

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 II : Analyse des barrières et Cadre Propice
Evaluation des Besoins en Technologies
Atténuation

Secteurs

Energie

Transports

Consultant national : Idriss Ahmed Hared

Janvier 2021



Projet Evaluation des Besoins en Technologies aux changements climatiques

Rapport II : Analyse des barrières et Cadre Propice

Le Rapport d'Analyse des barrières et Cadre Propice 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.

Table des matières

1	Introduction	12
2	Secteur de l'énergie	12
2.1	Visions, objectifs principaux visés pour le transfert et la diffusion des technologies.....	12
2.2	Analyse des barrières et les mesures favorables pour la technologie de la géothermie binaire	14
2.2.1	Description générale de la technologie de la géothermie binaire.	14
2.2.2	Identification des barrières pour la diffusion de la technologie de production d'électricité par la géothermie binaire	15
2.2.3	Mesures identifiées	23
2.3	Analyse des barrières et les mesures favorables pour la technologie des toitures solaires pour la production et l'autoconsommation d'énergie solaire	27
2.3.1	Description générale de la technologie des toitures solaires pour la production et l'autoconsommation d'énergie solaire	27
2.3.2	Identification des barrières de la technologie des toitures solaires pour la production et l'autoconsommation d'énergie solaire	28
2.3.3	Mesures identifiées	30
2.4	Analyse des barrières et les mesures favorables pour la technologie des mini-réseaux solaire PV pour l'électrification rurale .	34
2.4.1	Description générale de la technologie des mini-réseaux solaires PV pour l'électrification rurale	34
2.4.2	Identification des barrières de la technologie des mini-réseaux solaires PV pour l'électrification rurale.....	35
2.4.3	Mesures identifiées	40
2.5	Interrelations entre les barrières identifiées.....	43
2.5.1	Barrière : mise en œuvre insuffisante des stratégies et plan d'action	43
2.5.2	Accès difficile à un financement à prix abordable	43
2.6	Cadre propice pour surmonter les barrières du secteur de l'énergie.....	44
2.6.1	Adopter des cadres de planification stratégique et mettre en œuvre les axes stratégiques	44
2.6.2	Innover dans la mobilisation de ressources financières.....	44
3	Secteur des Transports	45

3.1	Vision, objectifs.....	45
3.2	Analyse des barrières et mesures favorables pour la technologie de BRT.....	45
3.2.1	Description générale de la technologie.....	45
3.2.2	Identification des barrières.....	46
3.2.3	Mesures identifiées	51
3.3	Analyse des barrières et mesures favorables pour la technologie de tramway.....	55
3.3.1	Description générale de la technologie.....	55
3.3.2	Identification des barrières.....	55
3.3.3	Mesures identifiées	57
3.4	Interrelations entre les barrières du secteur des transports	58
3.4.1	Barrière institutionnelle : le secteur du transport urbain est désorganisé.....	58
3.4.2	Barrière financière : l'accès au capital est difficile	58
3.5	Cadre propice pour surmonter les barrières du secteur des transports...	58
3.5.1	Revoir le cadre institutionnel.....	58
3.5.2	Réorganiser le modèle économique des opérateurs individuels...	58

Liste des figures

Figure 1: projection des émissions de GES à l'horizon 2030 [2]	13
Figure 2: unité géothermique binaire de 5 MW utilisant un cycle organique de Rankine [2].....	15
Figure 3: schéma de développement des projets de géothermie.....	16
Figure 4: mécanisme financier pour les toitures solaires (source [23]).....	31
Figure 5: image centrale solaire de Ali-Addé.....	34
Figure 6: schéma de la planification pour la mise en place d'un projet BRT (source [29]).....	50

Liste des tableaux

Tableau 1: barrières et mesures pour la technologie des centrales géothermiques binaires	9
Tableau 2: barrières et mesures pour la technologie des toitures solaires PV.....	9
Tableau 3: barrières et mesures pour la technologie des mini-réseaux solaires PV	10
Tableau 4: barrières et mesures pour la technologie de la BRT	11
Tableau 5: barrières et mesures pour la technologie de tramway.....	11
Tableau 6: montage financier du projet géothermique de Fialé	20
Tableau 7: montage financier du projet géothermique de Gale-Koma	20
Tableau 8: barrières et mesures financières pour la technologie de géothermie binaire.....	24
Tableau 9: barrières et mesures non financières pour la technologie de centrale géothermique binaire.....	26
Tableau 10: barrières et mesures financières pour la technologie de toiture solaire PV	31
Tableau 11: barrières et mesures non financières pour la technologie de toiture solaire PV	32
Tableau 12: barrières et mesures financières pour la technologie de mini-réseau solaire PV	41
Tableau 13: barrières et mesures non financières pour la technologie de mini-réseau solaire PV	42

Liste des abréviations

ADDS	Agence Djiboutienne de Développement Social
ADME	Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Energie
ARULOS	Agence de Réhabilitation Urbaine et du Logement Social
BAU	Business as usual case
BRT	Bus Rapid Transit (voies rapides dédiées aux bus)
CDN	Contribution Déterminée Nationale
CPEC	Caisses d'Epargne et de Crédit
DR	Daily rate
EBT	Evaluation des besoins en technologie
ER	Electrification rurale
GES	Gaz à effet de serre
GRMF	Geothermal Risk Mitigation Fund
IPP	Independent Power Producer
kWh	Kilowatt-heure
MERN	Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles
MET	Ministère de l'Equipeement et des Transports
MUET	Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme
MW	Mégawatt
ODDEG	Office Djiboutien de Développement de l'Energie Géothermique
PPA	Power Purchase Agreement
PV	Photovoltaïque
SI AF	Société Immobilière et d'Aménagement Foncier
SNCC	Stratégie Nationale sur le Changement Climatique

Résumé exécutif

L'évaluation des besoins en technologie de Djibouti s'est focalisée dans une première phase sur l'identification des technologies prioritaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'énergie et celui des transports. Sur la base des plans et stratégies nationaux de développements (Vision 2035, politique sectorielle de l'énergie), la première étape du processus (rapport EBT) a identifié les technologies suivantes pour le secteur de l'énergie : (i) centrale géothermique binaire, (ii) toitures solaires PV pour l'autoconsommation, (iii) mini-réseaux solaires PV pour l'électrification rurale. Et pour le secteur des transports, les technologies suivantes ont été identifiées (i) Voies rapides dédiées pour les bus (BRT), (ii) Tramway, (iii) Ferry-Navette Djibouti-Ville-Nord.

Après identification des technologies prioritaires, la prochaine étape s'est focalisée sur l'analyse des barrières et la mise en place d'un cadre propice, seconde étape du processus de l'évaluation des besoins en technologie. L'analyse des barrières et le cadre propice pour franchir ces barrières ont impliqué des larges consultations des parties prenantes, la revue de la bibliographie pertinente ainsi que les apports techniques des spécialistes.

Secteur de l'énergie

La technologie de centrale géothermique binaire présente des avantages importants tels que la possibilité de valoriser les réservoirs géothermique de Lac Assal et de produire une énergie de base pour le réseau électrique.

Les toitures solaires pour l'autoconsommation présente plusieurs avantages. Les potentiels consommateurs sont les ménages, les commerces, les hôtels, les administrations et l'industrie.

Les mini-réseaux solaires PV sont dédiés à l'électrification rurale des villages qui sont hors du réseau électrique. Les tableaux 1 à 5 présentent les barrières qui pourraient s'opposer à la diffusion de ces technologies ainsi que les mesures pour les franchir.

A) Technologie des centrales géothermiques binaires

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesure
Economique financière	& L'impact financier d'un forage non productif est considérable pour les finances du pays	Renforcer les capacités nationales pour un meilleur accès aux mécanismes de garantie contre le risque d'échec des forages tels que le GRMF
	Les financements disponibles pour la géothermie ne sont pas suffisants	Elaborer des mécanismes de financement innovant ciblant toutes les sources potentiels y compris les financements nationaux
		Développer des modèles de partenariat public-privé pour favoriser les investissements du secteur privé

		Développer et déployer une stratégie de mobilisation financière
	L'approche projet par projet empêche de réaliser des économies d'échelle sur le coût du forage	Regrouper les projets pour mutualiser les appels d'offre ainsi que l'approvisionnement en consommables
Technique	La maîtrise technique des équipements et la maîtrise de la conduite des opérations de forage sont encore incomplètes	<p>Mettre en place des programmes de formations de haut niveau</p> <p>Favoriser la coopération sud-sud avec le Kenya</p> <p>Mettre en place une assistance technique longue durée</p> <p>Mettre en place un plan de formation pour les cadres technique nationaux sur la planification, l'exécution des forages ainsi que l'entretien des équipements</p>
Technique	Les capacités de formulation des projets et programmes bancaables en géothermie sont limitées	Renforcer les capacités de préparation de projet bancaables
Technique	Les capacités de négociation commerciale avec les compagnies étrangères sont limitées	Elaborer un programme de formation sur les négociations commerciales et juridiques
Opérationnelle	La stratégie et le plan d'action pour la géothermie pas encore opérationnels	Soutenir les institutions en charge du développement de la géothermie pour la mise en œuvre de la stratégie et du plan d'action
Opérationnelle	Importantes lacunes dans la planification et l'exécution de projets et programmes	Renforcer les capacités en planification et exécution des projets et programmes
Juridique	Faible capacités de négociation des contrats	Renforcer les capacités nationales pour un meilleur accès aux mécanismes de soutien juridique de la Banque Africaine de Développement

		Renforcer les capacités de préparation et/ou négociation des contrats juridique
Naturelle (géologique)	La productivité des forages du prospect géothermique de Lac Assal est moyennement favorable	Favoriser les échanges Nord-Sud avec la Californie pour l'exploitation des forages chargés en minéraux

Tableau 1: barrières et mesures pour la technologie des centrales géothermiques binaires

B) Technologie des toitures solaires PV pour l'autoconsommation

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesures proposées
Financière	Coût élevé du financement	Réduire le coût du financement
Financière	Taxes sur les équipements de production d'énergie solaire élevée	Réduire les taxes ou exonérer de taxes les produits d'énergie solaire
Economique	Modèle économique et financier non élaboré	Développer une étude économique et financière sur les différents modèles d'autoconsommation
Commerciale	L'offre technique des fournisseurs locaux est incomplète	Mettre en place un programme de formation pour les fournisseurs d'équipements solaires
Technique	Les installateurs locaux ne sont pas certifiés	Mettre en place un certificat d'installateur d'équipements solaire
Technique	Les équipements importés ne sont pas normés	Soutenir la mise en place d'un mécanisme de contrôle des normes des équipements solaires importés
Information	Le solaire PV pour l'autoconsommation n'est pas connu	Mettre en place un programme de sensibilisation
Institutionnelle	Les plans d'action ne sont pas appliqués	Encourager et soutenir la mise en œuvre des plans d'action
Réglementaire	Les dispositions réglementaires sont incomplètes	Compléter les dispositions juridiques

Tableau 2: barrières et mesures pour la technologie des toitures solaires PV

C) Mini-réseaux solaire PV

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesure proposée
Economique		Adopter un modèle économique définitif pour les mini-réseaux solaires
Financière	Le Tarif de vente de l'électricité produite par les mini-réseaux solaire PV ne	Mettre en place un Fonds National pour l'ER qui permette de subventionner

	permet pas de rentabiliser les investissements	le prix du kWh produit par les mini-réseaux
Financière	Les investissements publics pour l'ER sont très faibles	Augmenter les investissements publics pour l'électrification rurale
Institutionnelle	Le véhicule institutionnel est sous-dimensionné pour le défi	Mettre en place une agence nationale pour l'électrification rurale
Réglementaire	Le cadre réglementaire est peu attrayant pour les investissements privés	Améliorer le cadre réglementaire par la formulation et adoption d'une Loi et d'un décret pour réglementer l'électrification rurale
Opérationnelle	Le plan pour l'électrification de 19 villages est obsolète et il n'existe pas de stratégie ER globale	Mettre en place une stratégie et un plan d'action pour l'ER
Technique	Les capacités de planification et d'exécution de programmes est faible au niveau du service de l'électrification rurale	Renforcer les capacités techniques et les capacités de coordination du service de l'électrification rurale
Informationnelle	Réticence des décideurs politiques pour la mise en place d'une agence spécialisée sur l'électrification rurale	Sensibiliser les décideurs sur la pertinence de la mise en place d'une agence spécialisée sur l'électrification rurale

Tableau 3: barrières et mesures pour la technologie des mini-réseaux solaires PV

Secteur des transports

D) Bus rapid Transit (Voies rapides dédiées aux bus)

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesures proposées
Barrière financière :	Des coûts d'investissements élevés pour l'aménagement des voiries urbaines	Mettre en place un plan d'investissement sur les routes urbaines, les terminaux, les dépôts ... etc.
Barrière économique	Investissements publics insuffisants pour le secteur des transports urbains	Mettre en place un plan d'investissement sur les routes urbaines, les terminaux, les dépôts ... etc. Mettre en place des mécanismes financiers pour remplacer la flotte de véhicule
Organisationnelle	organisation institutionnelle fragmentée et complexe	Créer une agence spécialisée sur la gestion du transport urbain

Réglementaire	cadre réglementaire non actualisé par rapport à l'expansion de la ville	Développer un plan global de mobilité urbaine
Organisationnelle	une offre de transport désorganisée et peu professionnelle	Regrouper les opérateurs individuels en compagnie privés Créer des concessions d'exploitation économiques des lignes Développer un plan global de mobilité urbaine
Technique	des capacités nationales de planification et de mise en œuvre insuffisantes	Renforcer les capacités de l'agence sur la planification et la gestion du transport urbain
Technique	une qualité moyenne des infrastructures routières	Mettre en place un plan d'investissement sur les routes urbaines, les terminaux, les dépôts ... etc.
Culturelle	une réticence forte au changement des opérateurs individuels	Conduire des activités de plaidoyer

Tableau 4: barrières et mesures pour la technologie de la BRT

E) Technologie du Tramway

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesures proposées
Barrière financière :	Le cout d'investissement est élevé	Favoriser le partenariat public-privé
Institutionnelle	Les capacités institutionnelles sont limitées	Mettre en place une assistance technique
Technique	Tracé compliqué par la densité urbaine	Intégrer le tracé dans le prochain Schéma directeur pour l'aménagement du territoire et l'urbanisme
Technique	La demande en électricité est importante	Intégrer les besoins en énergie du futur tramway dans le plans d'expansion de la capacité électrique du pays
Culturelle	Le projet de métro est irréaliste	Conduire un plaidoyer, initier des études faisabilité économique pour évaluer le potentiel commercial

Tableau 5: barrières et mesures pour la technologie de tramway

1 Introduction

L'évaluation des besoins en technologie de Djibouti s'est focalisée dans une première phase sur l'identification des technologies prioritaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'énergie et celui des transports.

La deuxième phase du projet porte sur l'analyse des barrières et la proposition d'un cadre propice. Le travail d'identification des barrières s'appuie tout d'abord sur une revue documentaire des politiques, plans, rapports d'évaluation de projet ou de tout document pertinent. Cette deuxième étape du processus s'appuie également comme la première partie sur une large consultation des parties prenantes. Des groupes de travail sectoriels sont mis en place pour identifier les barrières qui seront classées en barrières économiques et financières et en barrières non financières. Les barrières non financières peuvent être de nature technique, opérationnelle, institutionnelle, culturelle ou encore politique.

Des outils techniques comme la cartographie de marché ou la méthode de l'arbre à problème sont utilisés pour identifier les barrières les plus importantes. Sur la base d'un consensus et sur la base de ces outils, un ensemble de mesures sont proposés afin de faciliter la diffusion de ces technologies. L'ensemble de mesures proposées constitue le cadre propice pour la diffusion des technologies. Cette analyse de barrières et la proposition de cadre propice sont conduites pour chacune des technologies identifiées comme prioritaires.

2 Secteur de l'énergie

2.1 Visions, objectifs principaux visés pour le transfert et la diffusion des technologies

En 2014, le gouvernement de Djibouti a lancé un ambitieux plan de développement à long terme, connu sous le nom de Vision 2035 [1]. La stratégie de planification vise à placer le pays sur la voie du développement durable en renforçant le capital humain du pays, en développant son secteur privé et en réformant ses systèmes de développement durable. Ce plan ambitieux couvre les aspects sociaux et économiques et met l'accent sur l'éducation, le tourisme, la pêche, les nouvelles technologies de l'information et de la communication, les transports et la logistique, l'industrie et l'énergie.

La Vision 2035 a identifié l'accès à l'énergie et la sécurité énergétique comme des clés stratégiques pour l'expansion des activités manufacturières et industrielles. Le plan énonçait l'objectif ambitieux de répondre à 100% de la demande énergétique de Djibouti grâce aux énergies renouvelables d'ici 2020, qui proviendrait principalement de la géothermie, de l'énergie éolienne et du solaire, ainsi que de plus d'importations du réseau hydroélectrique éthiopien. L'horizon de temps pour ce plan a été prolongé pour 2027 car des éléments conjoncturels ont perturbé le déroulement du plan tel qu'il a été imaginé.

Djibouti a ratifié l'Accord de Paris en 2016. Dans le cadre de l'Accord de Paris, Djibouti avait soumis sa contribution déterminée au niveau national (CDN) [2]. Le pays 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.

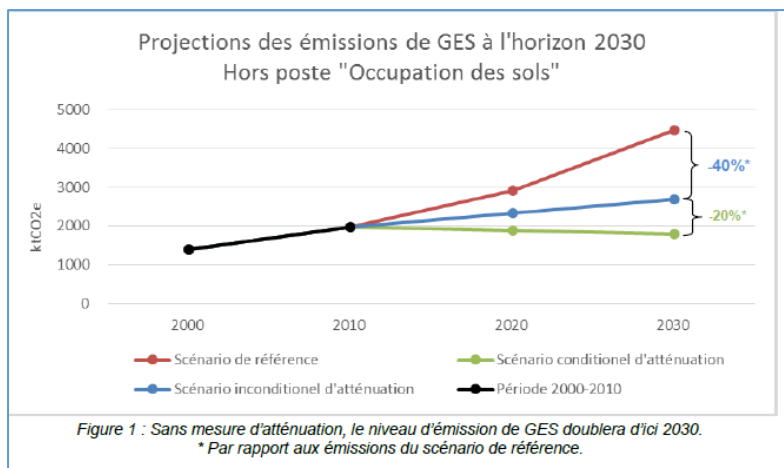


Figure 1: projection des émissions de GES à l'horizon 2030 [2]

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 (scénario 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.

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'Éthiopie. 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 scénario de référence à l'horizon 2030 et se situeront à un niveau de **2685 kTonne CO₂ équivalent**.

Scénario conditionnel

Dans le scénario 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 scénario conditionnel permettra de réduire de 60% les émissions de GES par rapport au scénario de référence avec des émissions de l'ordre de 1882 ktCO₂e. Ce scénario conditionnel intégré dans la CDN démontre une politique très volontariste de Djibouti et un niveau d'ambition qui reste très élevé.

Le secteur de l'Energie est au centre de la stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre de Djibouti. La CDN a identifié plusieurs options technologiques comme le développement des centrales géothermique, des centrales solaires photovoltaïques ou encore de l'énergie éolienne.

La stratégie nationale sur le changement climatique de Djibouti (SNCC) [3] développée en 2017 identifié également le secteur de la production d'électricité et de l'efficacité énergétique.

2.2 Analyse des barrières et les mesures favorables pour la technologie de la géothermie binaire

2.2.1 Description générale de la technologie de la géothermie binaire

Les centrales géothermiques binaires utilisent un complexe réseau d'échangeurs de chaleur impliquant le fluide géothermique pompé des profondeurs à la surface et un second fluide caloporteur pour extraire l'énergie du fluide géothermique. Le fluide caloporteur (par exemple de l'isopentane) dispose d'une basse température d'ébullition de l'ordre de 30°C. En sortie du réseau d'échangeurs de chaleur, le fluide caloporteur se trouve à haute pression et en état de surchauffe et cette énergie est utilisée pour faire tourner une turbine à vapeur.

Avantages des centrales géothermiques binaires

Les centrales géothermiques binaires permettent de valoriser des réservoirs géothermiques à basse enthalpie dont la température est inférieure à 180°C ou dont les réservoirs sont chargés en minéraux. Dans le cas des systèmes géothermiques du Lac Assal, les centrales binaires ont un avantage important pour le déploiement car ces réservoirs se trouvent à des profondeurs relativement faibles (de l'ordre de 800m). Par ailleurs, les centrales géothermiques binaires sont flexibles au niveau des puissances électriques qui peuvent être déployées car la gamme de puissances valorisées s'étend de 1MW à plusieurs MW en fonction de la productivité des puits (Cf Figure 2).

Caractérisation de la technologie de centrales géothermiques binaires

Les centrales géothermiques de production d'électricité, quel que soit leur type, peuvent être classées dans la catégorie des biens non marchands. En effet, il s'agit d'infrastructures de production d'électricité de taille conséquente et dont la technicité est maîtrisée par peu d'entreprises au niveau mondial. Par ailleurs, comme nous le verrons dans la suite, la construction d'une centrale géothermique de production d'électricité est précédée par des années d'exploration et de confirmation du potentiel géothermique. Or cette période d'exploration nécessite d'importants investissements qui relèvent des capacités financières et des décisions politiques des Etats.



Figure 2: unité géothermique binaire de 5 MW utilisant un cycle organique de Rankine [2]

2.2.2 Identification des barrières pour la diffusion de la technologie de production d'électricité par la géothermie binaire

L'analyse des barrières pour cette technologie a été effectuée à l'aide de l'outil de l'arbre à problème (Cf Annexe 2). En effet l'outil de cartographie de marché n'est pas du tout adapté dans le cas de cette technologie.

L'analyse des barrières pour cette technologie a été effectuée sur la base de plusieurs approches qui ont été combinées. Le consultant a tout d'abord fait une large revue documentaire des documents de politique et de documents techniques disponibles [4-12]. Ensuite une série de rencontres bilatérales a été conduite avec des chercheurs, des ingénieurs, des responsables politiques et des techniciens impliqués dans le développement de la géothermie (Cf Annexe 10). Et enfin, une réunion technique des parties prenantes a été organisée et pilotée par le consultant afin d'identifier et de classer les barrières.

La liste des barrières identifiées avant le regroupement et le classement par ordre d'importance sont comme suit :

- Risque financier important
- Le coût d'investissement initial est très élevé
- Une forte inertie dans le développement des projets (procédures des bailleurs compliquées)
- Les financements disponibles pour la géothermie sont insuffisants (faible capacité de mobilisation financière, absence de stratégie de mobilisation, mobilisation de financement lente et hasardeuse)
- Des capacités de mise en œuvre incomplètes
- Equipements techniques hautement spécialisés
- Personnel technique hautement spécialisé
- Qualité du réservoir défavorable en particulier la chimie et la perméabilité des systèmes géothermiques de Djibouti
- Perception de risque pays moyennement élevé entraînant une difficulté pour attirer les compagnies et augmentant les coûts
- Absence de feed-in tariff indiquant un manque de signal fort à l'adresse des investisseurs privés internationaux
- Longue suite d'échecs historiques donnant une appréhension négative

Les barrières listées sont classées en barrières financières et non financières.

2.2.2.1 Barrières économiques et financières

Barrière financière 1 : le risque financier est important

Le développement de la géothermie est associé avec un risque financier important en cas d'échec des campagnes d'exploration. Ce risque financier est dû principalement à deux causes qui sont d'une part les investissements initiaux importants et d'autre part la probabilité d'échec non négligeable due aux conditions géologiques naturelles. Ces deux causes sont expliquées en détail dans la suite.

Cause sous-jacente 1 : les investissements initiaux sont trop élevés

Le développement d'un champ géothermique passe par plusieurs étapes successives et peut prendre des durées pouvant aller voire dépasser dix années (cf figure 3) . Les étapes principales de développement d'un champ géothermique sont :

- Etape1 : Etudes documentaires et études de surface comprenant des études sur la géologie, l'hydrogéologie et la géophysique. Ces études peuvent durée d'une année à deux années et peuvent coûter jusqu'à \$US 2.000.000.
- Etape 2 : Construction de routes d'accès et des plateformes de forages
- Réalisation de forages d'exploration comprenant en général deux forages de reconnaissance et un forage de confirmation de la ressource
- Forages de production et forages de réinjection du fluide géothermique. Le nombre de forages dépend du budget et de la puissance totale électrique escomptée, de la puissance produite par forage et bien sûr du financement disponible.
- La construction de la centrale géothermique

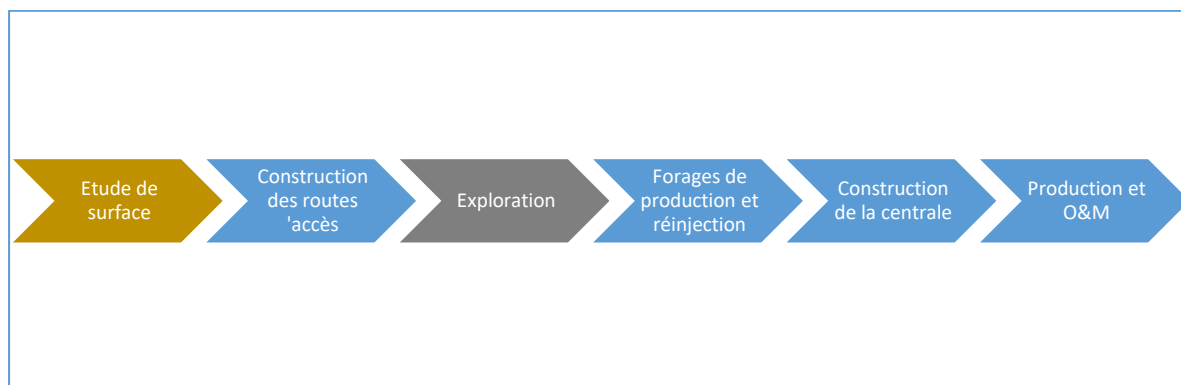


Figure 3: schéma de développement des projets de géothermie

Ce qui différencie tant la géothermie de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne, c'est que la géothermie peut répondre à la demande de base du système électrique et qu'elle ne dépend pas des conditions météorologiques.

Cependant ce qui la différencie aussi, c'est qu'il faut passer par une étape d'exploration et de confirmation qui nécessite d'importants capitaux sans aucune garantie de succès. Et dans cette étape d'exploration et de confirmation de la ressource géothermique, le plus gros de l'investissement est injecté dans la réalisation des forages.

Mais le coût d'investissement dans la construction de la centrale n'est pas un frein au développement de la géothermie. En effet, si la ressource est confirmée par la phase d'exploration, alors le financement de la construction de la centrale n'est pas en soi même un problème car il existe différentes possibilité comme :

- Electricité de Djibouti peut décider de solliciter un prêt auprès de ces bailleurs de fonds traditionnels.

- Une société privée peut dans le cadre d'un PPA construire et opérer la centrale. En effet le cadre juridique et réglementaire le permet depuis l'adoption de la Loi sur les IPP en 2015.

Donc les causes de cette barrière sur l'investissement sont plutôt le coût des forages et l'incertitude géologique de pouvoir localiser avec succès un réservoir avec un potentiel exploitable de façon commerciale c'est-à-dire la productivité des forages réalisés. Ces deux causes sont décomposées davantage dans ce qui suit.

Cause : coût des forages élevés

Le coût de forage est effectivement une barrière clé dans le développement de l'énergie géothermique car il représente entre 30 et 40% du montant total d'un projet géothermique [13-18]. Les coûts de forage dépendent de nombreux paramètres techniques comme la profondeur du forage, des difficultés de la géologie et de l'opération de forage même, de la disponibilité d'eau de forage. La localisation du site et de son éloignement par rapport au réseau routier peut également jouer un rôle important car un site éloigné et inaccessible nécessitera la construction de routes d'accès, augmentant le coût total des projets.

Dans un pays comme le Kenya qui dispose des équipements de forage et de personnel qualifié pour réaliser des forages géothermiques profonds, le coût des forages s'établit en moyenne à 3.5 Million USD pour des profondeurs allant de 900m à 3200m. Dans le cas d'une location de la machine, le coût moyen selon s'établit autour de 6.5 Million USD [15]. En Indonésie, le coût des forages varient de 4 Million USD à 9 Million USD pour des profondeurs allant de 1500m à 3000m [18]. En Islande, le coût d'un forage de production d'une profondeur de 2175m est de l'ordre de 4.7 Millions USD [14]. En comparaison, les trois forages effectués par Djibouti en 2018 ont coûté pratiquement 50 Million USD soit une moyenne de 16 Million USD par forage pour des profondeurs allant de 2000m à 2500m. Il apparaît donc que le coût de forage à Djibouti est davantage une barrière clé.

Bien entendu les investissements dans un forage peuvent être totalement perdus si le résultat du forage est négatif ou insatisfaisant, ce qui n'est absolument pas exclus. D'ailleurs, sur près de 10 forages géothermiques réalisés par Djibouti depuis 1974, tous les 10 ont été négatifs donc un taux d'échec de 100%. C'est justement cette probabilité d'échec élevée qui décuple la puissance de la barrière du coût du forage géothermique.

Les coûts de forage géothermique incluent les principaux éléments suivants :

- Coûts des consommables dont le gasoil, le ciment, la bentonite, les lubrifiants et l'eau utilisée pour le forage. Le coût du carburant (Diesel) représente en général plus de 70% du coût des consommables. La bentonite est une argile impure mélangée avec de l'eau qui est injecté dans le forage. La bentonite permet d'une part de refroidir la tête de la foreuse et d'autre part de remonter à la surface les débris générés par le forage.
- Coûts des équipements de forages (foreuse, groupes électrogènes, tubes, tête de foreuse, valves)
- Les équipements pour la tête de puits et leurs accessoires
- Les services spécialisés pour le forage (pour les forages directionnels)
- Mobilisation/démobilisation de la foreuse et sa plateforme technique d'un point de forage à un autre
- Le personnel et les expertises externes. En général, des entreprises de conseil en géologie et en forage sont recrutées par le maître d'ouvrage

Les foreuses utilisées dans l'industrie géothermique utilisent les mêmes technologies que les foreuses utilisées dans l'industrie pétrolière ou gazière. Il s'agit d'équipements dont les coûts d'acquisition sont particulièrement élevés et la plupart des pays optent pour une location de ce type d'équipement. Les coûts de forage géothermiques sont variables d'un pays à l'autre. Dans le cas où le pays ne possède pas un équipement de forage et doit passer par une

compagnie internationale, il est procédé au lancement d'un appel d'offres pour la sélection d'une société sur la base d'un cahier de charges spécifiques. Les propositions financières des compagnies sont formulées alors sous la forme d'un « daily rate » ou « taux journalier » qui intègre le coût de mobilisation de la machine et le coût du personnel. Le coût des consommables est fonction des conditions géologiques et de la progression du chantier et sont difficilement prévisibles.

Selon Thorhallsson et al. [14], le « taux journalier » est un facteur important influençant le coût total du forage. En effet le coût total du forage est une multiplication de la durée du forage par le « daily rate ». Et la durée du forage prend en compte deux facteurs qui sont le temps actif et le temps d'attente. Le temps actif prend en compte les opérations réelles de forage ainsi que les opérations d'arrêt pour problèmes de type anomalie géologique. Les prestations chargées dans ce cas-là sont de 100% du « taux journalier ». En revanche, les opérations telles que le déplacement de la foreuse d'une plateforme à une autre, le cimentage sont comptabilisés comme temps d'attente et les prestations facturées par la compagnie de forage sont de l'ordre de 80% du « taux journalier ». Une combinaison d'un « taux journalier » élevé et d'une durée de forage élevée vont donc impacter directement le coût total du forage. Il est donc important d'analyser les causes possibles d'un « taux journalier » élevé et les facteurs influençant la durée de forage.

L'allongement de la durée de réalisation du forage peut être causé par deux facteurs qui sont d'une part une mauvaise planification de l'approvisionnement et de la logistique entraînant un retard dans la livraison des consommables et des pièces mécaniques ; et d'autre part des conditions géologiques difficiles entraînant des dommages ou des blocages aux équipements. En effet, il est rare qu'un forage géothermique soit exécuté exactement dans la durée de temps planifié. Il est tout à fait courant d'observer une déviation de 20% dans le coût planifié en raison de l'allongement de la durée [14].

En ce qui concerne le « taux journalier », deux causes peuvent expliquer un « DR » cher. La première cause est l'absence d'économie d'échelle. En effet, les appels d'offres sont faits uniquement pour quelques forages et cela ne favorise pas l'obtention de tarifs intéressants. Une compagnie internationale doit rentabiliser la mobilisation de ses équipements et le DR proposé sera systématiquement plus élevé si la compagnie doit déplacer les équipements pour uniquement deux ou trois forages. En effet, les compagnies internationales prennent en compte dans leur « taux journalier » le risque de corrosion potentiel due au fluide géothermique et le risque de devoir affronter des réparations mécaniques qui nécessitent un renvoi des équipements vers l'étranger en raison de l'indisponibilité d'ateliers mécaniques spécialisés. Or le fluide géothermique de Djibouti est hautement corrosif en raison de son origine marine contrairement au système géothermique de la plupart des pays [9]. Au Kenya, en Indonésie, en Islande, en Turquie et dans beaucoup d'autres pays, ce sont les eaux de pluie qui permettent la recharge du réservoir géothermique et donc le fluide géothermique est faiblement minéralisé. A Djibouti par contre, c'est la mer et plus précisément les eaux de la baie du Ghoubbet qui sont les principales recharges des réservoirs géothermiques du Lac Assal et Nord-Ghoubbet. Par ailleurs, les compagnies prennent en compte dans leur « taux journalier », le déplacement et les rotations de leurs personnels expatriés. Et cela représente des charges importantes. Une approche programmatique du développement de la géothermie aurait permis de lancer des appels d'offre pour un plus nombre de projets et non un seul projet avec une poignée de forages.

La deuxième cause résulte d'une insuffisance en capacité de négociations de contrats avec des compagnies internationales. En effet, les compagnies internationales disposent des équipes juridiques solides tandis que les institutions nationales en charge de ces dossiers disposent plutôt de faibles capacités de négociations. Il en résulte un déséquilibre dans les négociations qui entraîne une acceptation de conditions défavorables pour la partie Djiboutienne.

Cause sous-jacente 2 : incertitude sur la productivité des forages

La capacité de production d'un forage géothermique dépend de la qualité du réservoir géothermique qui l'alimente. Lesquelles qualités sont déterminées par le niveau de

température, la nature du fluide géothermique récoltée et de la perméabilité. La combinaison d'une température élevée et d'une perméabilité élevée et donc d'un débit élevé de fluide géothermique à haute température et haute pression sont la garantie d'un forage productif. .

Naturellement la production par un forage est très variable mais se situe en général entre 5 et 10MWe et rarement au-dessus de 15MWe. Il y'a cependant des exceptions comme certains forages qui peuvent être super-producteurs et d'autres faiblement producteurs. Les trois forages réalisés dans le cadre du projet géothermique de Fialé en 2018 à Djibouti sont plutôt dans la catégorie des faibles producteurs avec une moyenne autour de 2 MWe. La productivité d'un forage est un paramètre clé car cela conditionne le nombre de forages à réaliser et donc directement le coût global.

Comme expliqué dans les sections précédentes, il existe une probabilité très élevée dans le contexte des réservoirs ciblés actuellement de trouver des forages qui ne sont pas productifs ou dont la productivité ne justifie pas un investissement dans la phase suivante de construction de la centrale géothermique. Et ce risque d'investissement dans la réalisation de forages sans aucune garantie de succès est un puissant frein au développement de la géothermie.

La combinaison de ce risque d'échec ou de faible productivité, combiné avec les financements limités mobilisés pour la géothermie rendent complexes et particulièrement lent le développement de la géothermie.

Barrière financière 2: les financements disponibles pour la géothermie sont insuffisants

Les projets de géothermie nécessitent beaucoup de capitaux ainsi qu'une longue période de développement pouvant aller jusqu'à dix années voire plus. Le développement des projets de production d'électricité géothermique passe par plusieurs étapes successives et chacune de ces étapes nécessitent d'importants capitaux.

Pour financer le développement de ses projets géothermiques, Djibouti fait appel aux bailleurs de fonds multilatéraux comme la Banque Mondiale, la Banque Africaine de Développement, l'Agence Française de Développement ou encore le Fonds Arabe de Développement Social.

Les tableaux 6 et 7 illustrent les montages financiers des projets géothermiques les plus récents de Djibouti.

Plan de financement du projet Fiale (EDD)		
Institution en charge du projet : Electricité de Djibouti		
Source	Montant	Type d'instrument financier
Fonds Africain de Développement (Banque Africaine de Développement)	3.531	Don
Fonds Africain de Développement (Banque Africaine de Développement)	0.269	Prêt
Fonds pour l'énergie durable en Afrique (Banque Africaine de Développement)	1.2	Don
Banque Mondiale (IDA)	4	Prêt
Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM)	4	Don

OFID (OPEC fund for International Development)	4.7	Prêt
Agence Française de Développement	2.2	Don
ESMAP	0.7	Don
Gouvernement de Djibouti	0.6	Budget national
Financement Total	21.2	

Tableau 6: montage financier du projet géothermique de Fialé

Plan de financement du projet de Gale-Koma (ODDEG)		
Institution en charge du projet : Office Djiboutien de Développement de la géothermie		
Source	Montant	Type d'instrument financier
Fonds Koweïtien	26,7 Million USD	Prêt Conditions du prêt : - Durée : 25 années - Taux : 2% - Coûts administratifs : 0,5%
Gouvernement de Djibouti		Budget national - Personnel - Foreuse
Financement Total		

Tableau 7: montage financier du projet géothermique de Gale-Koma

Pour le projet de Fialé qui a été exécuté sur la période 2012-2020 (et en cours d'exécution), les prêts représentent 41% du financement et pour le projet de Gale Koma, les prêts représentent 100% du financement. Cela montre l'engagement du pays à développer la géothermie mais cela représente aussi un risque d'endettement important pour le pays en cas d'échec des résultats de forage. Et cela est une inquiétude pour les départements en charge de la gestion de la dette au niveau national. Les remarques à tirer de ces deux montages financiers sont d'une part l'absence d'une ligne de financement portant sur une garantie contre les échecs de forage et d'autre part les bailleurs ciblés sont les bailleurs traditionnels du pays.

Cependant, des mécanismes financiers comme le Fonds Vert pour le Climat pourraient représenter des nouvelles opportunités pour Djibouti. Afin de mobiliser dans le futur, des financements qui soient à la hauteur de l'ambition géothermique de Djibouti, il convient d'identifier les causes qui peuvent expliquer ce manque de diversification des bailleurs et cette opportunité ratée de ne pas mobiliser des mécanismes de garantie sont décrites dans ce qui suit.

Cause sous-jacente 1 : une stratégie et un plan d'action relativement nouveaux

Le développement de la géothermie semblait obéir depuis les années 80, à une approche projet par projet et jusqu'à récemment, il n'existait pas une stratégie et un plan d'action avec des objectifs à court, moyen et long terme décrivant les moyens humains, techniques et financiers à mettre en place. Globalement, les prospects potentiels ont été identifiés avec un potentiel total de 1000 MW. Cependant, il n'existait pas de plan avec une programmation séquentielle indiquant le calendrier approximatif d'exploration de ce potentiel. Or l'approche projet et non programmatique est une des causes des coûts élevés de forage car elle ne permet pas de réaliser des économies d'échelle. Par ailleurs, si l'ensemble du potentiel géothermique disponible de 1000 MW doit être développé à travers une approche projet, cela prendrait plusieurs décennies voire jamais. L'ODDEG a pris les devants pour remédier à ce manque et une

stratégie et un plan d'action ont été récemment développés. L'inexistence de stratégie et de plan d'action formels semble avoir joué un rôle important dans le retard du déploiement de la technologie. La mise en œuvre de ces documents stratégiques sera un élément clé pour accélérer la diffusion de cette technologie.

Cause sous-jacente 1 : Inexistence d'une stratégie multi-annuelle de mobilisation de ressources financières pour la géothermie

Un corollaire de la cause sous-jacente 1 est l'inexistence d'une stratégie de mobilisation financière pour financer le plan d'action géothermique. Cela peut être interprété comme une conséquence mais il s'agit tout à fait d'une cause sous-jacente et même une cause profonde des ressources financières limitées. Chaque projet individuel nécessite une mobilisation financière qui implique une ingénierie de projet complexe et des années de négociation avec les bailleurs ; qui eux même ont d'ailleurs des politiques et des procédures généralement diverses et complexes. Donc in fine, le coût de transaction de l'approche projet par projet est élevé et par ailleurs inefficace pour atteindre les ambitions.

Cause jacente 3 : les institutions en charge disposent des connaissances et des capacités limitées pour mobiliser les financements

Une troisième cause sous-jacente est l'insuffisance des capacités en ingénierie des projets complexes. Les projets géothermiques sont complexes et leurs montages financiers combinent des dons, des prêts, des prises de participations et éventuellement des garanties. Et cela nécessite des fortes capacités en ingénierie des projets. En général, une équipe impliquée dans la formulation et la mobilisation financière pour ce type de projet est multiple et pluri-expertise. Si les capacités techniques disponibles sont plutôt satisfaisantes à Djibouti, le niveau pour faire la formulation de projet complexe est très élevé et serait un défi pour les experts locaux. D'autre part, les capacités en ingénierie financière sont plutôt limitées et cela constitue un facteur limitant pour la préparation des projets complexes. La formulation des projets repose donc quasi intégralement sur les experts des bailleurs de fonds et in fine le calendrier de préparation est fixé par les bailleurs de fonds. Cela explique quelque part, la lenteur des processus de mobilisation financière.

2.2.2.2 Barrières non financières

Barrière technique : la maîtrise technique des équipements et la maîtrise de la conduite des opérations de forage sont encore incomplètes

La conduite des équipements utilisés pour la réalisation de forage demande un haut niveau de technicité dans les domaines de la mécanique, de l'informatique industrielle et en électricité. Les équipements techniques utilisés sont complexes et le personnel est hautement spécialisé. La réalisation des forages fait intervenir des équipes avec des compétences et de fonctions variées qui comprennent des géologues, des foreurs, des cimentiers et des conducteurs de la machine. L'ODDEG a entrepris depuis quelques années d'importants efforts de formation de son personnel mais la masse critique de compétences n'est pas encore atteinte.

Barrière technique : La qualité des réservoirs géothermiques de Djibouti est moyennement favorable

La qualité des réservoirs géothermiques est déterminée par trois éléments qui sont :

- La perméabilité du sol qui va déterminer le débit de fluide qui peut être utilisé et cela conditionne la puissance productible
- La température du réservoir qui est un paramètre clé et qui conditionne également la puissance productible.

- La chimie du réservoir qui conditionne les conditions d'exploitation. Si le réservoir est chargé en minéraux, alors les coûts de maintenance seront élevés en raison de la corrosion induite sur les équipements de surface
- La pérennité du réservoir dans la durée. L'exploitation sur une longue période peut entraîner la déplétion du réservoir.

Pour le cas des réservoirs géothermiques du prospect d'Assal, la perméabilité du sol est faible et le fluide géothermique est très chargé en minéraux.

Barrière technique : les capacités de mise en œuvre des projets et programmes est incomplète

Les projets géothermiques nécessitent de grandes capacités techniques sur la gestion du cycle de projet et programmes allant de la planification, l'exécution, le suivi-évaluation. Les montants de ce type de projet et la multitude d'acteurs qui sont impliqués nécessitent une grande capacité de coordination. Bien que les capacités nationales augmentent considérablement ces dernières années, la masse critique d'experts n'est pas encore atteinte également.

Barrière culturelle : Perception d'échecs des projets d'exploration géothermique

Les nombreux projets d'exploration qui ont été conduits à Djibouti depuis le milieu des années 70 n'ont pas donné concrètement les résultats escomptés. Bien que ces projets aient produit de nombreux résultats scientifiques qui permettent de mieux cibler les futurs prospects, il existe une perception culturelle d'échec. Ce n'est pas en soi une barrière clé mais sur le long terme cela pourrait le devenir.

Barrière informationnelle : le risque pays est moyennement élevé

Le pays a été classé en 2020 à la 112^{ème} place de l'indice Doing Business de la Banque Mondiale. Le pays a entrepris d'importantes réformes qui le font progresser régulièrement dans cet indice de la Banque Mondiale. Afin d'attirer des compagnies privées dans le développement de la géothermie (secteur au risque financier important), davantage de réformes seront nécessaires.

2.2.2.3 Sélection des barrières par ordre d'importance

Le groupe sectoriel sur l'énergie a établi la classification suivante sur la base d'un consensus.

1. Risque financier important
2. Ressources financières limitées
3. Équipements techniques et personnels hautement spécialisés
4. Capacités de planification et de mise en œuvre assez moyennes
5. Approche projets individuels et non une approche programmatique du développement de la géothermie
6. Perception de risque pays moyennement élevé entraînant une difficulté pour attirer les compagnies et augmentant les coûts
7. Longue suite d'échecs historiques donnant une appréhension négative

Pour arriver à ce résultat, le groupe sectoriel a procédé à la notation des barrières sur une échelle allant de 1 à 5. Les barrières les plus importantes qui sont un goulot d'étranglement se sont vu attribuer des valeurs proches de 5.

Sur ces différentes barrières identifiées, deux barrières sont identifiées comme étant les plus importantes c'est-à-dire des barrières clés. Ces deux barrières clés sont respectivement la barrière liée au risque financier lié à l'échec des forages et celle portant sur l'insuffisance des financements disponibles pour le développement de la géothermie à Djibouti. Ces deux

barrières clés sont décomposées dans la suite afin de déterminer les causes sous-jacentes qui permettront d'identifier des mesures.

2.2.2.4 Analyse causale entre les barrières

L'analyse causale entre les barrières a été déterminée à l'aide d'un arbre à problème (voir annexe). La barrière principale est la barrière du risque financier due à l'exploration et la confirmation de la ressource géothermique. Toutes les autres barrières sont reliées d'une manière ou d'une autre à cette barrière ainsi que le démontre l'arbre à problème.

En effet la barrière du risque financier a deux causes qui sont respectivement les investissements initiaux élevés de la géothermie ainsi que l'insuffisance des financements disponibles pour la géothermie. Ce sont ces deux causes conjuguées qui forment le risque financier. Les investissements initiaux élevés sont dus principalement aux coûts associés avec les forages d'exploration, aux forages de production et de réinjection. Les coûts de forage élevés sont causés par trois éléments qui sont

- les coûts de location des services d'une compagnie internationale dont les équipements et les matériels sont hautement spécialisés et d'autre part par l'allongement de la durée de forage. Car en effet les compagnies internationales chercheront à maximiser les coûts associés avec leurs déplacements et vont donc proposer un tarif journaliser élevé.
- Par ailleurs la durée de forage dépend de la progression des opérations de forage qui dépend elle-même des conditions géologiques rencontrées et des pannes éventuelles des équipements.
- La productivité réelle du forage : un forage productif aura remboursé un jour les coûts engagés pour sa construction tandis qu'un forage non productif va représenter une perte sèche.

Sur un autre volet, les financements limités disponibles pour la géothermie sont un frein à son développement et constituent une cause du risque financier. Djibouti est un pays en voie de développement et le gouvernement essaie d'utiliser les ressources financières de façon optimale afin de financer les énormes besoins dans le domaine du développement social, de l'éducation et de la santé. La rareté des ressources financières est donc une cause qui alimente le potentiel impact négatif du risque financier. Les faibles ressources disponibles pour la géothermie ont deux causes qui sont d'une part un manque d'information et des lacunes de formation certaines en ce qui concerne les opportunités et les mécanismes de financement disponibles au niveau international et d'autre part à l'inexistence d'une stratégie de mobilisation financière pluriannuelle pour la géothermie. L'inexistence d'une stratégie et de plan d'action depuis les années 70 à quasiment l'année 2020 semblent être les causes de l'inexistence d'une stratégie de mobilisation financière. Le récent développement d'une stratégie et d'un plan d'action devrait changer la donne et accélérer le déploiement de la technologie à condition que ces documents stratégiques soient mis en œuvre.

2.2.3 Mesures identifiées

Sur la base de l'analyse des barrières, le groupe de travail a élaboré un certain nombre de mesures qui sont classées dans la suite en mesure économiques et financières et en mesures non financières.

2.2.3.1 Mesures économiques et financières

Les mesures préconisées afin de lever les différentes barrières identifiées sont listées dans le tableau qui suit. Les explications afférentes sont détaillées à la suite du tableau.

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesure proposée
------------------	------------------------	-----------------

Financière	L'impact financier d'un forage non productif est considérable pour les finances du pays	Renforcer les capacités nationales pour un meilleur accès aux mécanismes de garantie contre le risque d'échec des forages tels que le GRMF
Financière	Les financements disponibles pour la géothermie ne sont pas suffisants	<p>Elaborer des mécanismes de financement innovant ciblant toutes les sources potentiels y compris les financements nationaux</p> <p>Développer des modèles de partenariat public-privé pour favoriser les investissements du secteur privé</p> <p>Développer et déployer une stratégie de mobilisation financière</p>
Economique	L'approche projet par projet empêche de réaliser des économies d'échelle sur le coût du forage	Regrouper les projets pour mutualiser les appels d'offre ainsi que l'approvisionnement en consommables

Tableau 8: barrières et mesures financières pour la technologie de géothermie binaire

2.2.3.1.1 Renforcer les capacités nationales pour un meilleur accès aux mécanismes de garantie contre le risque d'échec des forages

L'incertitude liée à l'échec est un puissant frein au développement de la géothermie compte tenu des coûts élevés pour réaliser des forages et compte tenu aussi des ressources financières limitées du pays. Or il existe actuellement de par le monde des mécanismes de garantie contre les risques d'échec géologique ou le risque de faible productivité des puits. Un certain nombre de pays comme la France, l'Islande, l'Allemagne, le Japon disposent de leurs propres fonds de garantie contre les risques d'échec. Certains autres pays sont en train de mettre en place des mécanismes de garantie commun comme les Caraïbes avec un appui du Fonds Vert pour le Climat. C'est également le cas de l'Indonésie qui met en place actuellement un mécanisme de garantie avec l'appui du Fonds Vert pour le Climat. Par ailleurs, l'Union Africaine en collaboration avec le Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Economique et le Développement (BMZ) ont mis en place en 2012, un Fonds pour la mitigation du risque géothermique pour les pays de l'Afrique de l'Est, pays traversés par le rif Est-Africain qui confère des ressources géothermiques intéressantes. Ce Fonds plus connu sous le sigle anglophone de GRMF (Geothermal Risk mitigation facility) est doté d'un montant de 122 Million USD actuellement et conduit des appels à projets. Les GRMF peut prendre en charge une partie des risques d'échec de forage de la manière suivante :

- 20% des coûts de construction des infrastructures nécessaires à la réalisation des forages tels que les routes d'accès, les infrastructures d'approvisionnement en eau ... etc.
- 80% des études des frais liés aux études de surface

- 40% des coûts de forages d'exploration et de confirmation

Il existe donc des réelles options de mitigation du risque d'échec. Cette mesure préconise donc de renforcer les capacités nationales afin que les projets géothermique futurs de Djibouti puissent bénéficier des mécanismes de garantie existants.

2.2.3.1.2 Développer et déployer une stratégie de mobilisation financière

Il est crucial pour les institutions en charge de la géothermie (MERN, ODDEG, EDD) de développer une stratégie de mobilisation financière globale. Cette stratégie va soutenir le plan de développement de la géothermie du pays. Toutes les sources potentielles de financement et tous les mécanismes possibles seront identifiés et ciblées dans la stratégie. Cette stratégie de mobilisation financière va être intégrée à la stratégie et plan d'action pour la géothermie.

2.2.3.2 Mesures non financières

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesure proposée
Technique	La maîtrise technique des équipements et la maîtrise de la conduite des opérations de forage sont encore incomplètes	<p>Mettre en place des programmes de formations de haut niveau</p> <p>Favoriser la coopération sud-sud avec le Kenya</p> <p>Mettre en place une assistance technique longue durée</p> <p>Mettre en place un plan de formation pour les cadres technique nationaux sur la planification, l'exécution des forages ainsi que l'entretien des équipements</p>
Technique	Les capacités de formulation des projets et programmes bancaables en géothermie sont limitées	Renforcer les capacités de préparation de projet bancaables
Technique	Les capacités de négociation commerciale avec les compagnies étrangères sont limitées	Elaborer un programme de formation sur les négociations commerciales et juridiques
Opérationnelle	La stratégie et le plan d'action pour la géothermie pas encore opérationnels	Soutenir les institutions en charge du développement de la géothermie pour la mise en œuvre de la stratégie et du plan d'action
Opérationnelle	Importantes lacunes dans la planification et l'exécution de projets et programmes	Renforcer les capacités en planification et exécution des projets et programmes
Juridique	Faible capacités de négociation des contrats	Renforcer les capacités nationales pour un meilleur accès aux mécanismes de soutien juridique de la

		<p>Banque Africaine de Développement</p> <p>Renforcer les capacités de préparation et/ou négociation des contrats juridique</p>
Naturelle (géologique)	La productivité des forages du prospect géothermique de Lac Assal est moyennement favorable	Favoriser les échanges Nord-Sud avec la Californie pour l'exploitation des forages chargés en minéraux

Tableau 9: barrières et mesures non financières pour la technologie de centrale géothermique binaire

2.3 Analyse des barrières et les mesures favorables pour la technologie des toitures solaires pour la production et l'autoconsommation d'énergie solaire

2.3.1 Description générale de la technologie des toitures solaires pour la production et l'autoconsommation d'énergie solaire

L'autoconsommation de l'énergie solaire PV signifie la production et la consommation sur le même site de l'énergie solaire [19]. On distingue deux types d'autoconsommation qui sont l'autoconsommation sans injection sur le réseau électrique et l'autoconsommation avec injection sur le réseau électrique de l'excédent. Dans le cas de Djibouti, l'injection dans le réseau du surplus est interdite par la Loi à moins de négocier un PPA. Par ailleurs, l'injection sur le réseau est encadrée par le Décret N° 2019-013/PR/MERN [20] qui interdit les injections dans les réseaux aux installations d'une puissance de moins de 20 kWc. La technologie d'autoconsommation que nous discutons ici concerne les installations résidentielles sans injection de surplus dans le réseau électrique.

L'autoconsommation préconisée ici va favoriser plutôt la production d'une partie de l'électricité consommée par les ménages. Cela va permettre d'une part de résoudre les émissions de CO₂ au niveau national compte tenu du fait que le secteur résidentiel compte pour un tiers de la demande en électricité ; et d'autre part va réduire la facture d'électricité des ménages. La figure suivante illustre la configuration d'une installation d'autoconsommation sans injection dans le réseau et sans batterie.

Les toitures solaires pour l'autoconsommation sont constituées des éléments technologiques suivants :

- 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

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 de l'onduleur 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 le réseau électrique joue un rôle d'appoint.

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 délester une partie de la demande. Ce qui est assez compliqué. Avec l'intégration d'un banc de batteries, il est possible pour un consommateur de devenir 100% autonome en énergie, tout en restant connecté au réseau électrique.

Avantages de la technologie des toitures solaires pour l'autoconsommation

La technologie des toitures solaires pour l'autoconsommation présente les avantages suivant :

- La possibilité de produire de l'électricité de façon décentralisée et de consommer sur le site de production. Cela est un avantage considérable pour lisser les pics de la demande et notamment pendant les journées d'été où le pic de la demande due à la climatisation est important

- Les coûts d'installation d'une toiture solaire en autoconsommation est moins élevés de l'ordre de 30% en raison de la possibilité de ne pas utiliser des batteries.
- Les couts de maintenance sont moindres et la longévité du système plus grande en raison de la possibilité de ne pas utiliser des batteries

Caractérisation de la technologie des toitures solaires pour l'autoconsommation

Les équipements et composants utilisés pour une toiture solaire peuvent être trouvés normalement chez les fournisseurs de technologie solaire du marché. Il s'agit donc d'un bien marchand.

2.3.2 Identification des barrières de la technologie des toitures solaires pour la production et l'autoconsommation d'énergie solaire

L'analyse des barrières conduite par le groupe sectoriel révèle un total de neuf barrières dont trois sont économiques et financières et six sont non financières. L'identification du problème centrale a été réalisée à l'aide de la méthode de l'arbre à problème (Cf Annexe 4).

2.3.2.1 Barrières économiques et financières

Barrière financière : coût élevé du financement

Le gouvernement n'a pas mis en place un mécanisme financier incitatif pour l'acquisition de systèmes solaires PV malgré les recommandations de la stratégie et du plan d'action de la maîtrise de l'énergie développé en 2015.

Les banques locales ou organismes financiers tels que les caisses pour l'épargne et le crédit (CPEC) n'ont pas d'offres spécifiques pour le financement des projets d'énergie solaire en général et encore moins pour l'autoconsommation qui est un concept tout nouveau dans le pays. Les seuls possibilités de financement pour les ménages ou les petits commerces restent l'autofinancement ou le recours aux crédits à la consommation auprès des banques locales. Dans la décennie 2008-2018, le nombre de banque est passé de trois banques à dix banques. Le crédit à la consommation est devenu donc plus facile d'accès mais les taux d'emprunt restent élevés et se situent dans la tranche de 7.5% à 11% annuel. Ce taux est donc élevé aussi bien pour les fournisseurs de produits d'énergie solaire qui souhaiteraient financer leur croissance par le crédit que pour les consommateurs qui souhaiteraient s'équiper par le crédit. De plus, les durées des crédits à la consommation sont limitées à quelques années sauf le crédit au logement qui peut dépasser 15 années pour uniquement quelques banques. Par exemple la durée maximale au niveau de certaines banques ne dépasse pas cinq années pour les crédits à la consommation. Cela a pour conséquences des annuités élevés qui ne sont pas en phase avec les niveaux de salaires des ménages. Le taux d'emprunt et la durée du crédit sont un vrai frein au développement de l'autoconsommation mais plus globalement pour la filière y compris pour les clients qui sont loin du réseau électrique et qui veulent s'équiper en énergie solaire.

Barrière économique : la taxe sur les équipements importés est élevée

Les produits importés de l'étranger sont assujettis à deux types de taxes qui sont la taxe intérieure sur la consommation (TIC) fixé à 20% de la valeur d'achat du produit et à la taxe sur la valeur ajoutée qui est de 10%. Les produits utilisés pour la production de l'énergie solaire sont assujettis à ce régime fiscal et cela est une barrière importante. Les équipements d'énergie solaire utilisés dans le pompage de l'eau pour l'agriculture sont les seules équipements solaires destinés au grand public qui bénéficient d'une réduction de la TIC à 5%. Le solaire pour l'autoconsommation destiné au grand public est sanctionné pour l'instant par des taux de taxes élevés qui freinent le développement de la filière.

Barrière économique : modèle économique non développé

Les institutions de recherche tels que l'Université de Djibouti ou le Centre d'Etudes et de Recherches de Djibouti, les institutions gouvernementales en charge des questions n'ont pas encore développé un modèle économique et financier pour les installations d'autoconsommation à Djibouti en raison de la nouveauté du concept. Les banques ne sont pas donc éclairées sur la rentabilité des projets d'autoconsommation.

2.3.2.2 Barrières non financières

Barrière technique : l'offre commerciale des sociétés de la place est incomplète

L'offre commerciale des sociétés de la place n'est pas en mesure de déclencher pour l'instant une diffusion de la technologie de l'autoconsommation pour plusieurs raisons qui sont :

- Les composants individuels tels que les batteries et les onduleurs sont quasiment uniformes à travers toutes les boutiques qui vendent du solaire. On y trouve souvent uniquement des batteries entre 100Ah et 200Ah et des onduleurs de faible puissance. Par ailleurs les onduleurs vendus localement ne disposent pas de la fonction VDE obligatoire pour les systèmes connectés en autoconsommation. Cette fonction permet aux onduleurs connectés au réseau de se déconnecter de celui-ci en cas de coupure et ainsi de protéger les techniciens intervenant sur les lignes de distribution. C'est une fonction anti-ilotage du système. Si l'onduleur ne dispose pas de la fonction VDE, alors il ne peut pas être utilisé dans une configuration d'autoconsommation.
- La garantie des équipements vendus dépasse rarement une année. Cela est un obstacle majeur pour un client qui achète un système pour une durée de vie de 15 à 20 années.
- L'assistance technique à la conception d'une offre adaptée au client est rudimentaire. Les entreprises opérant ne disposent pas d'ingénieurs ou techniciens qui assistent le client pour concevoir une offre adaptée. Il en résulte un sous-dimensionnement qui va entraîner une insatisfaction du client ou un surdimensionnement qui entraîne des coûts indus. Cela influence négativement le client et donne une perception de faible fiabilité des systèmes solaires PV.

Une cause sous-jacente qui peut expliquer cette offre commerciale limitée est :

- Les fournisseurs d'équipements solaires manquent de formation technique
- La vente d'équipements solaires est une activité parallèle à la vente d'équipements électronique pour une grande partie de fournisseurs.

Barrière technique: les installateurs ne sont pas certifiés

Djibouti ne dispose pas encore d'un système de certification pour habilitier les installateurs. N'importe quel technicien ayant des bases d'électricité peut installer un système solaire. Cela entraîne au minimum des mauvaises performances du système, un vieillissement prématuré des batteries ou parfois même des accidents.

Barrière technique : les équipements importés ne sont pas normés

Les équipements utilisés dans les installations d'énergie solaires sont tous importés de pays étrangers et aucun n'est fabriqué à Djibouti. Jusqu'à présent, aucun contrôle n'était effectué sur la qualité des équipements importés et si la fabrication de ces équipements respecte les normes internationales. Il en résultait l'entrée sur le territoire national d'équipements de très mauvaises qualités. En 2018, le gouvernement a mis en place la Loi N° 33/AN/18/8ème L [21] portant adoption du système national de normalisation et de promotion de la qualité et prévoit à terme de créer un organisme national chargé de la normalisation. Par ailleurs, l'agence Djiboutienne de maîtrise de l'énergie a commencé en 2020 à certifier les équipements importés et prévoit d'installer un laboratoire ou une unité auprès des douanes pour contrôler les équipements arrivant à Djibouti.

Barrière sur l'information : la technologie de l'autoconsommation n'est pas connue

La technologie de l'autoconsommation est souvent confuse avec la technologie de l'énergie solaire hors-réseau. Or un système PV d'autoconsommation est connecté au réseau mais n'injecte pas de l'énergie dans le réseau (en tout cas dans le cas de Djibouti). Ni les installateurs, ni les institutions ne sont pas très informés sur la technologie de l'autoconsommation et les équipements utilisés comme les onduleurs hybrides ou les onduleurs disposant de la fonction VDE. Cela est un obstacle à la promotion de cette technologie à fort potentiel de développement étant donné que son coût d'investissement est moins cher en raison de la possibilité de ne pas utiliser des batteries.

Barrière institutionnelle : les plans d'action ne sont pas mis en application

La stratégie et le plan d'action pour la maîtrise de l'énergie ont été développés en 2015. Cependant une grande partie du plan d'action n'a pas été exécuté. Or le développement de toitures solaires connectés au réseau était une option incluse dans ce plan. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet état de fait comme :

- Une absence de moyens financiers pour exécuter les plans
- Une insuffisance des capacités institutionnelles
- Les plans ne sont pas déclinés en plans de travaux annuels
- L'institution en charge ne dispose pas d'une unité de suivi et évaluation

Barrière réglementaire : les dispositions réglementaires sont incomplètes

La loi n°88/AN/15/7^{ème} L [22] prévoit des dispositions pour la définition de l'auto-producteur à l'article 36 comme suit :

« Article 36 : Toute personne physique ou morale souhaitant produire de l'électricité à partir des énergies renouvelables pour sa propre consommation, et n'envisageant pas l'injection de cette électricité sur le réseau national, est considérée comme un Auto-producteur. Il a le droit de produire cette électricité exclusivement pour sa propre consommation sans nécessiter une licence de production à condition que :

- Le point de production et le point de consommation de l'énergie soient sur le même site
- Ces installations énergétiques ne dépassent pas une Valeur Limite fixée dans les textes d'application de la présente loi. »

Le décret n°2019-013/PR/MERN du 21 janvier 2019 est le texte d'application de la Loi n°88/AN/15/7^{ème} L. Ce décret indique dans son article 12 qu'un arrêté ministériel fixera les valeurs limites de puissance à ne pas dépasser sauf à demander une licence de production. La valeur limite de la puissance n'étant pas fixée encore par les textes de Loi, cela laisse un flou juridique pour les grands consommateurs tels que les hôtels ou les industries qui pourraient être intéressés également par l'autoconsommation. Néanmoins, pour les petits consommateurs tels que les ménages ou les petits commerces, on peut supposer que leurs installations ne vont jamais atteindre les valeurs limites et que les installations d'autoconsommation peuvent déjà être installées.

Sur la base de l'arbre à problème, un arbre à solutions a été développé (Cf annexe 5). Les mesures identifiées et expliquées dans la section suivante découlent de cet arbre à solutions.

2.3.3 Mesures identifiées

2.3.3.1 Mesures économiques et financières

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesures proposées
------------------	------------------------	-------------------

Financière	Coût élevé du financement	Réduire le coût du financement
Financière	Taxes sur les équipements de production d'énergie solaire élevé	Réduire les taxes ou exonérer de taxes les produits d'énergie solaire
Economique	Modèle économique et financier non élaboré	Développer une étude économique et financière sur les différents modèles d'autoconsommation

Tableau 10: barrières et mesures financières pour la technologie de toiture solaire PV

2.3.3.1.1 Réduire les coûts de financement pour l'autoconsommation

La réduction des coûts de financement sera possible à conditions que l'état joue un rôle de facilitateur et mette en place un mécanisme financier qui implique l'ensemble des acteurs. Dans le cadre du plan d'action de la maîtrise de l'énergie développé en 2015 par l'ADME [23], un mécanisme financier a été imaginé pour permettre la diffusion de toitures solaires résidentielles connectées au réseau avec un compteur de type net metering. Le mécanisme devait impliquer les banques locales, EDD, l'ADME, les installateurs et les clients. Le schéma de la figure 4 est tiré du plan et illustre le mécanisme financier imaginé.

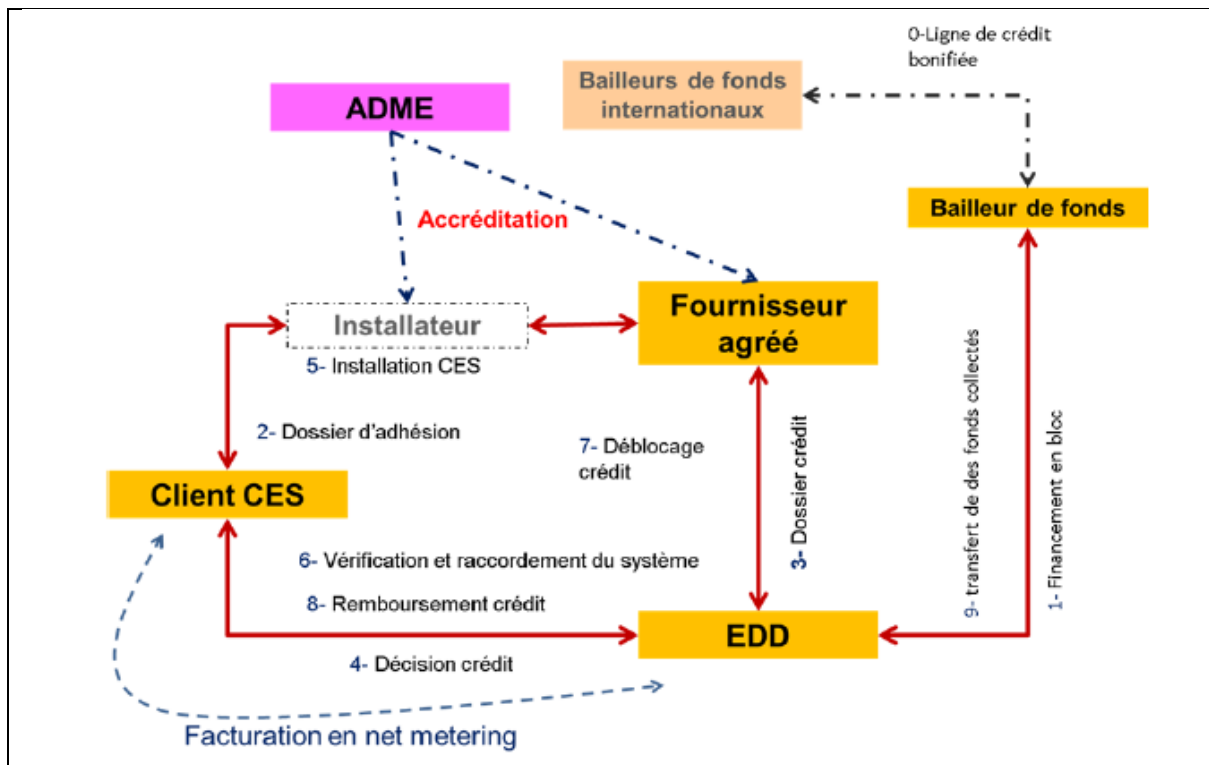


Figure 4: mécanisme financier pour les toitures solaires (source [23])

Un mécanisme similaire serait tout à fait adapté pour les toitures solaires PV pour l'autoconsommation. D'autres mécanismes peuvent être imaginés comme le suivant :

- (i) L'Etat met en place un mécanisme de garantie aux prêts pour l'énergie solaire afin de diminuer la perception de risque au niveau des banques
- (ii) L'Etat devrait mobiliser des financements concessionnels auprès du Fonds Vert pour le Climat à des taux de l'ordre de 1% et sur une durée de 25 années à travers un organisme accrédité auprès du Fonds Vert pour le Climat et revendre ces crédits aux

des banques locales. Cela permettrait aux banques locales de diminuer les taux et prêter aux consommateurs finaux à des taux ne dépassant pas 4% et avec des durées pouvant dépasser 15 années.

Le Fonds Vert pour le Climat soutient ce type d'initiative [24].

2.3.3.1.2 Les taxes sur les équipements d'énergie solaire sont élevées

La mesure propose une réduction de la TIC à 5% et une suppression de la TVA pour les produits concourant à la production et l'autoconsommation d'énergie solaire. Cela permettrait aux fournisseurs d'énergie solaire de réduire les prix de vente de leurs équipements.

2.3.3.2 Mesures non financières

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesures proposées
Commerciale	L'offre technique des fournisseurs locaux est incomplète	Mettre en place un programme de formation pour les fournisseurs d'équipements solaires
Technique	Les installateurs locaux ne sont pas certifiés	Mettre en place un certificat d'installateur d'équipements solaire
Technique	Les équipements importés ne sont pas normés	Soutenir la mise en place d'un mécanisme de contrôle des normes des équipements solaires importés
Information	Le solaire PV pour l'autoconsommation n'est pas connu	Mettre en place un programme de sensibilisation
Institutionnelle	Les plans d'action ne sont pas appliqués	Encourager et soutenir la mise en œuvre des plans d'action
Réglementaire	Les dispositions réglementaires sont incomplètes	Compléter les dispositions juridiques

Tableau 11: barrières et mesures non financières pour la technologie de toiture solaire PV

2.3.3.2.1 Mettre en place un programme de formation pour les fournisseurs d'équipements solaires et les bureaux d'études

Des sessions de formation pour les fournisseurs locaux devront être déployées régulièrement (une fois par année ou une fois toutes les deux années). Ces formations seront élaborées par le Ministère de l'Energie en collaboration avec la chambre de commerce de Djibouti. Ces formations viseront les objectifs suivants :

- Maintenir une veille technologique sur les progrès de l'énergie solaire et les possibilités d'application pour Djibouti
- Former les fournisseurs sur les normes des équipements d'énergie solaire
- Tenir informés les fournisseurs sur les possibilités de financement de projet
- Former aux bases du dimensionnement des installations solaires et en particulier les installations d'autoconsommation.

2.3.3.2.2 Mettre en place un certificat d'installateur d'équipements solaire

Le MERN devra établir un niveau de formation de base requis pour les installateurs de matériel électrique. Ce niveau pourra être par exemple le BEP et plus ou bien le Bac

Professionnel et plus. En plus du niveau de formation et de diplôme minimum, le MERN devrait mettre en place une formation certifiante en collaboration avec le Ministère de l'Education pour former les installateurs au sein du Lycée Industriel et Commercial de Djibouti (LIC). Les clients pourront exiger l'envoi de techniciens certifiés auprès des sociétés d'installation aussi bien pour une première installation que la maintenance.

2.3.3.2.3 Soutenir la mise en place d'un mécanisme de contrôle des normes des équipements solaires importés

L'ADME a commencé en 2020 à mettre en place un mécanisme de contrôle des normes en collaboration avec la douane. Les étiquettes des équipements importés sont contrôlées dans une base de données de fournisseurs internationaux.

2.3.3.2.4 Mettre en place un programme de sensibilisation des consommateurs

Aussi bien les consommateurs que les décideurs ne semblent pas être informés du concept de l'autoconsommation. Le MERN et l'ADME devrait promouvoir cette solution qui est plus économique que la solution off-grid et qui est plus durable en raison de l'absence de batteries du système.

Un programme de promotion qui se base sur une étude de cas devrait être élaboré et mis en place afin de faciliter la diffusion rapide de cette technologie.

2.3.3.2.5 Encourager la mise en œuvre des plans d'action

Le plan d'action sur la maîtrise de l'énergie n'a pas été mis en œuvre et en particulier les actions portant sur les toitures solaires PV résidentielles. Pour lever cette barrière les mesures proposées sont :

- Mettre en place une assistance technique au sein de l'ADME ou du MERN pour la mise en œuvre du plan d'action pour les toitures solaires
- Former les cadres du MERN et de l'ADME sur le suivi et l'évaluation des projets et programmes
- Mettre au sein de l'ADME ou du MERN, une assistance technique pour la mobilisation des ressources financières

2.3.3.2.6 Compléter les dispositions juridiques

Les dispositions réglementaires manquantes doivent être complétées. Cela se ferait de la manière suivante :

- Amendement du décret n°2019-013/PR/MERN pour définir les valeurs limites de puissance
- Intégrer dans l'amendement les dispositions techniques concernant les onduleurs hybrides disposant de la fonction VDE afin de protéger les techniciens EDD travaillant sur les lignes.

2.4 Analyse des barrières et les mesures favorables pour la technologie des mini-réseaux solaire PV pour l'électrification rurale

2.4.1 Description générale de la technologie des mini-réseaux solaires PV pour l'électrification rurale

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 en général des éléments suivants :

- 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 de distribution de l'énergie



Figure 5: image centrale solaire de Ali-Addé

Les mini-réseaux solaires existent déjà depuis plusieurs années y compris à Djibouti où l'on dénombre trois mini-réseaux solaires. Il existe de nombreux fournisseurs à travers le monde qui offrent des composants spécialement conçus pour les mini-réseaux solaires. Il s'agit d'une technologie qui a atteint une maturité technique et commerciale.

Avantages de la technologie des mini-réseaux solaires PV

Par rapport au kit solaire familial, un mini-réseau solaire permet de répondre à des demandes en électricité plus importantes comme l'utilisation de petites machines de transformation, des machines de couture, des réfrigérateurs ou congélateurs pour les commerçants. D'autre part, la maintenance des mini-réseaux solaires est également plus facile car centralisée 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 technologique 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.

Les mini-réseaux solaires génèrent d'importants co-bénéfices sociaux et notamment :

- 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.

Les bénéfices économiques des mini-réseaux incluent :

- Boutiques généralistes
- Magasin de vêtements
- Petits ateliers de couture

Caractérisation de la technologie de mini-réseaux solaires PV

Cette technologie relève de la catégorie des biens marchands et plus particulièrement c'est un bien d'équipement. En effet, les mini-réseaux solaires peuvent être fournis par le secteur privé mais cependant le nombre de fournisseurs est limité dans le pays et les consommateurs sont également limités aux villages qui n'ont pas accès encore à l'électricité. Par ailleurs l'investissement dans un mini-réseau solaire est relativement important.

Bien que cette technologie ait montré sa maturité technique et commerciale, on n'observe pas pour le moment une large diffusion dans les villages hors-réseau de Djibouti. La suite de ce rapport analyse les barrières qui s'opposent à une large diffusion de cette technologie et des mesures pour lever ces barrières sont proposées.

2.4.2 Identification des barrières de la technologie des mini-réseaux solaires PV pour l'électrification rurale

Le groupe sectoriel sur l'analyse des barrières dans le secteur de l'énergie a proposé la liste des barrières suivantes :

- Un accès au capital difficile pour le secteur privé
- Un environnement réglementaire peu favorable aux investissements privés
- Une tarification de l'énergie peu attractive pour les investissements privés
- Faibles investissements publics dans l'électrification hors-réseau
- Absence d'instruments financiers pour débloquer les investissements privés dans l'électrification hors-réseau
- Un cadre institutionnel inadéquat
- Une perception de risque important pour les investisseurs privés
- Une faible rentabilité des projets d'électrification rurale
- Villages économiquement peu productifs et faiblement peuplés

Les barrières ont été classées ensuite par ordre d'importance selon la classification suivante.

1. Un cadre institutionnel inefficace pour répondre au défi du développement de l'électrification rurale
2. Un environnement réglementaire peu favorable aux investisseurs privés
3. L'insuffisance des investissements publics dans l'électrification rurale
4. Volumes commerciaux faibles en raison d'un faible prévisionnel de la demande énergétique et de la puissance
5. L'accès difficile au capital pour les entreprises et communautés locales
6. Tarification peu attrayante pour les investissements privés

La barrière principale a été déterminée à l'aide de l'outil de l'arbre à problème (Cf annexe 6). Le groupe a été unanime en désignant la barrière sur le cadre institutionnel inefficace comme la barrière clé ou le goulot d'étranglement qui empêche que les mini-réseaux solaires soient diffusés de façon large sur le territoire nationale.

2.4.2.1 Barrières économiques et financières

Barrière financière : accès au capital difficile

Des investissements initiaux importants restent un obstacle à la mise en œuvre de nombreux projets. Les projets d'électrification rurale sont à forte intensité de capital, avec des besoins d'investissement importants qui dépassent généralement la capacité des entreprises ou des communautés locales.

L'accès au capital pour les investisseurs locaux est plutôt difficile en raison du taux élevé des prêts ainsi que des garanties exigées par les banques locales. En effet, le taux de prêts accordés par les banques locales est généralement compris entre 7% et 15% en fonction des risques associés avec le projet. Or au stade actuel de développement, investir dans les mini-réseaux solaires comporte un certain nombre de risques que nous détaillerons dans la suite.

Barrière économique : tarif et réglementation inappropriés pour l'électrification rurale

La structure tarifaire adoptée par le Ministère de l'Energie pour l'électrification rurale est comme suit :

- 25FD/kWh soit 14 US cent/kWh pour les ménages
- 30FD/kWh soit 16,9 US cent/kWh pour les commerces
- 55 FD/kWh soit 31 US cent/kWh pour les institutions

Ce tarif est très bas pour attirer les investisseurs privés. En effet ce tarif ne permet pas de rentabiliser un investissement privé dans un mini-réseau solaire (Annexe 1). La VAN calculée pour un mini-réseau solaire PV de 120 KWc fournissant 346 kWh à un village de 100 ménages est négative.

Barrière financière : inexistance des instruments financiers pour le secteur hors réseau

L'Etat Djiboutien n'a pas encore mis en place des instruments ou de mécanismes financiers pour attirer les investissements privés dans l'électrification rurale.

Barrière économique : investissements publics limités dans le milieu rural

La Vision 2035 reconnaît l'insuffisance des investissements publics dans les zones rurales et les investissements dans l'électrification hors-réseau n'y font pas exception. Les investissements publics en zones rurales se limitent en général à la construction d'infrastructures sociales de base telles que les points d'eau, les dispensaires et les écoles. La fourniture de services énergétiques aux ménages ruraux n'est pas perçue pour l'instant au niveau des décideurs politiques comme un service social de base. En témoigne le nombre et la vitesse d'installation de mini-réseaux solaires dans le pays. En effet sur la décennie 2010-2020, on dénombre seulement quatre villages qui ont bénéficié de l'installation de mini-centrales solaires ou de l'extension du réseau électrique sur un total de plus de trente (30) villages.

L'étude financée par le PPIAF en 2013 à Djibouti a démontré que le modèle économique des mini-réseaux solaires ne pourrait pas être rentable sans une participation des investissements publics.

2.4.2.2 Barrières non financières

Barrière réglementaire : un environnement réglementaire peu favorable aux investissements privés

La Loi n°88/An/15/7èmeL portant réglementation des activités des producteurs indépendants d'énergie autorise à Djibouti des éventuels producteurs indépendants d'énergie à construire et exploiter des systèmes de production énergétiques. Cette Loi précise également que sur le territoire national, tout producteur indépendant d'électricité ne peut vendre son énergie qu'à la compagnie nationale d'électricité, EDD, qui garde également le monopole du transport et de la distribution. En novembre 2018, le gouvernement de Djibouti a adopté un nouveau décret relatif à l'application de la loi IPP (loi n° 88 / AN / 15 / 7ème L) fixant les modalités et procédures d'obtention des droits de licence et de concession pour la production d'électricité. Il précise les dispositions prévues pour la production énergétique et IPP ainsi que les compétences et missions dévolues au service de régulation de la direction de l'énergie dans la régulation et le suivi des activités des producteurs indépendants d'électricité.

Ce décret vise, d'une part, à compléter l'arsenal juridique régissant les activités des producteurs indépendants d'électricité et, d'autre part, à atteindre l'objectif que le pays s'est fixé pour atteindre 100% renouvelable d'ici 2020. Il fixe la limite des valeurs des installations de production d'électricité et l'application, les licences annuelles et les droits de licence pour les producteurs d'électricité indépendants. Le décret fixe les exigences auxquelles doivent satisfaire les installations de production d'électricité, conformément aux dispositions de la loi réglementant les activités des producteurs d'électricité indépendants. Il définit les régimes de licences et de concessions auxquels seront soumises les différentes catégories de producteurs indépendants d'électricité.

La Loi n°88/An/15/7èmeL et son décret d'application (Décret N° 2019-013/PR/MERN) ne prennent pas en compte les IPP qui souhaitent construire un mini-réseau solaire PV, produire et vendre leur énergie à des usagers ruraux qui sont loin du réseau électrique de EDD. Il y'a donc un vide réglementaire qui s'avère être une barrière aux investissements privés.

Barrière institutionnelle : le cadre institutionnel n'est pas adapté pour porter le défi de l'électrification rurale

L'arrangement institutionnel pour l'électrification rurale n'est pas adapté pour relever le défi de l'électrification rurale malgré le faible nombre de villages comparé à d'autres pays. En l'état actuel, les projets d'électrification sont pilotés par plusieurs départements ministériels en fonction des financements des bailleurs de fonds.

En ce qui concerne les villes qui sont desservies par le réseau électrique national, c'est EDD qui se charge de la production, du transport, de la distribution et de la vente de l'électricité aux consommateurs. Pour ce qui est du milieu rural, EDD ne semble pas du tout intéressé par la problématique de l'électrification rurale.

Cette barrière est la barrière principale ou barrière clé dont les conséquences empêchent réellement que la technologie des mini-réseaux solaires PV ne se diffuse pas à l'échelle nationale. Si des solutions adéquates sont définies et mises en œuvre pour contourner la barrière principale, alors il y'a de fortes chances que la technologie se diffuse. Mais au préalable il faut identifier quelles sont les causes sous-jacentes de cette barrière principale.

Cause sous-jacente 1 : le véhicule institutionnel est sous-dimensionné

La responsabilité de l'électrification rurale incombe au Ministère de l'Energie, chargé des Ressources Naturelles. Au sein du MERN, c'est un service dédié qui est en charge de l'électrification rurale. La Loi n°42/An/14/7èmeL [25] portant organisation du MERN, détaille les missions fixées au service de l'électrification rurale comme suit :

- L'élaboration d'une stratégie sectorielle et d'un plan d'action pour l'électrification des localités et zones non électrifiées en milieu rural ;

- L'élaboration et la mise en œuvre d'une politique d'électrification en milieu rural grâce aux énergies renouvelables et conventionnelles ;
- La Mise en œuvre de la politique nationale d'électrification en milieu rurale en collaboration avec les différentes instances étatiques (Education Nationale, Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Agriculture, Ministère de la Santé...etc.) et les conseils régionaux ;
- La mise en œuvre de programmes adaptés de promotions des solutions d'électrifications avec les différentes sources d'énergies renouvelables du pays (solaire, éolien, biomasse, géothermie) ;
- La gestion et l'exploitation dt parc des centrales électriques et des infrastructures décentralisées installées en milieu rural ;
- Le suivi des programmes nationaux d'électrification rurale en collaboration avec les départements et partenaires concernés ;
- Du développement des réseaux de distribution électrique en milieu rural et périurbain en collaboration avec 1e service de l'énergie conventionnelle.

Selon les termes définis dans cette Loi, le service de l'électrification rurale est clé pour piloter l'ensemble du programme d'électrification rurale du pays. Mais force est de constater que les faibles capacités en ressources humaines, en capacités techniques et en moyens matériels du service de l'électrification rurale ne sont pas de taille pour répondre à la mission qui lui a été confiée par la Loi n°42/An/14/7èmeL. Lors de l'élaboration de ce rapport, les cadre des services concernés ont confirmé au consultant que le personnel dédié est inférieur à cinq personnes composées uniquement de techniciens et d'ingénieurs en électricité ou dans le solaire. Le service ne dispose pas d'une unité d'études et de planification, une unité de mobilisation de ressources financières, d'une unité de coordination des programmes d'ER, d'une unité de suivi-évaluation ... etc.

Le service de l'électrification rurale est donc selon cette Loi, la principale institution qui doit faire le portage du programme de l'électrification rurale. Or dans le cadre de l'organisation des administrations Djiboutiennes, le service n'est pas doté des prérogatives, ni des moyens humains et matériels contrairement aux agences spécialisées. D'ailleurs le MERN a créé deux agences spécialisées pour le développement de la géothermie et pour la maîtrise de l'énergie. Le pilotage de tout le programme d'électrification rurale par un service qui est noyé dans une administration centrale aussi grande que celle du MERN est clairement inefficace. Le véhicule institutionnel est donc clairement sous-dimensionné. Cela explique en grande partie selon les experts du groupe de travail, le retard dans la mise en œuvre du plan de l'électrification rurale. Idéalement une agence spécialisée aurait eu des meilleurs résultats par rapport à un simple service dédié. Cependant il existe des causes profondes qui empêchent la mise en place d'une agence spécialisée. Ces causes sont :

a) Une perception de la multiplication des agences spécialisées

Dans la décennie 2010-2020, le gouvernement a mis en place une dizaine d'agences spécialisées dans des domaines divers allant de la maîtrise de l'énergie, les systèmes d'information à la prise en charge des handicaps Etc. Dans les domaines de l'énergie, le gouvernement a mis en place en 2012, l'Agence Djiboutienne de Maitrise de l'Energie et en 2013, l'Office Djiboutien de Développement de l'Energie Géothermique. Il y'a donc une réelle perception au niveau des décideurs qu'il y'a trop d'agences spécialisées. D'ailleurs, en 2018, le gouvernement a mené une réflexion portant sur la limitation ou la suppression pure et simple de certaines agences spécialisées.

b) Le coût de fonctionnement d'une agence spécialisé est un fardeau sur le budget national
La mise en place d'une agence spécialisée entraine systématiquement des coûts additionnels sur le budget de l'Etat. Ces coûts sont par exemple les salaires des fonctionnaires, les frais d'installation, les frais de fonctionnement tels que les factures d'électricité, d'eau et de téléphone ainsi que le budget d'investissement pour démarrer les activités de l'agence

spécialisée. Ce fardeau additionnel sur le budget de l'Etat est souvent un frein à la mise en place d'agence spécialisée.

Cause sous-jacente 2 : la coordination interinstitutionnelle est complexe

Plusieurs départements ministériels et agences gouvernementales ont mis en œuvre durant la dernière décennie, des projets d'électrification rurale. La mise en œuvre des projets semble obéir à l'opportunité de financement offerte par les bailleurs de fonds. Et selon la porte d'entrée du bailleur de fonds dans le pays, c'est une agence ou une autre qui met en œuvre le projet. La mise en œuvre de l'électrification rurale dans des conditions optimales et en particulier avec les énergies renouvelables demande une coordination bien huilée entre les institutions. En effet, une bonne coordination permettrait d'adopter une priorisation commune des villages à électrifier, une optimisation des coûts d'investissement et des coûts d'exécution par le regroupement des projets, l'adoption de normes technique standardisées à l'échelle nationale pour les projets d'électrification rurale. A l'inverse une mauvaise coordination est la cause d'une dispersion des efforts et d'une mauvaise efficacité dans la mise en œuvre des projets d'électrification rurale. Les causes sous-jacentes à cette coordination complexe sont détaillées dans la suite.

- a) Le service de l'électrification rurale n'a pas les capacités techniques pour coordonner les activités des autres départements

La coordination de l'électrification rurale requiert un fort leadership compte tenu de la fragmentation des institutions. Le service ne dispose pas de capacités de leadership nécessaire pour coordonner toutes les institutions impliquées dans l'électrification rurale.

- b) Les rôles et responsabilités n'ont pas été définis dans le plan de mise en œuvre de l'électrification rurale de 2014

Le plan de mise en œuvre de l'électrification rurale préparé en 2014 par l'ADDS avec l'appui de la Banque Mondiale peut être défini comme un premier essai qui visait à guider les projets d'électrification rurale [26]. Ce plan ne fait pas office de politique ou de stratégie sur l'électrification rurale. Il s'agissait plutôt d'un plan orienté sur des projets et qui est incomplet. Les aspects clés qui n'ont pas été définis sont les suivants :

- L'arrangement institutionnel pour la mise en œuvre du plan
- Le plan de suivi-évaluation
- Un cadre des ressources et des résultats
- Un cadre logique
- Les moyens de financement

Par ailleurs ce plan n'est pas guidé par une stratégie plus globale sur l'électrification rurale.

Barrière commerciale : une faible demande énergétique et faibles puissances

Les villages qui attendent l'électrification rurale sont approximativement une trentaine de villages. Il s'agit de villages faiblement peuplés (en général moins de 5000 habitants) et dont le tissu économique est très faible. Selon l'Enquête Djiboutienne auprès des ménages [27], le taux de pauvreté extrême en milieu rural est de 62,6%. Cela montre tout simplement que les ménages ne seront pas de grands consommateurs d'énergie car ils devront alors s'acquitter d'une facture d'énergie conséquente pour leurs finances. Les capacités financières des ménages limitent forcément leurs demandes énergétiques et leurs demandes en puissance. En effet la demande en énergie des ménages pour des mini-réseaux existants actuellement est de l'ordre de 3 kWh/jour et une demande de l'ordre de 200 à 400W lorsque tous les appareils sont en fonction. Cela veut dire que la puissance installée par village est dans un ordre de grandeur de 50 à 150KWc. Il s'agit là d'une puissance relativement faible qui a peu d'attrait

pour un investisseur privé et qui constitue donc une barrière. La mise en œuvre de l'électrification rurale à travers des projets individuels village par village ne permet pas d'attirer les investissements privés. Par ailleurs, cela ne permet pas également de réaliser des économies d'échelle.

Barrière informationnelle : insuffisance de l'information sur le potentiel économique de l'électrification rurale

Les informations sur le potentiel et les avantages des énergies renouvelables hors réseau (en particulier l'énergie solaire photovoltaïque) ne sont pas développées à Djibouti. Il existe peu de données sur les sites potentiels et leurs caractéristiques. Fondamentalement, il n'y a pas de point d'information unique où un développeur potentiel peut recevoir les conseils et les données nécessaires pour prendre une décision d'investissement. Alors que la stratégie énergétique nationale reconnaît l'importance du développement des énergies renouvelables dans la lutte contre les déficits énergétiques dans les zones rurales, les efforts et les efforts du gouvernement jusqu'à présent ont été de s'attaquer au déficit énergétique de la capitale Djibouti et de faciliter la construction d'un deuxième et même une troisième ligne d'interconnexion avec l'Éthiopie. La promotion des mini-réseaux solaires photovoltaïques et éoliens nécessite une approche différente, plus orientée vers le secteur privé et les communautés locales, et nécessitant un accès ouvert et transparent à l'information pour les investisseurs. La rareté des projets d'électrification rurale réussis et durables limite les opportunités de sensibilisation et de renforcement de la confiance des communautés locales, des développeurs de projets et des investisseurs, et constitue en soi un grand obstacle au développement du marché.

Barrière technique : des faibles capacités techniques de la chaîne d'approvisionnement technologique

La chaîne d'approvisionnement technologique pour les produits d'énergie solaire et les mini-réseaux solaires PV est naissante. Les importateurs de produits d'énergie solaire ne sont pas encore consolidés. La gamme technologique offerte est plutôt limitée en ce qui concerne les composants individuels. Par exemple pour les batteries d'énergie solaire, il est impossible de trouver dans les stocks des importateurs des batteries ayant des grandes capacités. Toutes les batteries disponibles dans les stocks locaux ont des capacités inférieures ou égales à 200Ah. En ce qui concerne les onduleurs il est quasiment impossible de trouver des onduleurs ayant des puissances nominales supérieures à 10KVA. Et par-dessus tout, la garantie des équipements vendus ne dépasse jamais une année. Cela constitue une barrière importante.

2.4.3 Mesures identifiées

Un ensemble de mesures est proposée dans cette section afin de contourner les barrières à la diffusion de la technologie des mini-réseaux solaires. Ces mesures sont obtenues grâce à l'arbre à solutions décrit dans l'annexe 7 qui a été développé en inversant l'arbre à problèmes.

2.4.3.1 Mesures économiques et financières

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesure proposée
Economique		Adopter un modèle économique définitif pour les mini-réseaux solaires
Financière	Le Tarif de vente de l'électricité produite par les mini-réseaux solaire PV ne	Mettre en place un Fonds National pour l'ER qui permette de subventionner

	permet pas de rentabiliser les investissements	le prix du kWh produit par les mini-réseaux
Financière	Les investissements publics pour l'ER sont très faibles	Augmenter les investissements publics pour l'électrification rurale

Tableau 12: barrières et mesures financières pour la technologie de mini-réseau solaire PV

2.4.3.1.1 Adopter un modèle économique définitif pour les mini-réseaux solaires

Le financement, l'opération et la maintenance des mini-réseaux PV peut suivre plusieurs modèles économiques. Trois modèles économiques ont été proposés pour le cas de Djibouti en 2014 avec les avantages et les inconvénients de chacun des modèles économiques proposés [26]. Ces modèles ont tous étudié les possibilités de partenariat public-privé à mettre en place pour développer l'électrification rurale à Djibouti. Cependant, une décision sur le choix d'un modèle n'a pas été statuée depuis lors. L'adoption d'un choix économique permettrait de mieux orienter les décisions stratégiques concernant les investissements publics à mettre en place ainsi que la mise en œuvre du plan d'action. Les trois modèles étudiés par l'étude de 2014 sont décrits comme suit.

Le scénario BOT (buil, operate and transfer)

« Le scénario Concession (Build Operate Transfer) consiste à proposer à un opérateur privé de prendre en charge totalement l'électrification d'une région, de la réalisation des systèmes jusqu'aux opérations quotidiennes et au support auprès des clients. Dans ce scénario, les charges d'investissement, d'exploitation/maintenance et la propriété des actifs sont de la responsabilité du concessionnaire privé. Il est proposé ici qu'un opérateur soit choisi sur la base de ses compétences. Il devra concevoir lui-même la solution technique de mini-réseau la plus adaptée aux besoins du pays et définir le niveau de subvention dont il aura besoin pour assurer sa mission dans la durée. L'étude réalisée montre qu'un fort niveau de subvention par l'état djiboutien (90%) sera nécessaire pour attirer des candidats, ce qui modifie profondément le partage des risques de ce type de scénario. De plus, la rentabilité d'un tel projet n'est pas totalement garantie.

Le Scénario de Gérance

Le scénario de Gérance (Management Contract) prévoit que les activités d'opération et de maintenance soient confiées à une entreprise privée. Cette entreprise est rémunérée sur la base des prestations qu'elle réalise pour le compte du maître d'ouvrage. Le secteur public conserve toute son autonomie pour la phase de construction. Ce scénario peut conduire à créer des entreprises privées locales sous-traitantes ou non, chargées d'offrir ce service pour le compte de tout le programme d'électrification rurale.

Le Scénario d'Affermage

Enfin, le scénario Affermage (Long Term Lease Contract) proposé sépare la chaîne de valeur en deux : l'amont (réalisation des mini-réseaux) est de la responsabilité des acteurs publics, et l'aval (opération quotidienne des mini-réseaux et tâches de maintenance) est confié à une entreprise privée. L'opérateur privé doit garantir le niveau de service attendu. Il se rémunère, auprès des clients, sur l'exercice du service public qui lui a été délégué. A la différence du scénario précédent, l'opérateur privé se voit confier une infrastructure qu'il est chargé d'entretenir et de développer.

2.4.3.1.2 Augmenter les investissements publics pour l'électrification rurale

La part de l'investissement public dans l'électrification rurale est actuellement très en dessous du niveau nécessaire à une diffusion large de la technologie des mini-réseaux PV. L'investissement public peut se décliner de différentes manières. Tous les modèles économiques prospectés pour le développement des mini-réseaux montrent que les investissements publics sont indispensables compte tenu de la mauvaise rentabilité des projets en raison du faible tarif de vente du kWh. En fonction du modèle économique qui sera adopté, il sera nécessaire de mettre en place un vaste programme d'investissement public. Le prix du kWh doit être subventionné afin d'attirer les investisseurs privés.

2.4.3.2 Mesures non financières

Type de barrière	Libellé de la barrière	Mesure proposée
Institutionnelle	Le véhicule institutionnel est sous-dimensionné pour le défi	Mettre en place une agence nationale pour l'électrification rurale
Réglementaire	Le cadre réglementaire est peu attrayant pour les investissements privés	Améliorer le cadre réglementaire par la formulation et adoption d'une Loi et d'un décret pour réglementer l'électrification rurale
Opérationnelle	Le plan pour l'électrification de 19 villages est obsolète et il n'existe pas de stratégie ER globale	Mettre en place une stratégie et un plan d'action pour l'ER
Technique	Les capacités de planification et d'exécution de programmes est faible au niveau du service de l'électrification rurale	Renforcer les capacités techniques et les capacités de coordination du service de l'électrification rurale
Informationnelle	Réticence des décideurs politiques pour la mise en place d'une agence spécialisée sur l'électrification rurale	Sensibiliser les décideurs sur la pertinence de la mise en place d'une agence spécialisée sur l'électrification rurale

Tableau 13: barrières et mesures non financières pour la technologie de mini-réseau solaire PV

2.4.3.2.1 Améliorer le cadre institutionnel de l'électrification rurale

Le défi de l'électrification rurale impose la mise en place d'un cadre institutionnel robuste avec une bonne coordination interinstitutionnelle ainsi que des institutions qui soient dotées de moyens techniques, humains et opérationnels à la hauteur du défi qu'il faut relever.

Le service de l'électrification dans sa configuration institutionnelle actuelle est noyé dans une large administration qui est celle du MERN. Les experts du groupe de travail ont préconisé la mise en place d'une agence nationale spécialisée sur l'électrification rurale. La mise en place d'une agence nationale sur l'électrification rurale pourrait se heurter ainsi que nous l'avons vu dans les sections précédentes à une résistance. Les deux résistances possibles sont :

- Une perception de la multiplication des agences
- Un risque de fardeau budgétaire sur le budget national

Afin de contourner ces deux obstacles à la mise en place d'une agence spécialisée sur l'électrification rurale, il sera nécessaire de conduire un travail de sensibilisation et de plaider auprès des décideurs politiques.

2.4.3.2.2 Mettre à jour la stratégie et le plan d'action pour l'électrification rurale

Le plan d'électrification rurale développé en 2013 par l'ADDS en partenariat avec le MERN et sous financement de la Banque Mondiale doit être mis à jour. Une stratégie globale pour l'électrification hors-réseau doit également être développée. La stratégie pour l'électrification rurale devra définir le type de partenariat public-privé qui doit être mis en place pour l'électrification rurale, la stratégie de financement, les rôles et les responsabilités des institutions, ainsi que définir un horizon de temps pour achever l'électrification rurale de tous les villages hors-réseau.

2.4.3.2.3 Améliorer l'environnement réglementaire de l'électrification rurale

Le cadre réglementaire actuel de l'électrification rurale est peu favorable aux investissements du secteur privé. Nous avons vu que la Loi sur les producteurs indépendants d'énergie et le décret d'application de cette Loi ne réglemente pas le cas des producteurs indépendants qui souhaitent produire et vendre leur énergie aux consommateurs en milieu rural. La mesure proposée permettra de lever cette barrière importante à la diffusion de la technologie des mini-réseaux PV. La mesure propose de formuler et adopter une Loi et un décret d'application sur l'électrification rurale. La loi précisera l'ensemble de la procédure d'autorisation et d'octroi de licence de concession ainsi que les exigences techniques, administratives, fiscales et les obligations des prestataires de services.

2.5 Interrelations entre les barrières identifiées

Bien que les technologies soient différentes les unes des autres, il apparaît que certaines barrières sont communes à toutes ces technologies. Ces barrières sont discutées dans la suite.

2.5.1 Barrière : mise en œuvre insuffisante des stratégies et plan d'action

L'absence de stratégie et de plans d'action ou l'insuffisance de la mise en œuvre des plans d'action est une barrière transversale à l'ensemble des trois technologies identifiées prioritaires. Bien souvent, les institutions en charge ont une approche focalisée sur des projets spécifiques sans se projeter sur un horizon de temps de plusieurs années. C'est la disponibilité des fonds pour un projet qui accaparent toutes les ressources techniques qui devraient piloter l'exécution des plans d'action. Il en résulte des conséquences importantes qui sont un faible taux d'exécution des plans d'action et parfois même l'absence de toute stratégie et plan d'action.

Les causes profondes identifiées sont le manque d'appropriation des stratégies et des plans d'action, l'insuffisance des capacités techniques sur la gestion des programmes et des projets. Très peu de cadres sont formés sur la conduite de programmes et de projets de développement. Peu de cadres sont formés sur le suivi et évaluation des programmes et de projets.

2.5.2 Accès difficile à un financement à prix abordable

La barrière du financement des projets apparaît également comme un obstacle transversal aux trois technologies. Pour les projets de géothermie, la mobilisation de financement pour la réalisation des forages est un obstacle déterminant. Pour la technologie des toitures solaires c'est le coût du financement des équipements qui reste élevé pour les consommateurs souhaitant installer un système PV pour l'autoconsommation. Et enfin pour les projets d'électrification rurale, c'est le coût du capital qui reste élevé pour les développeurs nationaux

de projet. Les causes profondes de cette barrière sont multiples comme l'absence de mécanismes de garantie, des coûts élevés et des durées réduites du crédit pratiqués par les banques locales, l'insuffisance de la mobilisation financière au niveau internationale et une perception de risque-pays qui semble importante pour les investisseurs.

2.6 Cadre propice pour surmonter les barrières du secteur de l'énergie

Le cadre propice pour surmonter les barrières du secteur de l'énergie est commun aux trois technologies et par-delà même aux autres technologies qui ont été incluses dans la phase une mais non retenues à l'issue de l'analyse multicritère. Ce cadre propice propose les axes de travail suivant afin que les technologies jugées prioritaires puissent avoir une chance de se diffuser.

2.6.1 Adopter des cadres de planification stratégique et mettre en œuvre les axes stratégiques

- (i) Développer des stratégies et de plans d'action quand ces documents stratégiques n'existent pas et les mettre à jour si l'horizon de planification est dépassé. La navigation à vue est extrêmement préjudiciable pour le développement des technologies et pour le développement plus généralement
- (ii) Mettre en œuvre les plans d'action. Un plan d'action doit être décliné en plans de travail annuels avec des activités exécutables. Des rôles et des responsabilités doivent être attribués pour l'exécution du plan.
- (iii) Créer une unité de suivi évaluation de l'exécution des plans et coordonner avec l'unité de suivi évaluation positionnée à la primature

2.6.2 Innover dans la mobilisation de ressources financières

- (i) Adopter une approche programmatique de l'exécution en lieu et place de l'approche projet. Les ressources humaines sont limitées dans le pays et les bailleurs de fonds qui s'intéressent au pays sont également limités comparativement à d'autres pays. Les projets doivent donc être regroupés pour que leurs résultats aient un impact transformationnel pour le pays.
- (ii) Développer une stratégie de mobilisation financière pour le secteur des énergies renouvelables pluriannuelle
- (iii) Elargir les cibles de financements potentiels en visant les fonds climatiques et le secteur privé

3 Secteur des Transports

3.1 Vision, objectifs

Le secteur du transport est vital pour la vie socio-économique du pays. Djibouti est un leader régional en matière d'infrastructures portuaires avec plusieurs ports qui sont de classe internationale. La ville de Djibouti est le poumon économique est concentre l'essentiel des activités économiques, politiques et culturelles du pays. C'est donc une ville qui attire de nombreuses populations nationales mais aussi régionales. De ce fait, la ville s'agrandit à un rythme effréné et de nouveaux quartiers apparaissent régulièrement. L'offre de transport public est déficitaire par rapport à la demande aussi bien en quantité qu'en qualité. Le secteur du transport routier est l'un des plus grands émetteur de gaz à effet de serre d'après l'inventaire de gaz à effet de serre établi pour l'année de référence 2010. Avec l'expansion de la ville, les immatriculations de voitures particulières augmentent régulièrement et vont entraîner une augmentation des émissions de GES.

L'ambition du gouvernement de Djibouti est de réorganiser le secteur du transport et de développer de nouvelles technologies comme la BRT ou voies rapides dédiés pour les bus. La note de politique sectorielle « Améliorer la mobilité urbaine à Djibouti » souligne l'urgence de réorganiser le secteur du transport et de développer des options technologiques alternatives comme la BRT [28]. Dans le cadre de cette note, le corridor principale Place Harbi-Place Pk 12 figure en bonne place pour la mise en place de la BRT.

Par ailleurs, l'ambition de gouvernement est également d'améliorer progressivement l'efficacité énergétique des véhicules importés et a limité de ce fait l'importation de véhicules de plus de sept années d'âge dans le pays. La CDN de Djibouti recommande l'arrêt de l'importation des véhicules âgés de plus de 10 années et fixe un objectif de réduction de 10 000 véhicules à l'horizon 2030. La stratégie nationale sur le changement climatique de Djibouti recommande le remplacement progressif de transports collectifs actuels par un transport en commun propre ainsi que les véhicules électriques individuels dans un horizon de 20 à 40 ans à partir de 2017 [3].

3.2 Analyse des barrières et mesures favorables pour la technologie de BRT

3.2.1 Description générale de la technologie

Le Bus Rapid Transit (BRT) est un système de transport en commun de haute qualité basé sur des bus qui offre des services rapides, confortables et rentables à des capacités à l'échelle d'une métropole. Parce que le BRT contient des fonctionnalités similaires à un système de métro léger ou de métro, il est beaucoup plus fiable, pratique et plus rapide que les services de bus réguliers. Avec les bonnes fonctionnalités, le BRT est en mesure d'éviter les causes de retard qui ralentissent généralement les services de bus réguliers, comme être coincé dans le trafic et faire la queue pour payer à bord.

Il y'a cinq caractéristiques essentielles qui définissent la BRT. Ces caractéristiques se traduisent surtout par un voyage plus rapide pour les passagers et rendent les déplacements en transit plus fiables et plus pratiques.

- Droit de passage dédié : les voies réservées aux bus permettent des déplacements plus rapides et garantissent que les bus ne sont jamais retardés en raison de la congestion du trafic mixte.
- Alignement de la voie : le centre de la chaussée ou le couloir réservé aux autobus éloigne les autobus des trottoirs fréquentés où les voitures stationnent, se tiennent debout et tournent

- Achat des tickets en gare : le paiement du tarif en gare, plutôt que dans le bus, élimine le retard causé par les passagers qui attendent de payer à bord
- Traitements d'intersection : Interdire les virages à la circulation sur la voie réservée aux bus réduit les retards causés aux bus par les virages.
- Embarquement au niveau de la plateforme
- La plateforme d'embarquement doit être au niveau du bus pour un embarquement rapide et facile. Cela le rend également entièrement accessible aux fauteuils roulants, aux passagers handicapés, aux poussettes et aux chariots avec un minimum de retards.

Avantages de la technologie de BRT

La technologie de BRT présente plusieurs avantages importants comme :

- Une meilleure organisation du trafic de bus se traduisant par une meilleure offre et confort aux usagers
- Une meilleure maîtrise de la planification de l'offre de transports
- Une modernisation des infrastructures urbaines de transport et un meilleur attrait touristique pour la ville de Djibouti

Caractérisation de la technologie de BRT

La mise en place d'une ou plusieurs lignes BRT relève de la capacité des états ou des mairies dans le cas de grandes villes. A Djibouti, la mise en place d'une ligne de BRT relèverait directement de la décision du gouvernement tant les enjeux d'aménagement de territoire sont considérables et complexes. La technologie de la BRT peut donc être classée dans la catégorie des biens non marchands. Il s'agit d'un bien qui serait fourni par l'Etat aux usagers de la route.

3.2.2 Identification des barrières

Le groupe sectoriel sur le secteur des transports a déterminé un ensemble de barrières qui s'oppose au développement de la BRT à Djibouti. Les barrières identifiées ont été ensuite classées par ordre d'importance comme suit :

1. Une organisation institutionnelle fragmentée
2. Une offre de transport désorganisée et peu professionnelle
3. Une réticence forte au changement des opérateurs individuels
4. Des capacités de planification et d'exécution insuffisantes au MET
5. Des investissements publics insuffisants
6. Des coûts d'investissements élevés pour l'aménagement des voiries urbaines
7. Une forte inertie politique et institutionnelle
8. Un cadre réglementaire non actualisé
9. Des infrastructures routières de moyenne qualité

Le problème central a été déterminé à l'aide de l'arbre à problème décrit dans l'annexe 8. La fragmentation de l'organisation institutionnelle a été identifiée comme la barrière clé.

3.2.2.1 Barrières économiques et financières

Barrière financière : des coûts d'investissements élevés pour l'aménagement des voiries urbaines

La mise en place d'un système BRT implique systématiquement une modification des voies de circulation urbaine. Le BRT envisagé dans le cadre de ce rapport porte sur le corridor routier qui se situe entre le terminus de Mahamoud Harbi et la place PK12 soit environ 12km de distance. En raison des dispositions spécifiques du BRT qui nécessite des voies spécialisées pour les bus, il sera nécessaire d'agrandir ou de réaménager la voie actuelle dans la limite des possibilités. Cependant la marge de manœuvre reste faible compte tenu des commerces et des

habitations qui bordent ce tronçon routier. Le terre-plein central pourra servir de zone d'embarquement et de débarquement.

Par ailleurs, il faudra également mettre en place des gares d'embarquement et il faudra acquérir des bus. Pour que l'option de BRT permette une vraie réduction des émissions, il faudra que les bus choisis affichent des performances environnementales intéressantes.

Le coût d'investissement moyen dans un système BRT est de l'ordre de 9 à 11 Million USD/km. Pour le tronçon Place-Mahamoud Harbi à PK12 le montant total serait de l'ordre de 120 Million USD. Ce montant de projet est considérable s'il est comparé aux projets individuels classiques à Djibouti. Cependant, si le projet est structurant, ce type de montant n'est pas choquant pour un seul projet et des projets structurants de montant bien plus importants ont été mis en œuvre à Djibouti la dernière décennie comme le projet d'adduction d'eau entre l'Éthiopie et Djibouti qui a coûté près de 500 Millions de dollars USD. Il faut cependant démontrer aux décideurs politiques le caractère structurant du projet. La barrière du coût d'investissement est certes très importante mais les études de faisabilité et les études économiques devraient aisément démontrer la rentabilité d'un tel projet. L'ITDP indique que le financement des projets de BRT n'est généralement pas un problème car il n'est pas difficile d'engager le secteur privé dans un partenariat public-privé pour construire et exploiter ce type d'infrastructures.

Barrière économique : Investissements publics insuffisants pour le secteur des transports urbains

Djibouti fait partie des pays les moins avancés et les ressources financières du gouvernement sont limitées. Les ressources du budget national sont allouées en priorité aux secteurs sociaux tels que l'éducation et la santé. Même les ressources collectées à partir des activités du secteur des transports (vignette, carte grise) ne sont pas spécifiquement fléchées vers le développement du secteur des transports en raison justement des forts besoins dans les secteurs sociaux.

3.2.2.2 Barrières non financières

Barrière organisationnelle : organisation institutionnelle fragmentée et complexe

L'organisation institutionnelle du transport urbain est très fragmentée avec un grand nombre d'institutions gouvernementales avec des rôles clés qui se chevauchent. Les ministères impliqués à divers degrés dans le transport urbain sont actuellement :

- a) le Ministère de l'Équipement et des Transports est chargé de politique globale en matière de transport urbain, maritime et aérien. Il contient de nombreux départements clés comme l'Agence Djiboutienne des Routes qui est chargé entre autre de l'entretien des routes
- b) Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme est chargé entre autre de l'aménagement du territoire
- c) Ministère du Logement
- d) Ministère de l'Économie et des Finances en charge de l'Industrie
- e) Ministère du Budget : collecte des taxes sur les vignettes et la carte grise
- f) Ministère de l'Intérieur est chargé de la sécurité routière et de l'application de la Loi.

La complexité de l'organisation institutionnelle se manifeste à travers les aspects suivants :

- Gestion du foncier y compris le foncier routier qui dépend du Ministère du Budget. Dans le cas où les voies doivent être agrandies, le Ministère du Budget et en particulier le service des domaines serait compétent mais devrait consulter les départements techniques comme EDD, Djibouti-Telecom ou ONEAD.

- L'aménagement du territoire qui dépend du Ministère de l'Urbanisme de l'Environnement et du Tourisme
- La planification et la construction de nouvelles zones d'habitations qui dépend du Ministère du Logement et de ses bras opérationnels ARULOS et SIAF
- Gestion du trafic routier qui dépend du Ministère de l'Intérieur mais les cartes de déplacement urbains sont fixés par le MET

Cette fragmentation de l'organisation institutionnelle est une barrière clé pour la mise en place d'une ligne BRT. La coordination, l'échange d'informations et l'intégration entre institutions sont traditionnellement complexes voire un défi à Djibouti. Les causes sous-jacentes à cette barrière clé sont décrites dans ce qui suit.

Cause-sous-jacente 1 : des capacités de coordination insuffisantes du Ministère de l'Équipement et des Transports

Il est normal que le secteur des transports et en particulier le secteur routier soit à l'intersection de plusieurs institutions et autres organisations avec des intérêts divers. Cependant il est nécessaire d'avoir une institution centrale qui coordonne l'ensemble des acteurs et prenne le leadership de l'innovation.

C'est effectivement le rôle du Ministère de l'Équipement et des Transport ainsi que le précise le Décret N° 2019-116/PRE comme suit :

- 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 aéroports des régions de l'intérieur.

La mise en place d'une ligne BRT na nécessiter des années de planification, de plaidoyer, de recherche de financement et de mise en place d'une nouvelle organisation du secteur routier. Et cela nécessitera une institution avec un fort leadership qui utilise pleinement son mandat pour regrouper les acteurs autour d'un objectif commun.

Cause-sous-jacente 2 : des plans de développement sectoriels non concertés

Une ligne BRT démontre toute son efficacité lorsqu'elle est complétée par une organisation efficace sur les lignes secondaires qui seront desservies par d'autres moyens de transport comme les bus, minibus, triporteurs ou bicycles. Or l'organisation des voies secondaires est très dépendante de l'organisation de l'espace urbain qui dépend du Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme. Par ailleurs, les nouveaux quartiers qui se développent sur la partie Ouest de la ville sont pour l'instant mal desservies tandis que les routes construites à l'intérieur de ces quartiers sont bien aérées et peuvent offrir des réelles opportunités d'améliorer le transport urbain dans ces zones.

Barrière réglementaire : cadre réglementaire non actualisé par rapport à l'expansion de la ville

La ville de Djibouti se développe à un rythme de croissance élevé et de nouvelles zones d'habitations et nouveaux centres d'affaires se sont créés les dix dernières années. Pour desservir ces nouvelles zones, l'offre de transport du secteur privé s'est adaptée à la demande sans que les textes de loi qui définissent la carte de déplacement urbain soient mises à jour. De nouveaux moyens technologiques se sont mis en place comme les triporteurs qui offrent parfois les seules options pour rejoindre ces zones. Le plan de déplacement urbain défini par l'Arrêté n°2006-0535PR/MET est dépassé car de nouvelles lignes de transport et de nouveaux moyens technologiques tels que les triporteurs ont fait leur apparition. La mise en place d'une ligne BRT va nécessiter la révision de la Loi n°190/AN/02/4ème L et de l'Arrêté n°2006-0535PR/MET.

Barrière organisationnelle : une offre de transport désorganisée et peu professionnelle

Le service des transports urbains est quasi intégralement assuré par des opérateurs individuels à qui appartiennent les bus, minibus, taxis et triporteurs. Les horaires de circulation des véhicules et le choix de la ligne sont déterminés par les chauffeurs et cela crée des déséquilibres importants entre l'offre et la demande d'une ligne à l'autre et en fonction de l'heure de la journée. Des usagers sont pénalisés par la concentration des véhicules sur quelques lignes jugées rentables par les chauffeurs et l'absence d'offre pendant des heures clés de la journée comme le matin au moment de se rendre au travail et à la sortie du travail après 17h. Par ailleurs, la concurrence est rude entre les chauffeurs afin de faire un maximum de rotation et c'est une source d'insécurité routière importante. Bien que les opérateurs disposent d'un syndicat de bus et minibus, l'existence de ce dernier ne semble pas favoriser une bonne organisation des opérations du secteur.

La mise en place d'une BRT exigerait un autre type d'organisation avec un regroupement des opérateurs individuels en sociétés privées et l'organisation des lignes en lots d'exploitations.

Barrière technique : des capacités nationales de planification et de mise en œuvre insuffisantes

La mise en place d'une ligne BRT demande une planification méticuleuse, multisectorielle et pluriannuelle. Le guide de planification de la BRT publié par l'ITDP détaille les étapes de la planification de la mise en place d'une ligne BRT et propose une organisation de l'équipe de conception [29]. Ces étapes sont :

- a) Planifications des opérations (étude de pré faisabilité et faisabilité) : analyse de la demande, développement du corridor et du réseau, étude d'impact sur le trafic, étude d'impact environnemental et social, calcul des rotations, de la vitesse ... etc.
- b) L'initiation du projet : base légale, justification du projet, mise en place de l'équipe, plan de passation de marchés, budget et montages financiers, calendriers d'exécution et phasage, identification des risques et plan de mitigation
- c) Communication et marketing : mise en place d'une stratégie de communication destiné au public pour avoir leur adhésion et leur futur utilisation du système

Les équipes intervenantes dans le processus de conception et une organisation type sont montrées dans le schéma de la figure suivante.

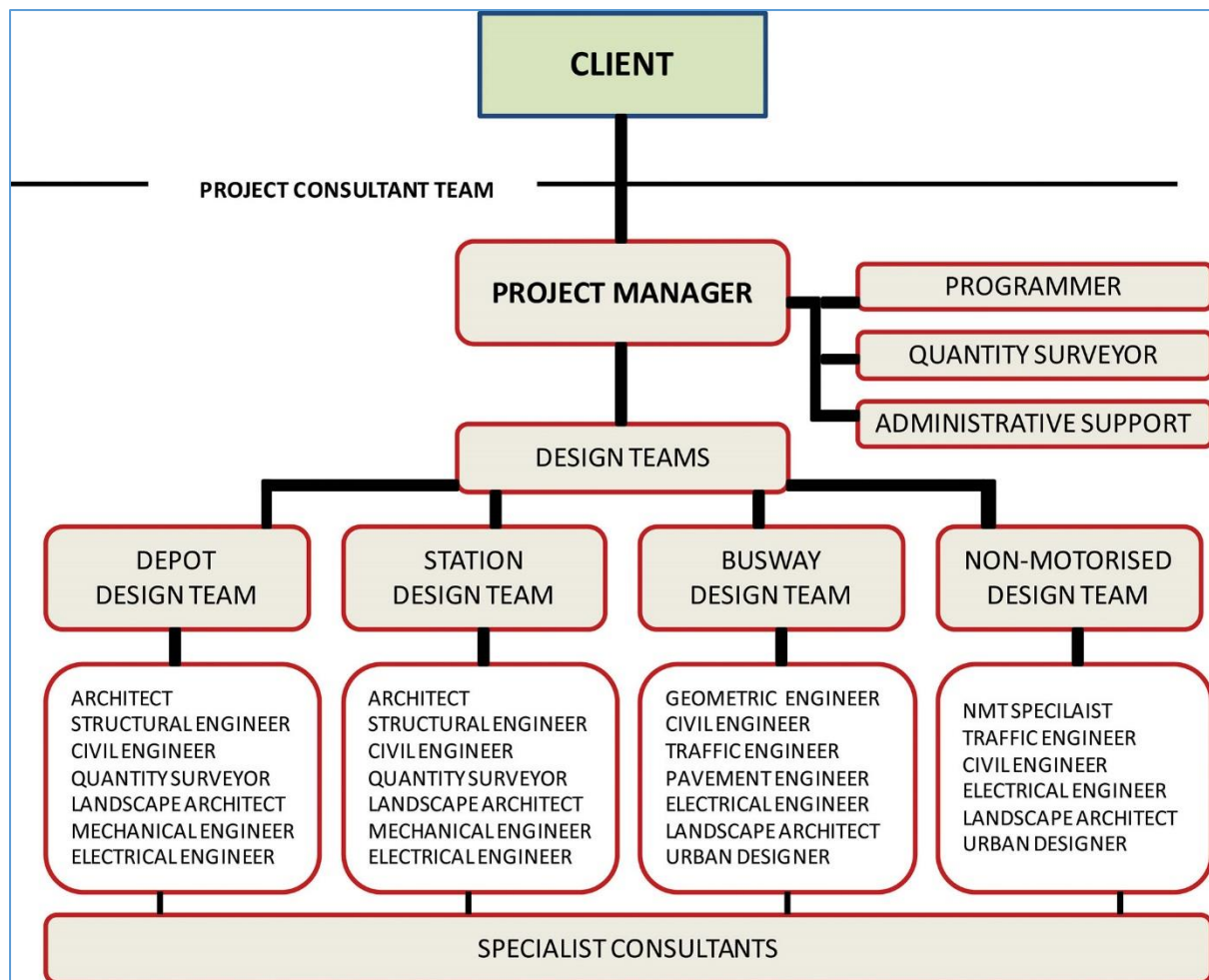


Figure 6: schéma de la planification pour la mise en place d'un projet BRT (source [29])

Les capacités requises pour planifier et mettre en œuvre un projet de BRT sont bien au-delà des capacités techniques et des ressources humaines existantes au niveau des différentes institutions impliquées dans le transport urbain et en particulier le Ministère de l'Équipement et des Transports. Cela est une barrière clé.

Barrière culturelle : une réticence forte au changement des opérateurs individuels

La mise en place d'une ligne BRT peut être perçue comme une menace pour les opérateurs individuels qui font travailler leurs bus actuellement sur cette ligne Place Harbi-PK12. Et cette menace peut être réelle si des mécanismes de sauvegardes sociales ne sont pas mis en place. Les bus actuels vont être substitués par des bus avec de plus grandes capacités et une meilleure performance environnementale en matière d'émissions. La résistance au changement peut être une importante barrière.

Barrière politique : une forte inertie politique

Le développement d'une ligne BRT présente des enjeux sociaux tels que la perturbation du modèle d'organisation actuel, un risque de modification des voiries avec un impact sur les habitations et commerces en bordures de voies qui peuvent se transformer rapidement en enjeux politiques. La tentation de laisser perdurer un statut quo qui confère une solution certes mauvaise mais confortable d'un point de vue politique ou social est très grande et peut

être une barrière importante. En effet, l'engagement politique est essentiel dans la mise en place d'un projet de BRT.

Barrière technique : une qualité moyenne des infrastructures routières

Les routes urbaines de la ville de Djibouti n'affichent pas les meilleures qualités qui seraient favorables à l'exploitation d'une ligne BRT. Sur plusieurs tronçons, les routes sont très dégradées et surtout à la suite des pluies. Le mauvais état des routes réduit la durée de vie des véhicules et entraîne des congestions notamment aux niveaux des intersections. Des routes en mauvais état augmenteraient potentiellement le coût d'exploitation d'une ligne BRT et pourrait par ailleurs dissuader d'éventuelles investisseurs. Cela constitue donc également une barrière à l'adoption et diffusion de la BRT.

3.2.3 Mesures identifiées

En inversant l'arbre à problème, on obtient l'arbre à solutions décrit dans l'annexe 9. Les mesures qui sont décrites dans la suite sont tirées de cet arbre à solutions. Ces mesures permettront de mieux diffuser la technologie de la BRT.

3.2.3.1 Mesures économiques et financières

3.2.3.1.1 Regrouper les opérateurs individuels en compagnie privés

Les opérateurs individuels peuvent être regroupés en compagnies privées qui auront un intérêt commun. Les capacités de la chambre de commerce de Djibouti pourront être utilisées pour créer et organiser ces sociétés. Il s'agit là d'un programme ambitieux.

3.2.3.1.2 Mettre en place des mécanismes financiers pour remplacer la flotte de véhicule

Le remplacement de la flotte de véhicules par des véhicules plus performants permettra de réduire les émissions de GES. Il s'agit d'une mesure d'accompagnement pour la mise en place de la BRT. En effet, la BRT sera limitée pour des raisons évidentes à la ligne principale Harbi-PK12 et éventuellement dans une seconde phase à la ligne Harbi-Hayabley. Mais les lignes secondaires seront toujours desservies par d'autres moyens technologiques tels que les bus classiques ou les triporteurs. Il ne s'agit pas là de remplacer d'un seul trait l'ensemble de véhicules mais plutôt de mettre en place des incitations financières pour l'accès à de nouveaux véhicules. Le MET ou la future agence (si la décision de la créer se met en place) pourrait faciliter l'achat de nouveaux véhicules en facilitant l'accès au crédit pour les futurs sociétés qui se mettront en place et notamment à travers la mise en place d'un mécanisme de garantie ou d'une ligne de crédit. Le MET pourrait faire appel aux mécanismes financiers nationaux tels que le Fonds de Garantie Partielle de Djibouti ou le Fonds de Développement de Djibouti et créer ainsi les conditions favorables pour l'achat de nouveaux véhicules.

3.2.3.1.3 Créer des concessions d'exploitation économiques des lignes

Sur la base des dernières analyses découlant de l'étude « Améliorer la mobilité urbaine », il s'agit de diviser les itinéraires en plusieurs lots économiques et de confier un ou plusieurs lots à des entreprises de transport urbain. Cette mesure dépend de la mise en œuvre de la mesure qui cible à regrouper les opérateurs en groupement d'intérêt commun ou en entreprise. Un tel regroupement a déjà été expérimenté à Djibouti avec la création de la STCD ou Société de Transport en Commun de Djibouti qui exploite une partie des lignes mais en concurrence avec les opérateurs individuels.

L'exploitation de la ligne BRT sera également confiée à une seule entreprise qui pourra jouir des droits d'exploitation exclusifs sur la ligne Harbi-PK12 mais qui devra se plier également

au devoir de rendre disponible un transport aux usagers de cette ligne. Le plan d'exploitation de la ligne (horaires, fréquences, vitesse) sera déterminé par l'autorité régulatrice centrale en concertation avec les autorités de la ville.

3.2.3.1.4 Mettre en place un plan d'investissement sur les routes urbaines, les terminaux, les dépôts ... etc.

Un plan d'investissement public pour l'entretien continu des routes, des terminaux (Harbi, PK12, Hayaley) devra être mis en place. Le financement du plan devrait faire appel aux recettes collectées par les opérations du secteur et aux besoins complétés par d'autres sources de financement.

3.2.3.2 Mesures non financières

3.2.3.2.1 Développer un plan global de mobilité urbaine

- Elaborer un plan de circulation globale intégrant les différents modes de transport urbain et leurs interconnexions. Il s'agit de passer d'un mode organisationnel confus et désorganisé à une organisation planifiée dans l'espace et dans le temps et qui tienne compte de la dynamique d'expansion de la ville
- Etablir un plan d'exploitation avec la répartition des lignes en concessions d'exploitation économique

3.2.3.2.2 Créer une agence spécialisée sur la gestion du transport urbain

Créer une autorité organisatrice dotée de moyens financiers et d'une capacité technique pour planifier le réseau de transport, réguler le secteur, contrôler l'application de la réglementation, mettre en œuvre des projets et superviser l'exploitation. L'agence ou l'autorité en question aurait exactement le même mandat que le MET mais avec une autonomie financière. La dotation financière pour le fonctionnement et les investissements de l'agence pourrait provenir en partie des recettes budgétaires issues de la collecte de la vignette ou des cartes grises.

3.2.3.2.3 Renforcer les capacités de l'agence sur la planification et la gestion du transport urbain

La planification et la mise en œuvre de la BRT exige des très grandes capacités techniques ainsi qu'une coordination parfaite entre les institutions. Les différents acteurs qui seront impliqués dans la planification et la mise en œuvre de la BRT devront bénéficier des programmes de formation sur la planification, l'exécution, la mobilisation financière, la coordination, l'exécution de projets.

3.2.3.2.4 Professionnaliser le secteur du transport urbain

La professionnalisation des acteurs du transport urbain est une mesure importante pour la mise en place de la BRT. Les plus récentes études recommandent les axes de travail qui suivent :

- Former les chauffeurs de bus, minibus et taxis sur la réglementation, la sécurité routière, l'hygiène et le comportement des passagers. Le financement de la formation pourrait être en partie subventionné par l'Etat et en partie payé par les entreprises du secteur ou les opérateurs privés.
- Mettre en place de licences d'exploitation professionnelle
- Former les opérateurs privés à l'entrepreneuriat

3.2.3.2.5 Développer une étude de faisabilité économique et financière du projet de BRT

Dans le but de convaincre les autorités politiques et afin d'attirer l'appétit du secteur privé et en particulier les opérateurs individuels, il faut conduire rapidement une étude économique et financière de la BRT.

3.2.3.2.6 Conduire des activités de plaidoyer

Des activités de sensibilisation et de plaidoyer devront être préparées et conduites tout au long de la période de planification ainsi que lors de la mise en œuvre. Ces activités s'adresseront à divers publics tels que :

- Les opérateurs individuels de transport public pour les rassurer qu'ils peuvent avoir toute leur place dans un modèle économique nouveau intégrant la BRT en devenant potentiellement des actionnaires de la société qui va exploiter la BRT
- Les usagers quant à la qualité de la BRT et les bénéfices potentiels
- Les décideurs politiques sur leur engagement et soutien en faveur de la BRT

3.3 Analyse des barrières et mesures favorables pour la technologie de tramway

3.3.1 Description générale 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 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

La stratégie nationale sur le changement climatique prône la substitution des véhicules thermiques par des véhicules électriques individuels et communs y compris le tramway dans un horizon de 40 ans à compter de l'année 2017. Le remplacement du transport en commun actuel par un transport collectif non polluant est envisagé dans un horizon de temps de 20 ans.

Avantages de la technologie de tramway

La technologie de tramway dispose de multiples avantages aussi bien socio-économiques qu'environnementales. Cela inclut mais ne se limite pas aux aspects suivants :

- La possibilité de transporter un grand nombre de personnes et donc un grand potentiel de substitution aux véhicules individuels.
- Une réduction sensible des émissions de gaz à effet de serre
- Une amélioration de la qualité de l'air en milieu urbain grâce à la réduction de polluants type particules fines du sous-secteur du transport routier
- Une amélioration de l'attrait touristique de la ville de Djibouti

Caractérisation de la technologie de tramway

La mise en place d'une ligne de tramway relève de la capacité du gouvernement de Djibouti. En effet, il s'agit d'une infrastructure qui ne peut être développée qu'avec la décision politique du gouvernement ainsi que les moyens financiers, institutionnels et techniques de l'Etat. C'est un bien fourni par Les services publics aux consommateurs mais qui sera payant. Le financement du projet ne se fera qu'à travers un partenariat public-privé ou avec le financement de grandes institutions internationales ou donateurs bilatéraux. Sa construction fera forcément appel à des capacités et compétences d'entreprises étrangères qui disposent de l'expertise technique et de l'expérience de réalisation de ce type d'infrastructures. La technologie de tramway peut donc être caractérisée comme un bien non marchand.

3.3.2 Identification des barrières

Le groupe sectoriel sur le secteur des transports a déterminé un ensemble de barrières

1. Coûts d'investissement élevés
2. Tracé de la ligne compliqué en raison de la densité urbaine
3. La demande en électricité du tramway est conséquente
4. Les capacités techniques et institutionnelles sont limitées

5. Le projet de tramway est irréaliste

Le problème central a été déterminé à l'aide de l'arbre à problème décrit dans l'annexe 10. La barrière culturelle portant sur une perception de projet de tramway non réalisable est au stade actuel la barrière principale.

3.3.2.1 Barrières économiques et financières

Barrière financière : Coût d'investissement élevé

La technologie du tramway n'a jamais été mise en œuvre à Djibouti et donc on ne connaît pas quels seraient les coûts réels de cette technologie à Djibouti. Les coûts d'investissements dans des projets mis en œuvre ailleurs dans le monde indiquent une fourchette comprise entre 15 et 40 Millions d'euros par kilomètre réalisé. Il s'agit là de coûts très élevés et qui ne seront assurément pas être pris en charge par l'Etat.

Afin de réduire les coûts d'investissements, le groupe d'expert a proposé d'utiliser les rails de l'ancienne ligne ferroviaire. Il s'agirait alors d'un tramway qui relierait Djibouti-Sud au Plateau. De grandes zones résidentielles sont en développement dans le secteur de Djibouti-Sud et la nouvelle gare ferroviaire se situe également dans cette zone.

Dans l'hypothèse où des navettes de train sont mises en place entre Djibouti et Ali-Sabieh, les travailleurs en provenance d'Ali-Sabieh embarqueraient et débarqueraient dans cette gare ferroviaire. Le tramway permettrait donc de transporter ces voyageurs vers le centre-ville où sont concentrés les bureaux et les centres d'affaires.

L'itinéraire suggéré pour relier Djibouti-Sud au Nord de la capitale est d'environ 8km et utiliserait les rails de l'ancienne ligne ferroviaire, diminuant par-là les coûts d'investissement.

3.3.2.2 Barrières non financières

Barrière technique : tracé compliqué par la densité urbaine

Comme l'option de tramway n'a pas été prise en compte dans le schéma directeur d'aménagement du territoire, le tracé de la ligne sera difficile à mettre en place. L'option d'utiliser les rails de l'ancienne ligne de chemin de fer est intéressante mais il faudrait s'assurer de la faisabilité technique de ce choix. Par ailleurs, à certains endroits, l'ancienne ligne de chemin de fer est dégradée.

Barrière technique : demande en électricité importante

Une ligne de tramway consomme beaucoup d'énergie. La ligne est alimentée par du courant continu à haute tension (de l'ordre de 750V) et un tramway consomme environ 6 kWh/km. Mais il peut transporter néanmoins 300 personnes à la fois ce qui équivaut à dire que 300 personnes ne vont pas utiliser leur voiture) chaque rotation. En terme d'efficacité énergétique de transport, le tramway est très avantageux par rapport aux bus et aux voitures particulières.

Djibouti a des capacités de production électrique limitées et importe plus de 65% de ses besoins en énergie électrique de l'Ethiopie.

Barrière institutionnelle : les capacités institutionnelles sont limitées

Les capacités de planification, de mise en œuvre et d'exécution de grands projets de transport urbains sont très faibles au sein des institutions en charge du transport dans le pays.

Barrière culturelle : le tramway est irréaliste

La barrière culturelle est puissante dans le cas de cette technologie. La technologie du tramway est associée avec l'image de pays riches et cela peut éventuellement bloquer ce type de projet au stade d'idée. En effet, la technologie de tramway est perçue comme étant trop complexe pour un petit pays comme Djibouti. Les causes sous-jacentes à cette barrière principale sont décrites dans la suite.

Cause sous-jacente 1 : le projet de tramway n'est pas prioritaire compte tenu des projets plus urgents dans le secteur. Comme il a été décrit dans la section 2.2 de ce rapport, le secteur des transports urbains est un secteur très désorganisé et des projets de plus grande urgence sont sur la table. Dans le contexte actuel, l'initiation d'un projet de tramway ne semble donc pas pertinente. Ainsi, les planificateurs ont certaines difficultés à planifier des actions pour le moyen et le long terme et l'action politique et technique semblent être absorbée par le court terme. Or les objectifs de la stratégie sur le changement climatique place la transition vers un transport propre à l'horizon de 20 à 40 ans.

Cause sous-jacente 2 : l'expertise technique est limitée au sein des institutions en charge du transport urbain. Les capacités des cellules d'étude et de planification sont relativement limitées.

Cause sous-jacente 3 : les investissements dans une ligne de tramway sont très élevés.

3.3.3 Mesures identifiées

Les mesures ont été identifiées en inversant l'arbre à problème. Cela donne l'arbre à solutions décrit dans l'annexe 11 de ce rapport.

3.3.3.1 Mesures économiques et financières

Le projet de tramway est un projet structurant qui peut changer la donne en matière de capacités de transport de passagers et de réduction des émissions. Le tramway permet de transporter un grand nombre de passagers et s'il est confortable, de nombreux automobilistes peuvent changer leur comportement en utilisant moins la voiture ou l'abandonnant même. Les investissements requis pour le tramway sont conséquents et le financement d'un tel projet ne peut se faire que dans le cadre d'un partenariat public-privé.

3.3.3.2 Mesures non financières

3.3.3.3 Intégrer les lignes de tramway dans le prochain SDAU

L'actuel schéma directeur d'aménagement urbain ne prévoit pas des lignes de circulation pour le tramway. Il serait important de pallier à cette lacune lors de la révision du SDAU dans les prochaines années.

3.3.3.4 Intégrer la demande énergétique des futurs tramway dans le plan d'expansion de l'offre d'électricité

La demande énergétique de Djibouti est en pleine croissance en raison du développement économique du pays. Afin de satisfaire la demande en puissance et en énergie du pays, EDD, la compagnie nationale d'électricité a diversifié son offre et a développé un plan d'expansion de ses capacités à l'horizon 2035. La mesure proposée est de prendre en considération la demande en électricité du tramway dans le plan d'expansion de la capacité électrique.

3.3.3.5 Mettre en place une assistance technique

Il est proposé de mettre en place dans les deux années qui viennent une assistance technique aux institutions en charge du transport et en particulier le Ministère du transport. Cette assistance technique aura pour objectifs immédiats de :

- Conduire une étude de faisabilité du concept
- Déterminer des tracés possibles pour les lignes de tramway
- Former les cadres en charge du département des transports urbains

3.3.3.6 Sensibiliser les décideurs politiques

Les décideurs politiques ne considèrent pas cette option technologique comme prioritaire malgré son potentiel atout de décongestionner la ville et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, la mise en place d'une ligne de tramway rehausserait la perception positive de la ville et son attrait touristique.

3.4 Interrelations entre les barrières du secteur des transports

3.4.1 Barrière institutionnelle : le secteur du transport urbain est désorganisé

La désorganisation ou l'extrême libéralisation du secteur du transport est une barrière essentielle pour la diffusion des technologies propres. Les causes sont le grand nombre d'acteurs différents avec des intérêts parfois divergents. Le modèle organisationnel actuel avec une myriade d'opérateurs individuels pose un défi au leadership de l'autorité centrale en charge de l'organisation du transport urbain. Les technologies de BRT et de tramway vont se heurter à cette désorganisation.

3.4.2 Barrière financière : l'accès au capital est difficile

Autant l'accès au crédit à la consommation est devenu plus facile à Djibouti, autant les capitaux pour réaliser des projets d'affaires (comme par exemple renouveler une flotte de véhicules) restent toujours compliqué. Les taux d'emprunt reste élevé et les acteurs du secteur ont difficilement accès aux mécanismes de garantie étatique comme le Fonds de Garantie Partielle et justement parce qu'ils ne sont pas organisés en sociétés privées. Or les banques demandent des garanties comme des hypothèques.

3.5 Cadre propice pour surmonter les barrières du secteur des transports

3.5.1 Revoir le cadre institutionnel

Le cadre institutionnel existant est dépassé par les enjeux de la mobilité urbaine et en raison de l'étalement de la ville et de l'augmentation du nombre de véhicules ce cadre sera tout simplement hors-jeu dans les années qui viennent. Il est donc nécessaire de mettre en place une organisation nouvelle qui soit dotée des moyens techniques et financiers nécessaires.

- (i) Créer une agence du transport urbain pour conduire en profondeur la réforme organisationnelle. La création de cette agence est la condition première pour réussir une transformation du secteur. L'agence
- (ii) Revoir le plan de déplacement urbain et concevoir un nouveau plan de déplacement urbain

3.5.2 Réorganiser le modèle économique des opérateurs individuels

Il existe actuellement plus de 700 bus et plus de 300 minibus appartenant à des opérateurs individuels. Le modèle existant est une concurrence sauvage entre les bus et minibus pour la collecte des clients avec un impact significatif sur la sécurité routière et les émissions de

polluants et de gaz à effet de serre. La réorganisation de ces opérateurs individuels en groupement d'intérêt ou sociétés privées est une nécessité.

Références

- [1] Vision 2035, Gouvernement de Djibouti, 2015,
- [2] Contributions Déterminées Nationales (CDN), Gouvernement de Djibouti, 2015
- [3] Stratégie nationale sur le changement climatique (SNCC), Ministère de l'Urbanisme, de l'Environnement et du Tourisme, 2017
- [4] Final draft, Feasibility study of the Assal Geothermal Power Project, Republic of Djibouti, Geothermal Development Associates, 2000
- [5] Djibouti - Geothermal Exploration Project in the Lake Assal Region - Appraisal Report, African Development Bank Groupe, 2013
- [6] Asal-Fiale Geothermal Project Planning, Drilling and Testing, Conceptual Model of the Geothermal System for Well Targeting Electricité de Djibouti & Geologica Geothermal Group, 2015
- [7] Carver et al., Reservoir Characterization from Exploration Well Completion Tests in the Fiale Caldera, Djibouti, GRC Transactions, Vol. 43, 2019
- [8] Turk et al, A Comparison of Alteration Mineralogy and Measured Temperatures from Three Exploration Wells in The Fiale Caldera, Djibouti, GRC Transactions, Vol. 43, 2019
- [9] Djibouti Geothermal Scaling and corrosion study, Final report, Virkir-Orkint Consulting Group Ltd, 1990
- [10] Daher Elmi, Geothermal Resource Assessment of Asal Field, Republic of Djibouti, Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010
- [11] Financing Geothermal Energy, European Geothermal Energy Council, 2013
- [12] Fraser et al., Report on risk insurance, European Geothermal Risk Insurance Fund
- [13] Sercan Gul, Volkan Aslanoglu. Drilling and Well Completion Cost Analysis of Geothermal Wells in Turkey,
- [14] Sverrir Thorhallsson and Bjorn Mar Sveinbjornsson, Geothermal drilling cost and drilling effectiveness, "Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells", organized by UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador, March 11-17, 2012.
- [15] Paul K. Ngugi, What does geothermal cost- The Kenya experience, *Short Course VIII on Exploration for Geothermal Resources*, organized by UNU-GTP, GDC and KenGen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya, Oct. 31 – Nov. 22, 2013.
- [16] Wellington Kivure, Geothermal well drilling costing- a case study of Menengai geothermal field, Presented at SDG Short Course I on Exploration and Development of Geothermal Resources, organized by UNU-GTP, GDC and KenGen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya, Nov. 10-31, 2016. PROCEEDINGS, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 12-14, 2018 SGP-TR-213
- [17] Success of Geothermal Wells: A global study, International Finance Corporation, 2013
- [18] Eko Hari Purwanto, Eko Suwarno, R. Fitrah Lukman and Budi Herdiyanto. Geothermal drilling in Indonesia: a review of drilling operation, evaluation of well cost and well capacity, PROCEEDINGS, The 6th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE), 2018
- [19] Autoconsommation photovoltaïque, comment produire et consommer de l'électricité chez soi? Réseau Info-Energie Occitanie, 2019
- [20] Décret N° 2019-013/PR/MERN [20], www.presidence.dj
- [21] Loi N° 33/AN/18/8ème L, www.presidence.dj
- [22] Loi n°88/AN/15/7ème L, www.presidence.dj
- [23] Stratégie et plan d'action pour la maîtrise de l'énergie, ADME, MERN, 2015
- [24] www.greenclimate.fund/projects
- [25] Loi n°42/An/14/7ème L, www.presidence.dj
- [26] Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF), Djibouti, Plan d'implémentation pour l'électrification rurale à base d'énergie solaire, 2014
- [27] Direction de la Statistique et des Etudes Démographiques, Résultats de la Quatrième Enquête Djiboutienne auprès des Ménages pour les indicateurs sociaux (EDAM-IS), 2018

[28]Banque Mondiale, Améliorer la mobilité urbaine à Djibouti, Note de politique sectorielle, 2020

[29] Institute for Transportation and Development Policy, BRT Standard, 2016

Annexe 1 : analyse économique mini-réseau solaire avec batteries (étude de cas du village de Leyta, région d'Arta, Djibouti)

Le village de Moumina 1 est construit autour des constructions en dur de la fondation Al Rahma. Le village n'existait pas avant cela ou était alors uniquement constitué de quelques toukoulus uniquement. Le village de Leyta est constitué comme suit :

- 100 maisons en dur de type F2 + cuisine + WC construites par la fondation Al Rahma. La surface bâtie est de 100m². Les 100 maisons sont construites en organisées en quatre (04) bloc de 16 maisons et (02) blocs de 16 maisons. Les maisons sont compactes et leur configuration se prête parfaitement à une distribution électrique avec des poteaux aériens.
- Une mosquée
- Une école primaire
- Un centre de santé
- Quelques boutiques (03)
- Une cinquantaine de maisons en toukoulus qui ne sont pas connectables au réseau électrique selon les normes Djiboutiennes de sécurité électrique.

Le village est traversé par la route RN9 qui relie Tadjourah au PK51. Le plus grand défi de développement du village est l'inexistence d'un point d'eau comme un puit ou un forage en raison des conditions géologiques spécifiques de la zone. L'eau est acheminée par camion-citerne à partir du forage du PK51. Il partage cette difficulté avec le village de Karta et le village de Lac Assal qui sont tous les deux situés à quelques kilomètres de Moumina 1. Le village entretient des liens de commerce importants avec le PK51 voisin et Wea d'où lui viennent le pain, le khat et la glace pendant l'été. Les habitants de Moumina 1 sont pour la plupart d'anciens éleveurs qui restent vulnérables à la pauvreté.

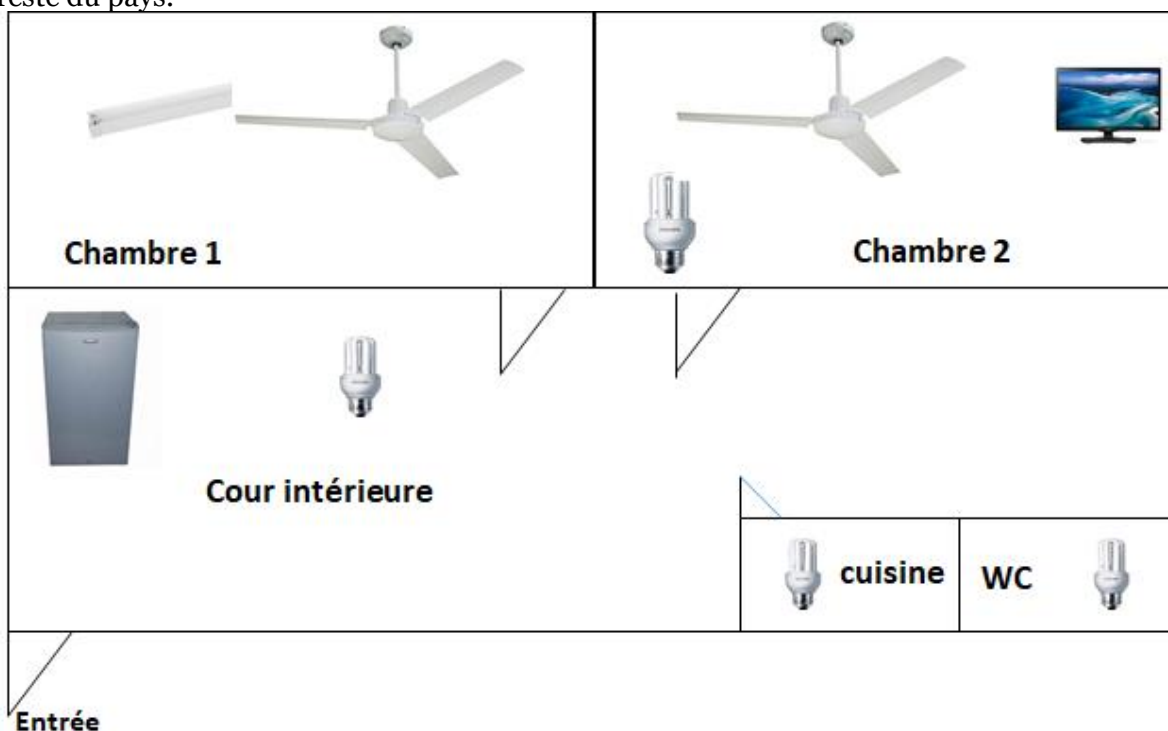
Ces dernières années, le développement des projets de prospection comme les projets de géothermie de Fialé ou Galé Koma ainsi l'exploitation industrielle du sel ont apporté des opportunités d'emploi aux habitants de Moumina 1. Un certain nombre de ménages auraient la possibilité de payer l'électricité. Le prix de vente du kWh est fixé par le Ministère de l'Energie et le tarif est de 25 FDJ/kWh.

Le centre de santé et la mosquée de Moumina 1 disposent de petits systèmes solaires photovoltaïques. Les habitations ont reçu il y a quelques années des kits solaires mais la très grande majorité de ces kits ne fonctionnent plus.



Il est envisagé d'électrifier le village de Leyta par la construction d'un mini-réseau solaire PV avec un stockage batteries.

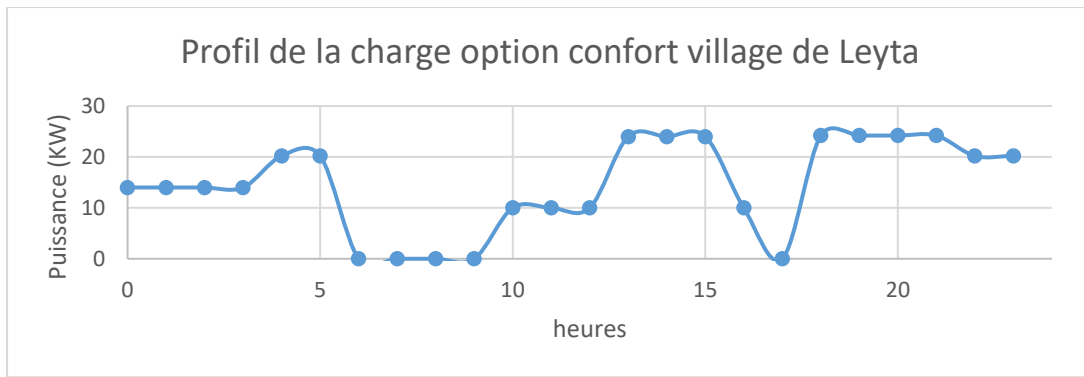
Leyta est situé sur un plateau entre la baie du Ghoubbet et les montagnes au Sud de la Baie et le terrain est relativement plat et il n'y a pas de risque d'ombrage. Le potentiel solaire de la zone est estimé être celui calculé pour Djibouti qui est de l'ordre de 5,36 kWh/m²/jour. L'électrification du village apportera des bénéfices sociaux économiques importants pour le village grâce à l'éclairage qui va améliorer l'éducation des enfants, la ventilation et la réfrigération qui vont apporter le confort thermique aux populations pendant la saison chaude ainsi que la télévision qui va améliorer le quotidien des ménages et leur connexion avec le reste du pays.



Les besoins en électricité pour les 100 ménages sont calculés comme montré dans le tableau suivant :

	Nombre d'unités	Puissance (W)	Puissance totale (KW)	Nombre d'heures d'utilisation	Energie consommée (kWh)
Eclairage	100	62	6,2	8	49,6
Ventilation	200	70	14	15	210
frigo	100	100	10	7	70
TV	100	40	4	4	16
Total/jour					345,6

Le profil de charge d'utilisation de l'utilisation de la centrale est montré dans la figure suivante :



Éléments de dimensionnement de la centrale solaire PV et du mini-réseau de distribution

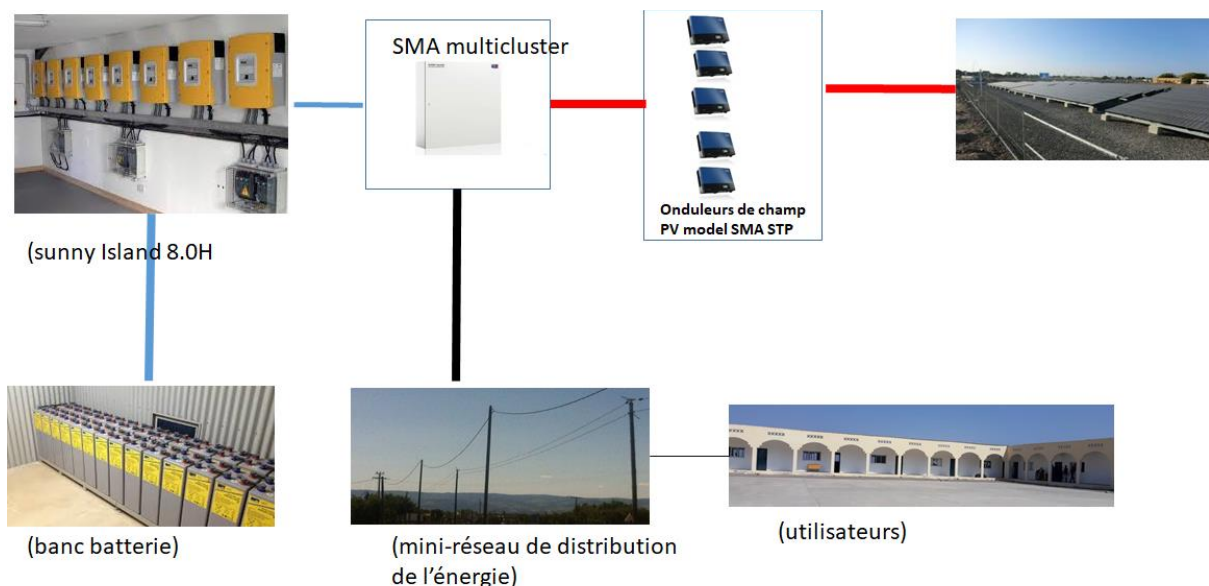
La centrale sera composée des éléments suivants :

- Un champ de panneaux solaires monocristallins
- Un banc batteries avec une autonomie d'une demi-journée. La centrale sera hybride et un générateur d'appoint sera installé à terme. Par ailleurs un système de gestion de l'énergie.
- Des onduleurs de champ qui vont transformer le courant continu en courant alternatif et injecter dans le réseau de distribution
- Des onduleurs de batteries qui seront actifs pendant la nuit ou les jours sans soleil et qui chargent également les batteries
- Un réseau de distribution constitué de poteaux aériens et câbles aériens
- Des dispositifs de sécurité

Les différents coûts engagés dans la mise en place d'un mini-réseau solaire avec batteries sont :

- Le coût du foncier
- Le coût de développement
- Le coût des équipements de la partie production
- Les coûts des équipements de la partie distribution
- Les coûts de génie civil
- Les coûts de pose de l'installation électrique

Dans le cas de l'électrification rurale, il est espéré que le gouvernement octroie à titre gracieux le terrain de mini-centrale. Cela dit, il faudrait préciser dans les textes d'application de la Loi sur les IPP, une disposition sur le foncier. Par ailleurs nous n'incluons pas dans la suite le coût de développement du projet étant donné que nous ne connaissons pas l'approche de développement qui sera utilisée.



L'outil de dimensionnement en ligne de la société SMA (Sunydesignweb.com) est utilisé pour dimensionner le système de base. Les résultats de quantités ainsi que les coûts estimés pour la partie production électrique sont consignés dans le tableau suivant :

Item	Quantité	Prix unitaire (US \$)	Coût (USD) total
Champ PV Panneaux monocristallin puissance unitaire de 240W/12V	120 000 W (120 KWc)	1,5	180 000
Banc batteries 48V, 4000 Ah constitué en 4 rangés de 24 batteries de 2V et 1100Ah soit 4400 Ah	96 batteries 2V/1100 Ah	800	76 000
Onduleur de champ SMA STP 15000 TL-30	3	3000	9 000
Onduleur de batteries sma Sunny Island 8.0H	12	3500	42 000
Armoires électriques	1	8000	8 000
Coffret de protection pour les onduleurs	1	3000	3 000
Structure métallique support des panneaux	1	12 000	12 000
Sous-total coût partie production PV			330 000

Les estimations de cout pour la partie distribution sont détaillées dans le prochain tableau (Ref : DEDD, Etude options électrification,2020)

Article	Unité	Nombre d'unité	Prix unitaire indicatif (FDJ)	Prix total
<u>Fourniture</u>				
câble torsadé 4x25 ²	m	380	875	332 452
câble torsadé 4x16 ²	m	521	603	314 277
câble torsadé 2x16 ²	m	2500	328	819 280
poteau bois 9m S190	U	28	90 000	2 520 000
Article de suspension (RA 25)	U	10	1 981	19 809
RL feuillard 20x0,7mm ²	U	3	11 700	35 100
Article d'ancrage (PINCE d'ANCRAGE - PA 25)	U	240	661	158 706
Article de connexion (CT 25)	U	270	4 728	1 276 672

Crochet à scellement	U	200	1 436	287 200
comptage d'énergie (Compteur + disjoncteur+tableau bois) 230V 50Hz	U	100	15 000	1 500 000
installation				6 000 000
Sous-total équipements en FDJ				13 263 497
Sous-total équipements réseau de distribution (US \$)				74 000

Poste de dépenses	Estimation du coût réel en conditions locales (US \$)
Génie civil (construction clôture grillagée, support longrines béton, construction locaux onduleurs et batteries)	45 000
Pose de l'installation électrique (panneaux, batteries, mini-réseau électrique)	55 000
Total coût d'installation	100 000 US \$

Le coût d'investissement initial est constitué du cout des équipements et des couts d'installation. Ce cout total d'investissement initial est donc de 504 000 US \$.

Une fois le mini-réseau solaire PV, des couts d'opération et d'entretien seront engagés durant toute la vie du projet. Certains de ces couts sont récurrents comme les salaires du personnel et d'autres seront ponctuels comme le remplacement du banc de batterie à la sixième année ou les onduleurs au bout de 15 années.

Coût d'opération et de maintenance annuelle

Main d'œuvre

Item	Nombre	Salaire mensuel + sécurité sociale	Total (US \$)
Technicien électricien qualifié pour supervision de la centrale	1	600	600
Gardien	1	250	250
Entretien basique (nettoyage des panneaux)	2	250	500
Collecteur (trice) des paiements de facture	1	600	600
Total main d'œuvre			1950

Productible d'énergie et vente d'énergie

La centrale de 120 KWc va produire 600 kWh d'énergie solaire par jour et 219 000 kWh par année en moyenne. Ces chiffres sont basés sur une productivité de 5 kWh/kWc/jour (ref These Daha Hassan, Modélisation et analyse expérimentale d'une centrale solaire photovoltaïque en milieu désertique maritime, 2017). Le tarif d'électricité en milieu rural est fixé par le Ministère

de l'Energie et ce tarif est actuellement de 25 FDJ/kWh pour les ménages. La quantité d'énergie vendues quotidiennement correspondant à la demande énergétique soit 346 kWh par jour.

Calcul économique

Année	Investissement (US \$)	Cout du personnel (US \$)	Coût de remplacement des batteries et onduleurs (US \$)	Production d'énergie (kWh)	Quantité d'énergie vendue (kWh)	Vente d'énergie (US \$)
0	504000					
1		1950		219 000	126290	17787
2		1950		219 000	126290	17787
3		1950		219 000	126290	17787
4		1950		219 000	126290	17787
5		1950		219 000	126290	17787
6		1950		219 000	126290	17787
7		1950	76000	219 000	126290	17787
8		1950		219 000	126290	17787
9		1950		219 000	126290	17787
10		1950		219 000	126290	17787
11		1950		219 000	126290	17787
12		1950		219 000	126290	17787
13		1950		219 000	126290	17787
14		1950	76000	219 000	126290	17787
15		1950	51000	219 000	126290	17787
16		1950		219 000	126290	17787
17		1950		219 000	126290	17787
18		1950		219 000	126290	17787
19		1950		219 000	126290	17787
20		1950		219 000	126290	17787

La valeur actualisée nette (VAN ou NPV) est calculée de la manière suivante :

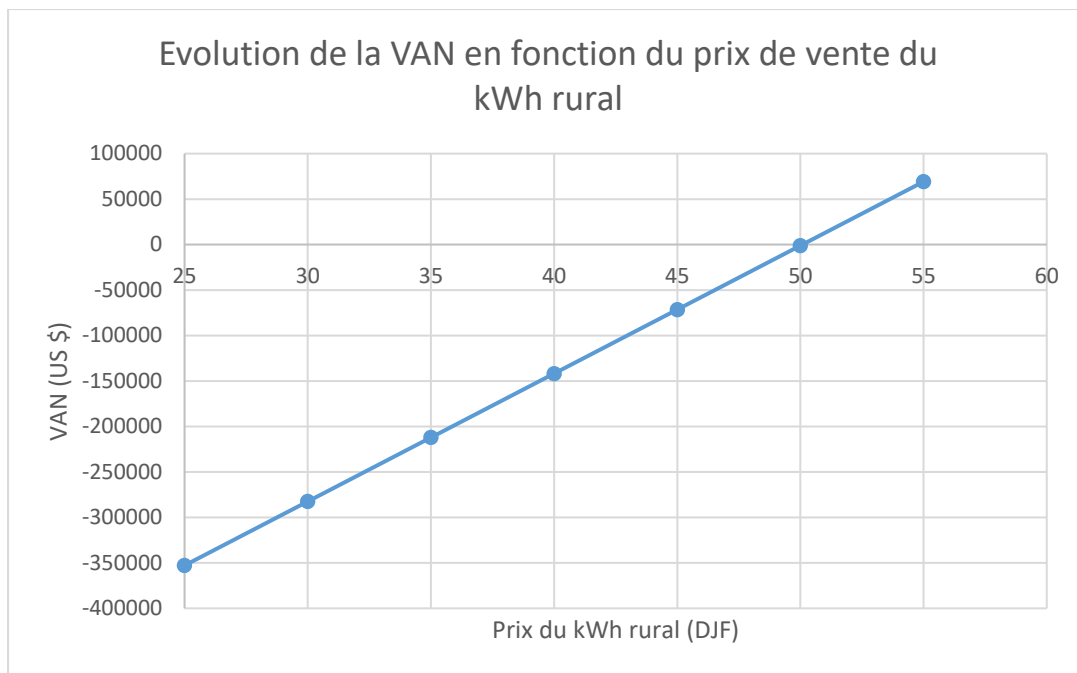
$$VAN = -C + \sum_{p=1}^N \frac{C_F}{(1 + \frac{t}{100})^p}$$

Dans cette équation C représente les investissements initiaux, C_F représente le flux de trésorerie c'est-à-dire les ventes annuelles d'énergies moins les couts d'opération et de maintenances, t représente le taux d'actualisation et p représente le nombre d'années. Si la VAN est négative, alors le projet n'est pas rentable pour un investisseur et si la VAN es positive alors le projet est rentable. Le taux d'actualisation habituellement adopté pour Djibouti est de 11%. Pour un taux d'actualisation de 11% et un prix de vente de l'énergie, le projet de cas d'étude pour le village de Leya, la **VAN calculée est de – 352834 US \$**. Cela indique donc que l'électrification rurale dans les conditions actuelles ne peut pas être rentable pour un investisseur privé.

Analyse de sensibilité

(i) Effet du tarif sur la VAN

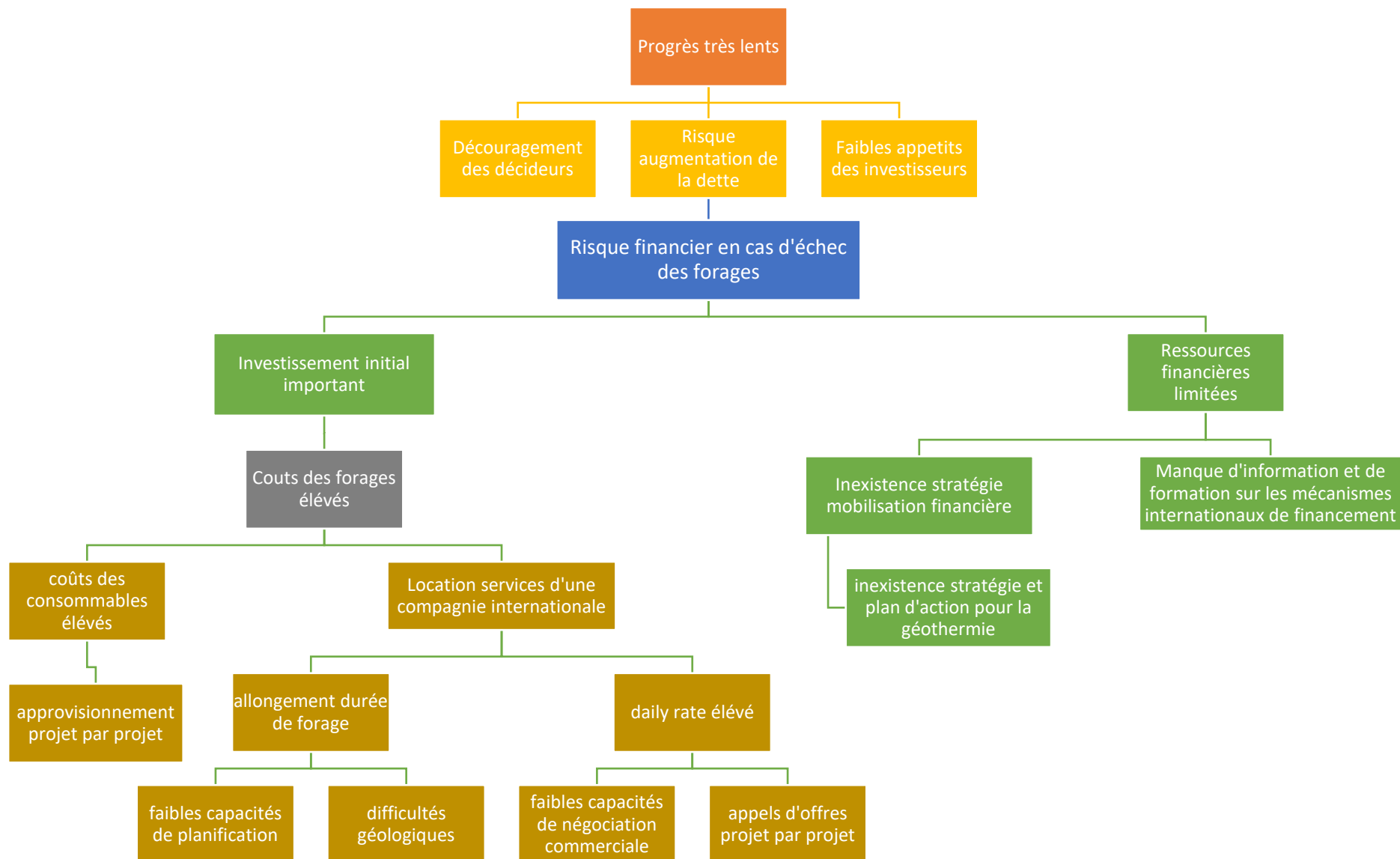
On fait varier le prix de vente et on calcule à chaque fois la VAN pour obtenir le graphique de la figure suivante.



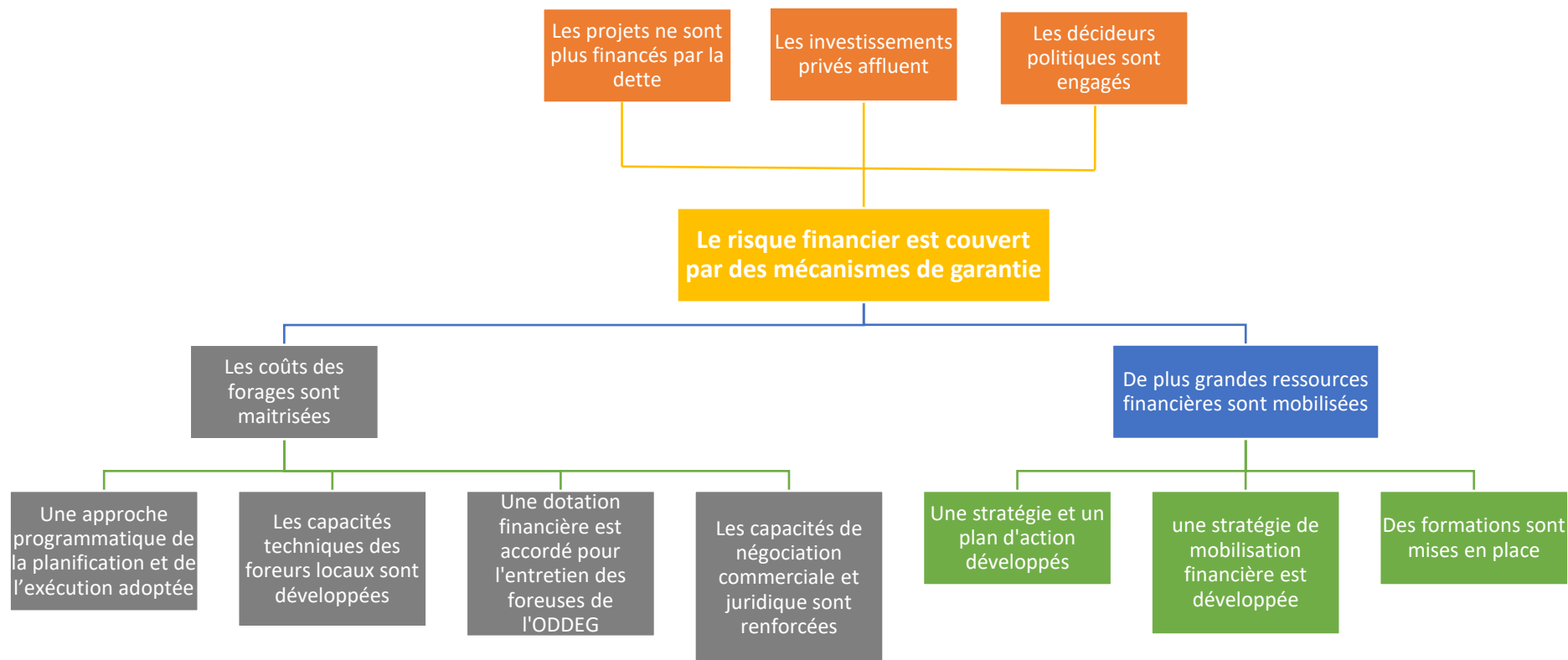
La VAN devient positive pour un prix de vente de 55FDJ/kWh. Ce prix de vente est plutôt un tarif des consommateurs urbains de Djibouti et ne pourrait jamais être payé par des consommateurs ruraux.

En conclusion, pour attirer les investissements privés, le prix du kWh sera une barrière économique réelle. Des mécanismes de subvention du prix doivent donc être mis en place.

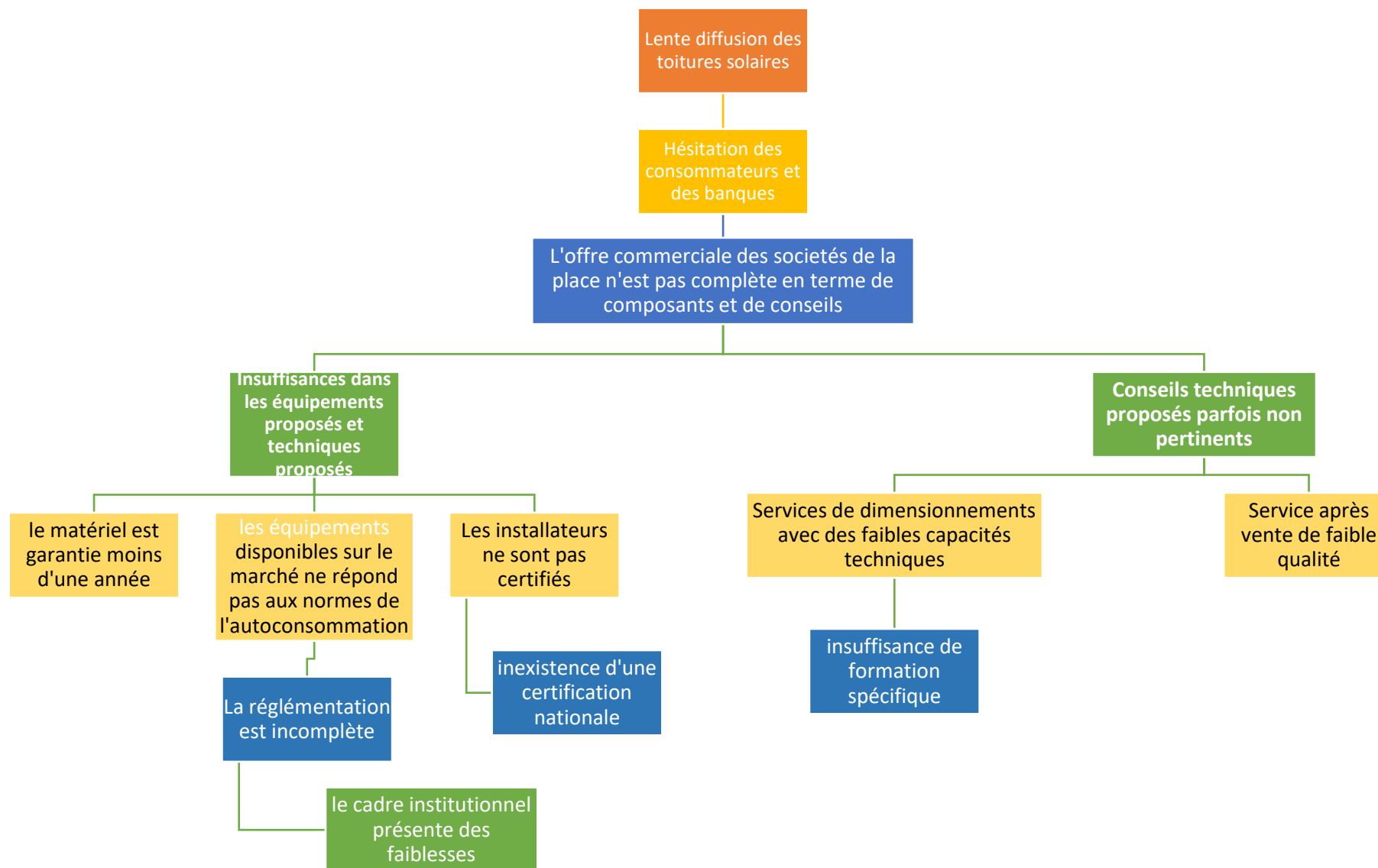
Annexe 2 : arbre à problèmes : technologie de production d'électricité par centrale géothermique binaire



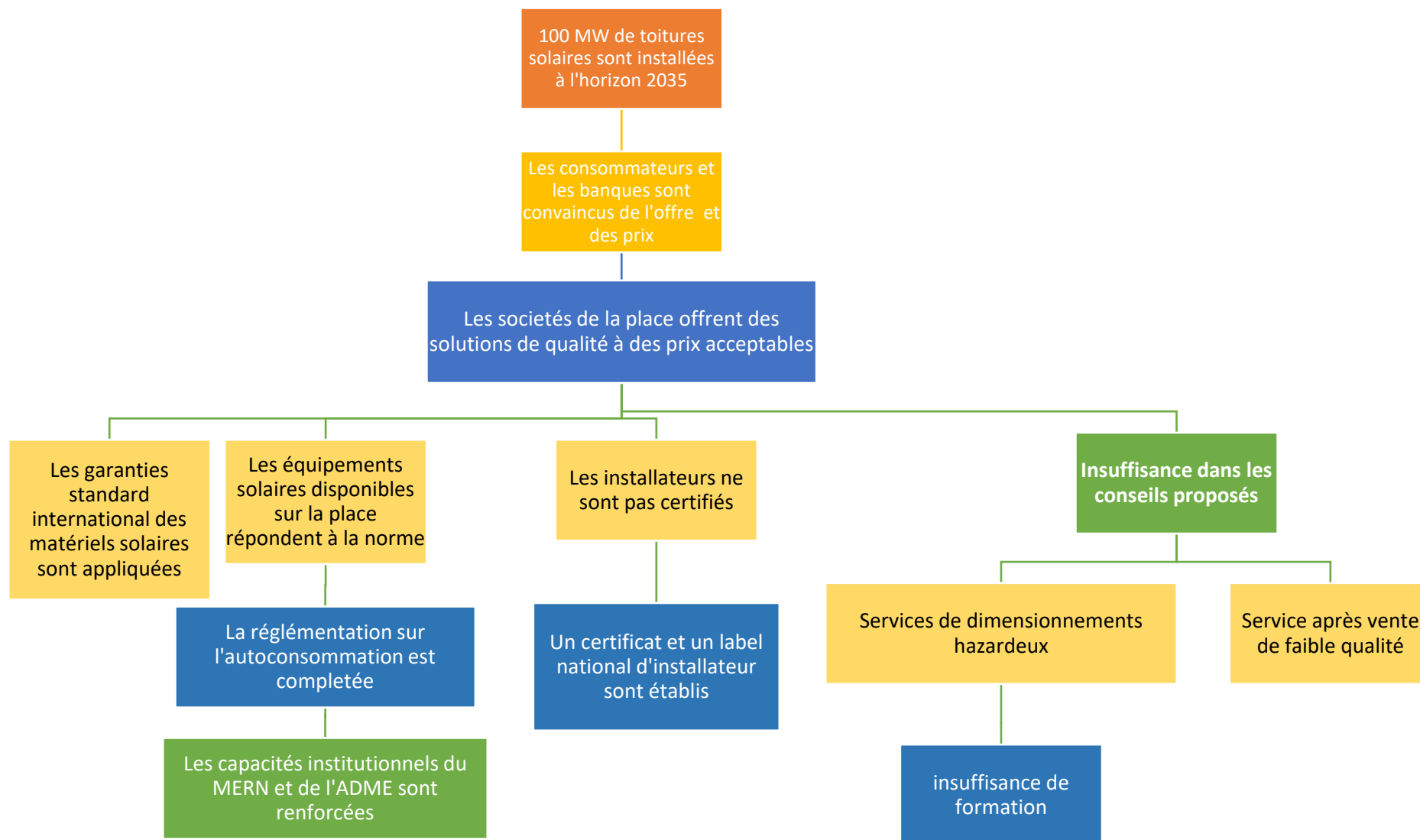
Annexe 3 : à solutions : technologie de production d'électricité par centrale géothermique binaire



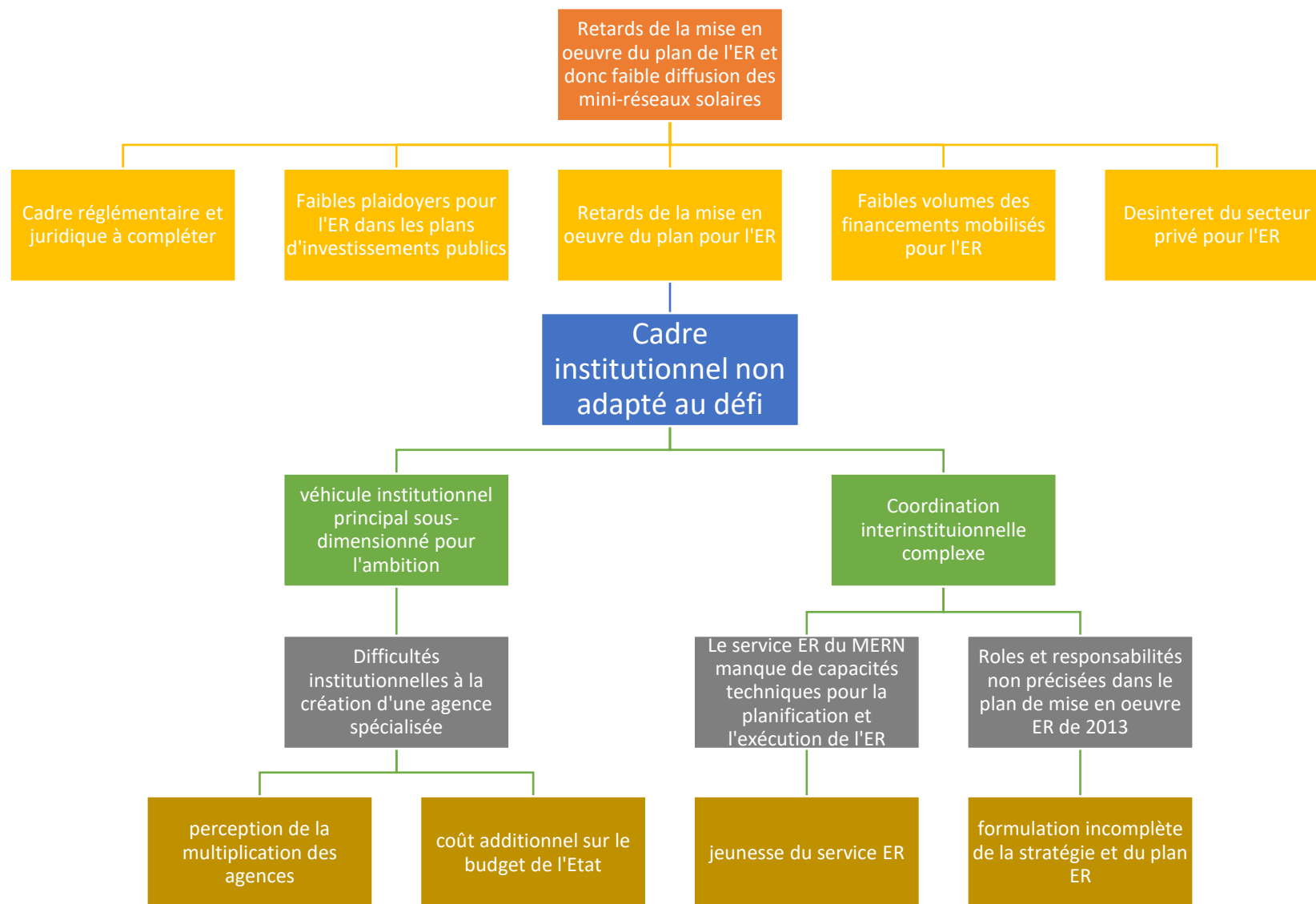
Annexe 4 : Arbre à problèmes : technologie des toitures solaires PV pour l'autoconsommation



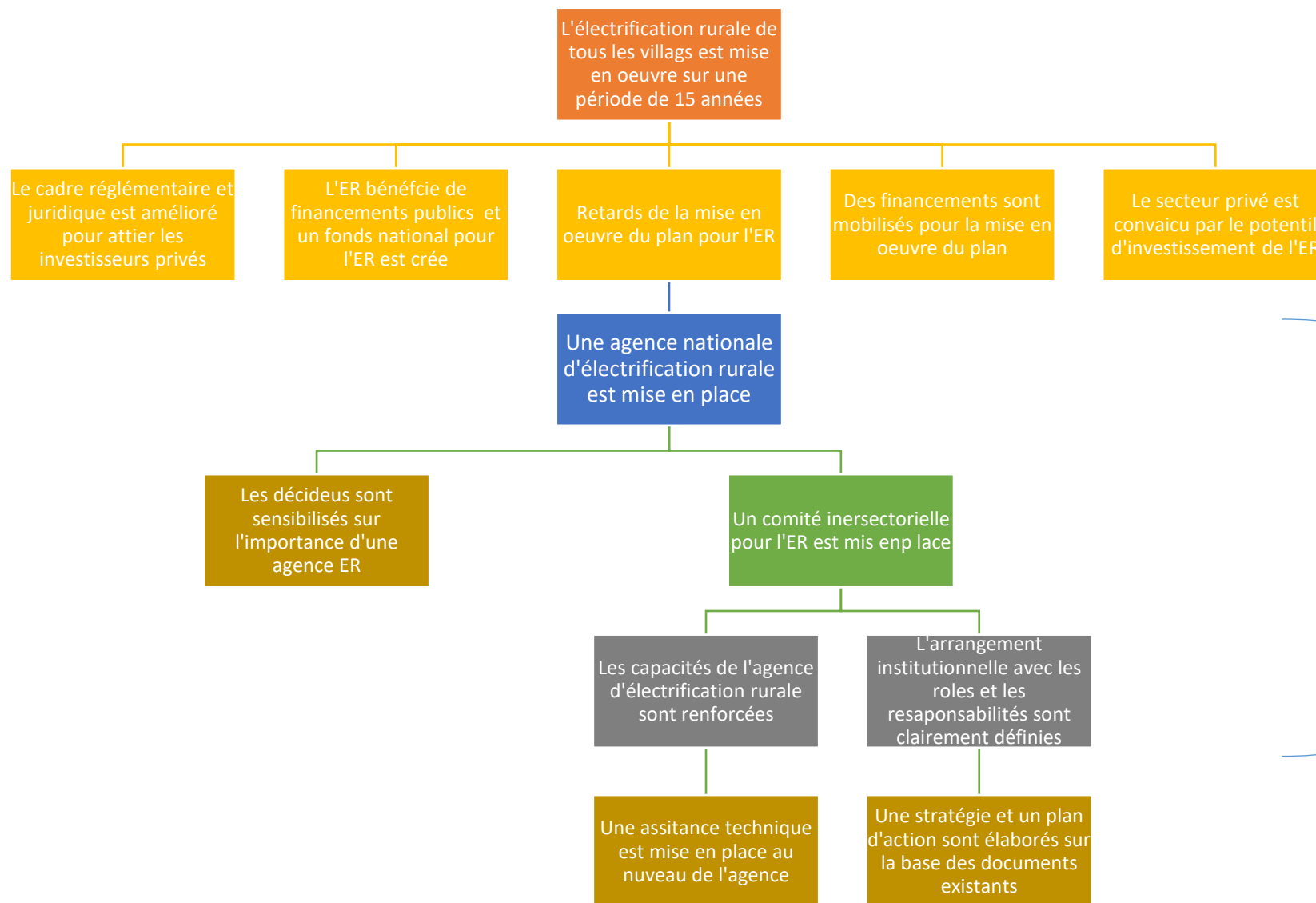
Annexe 5 : Arbre à solutions : technologie des toitures solaires PV pour l'autoconsommation



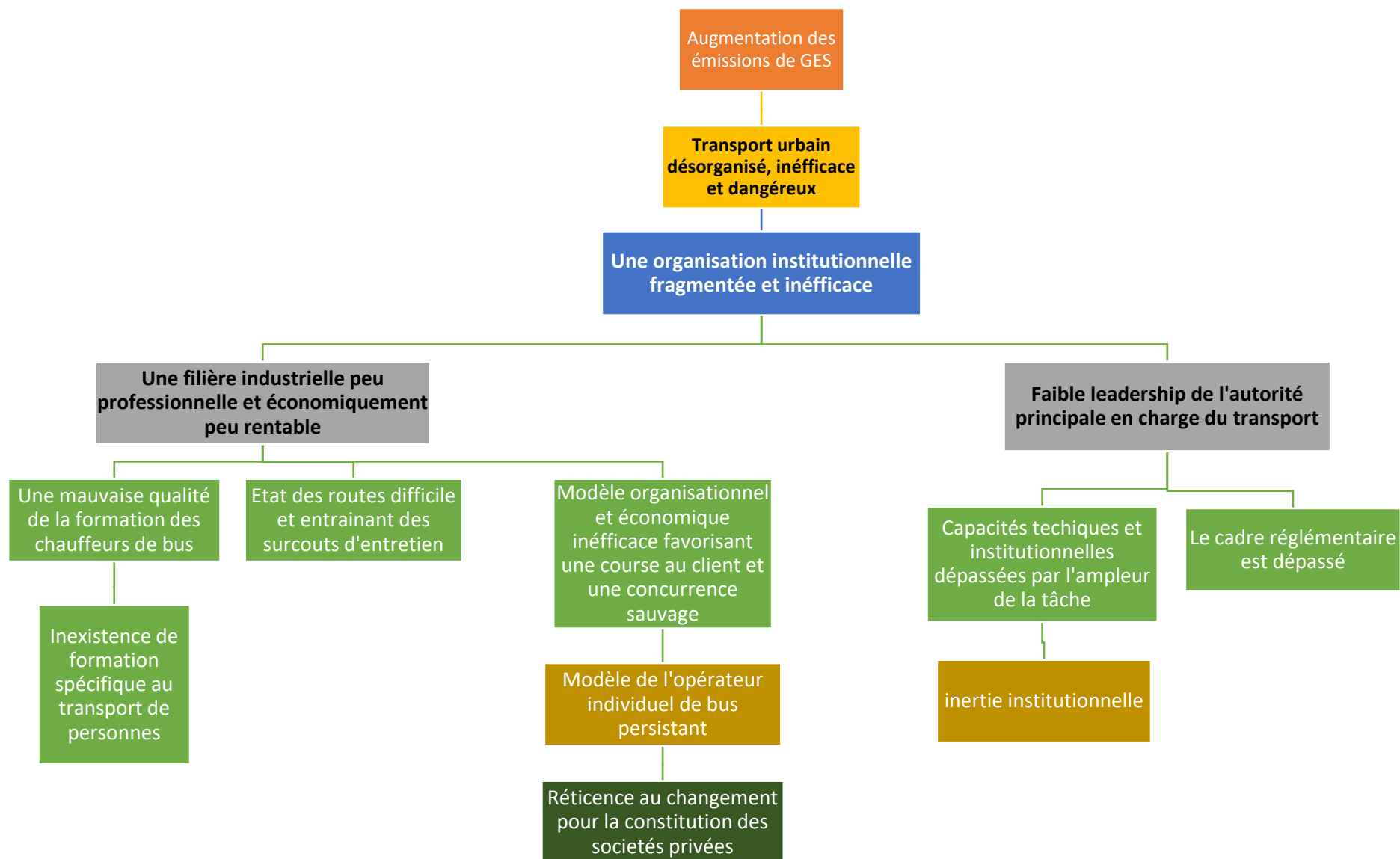
Annexe 6 : à problèmes : technologie des mini-réseaux solaires PV avec batteries



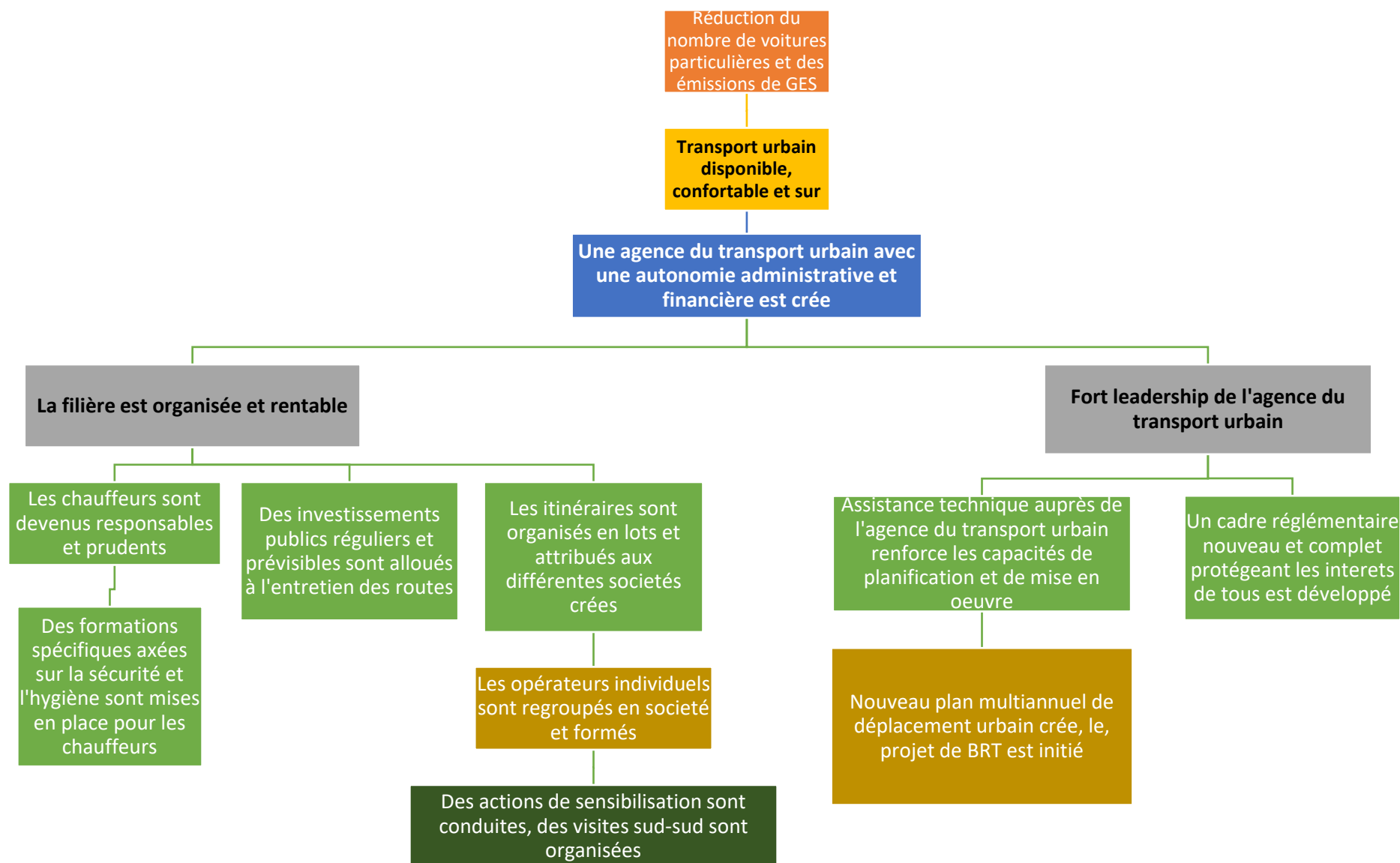
Annexe 7 : Arbre à solutions : technologie des mini-réseaux solaires PV avec batteries



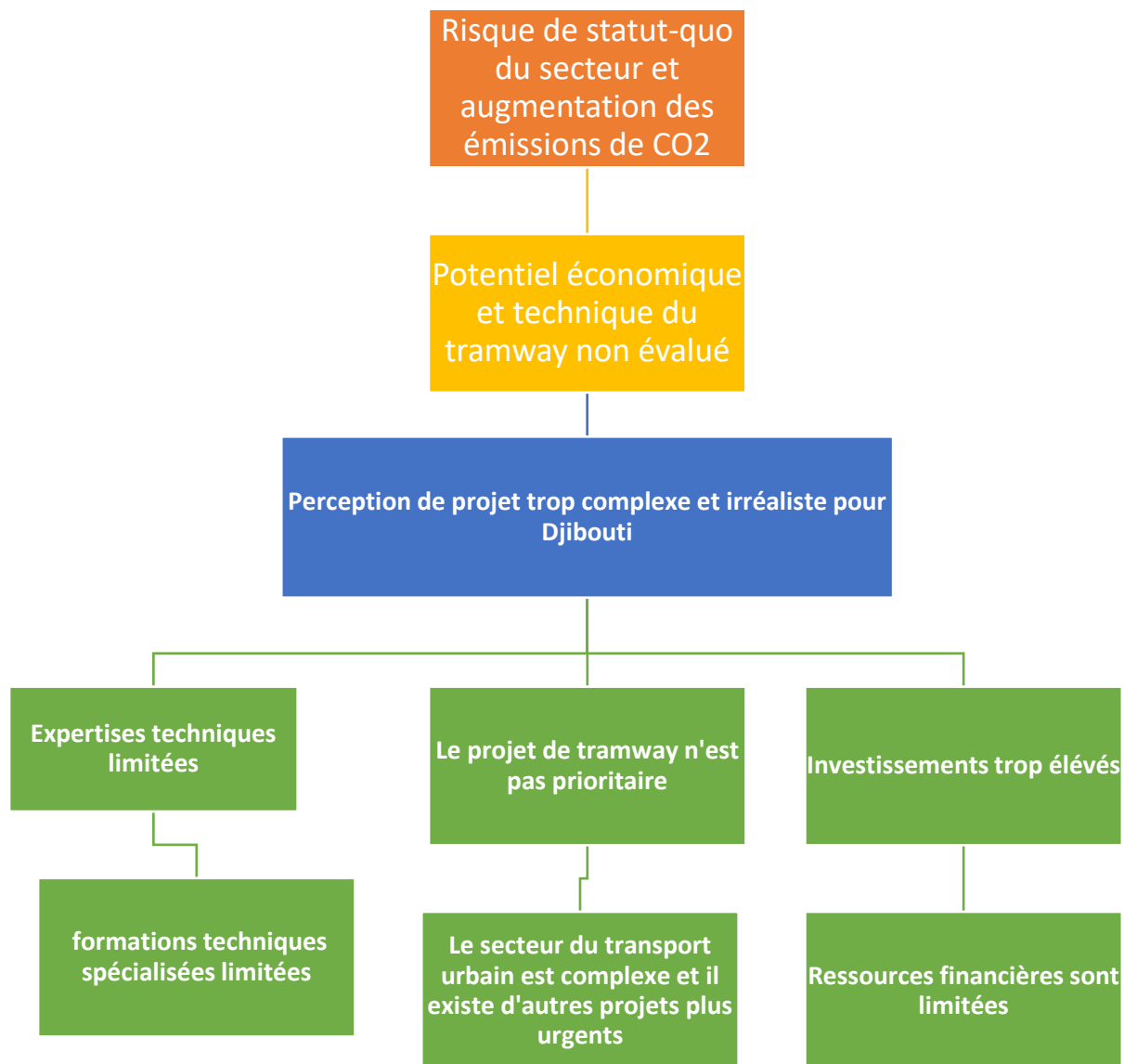
Annexe 8 : Arbre à problèmes : technologie BRT (secteur du transport)



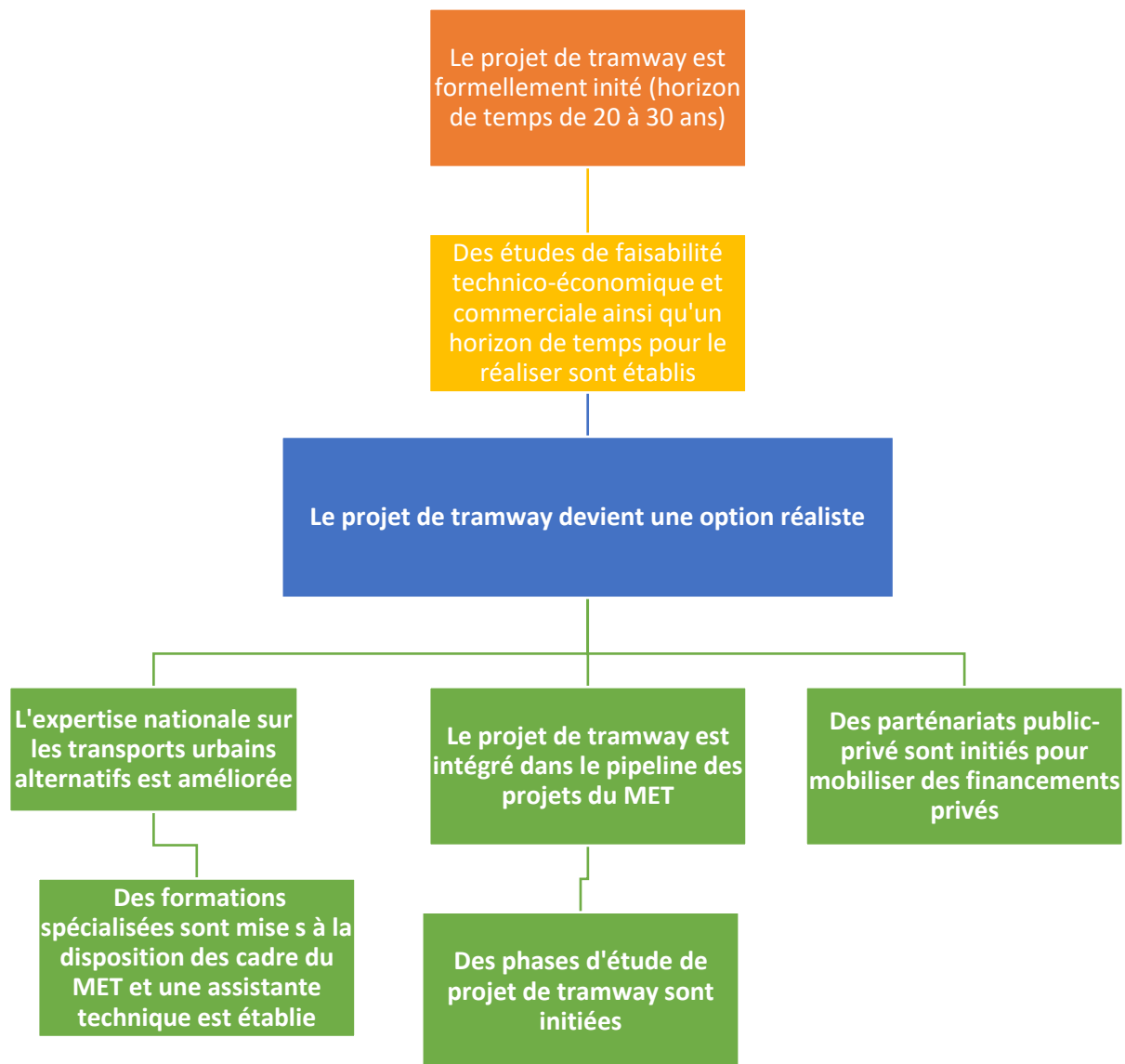
Annexe 9 : Arbre à solutions : technologie BRT (secteur du transport)



Annexe 10 : Arbre à problèmes : technologie de tramway



Annexe 11 : Arbre à solutions : technologie de tramway



Annexe 12 : liste des personnes consultées pour le secteur énergie

Nom de la personne	Institution	Thématique
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'Equipeement 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
Dr Achaa Abdillahi	Enseignant-chercheur Université de Djibouti	Données et études pertinentes sur le secteur des transports
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	Energie solaire PV
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
Mohamed Ainan	Société d'Ingénierie et de Maintenance Industrielle	Marché de l'énergie solaire
Mouna Abdi Daher	Assistant coordonnateur projet EBT MUET	- Environnement Processus EBT
Moustapha Hassan Adawe	Cadre MET	- Transport terrestre d) Transport aérien
Mahamad Hamed Kamil	Cadre MET	e) Transport terrestre
Meigag Ahmed Mahamoud	Mairie de Djibouti	f) Planification -
Abourazak Hassan Moussa	Mairie de Djibouti	g) planification
Dr Ali Miganeh	Enseignant chercheur Université de Djibouti	h) transport maritime
Hamze Abdi Ali	Ingénieur ADME	i) maitrise de l'énergie
Syad Ali	Cadre CCD	j) Entrepreneuriat
Mouna Abdi Daher	Assistant coordonnateur projet EBT MUET	- Environnement k) Processus EBT

