

Rapport fin de mission sur l'étude

# MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

**PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR LA MISE EN ŒUVRE DES PROJETS  
SUNREF III – MAURICE**

Développé par

Avec la participation  
financière de l'UE

En partenariat avec

Mis en œuvre par

Depuis 2009, l'Agence française de développement (AFD) accompagne la transition de Maurice vers une économie bas carbone, résiliente au changement climatique et inclusive. Cet appui s'est d'abord illustré par deux premières lignes de crédit vertes, SUNREF I et SUNREF II. À ce titre, 100M d'euros ont été déployés de 2009 à 2018, en partenariat principalement avec deux banques locales, la Mauritius Commercial Bank (MCB) et la SBM Bank (Mauritius) Ltd (SBM).



© Business Mauritius | Digital Kites



© Business Mauritius | Digital Kites

La troisième édition du programme (SUNREF Maurice) a été lancée en 2018 et est toujours en cours d'exécution. Il s'agit d'une ligne de crédit verte de 85 M€ mise à disposition du secteur privé (particuliers et entreprises) à travers de trois banques locales : MCB, SBM et AfrAsia Bank Ltd. Des subventions à l'investissement au bénéfice des porteurs de projets vont de 5 à 16% du montant du prêt éligible selon le type de projet (atténuation/adaptation/genre). L'Union Européenne, partenaire clé du dispositif SUNREF Maurice, finance une partie des primes sur investissements - qui sont remises aux porteurs de projets éligibles, après vérification de l'installation effective des équipements - et l'assistance technique du programme.

En effet, outre le soutien financier, SUNREF Maurice propose un appui technique délégué à Business Mauritius, un acteur local majeur pour la promotion du développement économique, du capital social et de la croissance durable et inclusive pour la communauté des affaires.

SUNREF Maurice propose une approche intégrée, spécifique et innovante, combinant une offre financière aux conditions attractives à une assistance technique. Le but est d'encourager les entreprises à acquérir des technologies et des équipements verts innovants et à adopter des modèles de développement plus durables, à accroître leur compétitivité, améliorer leur image de marque et accéder à de nouveaux marchés.

## Avant-propos

**SUNREF Maurice innove  
pour mieux impacter**



### **Laetitia Habchi** Directrice de l'Agence française de développement à Maurice

L'Agence française de développement (AFD) accompagne, depuis 2009, la transition de Maurice vers une économie bas carbone, résiliente au changement climatique et inclusive. À travers le troisième volet du programme SUNREF, l'AFD encourage la création d'une filière de la finance verte grâce à une ligne de crédit de 85 millions d'euros accordés aux banques partenaires, en l'occurrence la Mauritius Commercial Bank Ltd, la SBM Bank (Mauritius) Ltd et AfrAsia Bank Ltd.

La dimension innovante de ce programme est son dispositif d'assistance technique qui permet aux banques d'identifier des opportunités d'investissements dans les projets d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, ainsi que ceux favorisant l'égalité professionnelle femmes/hommes.

Elle sert également les entreprises porteuses de projets à développer des projets verts éligibles, innovants et rentables en aidant à préparer les demandes de financement pour les banques partenaires.

Le succès de SUNREF Maurice repose sur son offre intégrée qui propose, en sus des prêts à conditions préférentielles, des outils d'aide à la décision d'investissements.

À cet effet, un Fonds d'études SUNREF a été mis en place dans l'objectif de produire une collection documentaire comprenant, entre autres, des rapports techniques, analyses de projets pilotes et études de faisabilité, aux thématiques très variées et multisectorielles.

Cette série est donc une exploration de sujets appelés à revêtir une importance capitale pour Maurice. Parmi ceux-ci on compte la mobilité électrique, la construction durable, les risques financiers climatiques, la gestion des effluents liquides dans l'industrie, l'impact du Pacte vert européen sur l'économie mauricienne, le potentiel de solutions durables comme l'hydrogène vert, l'agri-solaire, et la mesure de l'empreinte carbone.

Cette collection est le fruit d'un travail de longue haleine et a pour objectif un partage d'expérience entre ceux qui souhaitent agir pour un développement soutenable de l'économie et contribuer à une transition plus juste de la société.

Par la présente, je voudrais féliciter l'équipe de l'assistance technique, notamment Business Mauritius, et les partenaires qui ont contribué à la réalisation de ces études et à leur publication. Je tiens également à exprimer ma gratitude vis-à-vis de l'Union européenne qui a permis le financement de ce fonds. Alors que nous entrons dans une nouvelle ère pour la finance durable, nous continuerons à œuvrer pour explorer de nouvelles méthodes et faire émerger des projets à impact pour Maurice.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>07-08</b>	Résumé Exécutif
<b>09</b>	Contexte de l'étude
<b>10</b>	Objectifs de l'étude
<b>11</b>	Liste des entreprises bénéficiaires
<b>12-13</b>	Fondamentaux de l'étude
<b>14-15</b>	Resultats modélisation SPER
<b>16-23</b>	Opérateurs de transports public (Bus) <b>7.1</b> Énoncé de la problématique <b>7.2</b> Observations – taux de consommation énergétique <b>7.3</b> Observations – recharge des BEBs <b>7.4</b> Observations – Optimisation des investissements nécessaires <b>7.5</b> Résultats modélisation bus électrique
<b>24-34</b>	Utilisateurs de voitures électriques <b>8.1</b> Énoncé de la problématique <b>8.2</b> Scénarios possibles <b>8.3</b> Observations clés <b>8.4</b> Hypothèses clés <b>8.5</b> Base de données <b>8.6</b> Résultats modélisation voiture électrique
<b>35</b>	Autres externalités générées
<b>36</b>	Retour de satisfaction des entreprises participantes
<b>36-39</b>	Recommandations

## Glossaire

VE	Véhicule Electrique
ME	Mobilité Electrique
BEB	Bus Electrique à Batterie
VMCI	Véhicule à Moteur à Combustion Interne
TKD	Total Kilometres Driven
REPF	Renewable Energy Production Facility
SPER	Système de Production d'Energie Renouvelable
CEB	Central Electricity Board
MEPU	Ministry of Energy and Public Utilities
PV	Photovoltaïque
TCO	Total Cost of Ownership – Coût total de possession
TED	Tarifs d'Electricité Différenciés
TCE	Taux De Consommation Energétique
IRR	Internal Rate of Return
TRI	Taux de Rendement Interne
USD	US Dollars
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
NLTA	National Land Transport Authority

## 1. Résumé Exécutif

① Si le passage à la ME est souhaitable dans la perspective de la transition vers une économie à faible émission de carbone, toutes les conditions nécessaires pour y parvenir doivent encore être établies au sein de la République de Maurice. Certaines d'entre elles sont liées aux conditions du marché international et sont donc en dehors de la sphère d'influence des décideurs locaux (comme la disponibilité en masse des VE pour toutes les catégories d'automobilistes ou l'évolution des prix internationaux de la technologie des batteries), tandis que d'autres sont liées aux conditions du marché local et nécessiteront des mesures supplémentaires de la part des décideurs politiques (comme la disponibilité à grande échelle d'infrastructures de recharge publique ou l'utilisation prioritaire de sources d'énergies vertes pour la recharge des VE).

② Une transition plus rapide vers des installations de production d'énergies propres améliorera l'empreinte carbone de l'utilisation des VE à Maurice, de surcroît dans un cadre où la généralisation massive des VE est actuellement en cours de facilitation par les pouvoirs publics mauriciens. Dans le contexte actuel, et compte tenu du facteur d'émission du réseau électrique pour Maurice, l'étude démontre que la recharge d'un VE par le réseau électrique (sans a minima compenser celle-ci par une installation de production d'énergie renouvelable) entraînera un niveau plus élevé d'émission de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par rapport à un moteur thermique équivalent.

③ L'investissement dans les VE peut être financièrement plus avantageux que dans les VMCI sur une période donnée. Toutefois, l'achat combiné de VE et de systèmes photovoltaïques par le biais d'instruments liés à l'endettement (prêt, location, etc.) nécessite également un apport financier plus conséquent de la part d'un acquéreur éventuel. Cela pourrait décourager certains acquéreurs potentiels. Afin de surmonter cet écueil, des mécanismes d'accompagnement visant à réduire la charge financière des acquéreurs pourraient être envisagés pour les encourager à franchir le pas. Cet accompagnement pourrait se traduire par l'autorisation pour les banques de pratiquer de ratios prêts vs apports personnels plus élevés sur ce type d'investissement et/ou par la mise en place de prêts mezzanines avec des taux d'intérêts plus bas par un opérateur public.

## 2. Contexte de l'étude

Le gouvernement mauricien s'est engagé depuis août 2019 à suivre la dynamique mondiale en matière de ME. On peut noter premièrement le transport en commun avec le Metro Express (en réalité une ligne de tramway) et deuxièmement l'élaboration d'une feuille de route<sup>1</sup> pour la pénétration progressive des VE sur le marché.

Ces types d'investissements sont particulièrement pertinents dans un contexte mondial où les prix des énergies fossiles connaissent une tendance fortement haussière. Ils sont également pertinents dans un contexte insulaire comme à Maurice, où les distances parcourues sont limitées. Enfin, l'ambition de Maurice d'atteindre les 60% d'énergies renouvelables dans son mix énergétique d'ici 2030 conforte la transition des transports vers l'électrique.

Business Mauritius (BM) a été partie prenante des consultations qui ont abouti au « 10 Year Electric Vehicle Integration Roadmap for Mauritius – MEPU – EV Consult & Ecosis ».

Depuis 2019, il n'y a pas eu de coordination technique au niveau du MEPU pour la mise en œuvre de la feuille de route. Le marché a donc évolué en fonction des modèles de VE importés par les concessionnaires et des premiers adhérents à cette technologie. Sur un parc de véhicules conventionnels de près de 570 000, on note.

En août 2021, BM a été rappelé par le MEPU pour représenter le secteur privé au sein du Comité d'Implémentation et de Suivi de la feuille VE. Quatre comités ont alors été établis :

- a) Cadre réglementaire/législation/recharge
- b) Financement/subvention
- c) Batteries/recyclage
- d) Communication/sensibilisation/formation

Afin d'accélérer la transition vers la ME, le programme d'assistance technique SUNREF Maurice soutient les banques partenaires du programme SUNREF dans le développement de produits adaptés qui répondent aux besoins du marché tout en intégrant les critères d'éligibilité de l'Agence française de développement (AFD).

Enfin, étant donné que la ME est un sujet qui évolue rapidement et qu'il y a un manque de mesures spécifiques destinées aux entreprises privées pour effectuer cette transition, SUNREF Maurice souhaite soutenir quelques entités du secteur privé qui sont intéressées par la transition de leur flotte ou d'une partie de leur flotte vers les VE. Le projet sera réalisé en tant que projet pilote (10 à 12 entreprises), afin de démontrer le "business case" d'une transition d'une flotte conventionnelle à une flotte de VE. Le soutien sera adapté au contexte et aux exigences spécifiques de chaque entreprise participante et le résultat final sera un modèle d'analyse de rentabilité individuel qui intégrera leurs données/informations spécifiques.

4 Le passage aux VE demande également une transition vers la sobriété. En d'autres termes, les VE fonctionnent mieux pour les voitures de taille moyenne dotées d'une batterie de taille raisonnable. Cette affirmation est étayée par les résultats du logiciel de modélisation développé dans le cadre de cette étude, qui a été effectuée sur les différents modèles de VE enregistrés dans sa base de données.

5 Si le passage à la ME est souhaitable dans la perspective de la transition vers une économie à faible émission de carbone, toutes les conditions nécessaires pour y parvenir doivent encore être établies au sein de la République de Maurice. Certaines d'entre elles sont liées aux conditions du marché international et sont donc en dehors de la sphère d'influence des décideurs locaux (comme la disponibilité en masse des VE pour toutes les catégories d'automobilistes ou l'évolution des prix internationaux de la technologie des batteries), tandis que d'autres sont liées aux conditions du marché local et nécessiteront des mesures supplémentaires de la part des décideurs politiques (comme la disponibilité à grande échelle d'infrastructures de recharge publique ou l'utilisation prioritaire de sources d'énergies vertes pour la recharge des VE).

- Renforcement de la stratégie nationale du transport public bas-carbone et combler les lacunes en matière de politiques publiques pour une transition plus rapide vers des transports publics sans émissions de gaz à effet de serre.
- Réduction des subventions pour les carburants fossiles sans que cela ait un impact sur le prix des billets pour les passagers des transports publics.
- Augmentation du niveau de subsides pour les BEBs.
- Investissements dans les infrastructures de recharge électrique publiques / mise en place de subventions pour les infrastructures de recharge privées ainsi que pour les équipements auxiliaires.
- Prix d'achat d'électricité plus élevé pour la production d'énergie verte (subventions indirectes).
- Considérer d'autres technologies telles que les systèmes de transport à l'hydrogène vert.
- Mise en place de mécanismes de « derisking » des investissements privés dans les BEBs.
- Mise en place de mécanismes de réduction des charges financières pour les prêts liés aux BEBs.

<sup>1</sup>10 Year Electric Vehicle Integration Roadmap (<https://publicutilities.govmu.org/Documents/2020/Reports%26Publications/Electric%20Vehicle%20Integration%20Roadmap.pdf>)

### 3. Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude pilote sont définis ci-dessous :

- Apporter une information technique et financière aux entreprises concernant la faisabilité d'un passage au VE pour accélérer la transition vers cette technologie à Maurice ;
- Créer de l'appétit au niveau de porteurs de projets pour ensuite accélérer la création de produits financiers au niveau des banques ;
- Soutenir et compléter l'action de politique publique du MEPU à travers une approche « business ».



### 4. Liste des entreprises bénéficiaires

Les entreprises bénéficiaires qui ont posé leur candidature et qui ont ensuite été sélectionnées pour mener cette étude sont les suivants :

Nom de l'entreprise	Nom de l'entreprise	Date réunion démarrage	Date réunion de soumission
Cementis (Mauritius) Ltd	Commerce de ciment	24/08/22	16/11/22
Construction & Material Handling Co Ltd	Importation et distribution d'équipements et de matériaux de construction	30/08/22	17/11/22
Divla Transport Co Ltd	Transport Public (Bus)	23/08/22	06/12/22
Lux Collective Ltd	Hôtellerie et restauration	16/08/22	18/10/22
MCB Ltd	Banque et finance	08/09/22	17/11/22
Panagora Logistics Ltd	Distribution de produits de grande consommation	24/08/22	27/10/22
Pharmacie Nouvelle Ltd	Distribution de produits de grande consommation	17/08/22	07/12/22
Phoenix Beverages Ltd	Fabrication et Distribution de produits de grande consommation	25/08/22 & 26/09/22	22/12/22
RHT	Transport Public (Bus)	22/08/22	16/11/22
Rogers Bel-Ombre	Écotourisme (y compris des activités récréatives), Agriculture et développement immobilier	27/09/22	12/12/22
The United Basalts Products Ltd	Production d'agréats de construction Importation et commerce d'équipements et de matériaux de construction	22/08/22	11/11/22
Omnican Management Consultancy Ltd	Services professionnels à sa holding	29/08/22	17/10/22 & 18/11/22

Dans le lot, on notera la présence de deux opérateurs de bus publics. Ceux-ci sont intéressés par la migration de leurs flottes respectives vers des bus électriques. Les autres bénéficiaires étaient intéressés par la migration de leurs flottes respectives de voitures (essence ou diesel, véhicule de fonction ou commerciales) vers des voitures électriques.



## 5. Fondamentaux de l'étude

Cette étude est basée sur le principe de base que les VE doivent être chargés à partir de sources d'énergies propres. A minima, la quantité d'énergie consommée du réseau électrique mauricien pour charger un VE se doit d'être compensée par une quantité équivalente d'énergie générée par un système de production d'énergie renouvelable (SPER). Du coup, une des recommandations clés de ce rapport est que les entreprises bénéficiaires devraient s'inscrire dans les programmes pertinents du CEB pour la production d'énergie verte dans la mesure de pouvoir concevoir un projet financièrement viable. Ceci est résumé en une phrase:

« **Pas de VE sans PV** ».

L'objet principal de l'étude consiste à élaborer des modèles financiers fondés sur

- 1) des méthodologies et standards internationaux,
- 2) des données internationales contextualisées pour répondre aux exigences locales et
- 3) des données locales spécifiques dans la mesure de leurs pertinences.

Pour les SPER, le modèle financier utilisé est un modèle classique de taux de rendement interne (TRI) pour déterminer l'attractivité de l'investissement dans un tel projet par rapport à la capacité déterminée comme nécessaire par les entreprises bénéficiaires.

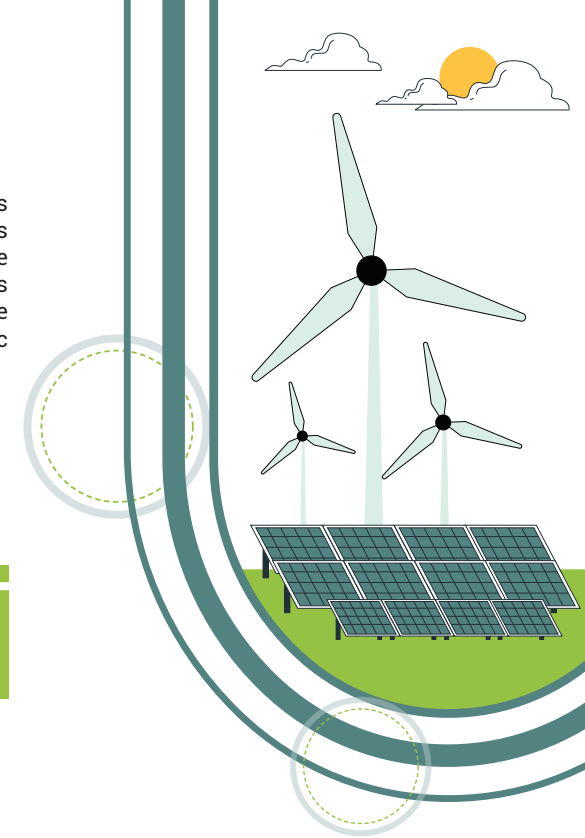
Pour les VE (bus et voiture), le modèle financier utilisé est un modèle de coût total de possession (Total Cost of Ownership (TCO) en anglais) basé sur l'analyse et le calcul des flux de trésorerie actualisés :

$$TCO = (PP - RP) + FC(TKD) + \left( \frac{rP}{1 - (1+r)^{-N}} N - P \right) + IC + MR + T - S$$

*NB : Pour des besoins de cohérence, la formule utilisée est donnée dans sa version originale en anglais. Les acronymes sont toutefois explicités en français et en anglais pour plus de clarté.*

- TCO = coût total de possession sur la période de possession
- PP = Prix d'achat toutes taxes incluses
- RP = Prix de revente après la période de possession  
La différence entre PP et RP constitue le montant du VE à déprécier
- FC = consommation de carburant/ d'électricité par kilomètre parcouru
- TKD = Kilométrage total du VE sur la période de possession
- r = taux d'intérêt du prêt
- P = montant emprunté pour l'acquisition du VE
- N = nombre de mensualités  
( $rP / (1 - (1 + r)^{-N})$ )N - P = charges financières totales
- IC = Coûts d'assurance
- MR = Coûts de maintenance et de réparations
- T = Taxes applicables
- S = Subventions publiques

Bien que le modèle TCO soit utilisé à la fois pour les voitures et les bus, il existe des différences significatives dans l'ingénierie financière des calculs en raison des spécificités propres à chaque type de véhicule. Des modèles différents ont donc été conçus pour les autobus et les voitures.



## Tarifs d'Electricité Différenciés (TED):

Tous les programmes pertinents d'achat d'électricité (produits à partir des panneaux PV du CEB) proposent des tarifs d'électricité différenciés (TED) en fonction de l'heure de consommation pour encourager les bénéficiaires à charger leurs VE pendant les heures creuses (21h01 à 03h59). Le tarif par KWh étant positionné à Rs4,00, soit moins de 50% par rapport à la tarification en journée pour un compteur à usage domestique. Ces programmes du CEB comprennent également l'installation d'un compteur smart dédié (aux frais du CEB) à l'emplacement géographique du point de charge souhaité par le demandeur.

## 6. Résultats modélisation SPER

Le modèle utilisé est basé sur les paramètres et les hypothèses suivants qui s'appuient eux-mêmes sur les programmes proposés par le CEB pour la recharge des VE :

DONNEES D'ENTREES	VALEUR	UNITÉ de mesure
<b>Hypothèses de base du Projet</b>		
Indexation des tarifs d'achats à long terme	-	% / an
Indexation des coûts d'exploitation (inflation)	4.00%	% / an
Date Clôture financière	31 Dec 2022	date
Durée de la période de construction	6	mois
Date fin de la période de construction	30 Jun 2023	date
Durée prévue de la période d'exploitation	240	mois
Date fin de la période d'exploitation	29 Jun 2043	date
<b>Données Techniques</b>		
Capacité crête du système PV à installer	500	kWp
Production estimée du système PV	810	MWh / an
Index de Dégradation de la Performance	0.5%	% / an
<b>Données opérationnelles</b>		
Tarif d'achat	3,730.00	Rs / MWh
Prime de génération intégrée dans le contrat d'achat	0.0%	%
Coûts de gestion par site (A)	120.00	Rs'000s / an
Nombres de sites (B)	1	No.
Coûts totaux de gestion de sites (A*B)	120	Rs'000s / an
Coûts d'exploitation	1.75%	% du CAPEX /an
Coûts divers	-	Rs'000s / an
Coûts d'assurance	0.50%	% du CAPEX /an
<b>Dettes et Subventions</b>		
Subventions AFD (5%)	880.00	Rs'000s
Termes de la créance préférentielle (senior)	15	années
Taux d'intérêt de la créance	6.0%	% / an
Frais bancaires de traitement de dossier	1.0%	% / montant du pret
Minimum Debt Service Cover Ratio (DSCR)	1.40	ratio
Ratio Dette / coûts CAPEX	80.0%	%
Coûts en Capitaux		
CAPEX système PV	22,000	Rs'000s
CAPEX coûts de raccordement au réseau	-	Rs'000s
<b>Impôts / Comptabilité</b>		
Taux d'imposition des entreprises	15.0%	%
Indicateurs de rendement		
Indexation des tarifs d'achats à long terme	4.00%	% / an
Taux d'actualisation des actionnaires	15.0%	% / an
Taux d'actualisation des flux de trésorerie	5.0%	% / an
Indexation des tarifs d'achats à long terme	4.00%	% / an
Indexation des tarifs d'achats à long terme	4.00%	% / an

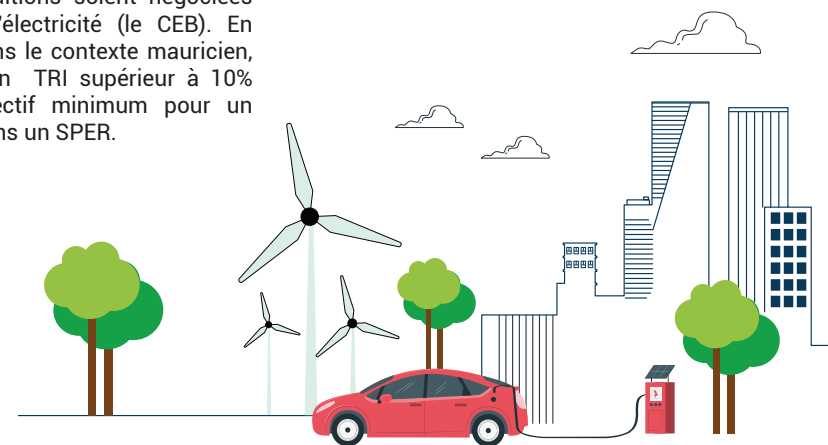
Les informations structurantes utilisées pour la modélisation et contenues dans le tableau ci-dessus sont les suivantes :

- Un SPER de 1 MW crête = USD 1 Million<sup>2</sup> en coût projet clé en main pour un système installé en toiture ou au sol.
- Tarif d'achat du CEB = Rs3.73 par kWh sans indexation sur l'inflation.

Compte tenu des paramètres susmentionnés, la modélisation aboutit à un TRI de 7,87% sur les 20 ans de l'accord d'achat d'électricité. Ce taux est assez faible en termes de rentabilité. Si l'on considère que le taux d'intérêt du prêt est de 6% (qui devrait encore augmenter à court terme en raison des conditions macro-économiques défavorables à une expansion de la politique monétaire), le rendement réel de l'investissement solaire serait de 1,87% par an, ce qui est inférieur aux investissements sans risque dans des instruments tels que les bons ou les notes du trésor.

Il est donc clair que cela ne favorise pas un investissement dans les SPER, à moins que de nouvelles conditions soient négociées avec l'acheteur d'électricité (le CEB). En règle générale, dans le contexte mauricien, il est estimé qu'un TRI supérieur à 10% devrait être l'objectif minimum pour un investissement dans un SPER.

Dans l'éventualité où le CEB accepterait d'augmenter son prix d'achat à Rs 4,20 par KWh, la modélisation aboutirait à un TRI de 10,14%, ce qui représente une amélioration modérée de l'attrait de l'investissement dans le solaire PV. Le rendement annuel serait alors de 4,14%, ce qui le rapproche plus ou moins du rendement des instruments sans risque à long terme<sup>3</sup>.



<sup>2</sup>Sur la base des échanges et des données obtenues des banques partenaires et d'entreprises engagées dans ce secteur à Maurice.

<sup>3</sup>Au 16 janvier 2023, le rendement des Bons du Trésor mauriciens à 1 an était à 3.40%, les Bons du Trésor mauriciens à 3 ans était à 4.35% et les Bons du Trésor mauriciens à 20 ans était à 6.49% (source SBM).



# 7. Opérateurs de transports public (BUS)

## 7.1. Énoncé de la problématique

- Déterminer les sources d'informations et de données de qualité concernant les bus électriques pour les besoins de construire un modèle d'ingénierie technique et financière.
- Déterminer la base de comparaison entre un autobus électrique et un autobus diesel (d'une manière qui puisse prendre en compte les besoins spécifiques à chaque opérateur).
- Déterminer les stratégies optimales pour la recharge des BEBs de manière à minimiser les coûts et maintenir les batteries en bon état.
- Déterminer l'endroit géographique optimal pour la recharge des BEBs (recharge au dépôt, recharge d'opportunité (intermédiaire-OC-I ou terminal - OC-T) et déterminer l'infrastructure nécessaire pour chaque option).
- Déterminer les stratégies pour optimiser les investissements nécessaires pour la transition en fonction des limitations techniques dans le contexte actuel à Maurice.
- Déterminer les conditions nécessaires pour bénéficier des tarifs différenciés du CEB pour la recharge des BEBs.

## 7.2. Observations - taux de consommation énergétique

- Le Taux De Consommation Energétique (TCE) des BEBs est hautement spécifique à un parcours donné.
- De nombreux paramètres entrent en jeu pour déterminer le TCE (technologie des autobus, conditions de circulation, altitude du parcours, résistance au vent, températures été/hiver, nombre d'arrêts pendant le trajet, trafic, climatisation, nombre de passagers, etc.).
- Le TCE varie entre 1.0 and 3.5 kWh/km<sup>4</sup>. Dans les faits, il est nécessaire de disposer de données terrains pour des calculs précis.
- En comparaison, un autobus diesel consomme de 20 à 40 litres de diesel pour 100 km<sup>5</sup>.
- Le modèle construit pour les BEBs dans le cadre de cette étude propose une comparaison au cas par cas sur la base des parcours spécifiques des différents trajets bus.



## 7.4. Observations – Optimisation des investissements nécessaires

- Les études existantes montrent que le remplacement des autobus diesel par des BEBs nécessite un facteur de remplacement de 1,2 ou 1,3 BEBs<sup>6</sup>. Cela signifie que pour remplacer 20 autobus diesel, il faudrait 24 ou 26 BEBs.
- La durée de vie de la batterie est différente de celle du châssis de l'autobus. Ceci implique que différents facteurs de dépréciation doivent être appliqués dans le modèle, la durée de vie de la batterie est basée sur la garantie de la batterie fournie par le fabricant (5 à 8 ans) et la durée de vie du châssis est basée sur les données fournies par les fabricants de bus et les usages actuels des entreprises concernées (15 ans).
- La durée de vie de la batterie est considérée comme égale à la durée de garantie de la batterie fournie par les fabricants.
- Une batterie lithium-ion, ou Li-ion, de grande capacité peut accepter une puissance de charge plus élevée qu'une batterie de moindre capacité avec le même niveau de pertes, mais cependant du fait de son

## 7.3. Observations – recharge des BEBs

- Il n'existe pas encore d'infrastructure de recharge publique ni de politique dans ce sens à Maurice : L'investissement privé dans la recharge des dépôts est donc la seule solution potentielle à ce jour, tout en bénéficiant des TEDs du CEB.
- La charge rapide ou super-rapide des batteries est préjudiciable à leurs états de santé (SOH) et, par conséquent, le modèle adopte le principe que la durée (6,63 heures) des TEDs proposée par le CEB doit être maximisée pour la charge de chaque BEB.
- Le modèle construit par l'étude détermine ainsi la capacité du chargeur pour chaque BEB en fonction de la capacité de la batterie du BEB et de la durée optimale de recharge définie par les TEDs.

poids plus élevé, une batterie de grande capacité réduit la capacité de transporter des passagers et ajoute une charge utile passive. A contrario, avec une petite batterie, un BEB demande de disposer sur des infrastructures de recharge d'opportunité rapide ou super-rapide.

- Une petite batterie présente moins de flexibilité pour les opérateurs de bus. Elle est de surcroît plus susceptible de vieillir plus rapidement en raison des besoins intrinsèques de charge rapide, souvent effectués à la limite maximale de sa capacité.
- S'il n'est pas possible d'utiliser la planification horaire des véhicules existants avec les BEBs - en raison des limitations de l'autonomie ou du temps de charge - la question de la programmation de l'usage des véhicules se pose. La programmation doit ainsi être considérée comme un élément central de la conception des systèmes de BEBs et une condition préalable à l'analyse du coût total de possession (TCO).

<sup>4</sup>Vepsäläinen, J.; Ritari, A.; Lajunen, A.; Kivekäs, K.; Tammi, K. Energy Uncertainty Analysis of Electric Buses. Energies 2018, 11, 3267. <https://doi.org/10.3390/en11123267>.

<sup>5</sup>Global Green Growth Institute 2014 + information reçue des bénéficiaires.

<sup>6</sup>Jefferies, D.; Göhlich, D. A Comprehensive TCO Evaluation Method for Electric Bus Systems Based on Discrete-Event Simulation Including Bus Scheduling and Charging Infrastructure Optimisation. World Electr. Veh. J. 2020, 11, 56. <https://doi.org/10.3390/wevj11030056>, Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses (National Renewable Energy Laboratory, 2020)

- Pour un opérateur de bus confronté à une décision d'achat entre plusieurs systèmes de bus électriques, il est souhaitable de déterminer le TCO de chaque système en fonction de ses conditions d'exploitation spécifiques, par exemple les itinéraires et les horaires locaux exacts qui s'appliquent à lui, plutôt que de se baser sur des cas/informations généralisés ou simplifiés qui ne pourront pas refléter de manière adéquate ses besoins.
- Le modèle proposé dans le cadre de cette étude tente de répondre à ces exigences.

7.5. Résultats modélisation bus électrique

Le modèle présenté ci-dessous utilise, à titre d'illustration, les paramètres fournis par la compagnie d'autobus X. Les autres paramètres clés requis sont basés sur:

1) des facteurs économiques et environnementaux clés spécifiques au contexte mauricien et

2) des données secondaires internationales basées sur des recherches et des publications universitaires.

*Note : Afin de protéger les informations confidentielles, certaines données ont été rendues anonymes ou génériques. Cela n'affecte pas les conclusions tirées de l'analyse.*

Bus Electrique	Données
Modèle de bus	Bus Electric Model X
Fabricant d'autobus	Bus Manufacturer X
Durée de vie du bus (années)	15
Longueur du bus (m)	12
Capacité en sièges	50
Capacité du moteur (kW)	200
Prix du bus sans batterie (MUR)	> 4,5 Mn and < 5,0 Mn
Capacité de la batterie (kWh)	250
Durée garantie de la batterie (en années)	5
Prix batterie (MUR)	> 4,5 Mn and < 5,0 Mn
Ratio Efficacité batterie	90%
Consommation moyenne du bus (kWh/km)	1.2
Gare de départ du bus	Point A
Gare d'arrivée du bus	Point B
Longueur du trajet (aller simple) en km	22.5
Nombre d'allers-retours par jour	4
Poids du bus sans passagers (avec les batteries)	

Il est important de noter qu'à la demande de la compagnie de bus X, le nombre de trajets a été réduit de 5 à 4 et l'efficacité de la batterie a été augmentée à 90% au lieu de 85% (qui est le standard actuel) afin de s'assurer qu'un seul bus électrique sera nécessaire dans les calculs pour maintenir une comparaison 1v1 avec un bus diesel équivalent.

Ceci implique que si la compagnie de bus X choisit d'acquérir le modèle ci-dessus, elle devra réfléchir à comment elle pourrait maintenir la programmation de ses véhicules en termes de nombre de trajets à couvrir et, par conséquent, ses niveaux de revenus.

Les données présentées ci-dessus permettent de calculer les données intermédiaires suivantes :

Nombre de remplacements de batteries par bus sur la durée de vie du châssis	2
Kilométrage par jour (km)	180
Consommation quotidienne d'énergie (kWh)	216
Nombre de bus nécessaires (dans l'hypothèse d'un modèle de recharge au dépôt uniquement)	1

Les données relatives au bus diesel utilisé pour la comparaison sont les suivantes :

Bus Diesel	Données
Modèle de bus	Bus Diesel Model X
Fabricant d'autobus	Bus Manufacturer X
Durée de vie du bus (années)	15
Longueur du bus (m)	12
Capacité en sièges	50
Capacité du moteur (BHP)	6700
Prix du bus (MUR)	> 3.8 Mn and < 4.5 Mn
Consommation moyenne de carburant du bus (l/100km)	30
Gare de départ du bus	Point A
Gare d'arrivée du bus	Point B
Longueur du trajet (aller simple) en km	22.5
Nombre d'allers-retours par jour	4
Poids du bus sans passagers	
Carburant utilisé	Diesel

Les autres paramètres clés sont les suivants :

Nombre d'années d'utilisation du véhicule	15 ans
Durée du prêt ou du bail	10
Nombre de jours de service par an	360
Coût du carburant (diesel) (MUR)	40
Code Tarification CEB	271
% recharge effectué pendant les TEDs	100%
Coût de l'électricité par kWh (MUR)	4
Subvention AFD sur le montant du prêt/bail	0%
Ratio d'endettement	80%
Taux d'intérêt bancaire Bus électrique	7.00%
Taux d'intérêt bancaire Bus diesel	7.00%

Sur la base de l'ensemble des données ci-dessus, le modèle calcule le TCO pour les deux types de bus et donne les résultats suivants :

TCO Bus Diesel	Rs18,909,106.14
TCO BEB avec une recharge de 100% sur le réseau électrique	Rs21,615,907.24

Sur la base de l'ensemble des paramètres fournis par la compagnie de bus X, le modèle démontre qu'en fonction des technologies choisies et des conditions économiques actuelles à Maurice, un autobus diesel aurait un coût total de possession **inférieur** à celui d'un autobus électrique équivalent.

Il est donc recommandé que la compagnie d'autobus X s'efforce d'obtenir soit 1) des meilleures technologies et/ou moins onéreuses, soit 2) des aides/subventions supplémentaires pour pouvoir investir de manière rentable dans les BEBs.

Il est donc recommandé que la compagnie d'autobus X s'efforce d'obtenir soit:

- 1) des meilleures technologies et/ou moins onéreuses, soit
- 2) des aides/subventions supplémentaires pour pouvoir investir de manière rentable dans les BEBs.

*Note : les calculs effectués sur la base des paramètres fournis par la compagnie de bus Y indiquent un TCO inférieur pour le bus électrique par rapport à un bus diesel équivalent (la compagnie Y a donc une perspective plus positive de la transition vers les bus électriques).*

Il convient de noter que le prix du diesel est subventionné (le diesel coûte Rs35 ou 40, alors que le prix public est de Rs54,55)<sup>7</sup> pour les opérateurs d'autobus à Maurice.

Ces subventions sont à l'encontre d'une économie à faible émission de carbone et d'une politique d'élimination des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, dans un contexte de transition lente vers les BEBs en raison de l'absence de conditions favorables et de taux d'inflation très élevé, la suppression de ces subventions, sans la mise en place d'autres mesures compensatoires, aurait très probablement un impact négatif sur le coût de la vie des passagers des bus.

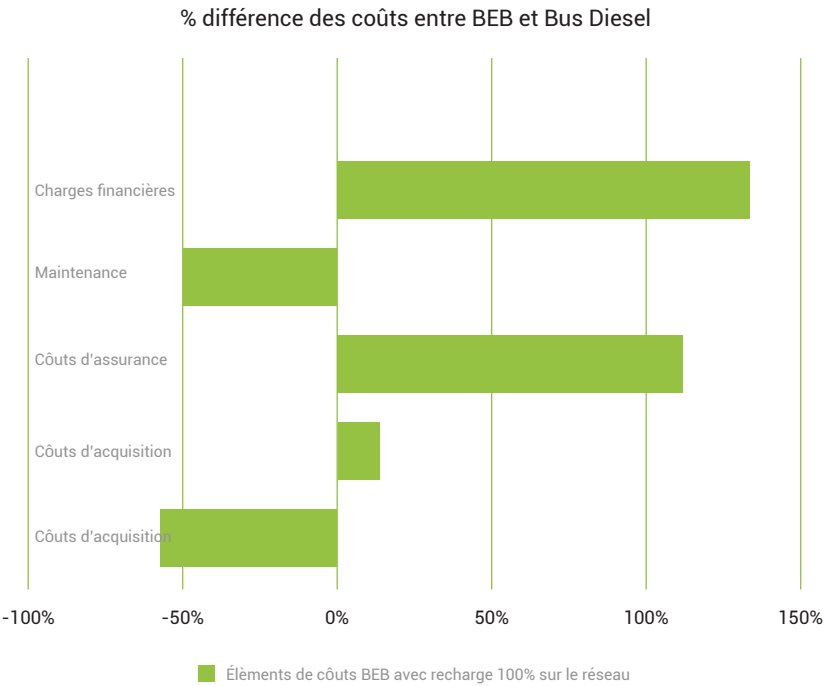
En matière de recommandation, il est jugé important que toutes les parties prenantes procèdent à une analyse approfondie de la situation en tenant compte de toutes les conditions économiques et qu'elles déterminent ensuite la solution optimale pour le système de transport public mauricien. Quelques pistes à considérer sont les suivantes :

- Mise en place d'une stratégie nationale pour une transition plus rapide vers des transports publics sans émissions de gaz à effet de serre.
- Diminution des subventions pour les carburants fossiles sans impact pour autant sur le prix des billets pour les usagers du transport public.
- Augmentation du niveau des subventions pour les BEBs.
- Investissements dans les infrastructures de recharge publiques / subventions pour les infrastructures de recharge privées et les infrastructures électriques annexes.
- Prix d'achat plus élevé pour les opérateurs de bus pour la production d'énergie verte (subventions indirectes).
- Considérer d'autres technologies telles que les systèmes de transport à l'hydrogène vert.
- Dériskage (« derisking ») des investissements.
- Mécanismes de réduction des charges financières.

<sup>7</sup>Source: entreprises participant à étude + information publique.

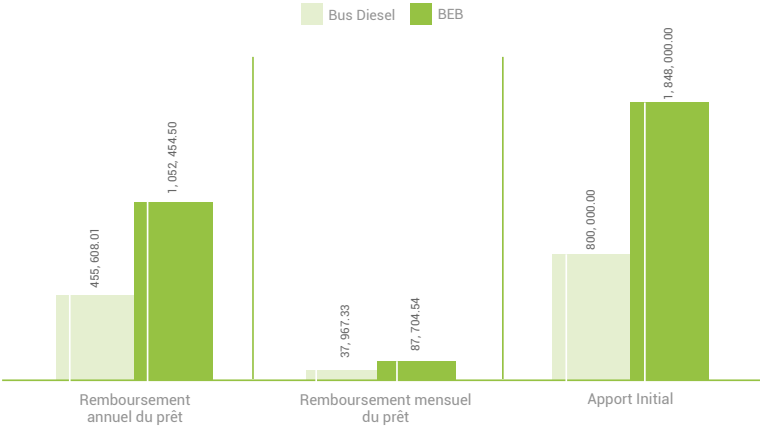
Les informations supplémentaires produites à partir du modèle sous forme de graphiques sont présentées ci-dessous :

Comparaison des coûts par facteur :



À partir de la ligne verticale du 0%, les données à droite signifient que ces facteurs de coûts sont plus chers pour un bus électrique et inversement les données à gauche signifient que ces facteurs de coûts sont moins chers pour un bus électrique.

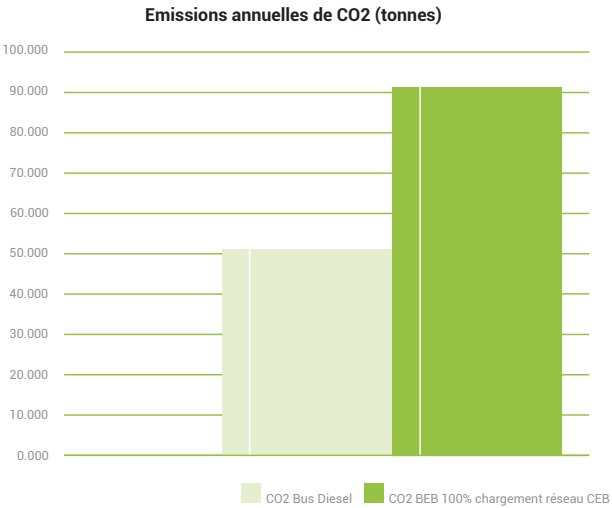
Montant de remboursement des prêts



En raison des coûts initiaux plus élevés, les investissements dans un BEB nécessiteront

- 1) une capacité de remboursement de prêt nettement plus élevée et
- 2) un apport initial plus important de la part des compagnies d'autobus en général.

Emissions de CO<sub>2</sub>



Les informations ci-dessus, calculées à partir des indicateurs environnementaux nationaux actuels, à savoir le facteur d'émission du réseau (0,9543), indiquent qu'un bus électrique qui se recharge sur le réseau du CEB et qui ne compense pas cette consommation d'électricité par un SPER équivalent, émettra plus de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qu'un bus diesel. **Cela ne changera que lorsque le réseau électrique atteindra un pourcentage substantiel de sources d'énergie vertes dans son mix énergétique.**

## 8. Utilisateurs de voitures électriques

### 8.1. Énoncé de la problématique

Il faut déterminer au préalable :

- Qui sera le propriétaire de la voiture ? (entreprise ou employé ou individuel)
- Quel instrument financier sera utilisé pour son acquisition ?
- Qui financera la consommation d'énergie nécessaire pour alimenter les VE ? Par quels moyens ?
- Quand la VE se rechargera-t-elle ? (en nuit ou en jour)
- Où se fera la recharge de la VE ? (au bureau ou à domicile)
- Quelle est la stratégie de l'entreprise pour bénéficier des TEDs proposés par le CEB ?

### 8.2. Scénarios possibles

À partir de l'énoncé ci-dessus, il s'en dégage trois scénarios principaux possibles pour une entreprise souhaitant s'engager dans la transition vers la mobilité électrique :

#### Utilisateur Ultime:

1. Possède la VE (achat ou bail)
2. Paye pour l'énergie de recharge de la VE
3. Paye pour la maintenance
4. Charge sa VE à domicile
5. Reçoit une allocation de son employeur

#### Utilisateur Ultime:

1. Bénéficie de la VE sans la posséder
2. Ne paye pas pour l'énergie de recharge
3. Ne paye pas pour la maintenance
4. Charge sa VE à domicile

**Scénario 1 :** Il s'agit du modèle d'incitations extra-salariaux (primes pour voiture et carburant) largement utilisé par les entreprises mauriciennes pour motiver leur personnel. Le même scénario peut également être utilisé pour un particulier souhaitant acheter sa propre voiture électrique, indépendamment des incitations de l'entreprise.

**Scénario 2 :** C'est un modèle utilisé par les entreprises disposant d'une flotte automobile mise à disposition de leur personnel nécessitant une mobilité professionnelle, tels que les représentants commerciaux.

#### Utilisateur Ultime:

1. Bénéficie de la VE sans la posséder
2. Ne paye pas pour l'énergie de recharge
3. Ne paye pas pour la maintenance
4. Charge sa VE au bureau

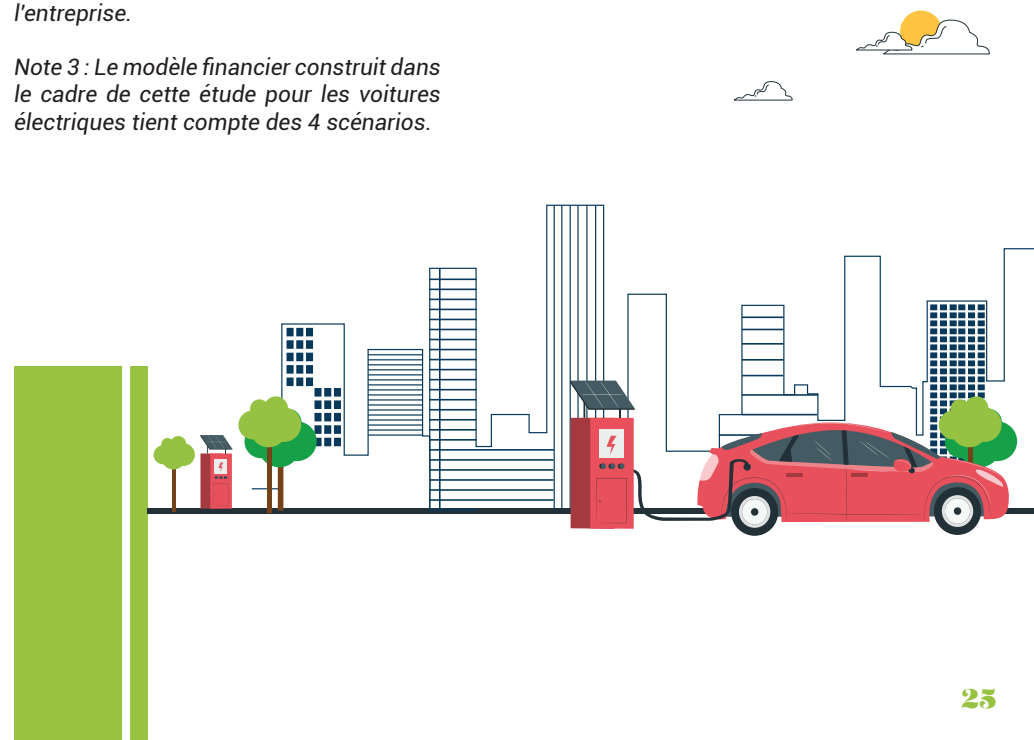
*Note 1 : Tous les scénarios supposent que l'entreprise (ou l'utilisateur final pour le scénario 1) souscrit au programme CEB pertinent (programme VE pour les entreprises ou les particuliers) pour bénéficier des TEDs (réf. section 4)*

*Note 2 : Pour le « Corporate EV Scheme » proposé par le CEB et sur la base des discussions menées avec ce dernier, le CEB offre la possibilité d'installer des compteurs intelligents dédiés à la recharge des VE à n'importe quel endroit géographique souhaité par l'entreprise qui a souscrit au programme, permettant ainsi à ses employés de recharger leur VE d'entreprise à la maison ou au travail selon le scénario choisi (voir ci-dessus). La facturation sera centralisée auprès de l'entreprise.*

*Note 3 : Le modèle financier construit dans le cadre de cette étude pour les voitures électriques tient compte des 4 scénarios.*

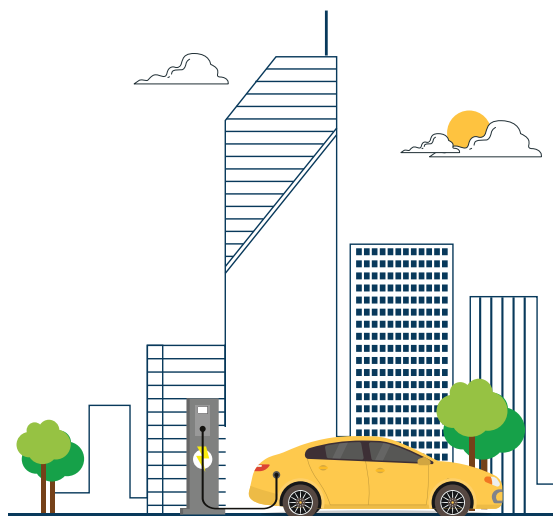
**Scénario 3 :** C'est un modèle utilisé par les entreprises pour fournir des incitations à leurs cadres moyens et supérieurs.

Un 4<sup>ème</sup> scénario est également possible, mixant les scénarios 2 et 3, dans lequel l'entreprise autorise son employé à charger sa VE à la fois à domicile et au bureau.



### 8.3. Observations clés

- Peu de modèles de VE sont actuellement disponibles à Maurice - essentiellement des modèles haut de gamme et le temps d'attente entre la commande et la livraison peut atteindre plusieurs mois.
- En raison de ce qui précède, la migration des flottes d'entreprises (comportant des véhicules de petite ou moyenne taille) n'est pas possible pour le moment.
- Il n'y a pas d'équivalent VE pour les vans « pick-up » (ceux-ci sont très utilisés dans les environnements industriels/agricoles à Maurice).
- Par conséquent, seule la migration de véhicules d'entreprise pour les cadres supérieurs est possible ou, dans certains cas spécifiques, de véhicules utilitaires.
- Les parties prenantes n'insistent pas suffisamment sur le fait que la recharge doit se faire par le biais d'une source d'énergie renouvelable.
- Les prix des voitures électriques ont été jugés trop élevés au niveau local par les entreprises participantes et aussi par le consultant sur la base des données recueillies au cours de l'étude. Certaines de ces raisons sont liées aux conditions du marché international et ne relèvent donc pas de la sphère d'influence des décideurs locaux, tandis que d'autres sont liées aux conditions du marché local et nécessiteront des mesures supplémentaires de la part des décideurs locaux afin d'accélérer la transition vers la ME. Conséquence involontaire et indirecte des prix élevés, les incitations/subventions peuvent ne pas profiter à l'utilisateur final.



- La grille tarifaire du CEB présente, dans certains cas, des incohérences qui vont à l'encontre du but recherché (par exemple, certains tarifs figurant dans la grille sont inférieurs à Rs4 (tarif TED heure creuse), ce qui pourrait encourager les employés à recharger leurs VE directement sur ces sources carbonées à un tarif très bon marché, et à terme, un marché noir pourrait également se développer où l'électricité provenant de ces sources serait vendue à des tiers). Ceci est au détriment de la promotion de l'utilisation d'une source d'énergie verte pour le rechargement des VE. Ce point devrait être corrigé lors de la révision engagée de la grille tarifaire du CEB.

### 8.4. Hypothèses clés

#### Hypothèses générales et financières :

- a. Quatre catégories sont établies dans le modèle construit, à savoir
  - 1) Véhicule à moteur à combustion interne équivalent comparable au VE sous étude
  - 2) VE sans installation de production d'énergie renouvelable (SPER) et donc recharge sur le réseau
  - 3) VE avec un SPER de 10 kW raccordé au réseau et
  - 4) VE avec un SPER de 5 kW raccordé au réseau.
- b. La première période de propriété est fixée entre 6 et 10 ans. Cette durée est jugée raisonnable au regard
  - 1) d'une approche développement durable qui veut qu'on soit modéré dans la consommation des biens et services et
  - 2) de l'amélioration de la qualité des véhicules en général qui font que ces nouveaux véhicules peuvent tenir plus longtemps sans défaut majeur.
- c. Les calculs financiers et/ou de flux de trésorerie sont actualisés avec un taux de 4%. Ce taux reflète le minimum de performance des marchés financiers locaux dans un contexte inflationniste.
- d. Le prix d'achat d'un véhicule utilisant des carburants fossiles comprend les droits d'accises aux taux usuellement applicables à Maurice.
- e. Sur la base des études internationales,
  - 1) la courbe de dépréciation est similaire pour les véhicules thermiques et les VE<sup>8</sup>,
  - 2) les coûts d'assurances sont 1.06 fois plus élevés pour les VE<sup>9</sup>,
  - 3) les coûts de maintenance et des réparations sont calculés en fonction du kilométrage parcouru et sont plus bas dans tous les cas pour les VE par 58% (0 – 80 km par jour), 53% (80 – 160 km par jour) et 46% (160 – 320 km par jour)<sup>10</sup>.
- f. Les coûts d'emprunt sont calculés sur la base d'un taux d'intérêt de 6,5% pour les VE, 6,5% pour les véhicules thermiques et 6,5% pour les SPER. Le montant des emprunts représente en général 80% du prix d'achat des véhicules.
- g. Le kilométrage varie de 20 à 90 km par jour (aller-retour) à Maurice dans la majorité des cas. Le véhicule est utilisé six jours par semaine ou 300 jours par an.
- h. Les coûts d'acquisition (et les charges financières) du SPER sont attribués en proportion à la quantité d'énergie utilisée pour charger le VE par rapport à l'énergie totale générée par le SPER. Les coûts restants sont considérés comme étant attribués à la consommation électrique domestique de l'utilisateur et ne sont donc pas inclus dans le modèle.
- i. Le modèle s'appuie sur les éléments contenus dans les programmes proposés par le CEB (« Home Owner EV scheme » et « Corporate EV scheme ») pour les particuliers et pour les entreprises.
- j. En l'absence d'une infrastructure nationale de recharge des VE (et compte tenu du temps nécessaire à sa mise en place), il est estimé que les propriétaires de VE rechargeront leurs véhicules soit à leur domicile soit au bureau uniquement.
- k. Les technologies actuelles des batteries pour les VE ont une efficacité moyenne de conversion énergétique de 88%, ce qui signifie que 1 kWh d'énergie facturée par le réseau représente 0,88 kWh d'énergie stockée dans la batterie.
- l. Les prix des carburants fossiles tiennent compte des taux d'inflation au fil du temps (source : The Economist Intelligence Unit report on the Mauritian Economy).
- m. La taxe routière utilise les valeurs actuelles publiées par la NLTA sur la base des réglementations publiées à Maurice.

<sup>8</sup>Données publiques disponibles sur Internet

<sup>9</sup>Ibid (Forbes)

<sup>10</sup><https://www.consumerreports.org/hybrids-evs/your-ev-questions-answered-electric-vehicle-faq/#reliable>

[https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV\\_cost\\_2020\\_2030\\_20190401.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV_cost_2020_2030_20190401.pdf)

<https://www.consumerreports.org/car-reliability-owner-satisfaction/consumer-reports-car-reliability-faq/>



Hypothèses techniques :

- a. Le facteur d'émission du réseau électrique est de 0,9543 (source: données officielles mauriciennes). Pour chaque kWh généré, 0,9543 kg de CO<sub>2</sub> est ainsi produit.
- b. La perte de transmission sur le réseau électrique est estimée à 10%. Pour 1 kWh produit, 0,9 kWh atteindra ainsi l'utilisateur final.
- c. Le facteur d'émission de l'essence est estimé à 2,29. Pour chaque litre d'essence consommé, 2,29 kg de CO<sub>2</sub> sont ainsi produits par la voiture thermique. Le facteur d'émission du diesel est estimé à 2,7.
- d. Les indices de consommation de carburant ou d'énergie des véhicules thermiques et des VE ont été pris à partir de sources d'information en ligne fiables et réputées qui fournissent ce type d'information en terme de consommations réelles.
- e. Les calculs ont été effectués par rapport à l'utilisation des véhicules uniquement et n'intègre donc pas les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la fabrication de ces véhicules ou au SPER. En règle générale, la fabrication de VE émet plus de CO<sub>2</sub> que la fabrication de véhicules à moteur thermique.



8.5. Base de données

Deux bases de données ont été construites pour les besoins du modèle :

1. Base de données sur les VEs comprenant les informations et les modèles suivants :

Modèle de voiture	Nissan Leaf ZE1 KIA NIRO EX PACK
Prix de vente	BMW i3 Electric (125kW - 120Ah) Sport Line
Capacité du moteur (kW)	PEUGEOT e-208 PEUGEOT e-2008
Capacité du moteur (BHP)	JAGUAR I-Pace 400
Capacité de la batterie (kWh)	MINI Cooper SE Hatch 3 door Essential Trim
Capacité utilisable de la batterie	MINI Cooper SE Hatch 3 door Yours Trim (BMW i4 edrive40 Gran Coupé Msport)
Consommation moyenne réelle (Wh/km)	BMW i4 M50 Gran Coupé M Equipment
Équivalent consommation essence de la VE (litre/km)	BMW iX3 MSport – Impressive
Autonomie cycle combiné (miles)	BMW iX x40 Sport Interior Design Suite
Autonomie cycle combiné (km)	Renault ZOE E-Tech Electric Hyundai Kona luxury 64
Autonomie réelle (km)	KIA EV6 - 126kW MG E-ZS BYD Minivan T3 -2 seaters



## 2. Base de données de comparaison des véhicules thermiques comprenant les informations et les modèles suivants

Modèle de voiture	Honda Jazz 1.5 Sport KIA SPORTAGE EX AWD 1.6 TGD <i>i</i> BMW 1-series 1.5 Hatchback 118i KIA New RIO EX Pack 1.4 6AT (K1.4 MPI) Toyota Ayga
Prix de vente	Toyota Starlet 1.4 Hatchback Renault CLIO INTENS 1.0 CVTX Turbo MITSUBISHI ECLIPSE CROSS 1.5L CVT GLS Suzuki Swift Dzire GL
Capacité du moteur (kW)	Toyota Corolla      Mitsubishi Outlander PHEV Peugeot Partner Mazda CX3 KS77 Honda Civic Audi A3
Capacité du moteur (BHP)	Mazda CX5 KS76 BMW serie 330i BMW X1 18i Lounge Pack Q3 SUV Plus 1.4 Tsi 6 Auto Mercedes GLA 200 Crossover AMG Jaguar F-Pace Tiguan DSG 1.4T Life
Autonomie cycle combiné (miles)	Audi Q5 BMW X3 20i Lounge Pack Land Rover Evoque P300e S PHEV Audi Q7
Autonomie cycle combiné (km)	Kia Carens 1.5 Manual Nissan NV200 1.6 AT
Cylindrée du véhicule	
Type de carburant	

## 8.6. Résultats modélisation voiture électrique

Des exemples de calculs effectués et des résultats obtenus sont présentés ci-dessous pour une comparaison entre une VE (Kia Niro Ex Pack) et une voiture thermique équivalente (KIA Sportage EX AWD 1.6 TGD*i*).

### Paramètres fondamentaux :

Nombre d'années d'utilisation du véhicule	7 ans
Durée du prêt ou du bail	7
Kilométrage moyen par jour (km)	50
Code Tarification CEB	140
% recharge effectué pendant les TEDs (nuit)	100%
Subvention AFD sur le montant du prêt/bail VE	0%
Subvention AFD sur le montant du prêt/bail PV	0%
Ratio d'endettement	80%
Taux d'intérêt bancaire Voiture Electrique	6.50%
Taux d'intérêt bancaire Voiture Thermique	6.50%
Taux d'intérêt bancaire SPER	6.50%

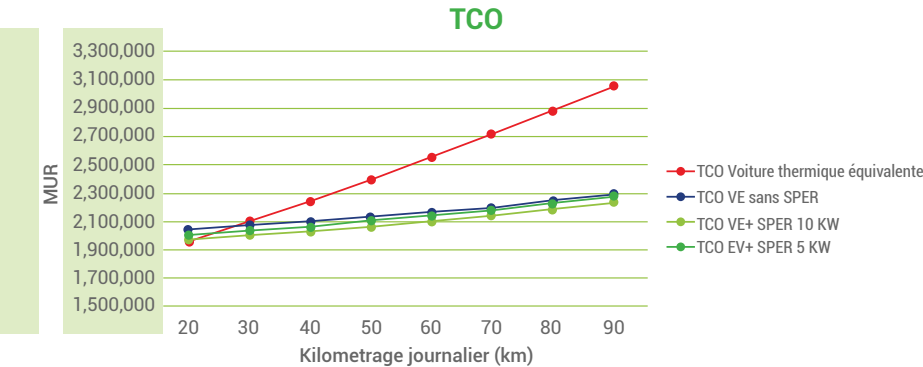
### Calculs TCO :

TCO Voiture thermique équivalente	Rs2,367,574.77
TCO VE sans SPER	Rs2,093,013.98
TCO VE + SPER 10 kW	Rs2,028,167.82
TCO EV + SPER 5 kW	Rs2,068,399.59

Les calculs TCO basés sur la comparaison entre les deux modèles indiqués montre que la Kia Niro (EV) a un TCO inférieur à celui du véhicule thermique équivalent (Kia Sportage). En outre, le calcul démontre également que l'inclusion d'un SPER (10 kW ou 5 kW) réduit le TCO sur la période de possession du VE.

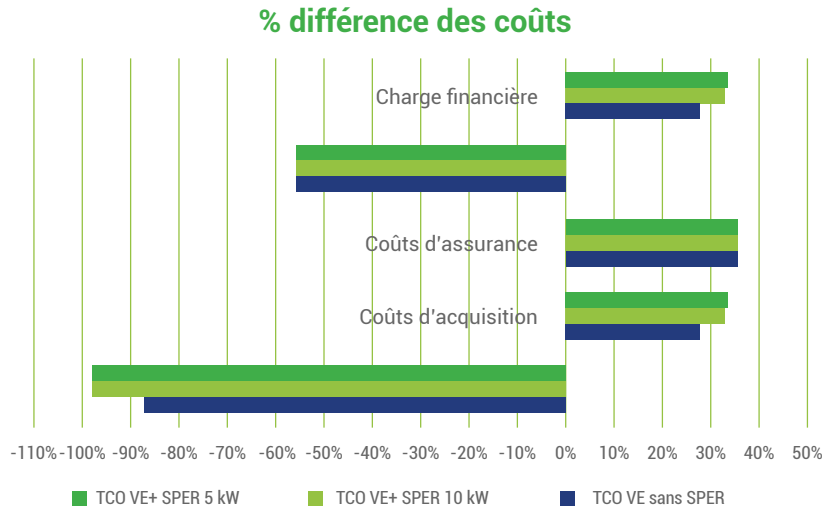
Le tableau et le graphique ci-dessous fournissent des informations détaillées sur le calcul du TCO pour les différentes catégories en fonction du kilométrage :

Kilométrages journalier (km)								
	20	30	40	50	60	70	80	90
TCO Voiture thermique équivalente	1,908,543	2,043,466	2,183,008	2,342,527	2,502,680	2,663,158	2,829,415	3,004,664
TCO VE sans SPER	1,909,816	1,934,256	1,961,005	1,997,743	2,034,798	2,072,016	2,113,711	2,162,493
TCO VE + SPER 10 KW	1,840,188	1,866,222	1,894,565	1,932,897	1,971,546	2,010,357	2,053,646	2,104,023
TCO EV + SPER 5 KW	1,875,504	1,903,176	1,933,158	1,973,129	2,013,416	2,053,866	2,098,794	2,150,809



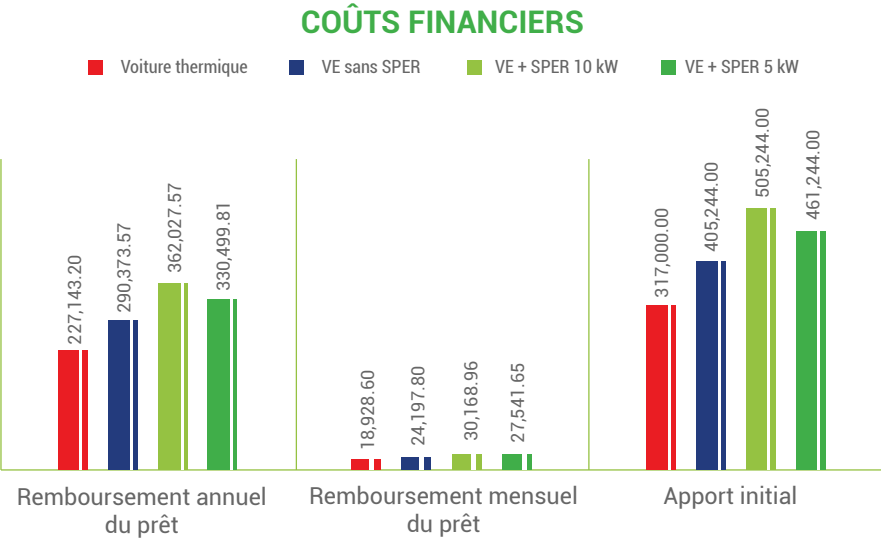
Les informations supplémentaires produites à partir du modèle sous forme de graphiques sont présentées ci-dessous :

Comparaison des coûts par facteur :



À partir de la ligne verticale 0%, les données à droite signifient que ces facteurs de coût sont plus chers pour une voiture électrique et inversement les données à gauche signifient que ces facteurs de coût sont moins chers pour une voiture électrique.

Montant de remboursement des prêts



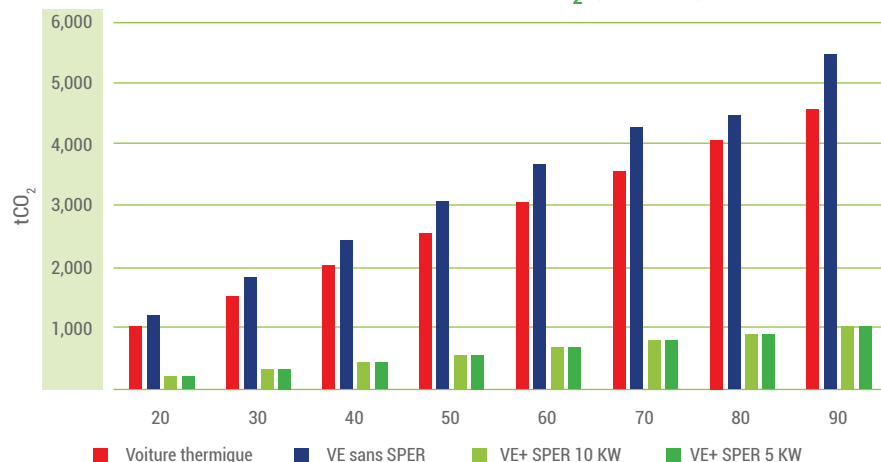
En raison des coûts initiaux plus élevés, les investissements dans une voiture électrique avec ou sans SPER nécessiteront

- 1) une capacité de remboursement du prêt nettement plus élevée (59% supplémentaire dans le cas du VE + 10 KW SPER) et
- 2) un apport initial plus élevé de la part de l'investisseur par rapport à un véhicule thermique équivalent.

Si les entreprises peuvent être à l'aise avec ce type d'investissement, les particuliers peuvent se montrer réticents à l'idée d'investir dans la mobilité électrique verte en étant confronté à des dépenses supplémentaires significatives. En raison des montants concernés, les particuliers peuvent aussi ne pas être éligibles au crédit-bail des institutions financières pour des investissements d'une telle ampleur.

#### Émissions de CO<sub>2</sub>

#### Emissions annuelles de CO<sub>2</sub> (tonnes)



Les informations contenues dans le graphique ci-dessus, qui sont calculées à partir des indicateurs environnementaux nationaux actuels, à savoir un facteur d'émission du réseau électrique mauricien (0.9543), indique qu'une voiture électrique qui se recharge sur le réseau du CEB et qui ne compense pas, au minimum, cette consommation d'électricité par un SPER équivalent, émettra plus de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qu'une voiture thermique équivalente.

**Cela ne changera que lorsque le réseau électrique atteindra un pourcentage substantiel de sources d'énergie vertes dans son mix énergétique.**

## 9. Autres externalités générées

Au-delà des présentations et des connaissances partagées avec les entreprises participantes, les modèles et les informations générés par le consultant ont été utilisés par Business Mauritius pour solliciter respectivement le ministre des Finances, le MEPU, et le CEB afin d'augmenter les prix d'achat de l'électricité verte produite par des producteurs privés en démontrant de manière factuelle la faible rentabilité des investissements solaires PV sur la base des conditions actuelles contenues dans les accords d'achat d'électricité.

À la demande de Business Mauritius, le consultant a aussi rencontré un représentant de l'ADEME (Paul Gilet) travaillant sur le projet « *Projet Rodrigues Ile Verte : Elaboration d'une stratégie visant l'indépendance énergétique de l'île Rodrigues à l'horizon 2050* ». Ce dernier a été informé du travail effectué et des informations clés ont été partagées avec lui en tant que support bénévole.

Le consultant a rencontré des représentants et des chercheurs de l'Université des Mascareignes (Dr. Leckramsingh Latchoomun) et de l'Université de Perpignan (Prof Didier Ausel) qui travaillent également sur des solutions de ME et leur a présenté les résultats de son travail. En outre, le consultant a participé à l'atelier « *Dissemination event of GREEN-CEV research project : a partnership between academia and business in the context of energy transition* » coorganisé par Business Mauritius, HSBC et l'Université des Mascareignes pour présenter son travail.



## 10. Retour de satisfaction des entreprises participantes

Dans l'ensemble, les entreprises participantes ont exprimé leur soutien, leur satisfaction et leur gratitude pour le travail effectué par le consultant (commentaires reçus oralement et par écrit par Business Mauritius).

## 11. Recommandations

### Général

- Une transition plus rapide vers des installations de production d'énergie verte améliorera l'empreinte carbone de l'utilisation des VE à Maurice, étant donné que des plans ambitieux de transition vers des VE sont déjà lancés.
- La densification des zones urbaines nécessitera des politiques rationnelles de gestion de la qualité de l'air, en particulier en ce qui concerne les véhicules à moteur diesel. Les véhicules sans émissions à l'échappement, tels que les VE, contribueront directement à l'amélioration de la qualité de l'air.
- Un écosystème sain doit être développé dès le départ pour l'entretien, le recyclage et l'élimination des batteries afin d'éviter de futures catastrophes écologiques. Une attention particulière devrait être accordée à la définition de normes pour l'importation de technologies de batteries destinées à la ME, dans le but de filtrer à la source les produits de mauvaise qualité qui risquent de générer des déchets inutiles.
- Il est souhaitable que les décideurs politiques examinent et suppriment dans un délai raisonnable les subventions accordées directement ou indirectement aux carburants fossiles et/ou aux technologies qui utilisent ces carburants. Ces subventions vont à l'encontre de la vision du gouvernement pour une transition vers une économie bas-carbone (Vision 2030).
- L'opérateur du réseau électrique (le CEB) devrait rendre obligatoire l'installation de compteurs intelligents pour la recharge des VE. Dans le cadre de pratiques saines de gestion des pics de demande, ces compteurs intelligents devraient pouvoir être gérés à distance afin d'assurer la stabilité du réseau et d'éviter les délestages causés par la recharge des VE à des heures injustifiées.

### VE

- Les utilisateurs de voitures électriques qui installent des systèmes photovoltaïques devraient être facturés de préférence sur la base d'une facturation nette (« net-metering »), ou bien :
- Ceux-ci doivent être encouragés à installer des systèmes hybrides dans lesquels ils pourront stocker en local leur énergie produite à travers une source verte intermittente pour l'utiliser au moment propice. Le CEB n'achètera ainsi que l'énergie excédentaire avec un prix d'achat à minima de Rs4,20.
- Les subventions ou autres avantages, tels que l'exonération des droits d'accises, sont un outil important pour influencer le comportement des clients et orienter la dynamique du marché vers des objectifs stratégiques. En ce qui concerne la ME, les incitations devraient être considérées comme une « additionalité » pour investir dans un VE sur la base d'une décision financièrement saine sur la durée de la période de possession. Ceci est particulièrement vrai pour les utilisateurs de voitures du segment intermédiaire qui sont considérés comme un segment sensible au prix et il est estimé que c'est vers ceux-ci que les incitations gouvernementales devraient être principalement orientées.
- Cependant, l'étude démontre que les prix élevés des VE à Maurice nuisent à l'impact de ces incitations, car pour beaucoup de clients potentiels, ils seraient toujours mieux lotis financièrement en n'investissant pas dans un VE ou finiraient par avoir un coût total de possession plus élevé par rapport à des véhicules utilisant des carburants fossiles comparables, malgré ces incitations gouvernementales.
- Il est donc recommandé que les autorités publiques prennent des mesures pour s'assurer que les subventions/incitations sont canalisées efficacement vers les propriétaires de véhicules de manière à atteindre les objectifs initiaux. Une attention particulière devrait être accordée aux véhicules utilitaires privilégiés par les petits entrepreneurs professionnels et autres PME/PMI pour passer à la mobilité verte.
- Pour éviter l'angoisse de l'autonomie et favoriser l'adoption des VE, le CEB devrait proposer des tarifs compétitifs pour les systèmes de recharge publics. Le tarif actuel de Rs10 par kWh est prohibitif pour les investissements privés dans ce secteur.
- Les subventions ou autres incitations financières ne doivent pas être accordées aux acheteurs de VE qui n'achètent pas et n'installent pas de système PV ou qui ne peuvent pas compenser leur consommation d'énergie par un SPER, car cela va à l'encontre de la politique nationale déclarée de réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Des installations industrielles pour le traitement, l'élimination et le recyclage des batteries devraient être mises en place en vue d'une future augmentation des déchets de batteries générés par la ME.
- L'achat de VE et de systèmes PV par le biais d'instruments financiers liés à l'endettement (prêt, location, bail, etc.) nécessite également un apport initial plus conséquent de la part du propriétaire potentiel. Afin de faciliter et d'encourager ces investissements, des mécanismes d'accompagnement visant à réduire la charge financière pourraient être envisagés, tels que l'autorisation de ratios d'endettement plus élevés ou la mise en place des prêts mezzanine avec des taux d'intérêt plus bas.

## BEB

Les BEBs sont une question plus complexe car elles concernent les transports publics, qui sont eux-mêmes liés à de multiples conditions macroéconomiques. Il est donc nécessaire de trouver une solution bien pensée qui satisfasse les intérêts de toutes les parties prenantes. Il est estimé important que toutes les parties prenantes procèdent à une analyse approfondie de la situation en tenant compte de toutes les conditions économiques et qu'elles déterminent ensuite la solution optimale pour le système de transport public mauricien. Quelques pistes à considérer sont les suivantes :

- Mise en place d'une stratégie nationale pour une transition plus rapide vers des transports publics sans émissions de gaz à effet de serre.
- Diminution des subventions pour les carburants fossiles sans impact pour autant sur le prix des billets pour les usagers du transport public.
- Augmentation du niveau des subventions pour les BEBs.
- Investissements dans les infrastructures de recharge publiques / subventions pour les infrastructures de recharge privées et les infrastructures électriques annexes.
- Prix d'achat plus élevé pour les opérateurs de bus pour la production d'énergie verte (subventions indirectes).
- Considérer d'autres technologies telles que les systèmes de transport à l'hydrogène vert.
- Dériskage (« derisking ») des investissements.
- Mécanismes de réduction des charges financières.





