiques comme « les périmètres des transports urbains et les Plans de déplacements urbains, la gestion du parc (identification du type de véhicules, contrôle technique de sécurité et agréments y afférents, etc...), les tarifs, l'emplacement des gares routières et des parkings et les sanctions administratives à l'encontre des transporteurs ou de leurs employés ». Le CNT est composé des organes étatiques, des représentants du parlement et des collectivités territoriales, des représentants du secteur professionnel et des représentants des usagers.

Les syndicats des transporteurs sont également des institutions importantes et reconnues par l'Etat. Il en existe plusieurs à savoir, le syndicat des bus et minibus, le syndicat des taxis et l'Association des Transitaires Djiboutiens (ATD) qui regroupe les transporteurs de marchandises conteneurisés. D'autres

transporteurs comme ceux qui transportent des marchandises non conteneurisées à l'intérieur du territoire national ne sont pas organisés en association ou syndicat. L'organisation de ces différentes associations se fait dans un cadre fixé par l'état et leurs propres règles d'organisation internes. En tout état de cause, il ressort de l'analyse du cadre institutionnel qu'il existe donc de multiples acteurs aux objectifs et intérêts parfois divergents. Le MET reste le principal coordonnateur de ces différents acteurs.

Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire du secteur des transports est défini par plusieurs textes juridiques adoptés en conseil de ministres ou par le parlement. La Loi n°190/AN/02/4ème définit les orientations des transports publics urbains et interurbains de personnes. Elle définit en particulier les éléments comme les transports publics urbains et intra-urbains, la notion de service public, les transports privés, le service de taxi, le transporteur, les infrastructures et les équipements de transport, le cahier de charge des transports publics, le périmètre des transports urbains et le plan des déplacements urbains. Les véhicules pouvant transporter des personnes en milieu urbain et intra-urbain sont définis comme suit par la Loi :

- Catégorie 1 : Véhicule de 26 places assises ou plus affecté au transport public urbain
- Catégorie 2 : Véhicule de moins de 26 places assises affecté au transport public urbain, hors service de taxi
- Catégorie 3 : Véhicule affecté au transport public interurbain, hors service de taxi, comportant obligatoirement 26 places assises ou plus
- Catégorie 4 : Véhicule affecté au service de taxi.
- Catégorie 5 : Véhicule affecté au transport collectif privé de personnes

En ce qui concerne le plan de déplacement urbain, il a été défini par l'Arrêté n°2006-0535PR/MET qui complète la Loi n°190/AN/02/4ème L. L'arrêté définit les emplacements pour les départs et les terminus pour les transports urbains à l'intérieur de Djibouti-Ville et vers Balbala ainsi que pour les transports interurbains. La définition du plan de déplacement urbain s'assure que le transport urbain des personnes se déroule de manière organisée avec l'objectif d'assurer le service public.

Le transport des personnes en milieu urbain

Le transport des personnes en milieu urbain dans la ville de Djibouti fait face à des défis de taille tels que l'inadéquation entre l'offre et la demande, l'augmentation du nombre de véhicules entraînant la congestion des routes, des zones nouvelles de la ville qui ne sont pas desservies par le transport urbain public. En effet, aux heures de pointes comme les premières heures du matin ou à la sortie du travail l'après-midi, le nombre de bus disponible est largement inférieures au nombre de passagers et il est fréquent en période scolaire de voir des situations très gênantes pour les usagers.

Le transport public est assuré totalement par des véhicules appartenant à des personnes ou bien dans des cas rares à des sociétés de transport. D'ailleurs, il n'existe qu'une seule société de transport de personnes qui partage le transport des personnes avec la myriade de bus, minibus et taxis privés.

Le transport de personnes en milieu urbain à Djibouti se caractérise par l'absence de l'offre publique car ni l'Etat ni la mairie ne possède ou gère un parc de véhicules destinées au transport de personnes en milieu urbain. Dans la configuration actuelle du système de transport de personnes, ce sont des particuliers ou des sociétés qui possèdent et opèrent le transport de personnes en milieu urbain. La coordination des systèmes de transport urbain des personnes ne semble pas fonctionner correctement et la meilleure démonstration est l'absence de toute planification des horaires de passage de véhicules aux différents arrêts. Par ailleurs, les bus et minibus ne respectent absolument pas les arrêts prévus le long des itinéraires et les arrêts et démarrages se font au gré de l'embarquement ou le demande de descente

des passagers. Cela crée naturellement, et il est facile d'imaginer, des difficultés de circulation qui peuvent même devenir dangereuses à certains endroits.

Les moyens technologiques existants à Djibouti actuellement sont le bus, le minibus, les triporteurs type Bajaj ou Tuk-Tuk et les taxis pour le transport en commun. Pour les voitures particulières, les véhicules de type 4*4 habituellement consommatrices de grande quantité de carburant semblent être les plus nombreuses. Il est difficile de donner les chiffres exacts sur la composition du parc de véhicules au niveau national car les informations ne sont pas centralisées ni publiées par les différents organes en charge des transports.

La ville de Djibouti ni les villes de l'intérieur ne disposent de tramway ou de métro et cela reste compréhensible étant donné le niveau de développement du pays et les investissements élevés que peuvent demander la mise en place des moyens technologiques comme ceux-là.

Le transport inter-urbain de personnes

Le transport inter-urbain fait référence aux transports de personnes et de marchandises entre la capitale et les autres villes du pays. Il existe cinq autres villes avec des fortes concentrations de populations qui sont Ali-Sabieh, Dikhil, Tadjourah, Obock et Arta. Pour les destinations Ali-Sabieh et Dikhil, ce sont des bus de 26 places qui transportent les personnes. Entre Ali-Sabieh et Djibouti-Ville, il y'a environ une dizaine de voyages qui sont réalisés quotidiennement tandis qu'entre Djibouti et Dikhil il y'a moins de 10 voyages qui se font par jour. Pour les destinations Tadjourah et Obock, les déplacements se font plutôt en mini-bus de 15 places et pour Wea et Arta, il y'a deux voyages quotidiens entre la capitale et ces villes. Les voyages entre villes autres que Djibouti n'existent pas ou sont très rares.



Les autres moyens de déplacement entre la capitale et les villes de l'intérieur incluent en moindre fréquence le ferry et le train. En effet, les villes de Tadjourah et Obock sont desservies par un ferry à raison de trois fois par semaine pour Tadjourah et une fois par semaine pour Obock. Le ferry peut transporter des passagers mais aussi des marchandises et le prix est concurrentiel par rapport aux mini-bus tandis que la durée est plus réduite et le trajet jugé aussi plus sûr. La durée du trajet entre Djibouti-Ville et Tadjourah est de l'ordre de trois heures.



Image : train électrique Djibouti-Addis par Ali-Sabieh



Image : ferry Djibouti-Tadjourah et Djibouti-Obock

Pour les habitants d'Ali-Sabieh, il est possible d'effectuer le trajet jusqu'à la capitale en train électrique. En effet, Ali-Sabieh se trouve sur le trajet du train électrique qui relie Djibouti-Ville à Addis-Abeba en Ethiopie. Cependant, le train ne transporte des passagers que pendant la période estivale dans laquelle beaucoup de Djiboutiens se rendent en Ethiopie. En dehors de la période estivale, le train ne dessert pas la ville d'Ali-Sabieh. Cependant, l'existence de cette ligne ferroviaire électrique est une grande opportunité de développement du corridor Djibouti-Ali-Sabieh et pourrait s'avérer dans le futur totalement rentable d'un point de vue économique une fois que l'aéroport de Bicidley sera construit.

Transport transfrontalier de marchandises

Djibouti est un hub de transit majeur pour les marchandises à destination de l'Ethiopie et d'une partie de la Somalie ainsi que le Sud-Soudan. Djibouti a massivement investi dans les infrastructures portuaires et dispose de deux ports ultra-modernes disposant de capacités de déchargement et d'entreposage de grande envergure. Ce sont pratiquement 90% des besoins en marchandises de l'Ethiopie qui transitent par les ports de Djibouti et le transport du Port de Djibouti est assuré soit par des camions et depuis une année en partie par le train. Le trafic du transit par camion engendre la circulation de près de 1000 camions remorques à partir de Djibouti. Cependant les émissions de CO2 issues de ces camions ne peuvent pas être comptabilisées pour el République de Djibouti. L'augmentation de la fréquence des circulations des trains électriques devrait probablement réduire progressivement le trafic du camion et donc les émissions de CO2 de ces camions. Cependant il s'agit seulement de probabilité car l'Ethiopie affiche des taux de croissance économique important et les besoins de ce pays pourraient tout à fait augmenter dans l'avenir. Par ailleurs, le retour à la paix du Soudan du Sud devrait engendrer un accroissement des importations de ce pays à travers les Ports de Djibouti dans l'avenir.

4.3 Un aperçu des options technologiques pour l'atténuation dans le secteur de l'énergie, de leurs potentiels d'atténuation des autres co-bénéfices

L'exercice de priorisation des technologies prioritaires pour le secteur des transports a été réalisé par un groupe d'experts issus des différentes parties prenantes impliquées dans ce secteur. Le MUET a invité les institutions clés impliqués dans le secteur à participer aux réunions d'identification et de priorisation des technologies. Les institutions invitées à envoyer des experts sont :

- Ministère de l'Équipement et des Transports
- Autorité des Ports et des Zones Franches
- Mairie de Djibouti
- Université de Djibouti
- Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Énergie

Le processus de sélection a été organisé comme suit :

- ✓ le consultant national en atténuation a préparé une liste de sept (07) technologies qui a été soumise au groupe d'experts
- ✓ le groupe d'experts nationaux a amendé la liste avec quatre (04) technologies jugées également pertinentes
- ✓ des fiches technologiques détaillées ont été préparées pour l'ensemble des onze technologies par le consultant national
- ✓ sur la base des fiches technologiques, le groupe d'experts national a sélectionné une liste de quatre technologies qui ont été soumises à l'analyse multicritère pour la priorisation

Les technologies ont été présélectionnées sur la base de discussion entre les experts du groupe sectoriel. Les critères de présélection utilisés sont le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la priorité donnée par le gouvernement à la technologie et le potentiel à fluidifier. Une description succincte de l'ensemble des technologies identifiées ainsi que leurs potentiels de réductions des émissions est donné ci-dessous. Les fiches technologiques de quatre technologies présélectionnées pour l'analyse multicritère sont insérées dans l'annexe I.

Technologie 1 : mise en place des couloirs de circulation pour les bus et aménagement de gares (BRT)

Le BRT désigne un système de transport en commun rapide par bus (BRT) de haute qualité basé sur un bus, qui fournit des services rapides, confortables et rentable. Le BRT est un système qui utilise :

- des voies réservées : certaines portions de la route sont réservées à la circulation des bus du système BRT
- des gares d'embarquement et de débarquement des passagers, généralement positionnées au centre de la route mais qui peuvent tout à fait être positionnés sur les côtés de la route aussi
- un système de contrôle de l'embarquement et des débarquements des passagers automatisés afin de permettre des opérations rapides et fréquentes

Le BRT est plus fiable que les bus classiques, pratique et rapide car elle contient des fonctionnalités similaires à celles d'un tramway. En raison des voies réservées, le BRT permet de déplacer un grand nombre de personnes en milieu urbain de façon très rapide. Les voies spécialisées pour les bus existent depuis bien longtemps dans les pays développés sans aménagements de gares spécifiques mais juste avec des emplacements prévus pour les arrêts ainsi que des stations départs et des stations terminus. Le BRT demande donc des grands travaux d'aménagement des voies ainsi qu'une reconfiguration des voies. En Afrique, plusieurs villes ont mis en place des lignes BRT ou à défaut des lignes de circulation spécifiques pour le bus. Les bus utilisés pour la BRT peuvent être des bus classiques fonctionnant au diesel, des bus fonctionnant au gaz naturel. Le BRT a un grand potentiel de réduction des émissions issues du transport urbain des personnes grâce à la substitution de véhicules personnels par le BRT. Si en plus de sont des bus fonctionnant au gaz naturel ou des bus électriques sont utilisés pour la BRT, ce sont davantage d'émissions de CO2 qui seront réduites.

Technologie 2 : Tramway

Le tramway est un mode de transport de masse qui se situe entre le métro et le BRT. La capacité de transport du tramway est importante. Un tramway d'une longueur de 30m peut disposer de 200 places. Par exemple le tramway d'Istanbul qui est long de 60m pour 450 places transporte quotidiennement jusqu'à 260 000 passagers. Le tramway est un mode de circulation aérien et utilise des voies dédiées et il fonctionne à l'électricité. En raison de la capacité à transporter un grand nombre de passagers, le tramway peut se substituer progressivement à l'utilisation de voitures personnelles pourvu que les lignes soient suffisantes pour couvrir les différents quartiers de la ville. A terme, le tramway peut donc réduire considérablement les émissions de CO2 dues au transport urbain des personnes. Le tramway est une technologie aussi ancienne que la voiture et de nombreuses villes continuent à mettre en place des lignes de tramway pour décongestionner leurs routes. En Afrique, plusieurs villes disposent déjà des lignes de tramway

Technologie 3 : Véhicule électrique

Les véhicules électriques existent sur le marché international depuis une dizaine d'années sans avoir réellement connu un envol commercial. La gamme des véhicules électriques existant sur le marché international comprend des berlines personnelles, des véhicules électriques, des bus. La technologie qui nous intéresse est ici plutôt celle des voitures électriques personnelles.

La voiture électrique la plus aboutie sur le marché international et qui a connu un certain succès commercial a été pendant longtemps la Toyota Prius. Il s'agit en réalité d'une voiture dite hybride qui dispose de deux moteurs à savoir un moteur à essence classique et un moteur électrique. Depuis quelques années, de nombreux constructeurs se sont lancés dans la construction de voitures électriques et notamment les voitures personnelles totalement électriques. Certains constructeurs comme Toyota ou Honda continuent à construire des voitures hybrides fonctionnant à l'électricité et au gasoil. La diffusion de la technologie des voitures électriques à grande échelle permettrait de réduire considérablement les émissions de CO2 du secteur des transports pourvu que l'énergie utilisée pour la recharge provienne de source renouvelable. D'autre part, il faudrait installer une infrastructure de recharge constitué de bornes de recharge à divers endroits de la ville. Les prix des voitures électriques sont pour l'instant très élevés pour les revenus moyens des Djiboutiens.

Technologie 4 : Navette de train électrique Djibouti-Ali-Sabieh

Le train électrique fonctionne depuis 2018 à Djibouti. Une ligne ferroviaire électrique relie Djibouti-Ville et Addis-Abeba, la capitale de l'Ethiopie. Le train électrique comprend une ligne destinée au fret conteneurisé de marchandises et une ligne de transport de passagers. La technologie mise en place comprend l'infrastructure ferroviaire (rails, locomotives, wagons, lignes d'alimentation électrique) et les gares d'embarquement et de débarquement. Les rails arrivent jusqu'au Port où les conteneurs sont chargés sur le train. Les passagers à destination d'Ali-Sabieh ou d'Ethiopie embarquent à la gare de Nagad. Ali-Sabieh est la dernière ville Djiboutienne avant la frontière Ethiopienne et c'est aussi la deuxième ville de Djibouti de par le nombre d'habitants. Par ailleurs la ville dispose d'un climat plus clément que celui de la ville de Djibouti en raison de son éloignement par rapport à la cote et grâce à son altitude de 500m au-dessus du niveau de la mer. C'est une ville appréciée par les Djiboutiens et s'il existait une possibilité de réaliser le trajet Djibouti-Ali-Sabieh, il n'est nul doute que des nombreuses personnes pourraient s'installer pour faire le trajet aller-retour quotidien pour venir travailler dans la capitale et retourner dans leurs villes dans la même journée. Le trajet en train électrique est de 40 minutes entre la capitale et Ali-Sabieh tandis que la durée moyenne en bus ou en voiture personnelle est de 1h30 minutes à 2h30 minutes en raison du fort trafic de camions. L'existence d'une telle ligne favoriserait le développement de la ville d'Ali-Sabieh mais aussi de l'ensemble du couloir Sud-Est du

pays et des villages historiques comme Holl-Holl ou Dasbiyo. Cela pourrait donc contribuer aux objectifs de la Vision 2035 du pays de favoriser le développement des régions de l'intérieur du pays. L'option technologique présentée ici est de mettre en place un ensemble d'actions soft pour permettre la mise en place de navette de train électrique entre Djibouti-Ville et Ali-Sabieh. Toutes les infrastructures sont disponibles à savoir les rails, les trains, les lignes d'alimentation électrique et les gares. Ce qui manque, c'est l'offre commerciale pour les trains de navette entre Ali-Sabieh et Djibouti. En terme de réduction des émissions, les navettes de train pourraient se substituer aux dizaines de bus et autres voitures qui font quotidiennement le trajet entre les deux villes et réduire progressivement les émissions. Le train fonctionne avec de l'électricité et donc la substitution va systématiquement éliminer les émissions de ce sous-secteur du transport inter-urbain de personnes

Technologie 5 : Ferry

Les ferry sont des bateaux capables de transporter des passagers et du fret et sont actuellement en fonctionnement entre la capitale Djibouti-Ville et les villes côtières du Nord du pays comme Tadjourah et Obock. La fréquence actuelle est de trois voyages par jour entre Tadjourah et Djibouti et deux voyages entre Obock et Djibouti. Les ferry circulant entre la capitale et les villes du Nord ne sont pas initialement prévus pour transporter du fret mais ils transportent quand même des marchandises comme des matériaux de construction, des denrées alimentaires et même des voitures. Cependant, la fréquence. Là encore, l'option technologique proposée permettrait de répondre à la problématique de développement des régions de l'intérieur du pays. Comme pour Ali-Sabieh, les villes de Tadjourah et Obock sont actuellement desservies principalement par des bus, des minibus et des taxi-brousses.

Technologie 6 : vélos et pistes cyclables

La pratique du vélo est extrêmement limitée dans les villes et les campagnes Djiboutiennes contrairement à d'autres pays africains. Les vélos sont plutôt limités à la classe d'âge des jeunes qui le pratiquent dans leurs quartiers. Il y'a très peu ou pas du tout de personnes qui utilisent le vélo pour se rendre au travail. Les raisons en sont multiples et on peut citer entre autre l'inexistence de pistes cyclables dédiées, la dangerosité du trafic routier de la capitale et le climat généralement chaud qui dissuade de l'effort de pédaler. La technologie du vélo est simple et très ancienne. Il existe des vélos totalement mécaniques qui ne fonctionnent qu'au pédalage ou des vélos électriques. L'introduction du vélo à grande échelle pourrait avoir un impact positif important sur les émissions de CO2 et pourrait résoudre en même temps en partie le problème de transport lors des pics de la demande le matin et le soir. En particulier le vélo pourrait remplacer partiellement l'utilisation de mini-bus et de tuk-tuk à l'intérieur de Balbala, la banlieue de Djibouti-Ville et surtout pour les écoliers et les élèves.

Technologie 7 : Reconfiguration du plan de déplacement urbain

La ville de Djibouti s'est agrandie très rapidement ces deux dernières décennies en raison du développement économique du pays et un exode rural consécutif aux sécheresses des années 2008 à 2011. En effet, des nouveaux quartiers entiers ont fait leur apparition dans la ville. Par ailleurs, le nombre de véhicules en circulation dans la capitale a augmenté de 100% entre 2005 et 2015 sans que le nombre de routes disponibles n'ait augmenté de façon proportionnelle. Cela entraîne naturellement des congestions plus importantes et plus nombreuses dans la ville. Comme plus de 90% de véhicules circulant dans la capitale sont des véhicules à diesel, les concentrations de particules fines comme les PM2.5 ou le monoxyde de carbone est plus important. Afin de fluidifier la circulation dans la capitale, la reconfiguration du plan de déplacement urbain apparaît donc comme une nécessité et c'est un souhait du MET d'intégrer la thématique dans l'évaluation des besoins en technologie du pays. Le consultant a

donc pris la liberté d'intégrer cela dans les options technologiques proposées. La reconfiguration du plan de déplacement urbain est un élément de technologie soft qui définit la planification globale de la mobilité à l'échelle d'une agglomération. La reconfiguration du plan de déplacement urbain aura un impact environnemental important en canalisant artificiellement le flot de véhicules dans les différentes artères de la capitale et en fluidifiant la circulation. En termes d'impact social, la reconfiguration et l'exécution effective du plan de déplacement urbain pourrait créer des meilleures conditions de circulation, réduire les émissions de particules fines et éventuellement augmenter les espaces de circulation dédiés aux piétons.

Technologie 8 : Boutre

Les boutres sont des bateaux construits en bois qui circulent entre Djibouti et les autres pays de la région. Ils disposent d'une motorisation thermique avec des moteurs diesel d'une dizaine de chevaux. Les boutres disposent de grande capacité d'emport et voyagent entre Djibouti, le Yemen, la Somalie, le Soudan et vont jusqu'à Dubaï même. Les boutres constituent une offre intéressante et avec des coûts acceptables par comparaison avec les bateaux pour le commerce avec les pays proches. Cette option technologique est étudiée par l'Université de Djibouti et il a été recommandé d'intégrer dans la longue liste de technologies.

Technologie 9 : remplacement du parc de bus

Le parc des bus et minibus circulant dans la ville de Djibouti est globalement vieillissant et cela entraîne de surconsommations de carburant et donc plus d'émissions de CO2. Le MET souhaiterait mettre en place un programme de remplacement du parc roulant existant.

Technologie 10 : remplacement du parc de taxis

Le parc des taxis existant dans la ville de Djibouti est lui aussi vieillissant et le MET souhaiterait également renouveler le parc de taxis par des taxis neufs et moins émetteurs de gaz à effet de serre.

Technologie 11 : Bus au gaz naturel

Le bus fonctionnant au gaz naturel est une technologie utilisée dans plusieurs villes à travers le monde. La combustion du gaz naturel ne dégage pas de d'oxyde soufre, de plombs et produit très peu d'oxyde d'azote contrairement à la combustion du diesel ou de l'essence. Les bus fonctionnant au gaz naturel sont donc moins polluants que les bus fonctionnant au Diesel. Par ailleurs, ces bus émettent moins de bruit que ceux fonctionnant au Diesel. Les bus fonctionnant au GNV ont généralement des longueurs importantes pouvant aller jusqu'à 18m et peuvent transporter jusqu'à 150 passagers à la fois et leur autonomie peut atteindre jusqu'à 500 kilomètres. Ce sont des bus qui nécessitent la mise place de stations de GNV pour réaliser le plein.

Sur les onze technologies identifiées, le groupe d'experts a présélectionné un groupe de quatre technologies sur la base d'informations relatives à l'intérêt porté par le Ministère de l'Équipement et des Transport à l'option technologique ou encore le potentiel à fluidifier la circulation dans la capitale. Certaines technologies ont été présélectionnées sur la base de leur potentiel à développer les régions de l'intérieur du pays. Le tableau suivant regroupe les quatre technologies présélectionnées par le groupe d'experts ainsi que quelques arguments sur la justification de cette présélection.

| Nom de technologie | l'option | Situation actuelle dans le pays | Zone de desserte |
|--------------------|----------|---------------------------------|------------------|
|--------------------|----------|---------------------------------|------------------|

| | | | | |
|---|---|------------------|-----------------|----|
| Mise en place des couloirs de circulation pour les bus et aménagement de gares (BRT) | Technologie non existante dans le pays au stade d'études au sein du Ministère de l'Équipement et des Transports | Urbain, capitale | Djibouti-ville, | la |
| Tramway | Technologie non existante dans le pays. Etude de faisabilité pour un projet de tramway | Urbain, capitale | Djibouti-ville, | la |
| Navette de train électrique Djibouti-Ali-Sabieh | La technologie existe déjà dans le pays | Inter-urbain | | |
| Ferry navette Djibouti-Tadjourah et Djibouti-Obock | La technologie existe déjà dans le pays | Inter-urbain | | |

Tableau 22: technologies présélectionnées pour l'AMC (secteur des transports)

4.4 Critères et processus pour la priorisation des technologies pour le secteur des transports

Le groupe d'experts qui a travaillé sur le processus de priorisation des technologies dans le secteur des transports a établi la liste de critères et d'indicateurs définis dans le tableau suivant. Certains critères sont identiques à ceux utilisés dans le secteur de l'énergie tandis que d'autres sont spécifiques au secteur des transports.

Critère 1 : Coûts de la technologie

Ces coûts incluent les coûts d'investissement et les coûts d'opération et de maintenance. Ces coûts diffèrent bien sûr d'une technologie à l'autre. Les coûts d'investissement comprennent le coût de construction des voies (routes, rails), le coût d'achat des terrains, les coûts des équipements roulants, les coûts de l'alimentation en électricité, les coûts des gares et autres points d'arrêts, les coûts de signalisation du trafic, les pour les communications. Afin d'obtenir les coûts totaux de la technologie, il faut rajouter aux coûts cités précédemment, les coûts d'opération et de maintenance. Il n'a pas été possible à ce stade du processus de calculer des coûts estimatifs pour les différentes options proposées en raison du manque de précisions sur les projets au niveau national. Cependant il existe quelques données assez générales sur les coûts de construction des grands projets de transports qui ont permis aux experts de se faire une idée sur les différentes options. Les experts ont décidé d'adopter une échelle de notation comprise en 0 et 100 pour noter ce critère et les notes ont été établies par consensus.

Critère 2 : Facilité d'adoption

Ce critère a aussi été utilisé pour la priorisation des technologies dans le secteur de l'énergie. La facilité d'adoption de la technologie est mesuré par un indicateur évalué sur une échelle allant de 0 à 100 avec la notation 0 indiquant une très grande difficulté pour le déploiement de la technologie et 100 indiquant une très grande facilité de déploiement de la technologie. Dans ce cas précis du secteur des transports, l'option technologique de la navette de train électrique et du ferry auront les plus grandes notations pour ce critère car il s'agit de technologies dont les infrastructures sont déjà en place et qui nécessitent seulement des réorganisations et surtout au niveau commercial. Le BRT ou le Tramway auront des notes plus basses pour ce critère.

Critère 3 : potentiel à fluidifier la circulation

Dans le contexte du transport urbain de la ville de Djibouti où la congestion des routes devient problématique, ce critère est d'une grande importance. Ce critère est mesuré par un indicateur portant sur le nombre ou le volume potentiel de passagers qui seront transportés par la technologie. Si une technologie proposée permet de transporter un grand nombre de passagers, alors elle sera bien notée tandis qu'une technologie qui transporte moins de personnes sera moins notée. Sur les quatre technologies sélectionnées par le groupe d'expert, le BRT et le tramway vont permettre de transporter beaucoup plus de passagers que le train navette électrique ou le ferry. En effet les deux premières technologies vont servir les passagers de la capitale bien plus nombreux que les éventuels passagers qui

prendraient les navettes pour Ali-Sabieh et Tadjourah. Les notations seront faites par jugement d'expert en l'absence de données techniques permettant d'estimer quantitativement le nombre de passagers. Concrètement, nous ne disposons pas de données sur le nombre actuel de passagers ni sur les distances moyennes parcourues. Ce critère a été noté sur une échelle comprise entre 0 et 100. Les technologies qui permettent de transporter un grand nombre de passagers et donc qui fluidifient la circulation ont bénéficié de notes favorables tandis que les technologies qui ne permettent pas de transporter beaucoup de passagers sont notées défavorablement.

Critère 4 : Impact environnemental et climatique

Le critère d'impact environnemental et climatique renseigne sur le potentiel de la technologie à réduire les émissions de polluants comme les PM2.5 et les émissions de CO2. Là aussi, les notations ont été données par consensus entre les différents experts. Dans une étape ultérieure (par exemple à l'étape d'analyse des barrières), si les projets sont mieux définis, il sera possible d'estimer de façon quantitative les émissions de CO2 et de PM2.5. Ce critère a été noté sur une échelle comprise entre 0 et 100. Les technologies qui permettent de diminuer sensiblement les émissions sont notées favorablement par rapport à celles qui ne permettent pas d'atteindre une réduction importante des émissions du secteur des transports.

Critère 5 : Impact social

Il est clair que l'ensemble des quatre options retenues vont apporter des avancées sociales importantes pour les communautés comme cela a été décrit dans les aperçus des différentes options d'atténuation (voir section 4.3). Cependant, il serait également intéressant de juger les différentes options par rapport à leur potentiel impact social négatif et en particulier par rapport au critère de démolition des maisons pour cause de construction de voie de transport. En effet, en général, les projets d'aménagement urbain entraînent des déplacements lorsque l'emprise de la voie urbaine croise des maisons déjà installées ; quand bien même celles-ci disposent de titre foncier. L'impact potentiel sur le déplacement a donc été jugé par le groupe d'expert comme un indicateur important de l'impact social négatif du projet. La notation est donnée également par consensus entre les différents experts. Les technologies du BRT et du Tramway vont probablement introduire des risques de déplacement pour les riverains de l'emprise des voies réservées. Ces deux technologies ont donc reçu des mauvaises notations tandis que le train navette et le ferry navette ont reçu de très bonnes notations étant données que ces technologies ne vont pas entraîner des nouveaux déplacements. Ce critère est noté sur une échelle comprise entre 0 et 100. L'indicateur du critère mesure le risque de démolition des maisons. Les technologies qui risquent d'engendrer un déplacement des habitats obtiennent des notes élevées tandis que les technologies qui ne vont pas empiéter sur les habitations auront des faibles notes.

Critère 6 : Impact économique

Le critère de potentiel d'impact économique porte sur les retombées économiques positives du projet sur la communauté. Le potentiel d'impact économique peut être renseigné par plusieurs indicateurs économiques comme la balance de paiement (économies dues à la réduction des importations de carburant), les revenus pour l'Etat sous forme de taxe ou bien encore le nombre d'emplois créés par la technologie. Dans un contexte de développement national où le chômage s'approche autour de 47%, c'est ce dernier indicateur qui a été choisi par le groupe d'expert pour renseigner sur le potentiel d'impact économique. Là encore, en l'absence de projets bien définis par l'Etat ou par des porteurs de projet privés, c'est l'approche qualitative qui a été adoptée pour attribuer des notations aux différentes technologies retenues par rapport à ce critère. Comme il a été dit quelques paragraphes plus haut, une meilleure définition des projets et des meilleures données permettront à des étapes ultérieures d'estimer de façon assez précise le potentiel d'impact économique. A cette étape de l'EBT, l'approche qualitative est jugée suffisante. Ce critère a donc été également noté sur une échelle comprise entre 0 et 100.

Les deux tableaux qui suivent présentent les valeurs des notations absolues et des notations normalisées des critères. La normalisation est effectuée selon la méthode expliquée dans la section 3.4.1. Les détails des calculs qui ont mené à la production de ces deux tableaux se trouvent dans le fichier Excel qui accompagne ce rapport.

| | Critères et indicateurs | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | Coût | Facilité d'adoption | Fluidification de la circulation | Impact climatique | Impact social | |
| Option technologique | Investissement + O&M | Facilité de déploiement | Volume de passagers transportés | Potentiel de réduction des GES (Gg) | Risque de déplacement | Potentiel de création d'emploi |
| BRT | 60 | 40 | 70 | 80 | 90 | 70 |
| Tramway | 80 | 50 | 90 | 80 | 90 | 70 |
| Train navette | 90 | 70 | 20 | 100 | 10 | 50 |
| Ferry navette | 40 | 60 | 30 | 40 | 10 | 50 |

Tableau 23: notations absolues des critères (secteur des transports)

| | Critères et indicateurs | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | Coût | Facilité d'adoption | Fluidification de la circulation | Impact climatique | Impact social | |
| Option technologique | Investissement + O&M | Facilité de déploiement | Volume de passagers transportés | Potentiel de réduction des GES (Gg) | Risque de déplacement | Potentiel de création d'emploi |
| BRT | 60 | 0 | 71,4 | 66,7 | 12,5 | 66,7 |
| Tramway | 20 | 25 | 100 | 83,3 | 0 | 100 |
| Train navette | 0 | 100 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| Ferry navette | 100 | 50 | 14,3 | 0 | 100 | 16,7 |

Tableau 24: notations normalisées des critères (secteur des transports)

4.5 Résultats de la priorisation des technologies pour le secteur des transports

Une fois que les critères ont été identifiés et les notations qualitatives attribuées à chaque technologie, les facteurs de pondération pour chaque critère ont été estimés après un consensus entre les experts. Une analyse de sensibilité par rapport aux facteurs de pondération a également été réalisée. Le tableau suivant donne les facteurs de pondération affectés aux différents critères.

| Critère | Indicateur | Poids (S1) | Poids (S2) |
|---|--|------------|------------|
| Coûts | Coût d'investissement et coût de M&O | 0,1 | 0,3 |
| Facilité d'adoption | Facilité d'adoption | 0,1 | 0,2 |
| Potentiel de fluidification de la circulation | Nombre de passagers transportés | 0,3 | 0,2 |
| Potentiel d'impact environnemental et climatique | Quantité d'émissions de CO2 (tCO2/an) et quantité des particules fines | 0,3 | 0,05 |
| Potentiel d'impact social | Potentiel d'augmentation de l'accès à l'énergie. | 0,1 | 0,02 |
| Potentiel d'impact économique | Nombre d'emplois créés | 0,1 | 0,2 |

Tableau 25: notations et facteurs de pondération secteur des transports

Le groupe de facteurs de pondération sous le sigle s1 traduit un scénario de décision où la priorité est donnée au potentiel de fluidification de la circulation et au respect des engagements internationaux en matière d'environnement. En effet dans ce scénario, les deux critères de fluidification et de respect des engagements se voient attribuer chacun 30% d'importance et totalisent donc 60%. Cela veut dire que

les coûts ne vont pas constituer une barrière devant la volonté politique d'améliorer la qualité de la circulation et de respecter les engagements tenus dans l'Accord de Paris.

Dans le deuxième groupe de facteur de pondération (poids S2), le critère du coût est considéré comme important. Les critères de facilité d'adoption, de potentiel de fluidification de la circulation et d'impact économique sont considérés comme ayant la même importance. Par contre le potentiel d'impact environnemental et climatique et le potentiel d'impact social négatif ne sont pas considérés comme importants.

Le tableau suivant donne les notations pondérées pour chacune des différentes technologies sélectionnées pour le secteur transport.

| Sensibilité | S1 | S2 |
|----------------------|------|------|
| BRT | 55,3 | 49,6 |
| Tramway | 69,5 | 55,2 |
| Train navette | 50 | 30 |
| Ferry navette | 31 | 51,2 |

Tableau 26: somme des notes pondérées des technologies du secteur transport

Les résultats de la priorisation sont obtenus en comparant les totaux obtenus pour chaque technologie en combinant la somme des scores des critères pondérés par les poids affectés à chaque critère. Les tableaux suivants montrent les résultats obtenus pour les différents groupes de facteurs pondération. Pour les scénarii s1 et s2, les résultats de la priorisation sont les suivants :

| Sensibilité | Ordre de classement des options | | | |
|-------------|---------------------------------|---------|-----------------------------------|--|
| | BRT | Tramway | Train navette Djibouti-Ali-Sabieh | Ferry Navette Djibouti-villes du Nord (Tadjourah et Obock) |
| S1 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| S2 | 1 | 3 | 4 | 2 |

Tableau 27: classement des technologies de transport

Dans les deux scénarios simulés, on constate que les technologies de transport de masse à haut niveau de qualité comme le tramway ou le BRT sont classées dans les trois premières positions. Cela traduit la volonté politique de décongestionner la circulation dans la capitale tout en respectant les engagements internationaux du pays en matière d'environnement et de climat. La solution de train navette a été pénalisée par les coûts d'investissement importants qui ont été engendrés lors de sa construction. Cependant la solution de ferry navette se trouve dans les trois premières options même si le ferry dispose d'une motorisation thermique.

Chapitre 5 Résumé et conclusions

L'Évaluation des Besoins en Technologie est un processus qui permet aux pays en voie de développement d'identifier et d'analyser les priorités technologiques en matière d'adaptation au changement climatique et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

La République de Djibouti fait partie du troisième groupe de pays en voie de développement qui entame leur processus d'évaluation des besoins en technologies qui se déroule en trois étapes dont la première est justement l'identification des options technologiques prioritaires d'adaptation et d'atténuation.

Ce rapport est le produit de la première étape de l'EBT en matière d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Les deux secteurs les plus émetteurs choisis par le gouvernement sont le secteur de la production énergétique et le secteur des transports.

L'identification des technologies prioritaires pour ces deux secteurs s'est fait à travers un processus participatif qui a duré plusieurs mois et qui a mobilisé un consultant national, un groupe de travail sectoriel pour chaque secteur ; un coordonnateur de projet ainsi que les partenaires techniques comme ENDA-ENERGIE et UNEP-DTU.

Le processus d'identification et de priorisation s'est déroulé en plusieurs étapes comme suit :

- Les parties prenantes du projet au niveau national ont été engagées à travers des correspondances officielles pour la désignation d'experts sectoriels dans les groupes de travail sectoriel
- Les groupes de travail ont été formellement mis en place
- Le consultant national a identifié sur la base de documents de politiques, plans et stratégies sectorielles ainsi que sur la base de son expérience personnelle, une liste de technologies pertinentes et candidates pour chaque secteur et les listes ont été soumises aux groupes de travail avec leurs fiches technologiques. Les listes ont été amendées par les groupes sectoriels
- Un groupe de technologies restreint ont été présélectionnés par les groupes de travail en fonction de l'alignement avec les politiques, plans et stratégies de développement sectoriels, des coûts et du potentiel de réduction des émissions
- Une analyse multicritère a été conduite pour le groupe de technologies restreintes et une liste de 3 technologies ont été retenues pour chaque secteur

Pour le secteur de l'énergie, les options technologiques priorisées par l'AMC

1. La géothermie binaire
2. Les toitures solaires PV pour l'autoconsommation
3. Les mini-réseaux solaires pour l'électrification hors réseau

Pour le secteur des transports, les options priorisées sont les suivantes :

Technologie 1 : BRT

Technologie 2 : Tramway

Technologie 3 : ferry Djibouti-Ville du Nord

La prochaine étape du processus EBT consiste à analyser les barrières à la diffusion de technologies identifiées dans ce rapport ainsi qu'à la proposition d'un cadre propice pour lever ces barrières. La prochaine étape sera également réalisée de façon participative et les groupes sectoriels déjà mis en place dans la première étape seront mis à contribution et si nécessaires seront renforcés par d'autres compétences.

Liste des références

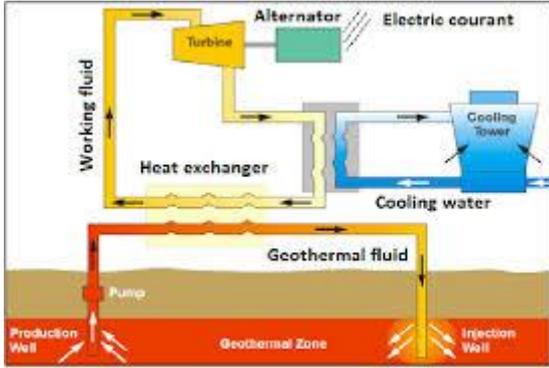
- Gouvernement de Djibouti, 2001. *Communication nationale initiale*
- Gouvernement de Djibouti, 2001. *Seconde communication initiale*
- Gouvernement de Djibouti, 2015. INDC
- Gouvernement de Djibouti, 2017, Stratégie nationale pour le changement climatique
- Gouvernement de Djibouti, 2015, Stratégie nationale de maîtrise de l'énergie
- Gouvernement de Djibouti, 2004, Rapport EDAM-Energie
- Electricité de Djibouti, 2009. *Least Cost electricity master plan*
- Dhar, S., Painuly, J. Nygaard, I., and Rogat, J. 2014. Organising the National EBT Process: An Explanatory Note, UNEP DTU Partnership
- Electricité de Djibouti, 2015. *Schéma directeur national de transport de l'électricité à l'horizon 2033*
- IRENA, 2015. *Djibouti Renewable Readiness Assessment*
- IRENA, 2018. Renewable Power Generation costs in 2018 Dhar, S., Painuly, J. Nygaard, I., and Rogat, J. 2014. *Organising the National TNA Process: An Explanatory Note*, UNEP DTU Partnership
- Gouvernement de Djibouti, 2015, *Vision 2035*
- Gouvernement de Djibouti; 2016, *Stratégie de Croissance accélérée pour l'Emploi*
- Gouvernement de Djibouti, 2015, *nouveau modèle de croissance*
- James B Randle, 2005, Financial modelling of geothermal projects, Proceedings World Geothermal Congress
- Economic Consulting Associates, 2013. *Djibouti: implementation plan for solar RE task 2 report*
- Said I. Awaleh, 2004. *Djibouti wind resource assessment*
- Enquete EDAM Energie 2004, Ministère du Budget
- Electricity consumption reduction by thermal insulation of walls in hot climate, Hared et al. 2009, Proceedings Cisbat

Annexes

Annex I: Fiches technologique pour les technologies sélectionnées

Secteur de l'énergie

Fiche technologique pour l'atténuation

| Technologie : géothermie binaire | |
|--|--|
| Secteur | Energie |
| Sous-secteur | Production électrique |
| Nom de la technologie | Centrales géothermiques binaires |
| Echelle | MW à dizaine de MW |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description de la technologie | <p>La production d'énergie électrique à partir de la géothermie se fait à travers l'utilisation de deux types de technologies qui sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La production d'énergie électrique par l'utilisation directe de la vapeur d'eau sèche et haute pression produite par le réservoir géothermique. En général, les réservoirs produisent un mélange de vapeur et d'eau qui est flashé dans un équipement afin d'extraire la vapeur qui fait tourner directement la turbine. Il s'agit alors de réservoir haute enthalpie qui a des températures de l'ordre de 250°C à 300°C. - Lorsque la température et la pression du réservoir ne sont pas suffisamment élevés pour produire de la vapeur, mais uniquement de l'eau chaude, on utilise les centrales géothermiques binaires pour produire de l'électricité.  <p>Source image : researchgate</p> <p>Le schéma suivant illustre une centrale géothermique binaire. Le fluide géothermique est pompé à la surface et l'énergie thermique qu'il contient est transférée dans un échangeur thermique à un deuxième fluide dont la température d'évaporation est basse. Une fois que l'énergie géothermique est récupérée, le fluide géothermique est réinjectée dans la terre. Le second fluide (ou fluide de travail) effectue alors ce qu'on appelle un cycle organique dans lequel la vapeur produite va tourner pour produire de l'électricité.</p> |

| | |
|--|--|
| | |
| Disponibilité de la ressource énergétique | Les campagnes d'exploration géothermiques conduites dans le rift d'Assal dans les années 70, 80 et plus récemment en 2018 ont montré l'existence d'un réservoir géothermique intermédiaire étendu sur l'ensemble du rift et dont la température est de l'ordre de 160 à 200°C. Ce réservoir géothermique a été identifié à des profondeurs comprises entre 500m et 800m est il est présent sur l'ensemble des forages d'exploration du rift d'Assal. |
| Maturité de la technologie | La géothermie binaire est une technologie utilisée depuis des décennies dans plusieurs champs géothermiques à travers le monde. Au Kenya, la centrale géothermique de Naivasha utilise la technologie des centrales géothermiques binaires pour produire 30 MW d'électricité. |
| Hypothèse de déploiement de la technologie | Les campagnes de développement de l'énergie géothermique sont extrêmement coûteuses. La diffusion de cette technologie suppose les aspects suivants : <ul style="list-style-type: none"> - Campagne de développement spécifique ciblant la géothermie binaire - Essais de pompage et de température visant le réservoir intermédiaire - La formation des cadres des agences et ministères compétents sur la développement, la conception et l'exploitation des centrales géothermiques binaires - L'implication du secteur privé dans la valorisation des centrales géothermiques binaires |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | Les centrales géothermiques binaires permettront d'atteindre les objectifs fixés par la politique énergétique nationale grâce à l'énergie de base qu'elles produisent. |
| Avantages | Les centrales géothermiques binaires présentent les avantages suivants : <ul style="list-style-type: none"> - Ce sont des centrales qui servent la base de la demande énergétique c'est-à-dire qu'elles produisent une puissance constante hors les périodes d'arrêt pour maintenance. Les centrales binaires partagent cette caractéristique avec les centrales géothermiques hautes enthalpies - Le réservoir moyenne enthalpie dans le rift d'Assal se trouve à une profondeur relativement proche de la surface (800 m) comparée au réservoir géothermique profond qui se trouve à 2500m de profondeur et donc le coût de développement serait plus faible - La salinité de l'eau du réservoir intermédiaire est plus faible que celle du réservoir profond |
| Inconvénients | Les inconvénients sont : <ul style="list-style-type: none"> - Coût de développement élevé en raison de l'exploration - Risque sismique |
| Co-bénéfices sociaux | Les centrales géothermiques binaires vont améliorer les conditions sociales des populations grâce à la diminution du prix de l'énergie qu'elles entraineraient. Par ailleurs, lors de l'implantation de la centrale, des actions sociales sont mises en place pour les populations environnantes comme la construction d'écoles ou de centres de santé. |

| | |
|--|---|
| Co-bénéfices économiques | Les centrales géothermiques binaires assurent une production de base. De ce fait elles contribueraient à la sécurité de l’approvisionnement en énergie et donc diminuer le nombre d’heure de délestages. Or les délestages ont un impact négatif sur l’économie et notamment les commerces et les processus de production des usines. Par ailleurs, elles vont créer des emplois pour la population environnante. |
| Co-bénéfices environnementaux | Race à leur taux de disponibilité annuelle de 80%, les centrales géothermiques en général et les binaires en particulier permettent des réductions substantielles des émissions de CO2 |
| Marché potentiel | La demande énergétique nationale augmente beaucoup et la géothermie peut jouer un rôle de premier plan dans la satisfaction de la demande future. |
| Coût d’investissement et O&M | |
| Coût d’investissement | 3,9 millions USD/MW installé |
| LCOE | 100 - 150 USD/MWh |
| Coût d’opération et de maintenance (M&O) | faible |
| | |
| | |

Fiche technologique pour l’atténuation

| | |
|--|---|
| Technologie : mini-réseaux solaires pour l’électrification des villages | |
| Secteur | Energie |
| Sous-secteur | Production électrique |
| Nom de la technologie | Mini-réseaux solaires |
| Echelle | Village (centaines de ménages) |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description de la technologie | <p>Les mini-réseaux solaires se développent depuis quelques années à travers le monde grâce au progrès fulgurant des technologies de conversion de l’énergie solaire comme des panneaux solaires avec des rendements plus performants et une meilleure électronique de puissance comme les contrôleurs de charge et les onduleurs. Les mini-réseaux solaires permettent d’alimenter des villages entiers en électricité de façon indépendante du réseau électrique. Ils sont très compétitifs pour les villages qui sont loin du réseau électrique. Un mini-réseau solaire est composé des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une centrale solaire photovoltaïque avec des puissances allant d’une dizaine de KWc à centaines de KWc - Un banc de batteries solaires pour stocker l’énergie durant la journée et alimenter les utilisateurs pendant la nuit - Un convertisseur du courant continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif - Un réseau électrique alternatif |

| | |
|--|---|
| |  <p>Image : centrale solaire du mini-réseau d'Ali-Addé (source ADDS)</p> <p>L'inclusion du banc de batteries pour le stockage n'est pas systématique. Le mini-réseau solaire peut fonctionner en synergie avec un groupe électrogène ou un système éolien et l'on parle alors d'un système hybride solaire/diesel ou solaire/éolien/diesel.</p> |
| Disponibilité de la ressource énergétique | L'énergie solaire est disponible en quantité et distribué de façon quasiment équitable sur l'ensemble du pays à part quelques sites montagneux. La ressources en énergie solaire est évaluée à 5.6 kWh/m ² /jour ce qui est tout à fait important |
| Maturité de la technologie | Les mini-réseaux solaires existent déjà depuis plusieurs années y compris à Djibouti ou l'on dénombre trois mini-réseaux solaires. Il existe de nombreux fournisseurs à travers le monde qui offrent des composantes spécialement conçus pour les mini-réseaux solaires. Il s'agit d'une technologie qui a atteint une maturité technique et commerciale. |
| Hypothèse de déploiement de la technologie | <p>Le développement des mini-réseaux solaires connaît un bon début en République de Djibouti avec la mise en place des mini-réseaux d'Ali-Addé, Aseyla et Adailou en l'espace de 6 années entre 2013 et 2018. Ces trois mini-réseaux solaires ont été développés à travers les investissements suivants :</p> <p>Ali-Addé : Fonds publics de l'Etat As-Eyla : Fonds Publiques de l'Etat Adailou : Don de la République de Corée du Sud.</p> <p>Pour une diffusion plus large, l'implication du secteur privé à travers des partenariats publics-privés pour l'électrification durables des villages de Djibouti semble nécessaire. Les seuls investissements de l'Etat et les dons internationaux ne sont pas des options qui permettraient une diffusion à large échelle de cette technologie.</p> |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | La technologie des mini-réseaux solaires va contribuer aux objectifs fixés par la stratégie nationale d'électrification rurale. |
| Avantages | Par rapport au kit solaire familial, un mini-réseau solaire permet de répondre à des demandes en électricité plus importante comme l'utilisation de petites machines de transformation, des machines e couture, des réfrigérateurs ou congélateurs pour les commerçants. D'autre part, la maintenance des mini-réseaux solaires est également plus facile car centralisé à un seul endroit. Les mini-réseaux solaires peuvent également être étendus au fur et à mesure que la demande en énergie augmente. Cette solution technologie se prête par ailleurs parfaitement à un modèle |

| | |
|--|---|
| | commercial de l'énergie car l'énergie peut être vendue et contrôlée. Et cela contribue à la durabilité. |
| Inconvénients | Les investissements à consentir sont plus importants par rapport à la solution des kits individuels. Les mini-réseaux solaires nécessitent notamment la construction d'un mini-réseau électrique avec des câbles à tirer, des poteaux et des transformateurs. Ce qui augmente clairement les coûts par rapport à une solution en kits solaires familiaux. Par ailleurs, les mini-réseaux solaires nécessitent la mise en place d'une structure qui gère la centrale et le réseau électrique. |
| Co-bénéfices sociaux | Les mini-réseaux solaires génèrent d'importants co-bénéfices sociaux et notamment : <ul style="list-style-type: none"> - Une amélioration des conditions de santé des populations grâce à l'électrification des centres de santé - Une amélioration de l'éducation des enfants grâce à l'électrification des écoles mais aussi des maisons, ce qui permet la révision des cours aux enfants - Une amélioration de la sécurité grâce à l'éclairage des rues dans les villages |
| Co-bénéfices économiques | Les mini-réseaux solaires de taille importante permettent le développement de l'activité économique dans les villages. Les petites activités suivantes peuvent se développer : <ul style="list-style-type: none"> - Boutiques généralistes - Magasin de vêtements - - Petits ateliers de couture |
| Co-bénéfices environnementaux | Les mini-réseaux solaires permettent la réduction des gaz à effet de serre en évitant l'utilisation de carburant pour les groupes électrogènes. Cela est notamment valable pour les mini-réseaux solaires qui ne sont pas hybridés avec des groupes électrogènes. |
| Marché potentiel | A Djibouti, le marché en 2019 inclut le besoin en électrification de 25 villages avec des puissances allant de 10 KW à quelques centaines de KWc. |
| Coût | |
| Coût d'investissement | Les coûts d'investissement pour un mini-réseau solaire incluent les coûts pour les parties suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Panneaux solaires - Batterie - Electronique incluant l'onduleur |
| LCOE | |
| Coût d'opération et de maintenance (M&O) | Les panneaux solaires ne nécessitent qu'une faible maintenance. Les batteries doivent être remplacées une fois toutes les 10 années. |

Fiche technologique pour l'atténuation

| Technologie : toiture solaire pour autoconsommation | |
|--|---|
| Secteur | Energie |
| Sous-secteur | Production industrielle |
| Nom de la technologie | Toitures solaires pour autoconsommation (TSA) |
| Echelle | Autoconsommation |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |

| | |
|---|--|
| Raison du rejet | |
| Description de la technologie | <p>Les toitures solaires pour l'autoconsommation sont constituées des éléments technologiques suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un champ de panneaux photovoltaïques - Onduleur ou inverseur - Un contrôleur de charge selon ou non qu'il y'a des batteries - Dispositifs de sécurité divers <p>L'autoconsommation est une option pertinente pour Djibouti parce que l'injection au réseau électrique est pour l'instant interdite faute de dispositions juridiques et techniques. Les toitures solaires sont connectées au réseau afin que la fréquence se cale sur la fréquence du réseau, mais cependant si l'installation est configurée pour l'autoconsommation, aucune injection n'est autorisée. Dans cette configuration, la demande énergétique du client (administrations, maisons, ... etc.) est satisfaite en premier par le système solaire et la différence est tirée du réseau électrique.</p> <p>En cas de coupure réseau, l'onduleur déconnecte également le système photovoltaïque afin de garantir la sécurité des intervenants potentiels sur les lignes électriques. Il est possible de configurer que le système PV alimente l'utilisateur même en cas de coupure mais cependant, il s'agit de fonctions complexes et il faut s'assurer de la coïncidence entre la production PV et la demande du côté du client c'est-à-dire à déléster une partie de la demande. Ce qui est assez compliqué. Avec l'intégration d'un banc de batteries, il est possible pour un ménage de devenir 100% autonome en énergie, tout en restant connecté au réseau électrique.</p> <div data-bbox="584 1178 1315 1621" style="text-align: center;">  </div> <p>Image : centrale solaire connectée réseau du CERD</p> |
| Disponibilité de la ressource énergétique | L'énergie solaire est disponible en quantité et distribué de façon quasiment équitable sur l'ensemble du pays à part quelques sites montagneux. La ressources en énergie solaire est évaluée à 5.6 kWh/m ² /jour ce qui est tout à fait important |
| Maturité de la technologie | Les systèmes solaires photovoltaïques sont matures aussi bien d'un point de vue technique que d'un point de vue commercial. Cependant l'autoconsommation est relativement nouvelle y compris dans des pays comme en France e en Allemagne. Un certain nombre de fabricants d'onduleurs ont commencé à intégrer des fonctions spéciales pour l'autoconsommation. |

| | |
|--|---|
| Hypothèse de déploiement de la technologie | Le développement de cette option technologique nécessite les éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en place les normes et prescriptions techniques portant sur les installations d'autoconsommation - Développer des installations pilotes à titre de démonstration - Travailler avec les banques locales pour la mise en place de produits financiers spécifiques |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | Cette technologie va contribuer à l'atteinte des objectifs nationaux du secteur de l'énergie et notamment à l'ambition affichée de Djibouti d'atteindre un mix énergétique de 100% à l'horizon 2030. |
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> - Production décentralisée - Les ménages et les entreprises autoproduisent leur propre énergie - Valorisation des ressources énergétiques nationales et réduction de la balance des paiements |
| Inconvénients | |
| Co-bénéfices sociaux | <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des coûts de l'énergie pour les ménages et les entreprises qui produisent une partie de leur énergie |
| Co-bénéfices économiques | <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'approvisionnement énergétique - Diminution des délestages - Meilleure planification de l'économie nationale |
| Co-bénéfices environnementaux | <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des émissions de GES grâce à l'énergie produite par les TSA |
| Marché potentiel | Demande de plusieurs MW |
| Coût | |
| Coût d'investissement | 3 000 à 4 000 €/kWc |
| LCOE | |
| Coût d'opération et de maintenance (M&O) | |

Fiche technologique pour l'atténuation

| Technologie : isolation thermique des bâtiments | |
|--|---|
| Secteur | Energie |
| Sous-secteur | Efficacité énergétique |
| Nom de la technologie | Isolation thermique |
| Echelle | Urbain |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description de la technologie | <p>La ville de Djibouti se trouve dans une zone géographique qui lui confère un climat tropical chaud et humide une grande partie de l'année. Ce climat qui est inconfortable, engendre des besoins importants en refroidissement et donc une augmentation de la demande en énergie électrique. Il est estimé qu'au moins 50% de la demande en énergie du pays est utilisée pour le refroidissement de l'air à l'intérieur des bâtiments.</p> <p>L'isolation thermique des bâtiments permettrait de diminuer la transmission thermique de l'enveloppe des bâtiments et en particulier les maisons. L'isolation thermique consiste à poser sur les murs intérieurs ou extérieurs des bâtiments, des matériaux dont la résistance thermique empêche la chaleur de pénétrer dans les maisons à travers les murs.</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Les matériaux habituellement utilisés pour l'isolation thermique des bâtiments sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le polystyrène expansé à différentes épaisseurs - La laine de verre - La laine de roche  |
| Disponibilité de la ressource énergétique | Les matériaux sont disponibles sur le marché |
| Maturité de la technologie | L'isolation thermique est une technologie mature et les techniques de pose utilisées sont éprouvées. |
| Hypothèse de déploiement de la technologie | <p>L'isolation thermique des bâtiments se fait déjà à Djibouti mais à très faible échelle. Elle est proposée par certaines sociétés mais la diffusion de la technologie est très lente. Pour une meilleure diffusion, il faudrait assurer les éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une sensibilisation à grande échelle de la population - Mise en place de mécanismes de financement pour l'isolation thermique des nouveaux bâtiments pour la réhabilitation thermique - Formation des artisans et des techniciens |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | L'isolation thermique est identifiée dans la stratégie nationale de maîtrise de l'énergie comme une priorité. |
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> - L'isolation thermique la demande en énergie pour le rafraîchissement - Elle maintient un meilleur confort thermique à l'intérieur des maisons - L'investissement dans l'isolation est rentable |
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> - Certains isolants peuvent créer des démangeaisons sur la peau et sont associées à tort avec l'image du scandale de l'amiante qui s'est produit dans d'autres pays. - La balance de paiement pourrait augmenter avec l'importation massive d'isolants thermiques |
| Co-bénéfices sociaux | <ul style="list-style-type: none"> - Meilleure confort thermique dans les maisons et diminution des maladies créés par le stress thermique - Bénéfices sociaux générés par la création d'emploi |
| Co-bénéfices économiques | <p>La diffusion de l'isolation créerait les co-bénéfices économiques suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Création d'emploi pour les artisans et techniciens de pose - Augmentation des revenus fiscaux pour l'état grâce à la taxation (même légère) des importations d'isolants. |

| | |
|--|---|
| Co-bénéfices environnementaux | L'isolation thermique permet est une action d'efficacité énergétique. Elle permet de diminuer la demande en énergie et donc potentiellement les émissions de GES. |
| Marché potentiel | Le marché est estimé à plusieurs dizaines de millions de m2 |
| Coût | |
| Coût d'investissement | Entre 3000 et 15000 FD/M2 |
| LCOE | |
| Coût d'opération et de maintenance (M&O) | Pas de maintenance si le produit est bien posé |
| | |
| | |

Fiche technologique pour l'atténuation

| | |
|---|---|
| Technologie : éolien de grande puissance onshore | |
| Nom de la technologie | Eolien onshore |
| Echelle | Connexion réseau (grande échelle). Plusieurs MW |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description de la technologie | <p>La technologie des éolienne onshore ou éolien terrestre existe depuis des décennies. Une éolienne ou aérogénérateur est constituée des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un mat qui soutient l'ensemble des autres composants - Un système électromécanique (pales, arbre moteur, bielle et manivelle) qui convertit l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation - Une turbine qui convertit l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique - Un dispositif d'électronique de puissance qui injecte une énergie de qualité précise (fréquence, harmonique) dans le réseau <p>Les aérogénérateurs existent dans une large gamme de puissance produite allant de quelques KW à 2 MW par éolienne. La puissance produite par une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse et donc plus la vitesse du vent est élevé plus l'éolienne produit de l'énergie. Cependant les très grandes vitesses de vent peuvent endommager la structure mécanique des éoliennes et les pales de l'éolienne sont mises dans une position dite de drapeau qui confère une sécurité maximale face aux vents importants.</p> |
| |  |

| | |
|--|---|
| | <p>Les grands projets éoliens sont développés en groupant les éoliennes individuelles sur une même ferme éolienne afin d'atteindre les puissances escomptées. Afin de minimiser les interférences entre les éoliennes d'une même ferme, une certaine distance proportionnelle à la hauteur et au diamètre des pales est considérée. Les grands champs éoliens nécessitent donc de grands espaces.</p> <p>Les coûts d'investissements ainsi que les coûts d'opération et de maintenance des éoliennes sont compétitifs. Les éoliennes produisent une énergie qui est fluctuante et qui dépend de la vitesse cinétique instantanée du vent. C'est pour cette raison que les champs éoliens doivent être développés dans des zones qui ont le potentiel éolien requis, potentiel qui doit faire l'objet de campagne de mesure préalablement à l'installation du champ éolien. Les campagnes de mesure doivent être évaluées sur une période minimale d'une année et idéalement sur plusieurs années.</p> |
| Disponibilité de la ressource énergétique | L'évaluation du gisement en énergie éolienne de Djibouti a fait l'objet d'une large étude du CERD entre 2003 et 2005. Les meilleurs sites de Djibouti sont le Ghoubbet, Grand Bara et Gali Maaba. Le site du Ghoubbet présente une vitesse moyenne annuelle de 9m/s, ce qui rend le site extrêmement intéressant pour le développement de l'énergie éolienne. Le Ghoubbet et le Grand Bara sont deux sites particulièrement intéressants car relativement proches des lignes électriques du réseau national. |
| Maturité de la technologie | Les éoliennes onshore sont une technologie utilisée depuis une dizaine d'années et dont l'investissement et les coûts de O&M sont compétitifs par rapport aux technologie classiques de production d'énergie électrique comme les centrales au charbon, au fuel ou au gaz. |
| Hypothèse de déploiement de la technologie | <p>Actuellement une ferme éolienne de 60 MW est en cours de développement dans la zone de Ghoubbet. L'énergie sera évacuée grâce à l'installation d'une ligne de transmission de 63KV entre le Ghoubbet et le point le plus proche du réseau c'est-à-dire le PK51. Pour une meilleure diffusion de la technologie à d'autres sites, il faut réunir les conditions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nécessite de mettre en place une politique tarifaire favorisant le développement des éoliennes comme un feed-in tarif. - |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | La technologie des mini-réseaux solaires va contribuer aux objectifs fixés par la stratégie nationale d'électrification rurale. Le développement des fermes éoliennes va contribuer à la valorisation des ressources énergétiques nationales et donc contribuer à la mise en œuvre de la SCAPE. |
| Avantages | <p>Les avantages de l'énergie éolienne onshore sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un coût d'investissement compétitif - Des coûts d'exploitation réduits - Des niveaux de puissance appréciables - Une bonne rentabilité commerciale |
| Inconvénients | <p>Les inconvénients de l'énergie éolienne sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - C'est une énergie intermittente et donc la puissance éolienne injectée est limitée à 30% pour éviter les perturbations dans le réseau - Les grandes éoliennes peuvent représenter un danger pour les oiseaux - Les fermes éoliennes dénaturent les paysages |
| Co-bénéfices sociaux | - Création de centres de santé et d'écoles autour des sites du projet |

| | |
|--|---|
| | |
| Co-bénéfices économiques | - Réduction de la balance de paiement du pays - |
| Co-bénéfices environnementaux | - Réduction des émissions de CO2 |
| Marché potentiel | La demande énergétique nationale augmente beaucoup et l'éolien peut prendre une part importante pour satisfaire la demande. Le marché de l'éolien de grande puissance est limité par le taux de pénétration maximal limité à 30% de la demande de pointe. |
| Coût | |
| Coût d'investissement | 2200 USD/KW |
| LCOE | |
| Coût d'opération et de maintenance (M&O) | 50 USD/KW/an |
| | |
| | |

Fiches technologiques pour le secteur des transports

| Technologie : Transfert rapide de bus | |
|--|---|
| Nom de la technologie | BRT (Bus rapid transit) |
| Echelle | Ville de Djibouti |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description du contexte | <p>Le transport urbain des passagers dans la ville de Djibouti est un défi de développement considérable pour le gouvernement. Les solutions de transports motorisés existantes actuellement à Djibouti sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le transport en commun par bus et minibus - Le transport individuel par taxi - Le transport individuel par véhicule personnel (véhicule de tourisme) - Le transport par véhicule dédié au personnel (truck transformé en véhicule de personnel) - Triporteur diesel Bajaj <p>Le transport en commun par bus et minibus est le mode qui transporte la grande majorité des habitants de la ville. Les principales lignes existantes sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Place Mahamoud Harbi-Place PK12 2. Place Mahamoud Harbi -Place Barwaqo 3. Boucle Mahamoud Harbi-Place Ambouli-Mamoud Harbi 4. Place Mahamoud Harbi-Cheick Moussa 5. Place Mahamoud Harbi-Arhiba <p>A cela s'ajoute quelques lignes secondaires qui sont les suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Place Barwaqo-Place PK12 : Bajaj 7. Place Pk12-PK20 : Bajaj 8. PK12-cité Nassib en Bajaj <p>Le Diesel est le carburant utilisé majoritairement par les différents modes de transports routiers de passagers. Le volume total de passagers transportés est estimé annuellement à 5 millions de personnes. Le tableau suivant</p> <p>Les bus et minibus appartiennent quasiment tous à des personnes et il existe seulement une seule compagnie privé de transport en commun. Il n'existe pas de points d'arrêts spécifiques entre le terminus du Centre-Ville et le terminus de destination et le débarquement des passagers se fait de façon intempestive à l'occasion des demandes d'arrêts.</p> <p>Les bus et minibus offrent une mauvaise qualité de service avec un état des véhicules généralement très moyen et des arrêts fréquents. Par ailleurs l'offre des bus et des minibus est inférieure à la demande aux heures de pointe pendant la période scolaire. Ce qui oblige des nombreuses familles à s'équiper de véhicules légers (généralement roulant au Diesel). Cela augmente les émissions de GES du secteur du transport ainsi que les émissions des polluants comme les PM2.5.</p> |

| Année | SÉRIE A : Administration (Présidence) introduite en Avril 1969 | SÉRIE B : Administration publique introduite en Mai 1959 | SÉRIE C : Administration parapublique introduite en Mai 1959 | SÉRIE D : Secteur privé introduite en Janvier 1952 | Série TT : introduite en Septembre | TOTAL |
|-------|--|--|--|---|---|-------|
| 2013 | 34 | 117 | 93 | 2 620 | 347 | 3 211 |
| 2014 | 7 | 187 | 151 | 4 915 | 329 | 5 589 |
| 2015 | 54 | 232 | 200 | 3527 | 174 | 4 187 |
| 2016 | 23 | 273 | 164 | 3 870 | 262 | 4 592 |
| 2017 | 6 | 226 | 101 | 3 995 | 125 | 4 453 |

Description de la technologie

Le transport en commun rapide par bus (BRT) est un système de transport en commun de haute qualité basé sur un bus, qui fournit des services rapides, confortables et rentables au niveau du métro. Pour ce faire, il propose des voies réservées, des voies de bus et des gares emblématiques généralement alignées au centre de la route, un système de collecte de tarifs hors carte et des opérations rapides et fréquentes. La BRT est plus fiable que les bus classiques, pratique et rapide car elle contient des fonctionnalités similaires à celles d'un tramway.

Avec les fonctionnalités adéquates, BRT est en mesure d'éviter les causes de retard qui ralentissent généralement les services de bus réguliers, comme le blocage du trafic et la file d'attente pour payer à bord.



Photo : Institute for transportation & Development Policy



Photos : Institute for transportation & Development Policy

La BRT serait une solution très intéressante aux problèmes d'engorgement des routes urbaines de la ville de Djibouti. Les bus utilisés dans la BRT sont des bus de grande taille qui peuvent transporter un nombre important de passagers. Les bus empruntant un corridor de BRT s'arrêtent à des gares positionnées autant que possible de façon régulière le long de la voie.

| | |
|--|---|
| Maturité de la technologie | Les lignes réservées aux bus existent depuis longtemps dans les pays développés et les villes de plusieurs pays en voie de développement. En Afrique la ville de Dar Esalam s'est déjà dotée de la BRT et plusieurs autres villes comme Addis |
| Hypothèse de déploiement de la technologie | La BRT nécessite un réaménagement des voies urbaines. La largeur des voies urbaines à Djibouti-Ville est relativement limitée et les bords des routes sont généralement occupés par des petits commerces comme les boutiques ou les enseignes de khat. Par ailleurs, des infrastructures hydrauliques, des câbles électriques ou des câbles de télécommunication enterrés au niveau des trottoirs ou des terre-pleins centraux. La BRT supposerait également la mise en place de sociétés de transport privés ou publiques |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | Cette technologie va contribuer également à l'atteinte des objectifs de la Vision 2035 |
| Avantages | - Grâce au service rapide et de qualité, la BRT peut transporter un nombre important de passagers |

| | |
|-------------------------------|--|
| | - Réduction des émissions de CO2 |
| Inconvénients | - Travaux importants sur la voirie publique qui entraîneraient des perturbations de la circulation - Coûts importants |
| Co-bénéfices sociaux | - Réduction des retards des enfants à l'école et des travailleurs - Amélioration de la sécurité routière |
| Co-bénéfices économiques | - Création d'emplois verts |
| Co-bénéfices environnementaux | - Réduction des émissions de GES |
| Marché potentiel | La BRT compléterait l'offre de transport dans le segment de marché bus et minibus avec un meilleur service de qualité. La taille exacte du marché serait évaluée grâce à une étude détaillée pour identifier les options d'agrandissement des voies. Cette étude impliquerait les différents départements sectoriels de l'Etat et les communes comme la Mairie, le Ministère du Transport, l'ONEAD, Djibouti-Telecom, EDD ainsi que la Direction de l'Urbanisme. |
| Coût | |
| Coût d'investissement | - Coût de planification - CoûtCoûts sociaux - Coût de réaménagement des voies et des constructions des gares et des bornes de paiement - Eventuellement coût d'agrandissement des voies Coût d'investissement = 5 à 15 Million Euro/km |

| Technologie : Tramway | |
|--|---|
| Nom de la technologie | Tramway |
| Echelle | Ville de Djibouti |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description du contexte | <p>Le transport urbain des passagers dans la ville de Djibouti est un défi de développement considérable pour le gouvernement. Les solutions de transports motorisés existantes actuellement à Djibouti sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le transport en commun par bus et minibus - Le transport individuel par taxi - Le transport individuel par véhicule personnel (véhicule de tourisme) - Le transport par véhicule dédié au personnel (truck transformé en véhicule de personnel) - Triporteur diesel Bajaj <p>Le transport en commun par bus et minibus est le mode qui transporte la grande majorité des habitants de la ville. Les principales lignes existantes sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. Place Mahamoud Harbi-Place PK12 10. Place Mahamoud Harbi -Place Barwaqo 11. Boucle Mahamoud Harbi-Place Ambouli-Mamoud Harbi 12. Place Mahamoud Harbi-Cheick Moussa 13. Place Mahamoud Harbi-Arhiba <p>A cela s'ajoute quelques lignes secondaires qui sont les suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 14. Place Barwaqo-Place PK12 : Bajaj 15. Place Pk12-PK20 : Bajaj <p>Le Diesel est le carburant utilisé majoritairement par les différents modes de transports routiers de passagers. Le volume total de passagers transportés est estimé annuellement à 5 millions de personnes. Le tableau suivant</p> <p>Les bus et minibus appartiennent quasiment tous à des personnes et il existe seulement une seule compagnie privé de transport en commun. Il n'existe pas de points d'arrêts spécifiques entre le terminus du Centre-Ville et le terminus de destination et le débarquement des passagers se fait de façon intempestive à l'occasion des demandes d'arrêts.</p> <p>Les bus et minibus offrent une mauvaise qualité de service avec un état des véhicules généralement très moyen et des arrêts fréquents. Par ailleurs l'offre des bus et des minibus est inférieure à la demande aux heures de pointe pendant la période scolaire. Ce qui oblige des nombreuses familles à s'équiper de véhicules légers (généralement roulant au Diesel). Cela augmente les émissions de GES du secteur du transport ainsi que les émissions des polluants comme les PM2.5.</p> |

| Année | SERIE A : Administration (Présidence) introduite en Avril 1969 | SERIE B : Administration publique introduite en Mai 1959 | SERIE C : Administration parapublique introduite en Mai 1959 | SERIE D : Secteur privé introduite en Janvier 1952 | Serie TT : introduite en Septembre | TOTAL |
|-------|--|--|--|---|---|-------|
| 2013 | 34 | 117 | 93 | 2 620 | 347 | 3 211 |
| 2014 | 7 | 187 | 151 | 4 915 | 329 | 5 589 |
| 2015 | 54 | 232 | 200 | 3527 | 174 | 4 187 |
| 2016 | 23 | 273 | 164 | 3 870 | 262 | 4 592 |
| 2017 | 6 | 226 | 101 | 3 995 | 125 | 4 453 |

Description de la technologie

Le tramway est un mode de transport de masse qui se situe entre le métro et le BRT. La capacité de transport du tramway est importante. Un tramway d'une longueur de 30m peut disposer de 200 places. Par exemple le tramway d'Istanbul qui est long de 60m pour 450 places transporte quotidiennement jusqu'à 260 000 passagers.

Le tramway est un système léger roulant sur rails et nécessite la mise en place de voies de circulations spécifiques et donc des grands travaux d'urbanisme. Par ailleurs, contrairement au BRT, le tramway est doté de moteurs électriques et nécessite donc la mise en place de circuits électriques spécifiques avec des sous-stations, des lignes électriques aériennes à courant continu. Les coûts d'investissement du tramway se situe entre celui du métro et celui

Maturité de la technologie

Le tramway est une solution technologique qui a atteint une maturité depuis bien longtemps. En effet le tramway existe depuis des décennies dans les villes européennes. En Afrique sub-saharienne, c'est la ville d'Addis-Abeba qui est pionnière avec son tramway qui est opérationnel depuis 2015.

| | |
|--|---|
| Hypothèse de déploiement de la technologie | Le tramway nécessite des grands travaux d'urbanisme et la mise en place de voies ferrées dédiées. Le plan d'urbanisme de la ville de Djibouti n'inclut pas pour l'instant cette option. |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | La mise en place de cette technologie permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre du pays et donc contribuer à l'atteinte des objectifs fixés par le Contribution Déterminée Nationale de Djibouti (CDN). |
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> - Grande capacité de transport de passagers - Réduction des émissions de GES de Djibouti |
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> - Grands travaux - Coût élevé |
| Co-bénéfices sociaux | <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des retards des enfants à l'école et des travailleurs - Amélioration de la sécurité routière |
| Co-bénéfices économiques | <ul style="list-style-type: none"> - Création d'emplois verts |
| Co-bénéfices environnementaux | <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des émissions de GES |
| Marché potentiel | <p>Le tramway (ou LRT) compléterait l'offre de service de bus et minibus. Auparavant, il serait nécessaire de conduire une étude pour déterminer le tracé du tramway afin qu'il desserve les lignes ayant le plus de besoin.</p> <p>Cette étude impliquerait les différents départements sectoriels de l'Etat et les communes comme la Mairie, le Ministère du Transport, l'ONEAD, Djibouti-Telecom, EDD ainsi que la Direction de l'Urbanisme.</p> |
| Coût | |
| Coût d'investissement | <ul style="list-style-type: none"> - Coût de planification - Coût de réaménagement des voies et des constructions des gares et des bornes de paiement - Eventuellement coût d'agrandissement des voies <p>Coût d'investissement = 15 à 40 Million Euro/km</p> |

| Technologie : Transfert rapide de bus | |
|--|--|
| Nom de la technologie | Bus de transport public gaz naturel |
| Echelle | Ville de Djibouti |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description du contexte | <p>Le transport urbain des passagers dans la ville de Djibouti est un défi de développement considérable pour le gouvernement. Les solutions de transports motorisés existantes actuellement à Djibouti sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le transport en commun par bus et minibus - Le transport individuel par taxi - Le transport individuel par véhicule personnel (véhicule de tourisme) - Le transport par véhicule dédié au personnel (truck transformé en véhicule de personnel) - Triporteur diesel Bajaj <p>Le transport en commun par bus et minibus est le mode qui transporte la grande majorité des habitants de la ville. Les principales lignes existantes sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 16. Place Mahamoud Harbi-Place PK12 17. Place Mahamoud Harbi -Place Barwaqo 18. Boucle Mahamoud Harbi-Place Ambouli-Mamoud Harbi 19. Place Mahamoud Harbi-Cheick Moussa 20. Place Mahamoud Harbi-Arhiba <p>A cela s'ajoute quelques lignes secondaires qui sont les suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 21. Place Barwaqo-Place PK12 : Bajaj 22. Place Pk12-PK20 : Bajaj <p>Le Diesel est le carburant utilisé majoritairement par les différents modes de transports routiers de passagers. Le volume total de passagers transportés est estimé annuellement à 5 millions de personnes. Le tableau suivant</p> <p>Les bus et minibus appartiennent quasiment tous à des personnes et il existe seulement une seule compagnie privé de transport en commun. Il n'existe pas de points d'arrêts spécifiques entre le terminus du Centre-Ville et le terminus de destination et le débarquement des passagers se fait de façon intempestive à l'occasion des demandes d'arrêts.</p> <p>Les bus et minibus offrent une mauvaise qualité de service avec un état des véhicules généralement très moyen et des arrêts fréquents. Par ailleurs l'offre des bus et des minibus est inférieure à la demande aux heures de pointe pendant la période scolaire. Ce qui oblige des nombreuses familles à s'équiper de véhicules légers (généralement roulant au Diesel). Cela augmente les émissions de GES du secteur du transport ainsi que les émissions des polluants comme les PM2.5.</p> |

| Année | SÉRIE A : Administration (Présidence) introduite en Avril 1969 | SÉRIE B : Administration publique introduite en Mai 1959 | SÉRIE C : Administration parapublique introduite en Mai 1959 | SÉRIE D : Secteur privé introduite en Janvier 1952 | Serie TT : introduite en Septembre | TOTAL |
|-------|--|--|--|---|---|-------|
| 2013 | 34 | 117 | 93 | 2 620 | 347 | 3 211 |
| 2014 | 7 | 187 | 151 | 4 915 | 329 | 5 589 |
| 2015 | 54 | 232 | 200 | 3527 | 174 | 4 187 |
| 2016 | 23 | 273 | 164 | 3 870 | 262 | 4 592 |
| 2017 | 6 | 226 | 101 | 3 995 | 125 | 4 453 |

Description de la technologie

Le transport public par bus fonctionnant au gaz naturel est une technologie utilisée dans plusieurs villes à travers le monde. La combustion du gaz naturel ne dégage pas de d'oxyde soufre, de plombs et produit très peu d'oxyde d'azote contrairement à la combustion du diesel ou de l'essence. Les bus fonctionnant au gaz naturel sont donc moins polluants que les bus fonctionnant au Diesel. Par ailleurs, les bus fonctionnant au GNV émettent moins de bruit que les bus fonctionnant eu Diesel. Les bus fonctionnant au GNV ont généralement des longueurs importantes pouvant aller jusqu'à 18m et peuvent transporter jusqu'à 150 passagers à la fois et leur autonomie peut atteindre jusqu'à 500 kilomètres. Les bus fonctionnant au gaz naturel nécessite la mise place de stations de GNV pour réaliser le plein.



Djibouti et l'Ethiopie ont signé des accords de construction d'un gazoduc qui va acheminer le gaz naturel vers le port futur port gazier de Damerjog. Il y'aura donc dans quelques années, une offre énergétique en gaz naturel éventuellement de prix abordable sur le territoire national. L'introduction de bus au GNV pourrait devenir une option réaliste.

Maturité de la technologie

Les bus fonctionnant au GNV existent depuis le milieu des années 90.

| | |
|--|--|
| Hypothèse de déploiement de la technologie | Les bus fonctionnant au GNV ne nécessitent pas en principe de réaménagement des voies urbaines. La condition essentielle est par contre, la disponibilité de gaz naturel à des prix concurrentiels par rapport au Diesel. Dans la situation actuelle de Djibouti, cette option n'est pas réaliste mais cependant, la construction du gazoduc entre Ethiopie et Djibouti ainsi que le terminal gazier |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | Cette technologie va contribuer également à l'atteinte des objectifs de la Vision 2035 |
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> - Grâce au service rapide et de qualité, la BRT peut transporter un nombre important de passagers - Réduction des émissions de CO2 |
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> - Travaux importants sur la voirie publique qui entraîneraient des perturbations de la circulation - Coûts importants - Nécessité de rouler sur des routes lisses |
| Co-bénéfices sociaux | <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des retards des enfants à l'école et des travailleurs - Amélioration de la sécurité routière |
| Co-bénéfices économiques | <ul style="list-style-type: none"> - Création d'emplois verts |
| Co-bénéfices environnementaux | <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des émissions de GES |
| Marché potentiel | La BRT compléterait l'offre de transport dans le segment de marché bus et minibus avec un meilleur service de qualité. La taille exacte du marché serait évaluée grâce à une étude détaillée pour identifier les options d'agrandissement des voies. Cette étude impliquerait les différents départements sectoriels de l'Etat et les communes comme la Mairie, le Ministère du Transport, l'ONEAD, Djibouti-Telecom, EDD ainsi que la Direction de l'Urbanisme. |
| Coût | |
| Coût d'investissement | <ul style="list-style-type: none"> - Coût des véhicules - Coût des équipements de stockage du Gaz naturel - Parkings stationnement des véhicules - Terminus spéciaux |

| Technologie : Trains navette électriques | |
|---|---|
| Nom de la technologie | Train électriques |
| Echelle | Djibouti-Ali-Sabieh |
| Technologie à inclure dans la priorisation | |
| Raison du rejet | |
| Description du contexte | <p>La population de Djibouti est une population majoritairement urbaine avec près de 70% et la capitale Djibouti concentre près de 50% de la population du pays. Djibouti-Ville est la capitale politique et notamment économique du pays. C'est une ville qui concentre l'essentiel des activités de commerce et industriel du pays. Par ailleurs, la ville abrite la seule université du pays. Les autres villes des régions offrent peu d'opportunités aux habitants.</p> <p>En raison de ces facteurs, la ville de Djibouti attire chaque année de nombreux habitants en provenance des autres régions du pays qui viennent soit pour chercher des meilleures opportunités économiques soit pour étudier à l'université.</p> <p>Les autres villes sont généralement éloignées et les trajets quotidiens en voiture sont difficiles sauf pour la ville d'Arta qui est proche de la ville. Il se produit donc progressivement un dépérissement des villes secondaires pour la capitale.</p> <p>L'urbanisation de la ville de Djibouti augmente chaque année et avec l'urbanisation, la pression sur les ressources en eau et l'environnement augmentent.</p> <p>Dans la Vision 2035, le gouvernement a identifié le développement des régions comme une priorité nationale. Pour arriver à un développement harmonieux entre la capitale et les régions, le développement des liaisons routières, maritimes et ferroviaires est essentiel.</p> <p>Djibouti et l'Ethiopie ont construit avec l'aide de la Chine, une infrastructure ferroviaire qui relie les capitales des deux pays tout en passant par des dizaines de villes intermédiaires entre les deux pays. Le train dessert notamment la ville d'Ali-Sabieh dans le Sud du pays, ville connue pour son climat plus clément que celui de Djibouti.</p> <p>Cette fiche technologique traite de l'introduction de trains navettes entre Djibouti-Ville et Ali-Sabieh afin de favoriser le développement de la région d'Ali-Sabieh en permettant aux travailleurs de prendre résidence à Ali-Sabieh tout en venant travailler à Djibouti-Ville. Le temps moyen entre Djibouti-Ville et Ali-Sabieh est de 40 minutes en train électrique.</p> |

| | | |
|--------------------------------------|---|--|
| |  | |
| <p>Description de la technologie</p> | <p>Le train roulant sur rails est une technologie ancienne de deux siècles. Le premier train à Djibouti a circulé en 1897. La traction de ce train était produite par des groupes Diesel de grande puissance. Les trains électriques sont quant à eux propulsés grâce à de moteurs électriques.</p>  <p>Photo : train électrique Djibouti-Addis Abeba</p> <p>L'introduction de navettes régulières entre la capitale et Ali-Sabieh permettrait de fixer la population dans le Sud et de générer des revenus pour la société des chemins de fer.</p> <p>L'infrastructure ferroviaire et les trains existent déjà mais la technologie n'est pas pleinement utilisée dans ses capacités hormis pendant les vacances d'été où des nombreux Djiboutiens rejoignent les villes Ethiopiennes qui disposent d'un climat plus clément.</p> <p>L'option technologique proposée est la diffusion pleine de la technologie du train électrique pour les déplacements entre Djibouti et Ali-Sabieh et notamment pour les travailleurs.</p> | |
| <p>Maturité de la technologie</p> | <p>Les navettes en train électriques existent dans plusieurs pays. Par contre il s'agit de développer un modèle d'affaires pour utiliser et optimiser les trains électriques.</p> | |

| | |
|--|--|
| Hypothèse de déploiement de la technologie | Les infrastructures ferroviaires et les trains sont déjà introduits et existent. Il s'agit de mettre en place un modèle de business pour les trains navette entre la capitale et Ali-Sabieh. Des incitations financières du gouvernement seront nécessaires. |
| Alignement avec les politiques, stratégies et plans de développement de Djibouti | Cette solution technologique permettrait d'atteindre les objectifs de résultats identifiés dans la Vision 2035. |
| Avantages | - Ne nécessite pas de modifications majeures du système existant - |
| Inconvénients | - Prix de billet |
| Co-bénéfices sociaux | - Amélioration des conditions sociales des populations du Sud - |
| Co-bénéfices économiques | - Développement économique de la région d'Ali-Sabeih grâce aux revenus de ces habitants |
| Co-bénéfices environnementaux | - Réduction des émissions de GES (difficile à quantifier, ça dépendra du modèle économique développé) |
| Marché potentiel | Difficile à estimer, dépend des enquêtes sur le nombre potentiels de personnes qui feraient la navette |
| Coût | |
| Coût d'investissement | Essentiellement des coûts de gestion et d'O&M qui doivent être couverts par les prix du billet |

Annexe II: Liste des parties prenantes et leurs contacts

| Nom | Organisation et role | Thématique discutée Date |
|-------------------------------|---|--|
| Dini Abdallah Omar | Secrétaire Général Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme | Secteurs cibles pour le Secteurs cibles pour le projet EBT projet EBT |
| Idriss Ismael Nour | Sous-Directeur Coordinateur National projet EBT Direction de l'Environnement et du Développement Durable | Coordination Mobilisation des parties prenantes |
| Houssein Rirache Robleh | Directeur Direction de l'Environnement et du Développement Durable | Secteurs cibles de l'EBT Organisation méthodologique |
| Mohamed Kileh Waiss | Secrétaire Général Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles | - Priorités du secteur de l'énergie - Politiques du secteur de l'énergie - Projets en pipeline |
| Gouled Mohamed Hassan | Directeur de l'Energie Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles | - Priorités du secteur de l'énergie - Politiques du secteur de l'énergie - Projets en pipeline |
| Dileita Sultan Mohamed | Directeur Ministère de l'Equipement et des Transports | - Priorités du secteur des transports - Politiques du secteur des transports - Projets en pipeline |
| Saida Omar Abdillahi | Directrice Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Energie | - Priorités du secteur de la maitrise de l'énergie - Politiques en matière de maitrise de l'énergie |
| Aicha | Enseignant-chercheur Université de Djibouti | - Données et études pertinentes sur le secteur des transports |
| Nom | Institution | Domaine expertise |
| Hamoud Souleiman | Cadre Office Djiboutien de Développement de l'Energie Géothermique | - Planification des centrales géothermiques |
| Nasteho Djama Houssein | Cadre Office Djiboutien de Développement de l'Energie Géothermique | - Environnement et énergie |

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Mahad Abdoulaziz | Cadre MERN | - |
| Hamza Abdi | Ingénieur ADME | - Planification énergétique - Maitrise de l'énergie |
| Mane Mohamed | Ingénieur ADME | - Planification énergétique - Maitrise de l'énergie |
| Daha Hassan | Chercheur, chef du Laboratoire des Energies Nouvelles et Renouvelables CERD | - Energie solaire - Planification énergétique |
| Rachid Ali | Consultant CCD | - Energie solaire |
| Syad Ali | Cadre CCD | - Entrepreneuriat |
| Mouna Abdi Daher | Assistant coordonnateur projet EBT MUET | - Environnement - Processus EBT |
| Moustapha Hassan Adawe | Cadre MET | - Transport terrestre - Transport aérien |
| Mahamad Hamed Kamil | Cadre MET | - Transport terrestre |
| Meigag Ahmed Mahamoud | Mairie de Djibouti | - Planification - |
| Abourazak Hassan Moussa | Mairie de Djibouti | - planification |
| Ali Miganeh | Enseignant chercheur Université de Djibouti | - transport maritime |
| Hamze Abdi Ali | Ingénieur ADME | - maitrise de l'énergie |
| Syad Ali | Cadre CCD | - Entrepreneuriat |
| Mouna Abdi Daher | Assistant coordonnateur projet EBT MUET | - Environnement - Processus EBT |

Annexe III : explication de l'échelle de LICKERT

Certains critères sont qualifiés par des indicateurs qui ne peuvent pas être obtenus par des calculs objectifs. C'est le cas par exemple du critère de facilité de déploiement d'une technologie donnée. En effet contrairement à certains critères comme la production énergétique par exemple, ce critère ne peut pas être qualifié par des calculs logiques.

Pour ce critère, les notations sont assignées à travers un consensus entre les experts du groupe de travail. Une échelle dite de Likert est adoptée pour donner des notations aux différentes technologies. Par exemple pour le critère de facilité d'adoption qui a été retenue aussi bien pour le secteur de l'énergie que celui des transports, plus une technologie est facile à déployer, plus elle obtiendra une note proche de 100 et plus elle est difficile à déployer et plus sa note s'approchera de 0 selon la grille de classification du tableau suivant.

| | | |
|---------------------------|-------------|------------|
| Très difficile = 0 | TD | 0 |
| | TD5 | 5 |
| | TD10 | 10 |
| | TD15 | 15 |
| | TD20 | 20 |
| | D | 25 |
| Difficile=25 | D30 | 30 |
| | D35 | 35 |
| | D40 | 40 |
| | D45 | 45 |
| | M | 50 |
| Moyen=50 | M55 | 55 |
| | M60 | 60 |
| | M65 | 65 |
| | M70 | 70 |
| | F | 75 |
| Facile=75 | F80 | 80 |
| | F85 | 85 |
| | F90 | 90 |
| | F95 | 95 |
| Très facile = 100 | TF | 100 |

Tableau 28: notation selon échelle de Likert

Annexe IV : feuilles de calcul excel

Secteur de l'énergie :

Merci de bien vouloir ouvrir le fichier « AMC_Energie.xlsx »

Secteur des Transports :

Merci de bien vouloir ouvrir le fichier « AMC_Transport.xlsx »