



**RAPPORT FINAL**  
MISSION D'AIDE A LA DECISION POUR LE

DEVELOPPEMENT D'UN PARC DE VEHICULES  
HYBRIDES OU ELECTRIQUES  
RECHARGES PAR ENERGIE ELECTRIQUE RENOUVELABLE

**Référence de l'affaire** : DEAL-FTES-DORT-2014-001

le 6 janvier 2015

• • •

## Résumé de l'étude

### Rédacteur :

Michel EHRESMANN - mehresmann@ingeko-energies.fr - 06 94 94 38 79  
INGEKO Energies - 7 rue Guisan - 97300 CAYENNE

### Liste de diffusion

| nom                   | entité                 | courriel  |  |
|-----------------------|------------------------|---|--|
| <b>Christian PONT</b> | <b>DEAL /FTES/DORT</b> | <b>christian.pont@developpement-durable.gouv.fr</b> |  |
| André BERGOZ          | DEAL /SG/VM            | andre.bergoz@developpement-durable.gouv.fr          |  |
| Pascal LI-TSOE        | DEAL /RED/PECSV        | pascal.li-tsoe@developpement-durable.gouv.fr        |  |
| Éric VERGNE           | DEAL /LC/CP-BT         | eric.vergne@developpement-durable.gouv.fr           |  |
| Patrick RECHAL        | DEAL /SG/VM            | patrick.rechal@developpement-durable.gouv.fr        |  |
| Richard PETIT         | DAAF /SG               | richard.petit@agriculture.gouv.fr                   |  |
| Jérôme DANCOISNE      | ADEME Guadeloupe       | jerome.dancoisne@ademe.fr                           |  |
| Jean Jacques TERRAM   | Région Guadeloupe      | Jean-jacques.terram@cr-guadeloupe.fr                |  |

### Copie

|                    |                   |  |  |
|--------------------|-------------------|--|--|
| Yann DERACO        | DEAL /FTES        | yann.deraco@developpement-durable.gouv.fr        |  |
| Christian BELLEBON | DEAL /SG          | christian.bellebon@developpement-durable.gouv.fr |  |
| Peio DOURISBOURE   | DEAL /FTES/DORT   | peio.dourisboure@developpement-durable.gouv.fr   |  |
| Frantz MAURICE     | DEAL /FTES/DORT   | frantz.maurice@developpement-durable.gouv.fr     |  |
| Nicolas LAPENNE    | DEAL /RED/RTD     | nicolas.lapenne@developpement-durable.gouv.fr    |  |
| Régine PEGEAULT    | DAAF/SG           | regine.pegeault@agriculture.gouv.fr              |  |
| Céline JULES-SORET | Région Guadeloupe | celine.jules@cr-guadeloupe.fr                    |  |
| Pierre PERROT      | INGEKO Energies   | pperrot@ingeko-energies.fr                       |  |

### Liste des versions

| ref.          | date              | observations                         | rédacteur |
|---------------|-------------------|--------------------------------------|-----------|
| V. 2014.09.26 | 26 septembre 2014 | Rapport intermédiaire n°1 provisoire | ME        |
| V. 2014.10.16 | 16 octobre 2014   | Rapport intermédiaire n°1            | ME        |
| V. 2014.10.31 | 31 octobre 2014   | Rapport intermédiaire n°2 provisoire | ME        |
| V. 2014.11.17 | 17 novembre 2014  | Rapport final                        | ME        |
| V. 2014.12.31 | 6 janvier 2015    | Rapport final corrigé                | ME        |
|               |                   |                                      |           |

## SOMMAIRE

|   |           |
|---|-----------|
| RESUME.....   | 5         |
| INTRODUCTION .....  | 11        |
| <b>I. ETAT DES LIEUX DES PARCS VEHICULES EXISTANTS .....</b>                    | <b>14</b> |
| I.1. Typologies des parcs véhicules .....                                       | 14        |
| I.2. Conditions réelles d'utilisation du parc de la DEAL.....                   | 18        |
| I.3. Utilisation du parc de la DAAF .....                                       | 26        |
| <b>II. ANALYSE COMPARATIVE DES PARCS DEAL ET DAAF .....</b>                     | <b>28</b> |
| II.1. Etat des lieux et performance des véhicules .....                         | 28        |
| II.2. Dépenses annuelles .....  | 29        |
| II.3. Besoins de déplacement.....   | 30        |
| II.4. Synthèse pour les deux parcs véhicules.....                               | 30        |
| <b>III. VEHICULES ELECTRIQUES ET HYBRIDES.....</b>                              | <b>31</b> |
| III.1. Etat des lieux de l'offre en véhicules électriques et hybrides.....      | 31        |
| III.2. Performances dans les conditions réelles d'utilisation.....              | 34        |
| III.3. Modes de recharge .....  | 36        |
| <b>IV. MOBILITE ELECTRIQUE - DEAL ET DAAF .....</b>                             | <b>37</b> |
| IV.1. Hypothèses de construction des scénarios.....                             | 37        |
| IV.2. Scénarios d'introduction des VE et VEHy dans les parcs .....              | 39        |
| IV.3. Evaluation des besoins en énergie.....                                    | 42        |
| IV.4. Impact de la mobilité sur la demande électrique .....                     | 44        |
| IV.5. Simulation de l'état de charge d'un véhicule électrique.....              | 45        |
| IV.6. Accompagnement du changement.....   | 46        |
| <b>V. FAISABILITE D'IMPLANTATION DES SYSTEMES .....</b>                         | <b>48</b> |
| V.1. Identification du gisement solaire .....                                   | 48        |
| V.2. Dimensionnement ordre de grandeur .....                                    | 49        |
| V.3. Faisabilité d'implantation à St Phy.....                                   | 49        |
| V.4. Faisabilité d'implantation à Dothémare .....                               | 52        |
| V.5. Besoin de surfaces techniques.....   | 53        |
| V.6. Règles pour l'installation d'un générateur photovoltaïque en toiture. .... | 54        |
| V.7. Point sur la réglementation sur la recharge des véhicules .....            | 54        |
| <b>VI. CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE .....</b>  | <b>56</b> |
| VI.1. Architecture d'un système photovoltaïque en site isolé .....              | 56        |
| VI.2. Description des équipements .....   | 60        |
| VI.3. Contraintes d'exploitation .....  | 62        |
| VI.4. Une alternative au stockage : l'autoconsommation photovoltaïque .....     | 63        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>VII. EVALUATION ECONOMIQUE.....</b>  | <b>67</b> |
| VII.1. Hypothèses de calcul .....   | 67        |
| VII.2. Valeur à neuf du parc véhicules.....   | 68        |
| VII.3. Dépenses d'investissement.....   | 68        |
| VII.4. Estimation des dépenses annuelles d'exploitation.....                                    | 69        |
| VII.5. Estimation des coûts cumulés.....  | 70        |
| VII.6. Analyse économique détaillée TEC dif.....  | 72        |
| VII.7. Conclusions de l'analyse économique .....  | 75        |
| <b>VIII. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE .....</b>   | <b>76</b> |
| VIII.1. Hypothèses de calcul .....  | 76        |
| VIII.2. Estimation de la réduction de la consommation et des émissions de CO <sub>2</sub> ..... | 76        |
| VIII.3. Evaluation de la recharge sur le réseau électrique .....                                | 78        |
| VIII.4. Autres polluants atmosphériques.....  | 78        |
| VIII.5. Conclusions de l'analyse environnementale.....  | 78        |
| <b>IX. POSSIBILITE D'INTEGRATION A UN "SMART GRID" .....</b>                                    | <b>80</b> |
| IX.1. Un réseau électrique intelligent .....  | 80        |
| IX.2. Fonctionnalités supportées par un réseau intelligent .....                                | 81        |
| IX.3. Intégration des parcs véhicules de la DEAL et de la DAAF.....                             | 82        |
| IX.4. Apports du retour d'expérience des projets en cours .....                                 | 83        |
| IX.5. Les perspectives de développement du réseau intelligent en Guadeloupe .....               | 84        |
| <b>X. CONCLUSION DE L'ETUDE DE FAISABILITE.....</b>   | <b>85</b> |
| X.1. Points forts de l'étude de faisabilité .....   | 85        |
| X.2. Partenaires incontournables du groupe de travail.....                                      | 85        |
| X.3. Synthèse des scénarios de mobilité.....  | 86        |
| X.4. Proposition pour la mise en œuvre .....  | 87        |
| <b>XI. ANNEXES.....</b>   | <b>90</b> |
| XI.1. Liste des sources .....   | 90        |
| XI.2. Table des illustrations .....   | 91        |
| XI.3. Cycle de conduite.....  | 93        |
| XI.4. Données complémentaires pour le parc DEAL .....   | 93        |
| XI.5. Plan d'action national pour le développement des véhicules électriques .....              | 96        |
| XI.6. Détail du calcul de correction de consommation d'un véhicule électrique.....              | 97        |
| XI.7. Scénarios détaillés de mobilité .....   | 98        |
| XI.8. Graphiques complémentaires de l'analyse économique.....                                   | 100       |
| XI.9. Résultats de l'analyse économique TEC dif.....  | 102       |
| XI.10. Graphique complémentaire à l'analyse environnementale .....                              | 105       |
| XI.11. Niveaux de pollution liée aux transports .....   | 105       |

## RESUME

### PHASE 1 : DEFINITION DES BESOINS DE PRODUCTION D'ENERGIE

#### Etat des lieux

##### Compositions des parcs :

**DEAL** : le parc est composé de 73 véhicules, à 60% de motorisation Diesel. Le parc est assez ancien avec un âge moyen de 7 ans, il n'y a pas eu de renouvellement les 3 dernières années

**DAAF** : le parc contient 33 véhicules, essentiellement Diesel. Il comprend 3 véhicules hybrides essence. L'âge moyen est de 4,5 ans.

##### Besoins de déplacement :

La répartition des besoins de déplacement sont très similaires à la DEAL et à la DAAF. Les demandes concernent en grande majorité (65%) les liaisons Basse-Terre / Grande-Terre. Les déplacements urbains sont en faible proportion (10%), excepté à la DEAL de Basse-Terre, conséquence vraisemblable de l'implantation multi-site des services.

##### Utilisation des véhicules :

**DEAL** : en moyenne, une voiture effectue 2,1 sorties par semaine. Ce résultat peut s'expliquer par une immobilisation importante de certains véhicules.

**DAAF** : les véhicules ont une utilisation plus soutenue avec une moyenne de 2,8 sorties par semaine.

Cette différence d'usage est confirmée par un kilométrage annuel moyen nettement supérieur à la DAAF : ~15 000km/an/veh contre ~11 000km/an/veh à la DEAL.

##### Dépenses :

A la DEAL comme à la DAAF, les dépenses de carburant constituent la part la plus importante des frais des parcs véhicules (~60%).

Le reste des dépenses concernent l'entretien à la DEAL et le renouvellement à la DAAF. Il est à noter que les frais d'entretien sont très faibles à la DAAF (<10% du total).

Par véhicule, les dépenses s'élèvent à ~2 400€/an/veh à la DAAF et ~1 800€/an/veh à la DEAL. L'écart s'explique par une utilisation plus intensive (plus de carburant) et la prise en compte du renouvellement des véhicules.

Par contre, le parc de la DAAF est le plus efficace avec un coût global de 15 €/100km contre 17,5 €/100km à la DEAL, tandis que rapporté au nombre de déplacements, le coût moyen est identique à 17€/déplacement.

La comparaison entre les deux modes de gestion montre que l'introduction de la mobilité électrique doit s'accompagner d'une meilleure maîtrise de l'usage des parcs, pour bénéficier pleinement de la mutation des flottes.

#### Véhicules du marché

L'offre des constructeurs automobiles se développe, il existe trois technologies distinctes :

##### **Les Véhicules Electriques (VE)**

se caractérisent par :

- une propulsion exclusivement par un moteur électrique
- un stockage d'énergie dans des batteries embarquées.

**Le véhicule doit être rechargé régulièrement.** Dans le cas d'une recharge sur le réseau, en raison d'une électricité fortement carbonée dans les zones insulaires, les émissions équivalentes de CO<sub>2</sub> seraient très supérieures à un véhicule thermique performant.

La gamme des véhicules électriques est plutôt diversifiée, les prix à l'achat sont raisonnables, auxquels il faut déduire un bonus écologique attractif.

##### **Les Véhicules Hybrides (VEHy)**

ont nécessairement :

- une double motorisation : électrique et thermique
- une chaîne de traction parallèle ou en série
- deux réserves d'énergies : réservoir de carburant et batterie.

**La charge électrique est assurée de manière autonome**, par récupération d'énergie (ex. au freinage) ou par le moteur thermique. La consommation de carburant est globalement inférieure à un véhicule thermique performant.

Les prix à l'achat restent raisonnables, mais le bonus écologique est nettement moins intéressant que pour les VE.

### Les Hybrides Rechargeables (VEHy-R)

se caractérisent par :

- une architecture identique à celle d'un véhicule hybride
- une batterie de capacité augmentée et rechargeable sur le réseau électrique.

La voiture peut fonctionner en mode électrique sur des petits trajets réguliers sans avoir recours au moteur thermique et sans consommer de carburant.

Les véhicules hybrides rechargeables (VEHy-R) sont les nouveaux arrivants sur le marché, la technologie est pour l'instant réservée aux véhicules premium et à des tarifs élevés. Le bonus écologique ne permet pas de compenser l'écart de prix avec les VE et VEHy.

### Scénarios d'introduction des VE et besoins en énergie

Plusieurs scénarios ont été présentés selon une chronologie permettant l'introduction progressive des VE/VEHy dans les parcs avec un objectif final (non daté) de 50%.

Les besoins en énergie découlent de ces scénarios et sont fonction :

- du % de véhicules dans le parc : évolution proposée de 5, 15, 20, 30 et 50%,
- du type de véhicules : un VE génère un besoin maximal alors qu'un VEHy a un impact nul. La demande électrique d'un VEHy\_Rechargeable sera intermédiaire, en fonction de son utilisation.
- du kilométrage effectivement parcouru : un petit trajet entraîne un besoin faible.

On pourra distinguer 2 familles :

- **scénarios intermédiaires** permettant une progressivité du déploiement de la mobilité électrique :

| Scénario DEAL-DAAF                   | 1-A<br>démonstrateur | 2-B<br>Déploiement VE | 2b-B'<br>VE sur trajets courts | 3-B<br>Déploiement VE |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| nb véhicules *<br>VE / VEHy / VEHy_R | 5<br>2/3/0           | 12<br>9/3/0           | 12<br>6/6/0                    | 26<br>23/3/0          |
| Kilométrage électrique               | 1%                   | 6%                    | 3%                             | 17%                   |

- **scénarios "objectif 50%"** permettant de satisfaire les exigences de la circulaire :

| Scénario DEAL-DAAF                   | 4-C<br>50% VE | 5-C<br>VE sur liaisons | 5b-C'<br>Priorité VEHy et R | 5c-C'<br>VE et VEHy |
|--------------------------------------|---------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| nb véhicules *<br>VE / VEHy / VEHy_R | 47<br>44/3/0  | 47<br>44/3/0           | 47<br>8/33/7                | 47<br>32/9/7        |
| Kilométrage électrique               | 43%           | 56%                    | 8%                          | 45%                 |

\* le nombre de véhicules inclus les voitures électriques du personnel : 4 pour le scénario 3-B et 8 pour les scénarios 50%.

### Besoins en énergie

Au global DEAL + DAAF, l'introduction de 50% de véhicules électriques dans le scénario le plus exigeant (5-C) entraînerait une demande supplémentaire en électricité de **115 MWh\_el/an**, équivalente à 12% de la consommation électrique des bâtiments.

Trois autres variantes répondant au même objectif des 50% sont proposées, les besoins en électricité sont réduits :

- utilisation des VE sur trajets courts Sc 4-C : 88 MWh\_el/an
- utilisation préférentielle de VEHy et VEHy\_R Sc 5b-C' : 22 MWh\_el/an
- utilisation préférentielle de VE avec introduction de VEHy\_R Sc 5c-C' : 97 MWh\_el/an

D'une manière générale, la demande d'énergie liée à la mobilité électrique reste limitée.

## PHASE 2 : CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

### Gisement solaire et dimensionnement

Les deux sites -St-Phy et Dothémare- présente un gisement solaire équivalent sans masque significatif. L'ensoleillement de Guadeloupe est minimal en fin d'année avec un risque de plusieurs jours consécutifs sans soleil.

Ces particularités climatiques couplées aux besoins en énergie les plus importants (scénario 5-C) vont imposer les caractéristiques du système de production photovoltaïque autonome :

- inclinaison préférentielle de 30°, avec une orientation Sud,
- taille du champ PV : à St-Phy ~ 50kWc / 300 m<sup>2</sup>, à Dothémare ~ 35kWc / 200 m<sup>2</sup>,
- autonomie du parc batteries de 3 jours : à St-Phy ~ 1200kWh / 60 m<sup>2</sup>, à Dothémare ~ 800kWh / 40 m<sup>2</sup>.

### Implantation préférentielle des équipements

#### Centrale photovoltaïque

Les champs solaires seront de préférences installés en toiture des bâtiments en raison des grandes surfaces disponibles et de la simplicité des systèmes de fixation.

L'alternative en ombrière de parking est nettement plus couteuse et soumise à des risques d'ombrage. De plus, à Dothémare, cette solution n'est pas envisageable en raison de la végétalisation des aires de stationnement.

#### Parc batteries de stockage d'électricité

Le parc batteries doit être installé dans une zone fermée et ventilée pour des raisons de sécurité. A St-Phy, l'implantation pourrait se faire dans l'atelier existant, A Dothémare, il n'y a pas d'emplacement identifié.

#### Locaux techniques électriques

Pour chaque installation de production et stockage, il faut prévoir à proximité immédiate un local fermé et ventilé, d'environ 10 m<sup>2</sup> pour implanter les appareillages électriques tels que les onduleurs et les chargeurs/régulateurs.

#### Bornes de recharge

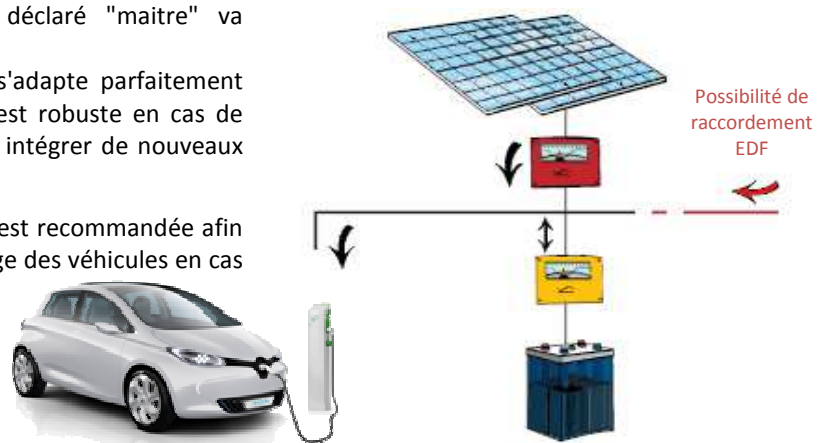
Les bornes sont installées au niveau des aires de stationnement en nombre suffisant pour alimenter tous les véhicules électriques du parc et certaines voitures du personnel.

### Architecture inspirée d'un site isolé

Les éléments de production et de stockage, ainsi que les bornes de recharge sont connectés directement à un mini-réseau de distribution basse tension. Un des onduleurs/chargeurs déclaré "maitre" va superviser le fonctionnement du système.

Les éléments étant indépendants, le système s'adapte parfaitement aux contraintes d'implantation sur les sites. Il est robuste en cas de panne et permet l'évolutivité, notamment pour intégrer de nouveaux besoins.

Une possibilité de raccordement au réseau EDF est recommandée afin de sécuriser l'alimentation des bornes de recharge des véhicules en cas de disfonctionnement du système autonome.



### Contraintes d'exploitation

Un système solaire autonome est relativement peu exigeant et fonctionne sans intervention humaine. Les contraintes d'exploitation se limitent à des opérations annuelles de nettoyage et de vérifications électriques.

Les modules photovoltaïques ont une durée de vie garantie de 25ans, mais les batteries et les onduleurs sont à renouveler tous les 10 ans.

Une formation des agents est à prévoir selon leur future fonction : usager, technicien d'entretien, superviseur.

## Alternative : fonctionnement en autoconsommation photovoltaïque, sans stockage

Le stockage est l'élément le plus contraignant et le plus coûteux (cf. analyse économique), mais il n'apporte aucune fonctionnalité supplémentaire à l'utilisateur de la mobilité électrique.

Par ailleurs, un système autonome séparé du réseau électrique empêche par construction toute mutualisation des ressources avec d'autres usages, notamment pour valoriser un excédent de production.

### Le principe de fonctionnement sans stockage s'appuie sur un partage de l'énergie avec le bâtiment

1. L'énergie pour la mobilité électrique est produite par un générateur photovoltaïque dimensionné pour couvrir la totalité des besoins annuels : elle est donc issue d'une source renouvelable et décarbonée.
2. L'énergie n'est pas stockée, mais cédée directement au bâtiment, sans passer par le réseau EDF. Elle est instantanément consommée pour les différents usages électriques.
3. Selon ses besoins du parc véhicules, le bâtiment restitue l'électricité reçue du générateur photovoltaïque.
4. Le réseau EDF sécurise l'approvisionnement d'énergie, en cas d'ensoleillement ponctuellement insuffisant ou en cas de problème technique.

### Impact du système en autoconsommation sur le réseau :

Les besoins pour la mobilité sont très faibles en regard de la consommation du bâtiment. La production photovoltaïque n'aura qu'un impact indirect limité sur le réseau, d'autant qu'une partie de l'énergie sera directement injectée dans les véhicules en charge.

La centrale photovoltaïque installée sur le bâtiment joue le rôle d'un économiseur d'énergie et a pour effet de réduire la puissance électrique soutirée au réseau.

### Un mix électrique guadeloupéen décarboné à terme :

La Guadeloupe envisage un système de production électrique à 10% EnR à terme. Dans cette situation future, la mobilité électrique avec une recharge sur le réseau sera totalement satisfaisante sur le plan environnemental.

## Règles pour l'installation d'un générateur photovoltaïque

Bien qu'installée sur un bâtiment privé pour des usages propres, la construction de la centrale photovoltaïque est soumise à déclaration préalable et à l'accord du propriétaire (ou co-propriété).

La réalisation doit également être faite dans les règles de l'art et satisfaire les normes électriques et de découplage.

Par ailleurs, il est recommandé d'informer EDF SEI du projet, l'installation en autoconsommation pourra faire l'objet d'une convention.

## PHASE 3 : ÉTUDE DE FAISABILITE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

### Analyse économique

L'analyse économique a été menée en comparaison à une situation tendancielle de référence qui consiste à une non application de la circulaire, soit un renouvellement des parcs avec des véhicules thermiques.

Par ailleurs, la source d'alimentation électrique ayant un impact important sur les coûts d'investissement et d'exploitation, trois variantes ont été introduites : 1. système photovoltaïque autonome, 2. système photovoltaïque sans stockage, 3. recharge sur le réseau EDF.

#### Dépenses d'investissement

Les investissements sont directement liés à la demande en électricité : ils s'échelonnent de 20k€ pour le scénario démonstrateur à près d'1M€ pour le scénario 5-C qui prévoit une utilisation intensive de véhicules électriques.

A l'objectif "50%", le scénario 5b-C' faisant appel à des véhicules hybrides nécessite le plus faible investissement (205k€).

Il est à noter que près des 2/3 de l'investissement concerne le parc batteries.

#### Dépenses d'exploitation

L'analyse montre que les dépenses totales d'exploitation sont très proches quel que soit le scénario de mobilité intermédiaire ou objectif, de l'ordre de 285k€/an. En effet, les économies de carburant obtenues par les véhicules électriques sont compensées par les charges liées au renouvellement des véhicules et des batteries.

Les dépenses les plus faibles sont obtenues avec des véhicules thermiques (~270k€/an). En conséquence, une mobilité électrique ou hybride alimentée par une centrale photovoltaïque avec stockage ne permet pas de réduire les coûts d'exploitation.



### Coût global actualisé (CGA)

La référence "renouvellement thermique" affiche un CGA de 0,265 €/km.

- dans le cas d'un système photovoltaïque autonome, le CGA est **toujours plus élevé**, conséquence logique du coût élevé des parcs batteries.
- une réduction du CGA est obtenue avec un **système photovoltaïque sans stockage et des véhicules électriques**. Les véhicules hybrides restent plus chers à l'utilisation.

Par ailleurs, l'analyse montre qu'un système de production photovoltaïque n'augmente pas le coût global de la mobilité électrique : des résultats identiques sont obtenus avec un soutirage sur le réseau EDF.

### Temps de retour brut (TRB)

Des temps de retour raisonnables (<10ans) sont obtenus avec un système photovoltaïque sans stockage et des véhicules électriques. Le TRB est d'autant plus faible que si l'utilisation des véhicules électrique est importante (scénario 5-C). L'utilisation préférentielle des hybrides n'est pas rentable, car ces véhicules sont plus chers à l'achat, notamment les hybrides rechargeables, et ne permettent pas une économie de carburant suffisante.

Il est à noter que la recharge simple sur le réseau EDF sans production d'électricité d'origine renouvelable offre un temps de retour plus court, grâce à un investissement réduit.

### Conclusions de l'analyse économique

- la mobilité électrique et hybride appuyée sur un système autonome de production **PV avec stockage n'a pas d'intérêt** économique.
- une rentabilité économique satisfaisante est obtenue avec un **kilométrage en mode électrique suffisant** (>30% du kilométrage total). Les véhicules hybrides n'ont de ce fait qu'un faible intérêt économique. Ils permettent cependant de garantir une sécurité au niveau de l'approvisionnement énergétique en ayant un parc diversifié au niveau des sources d'énergie.
- les véhicules hybrides rechargeables, en raison de leur prix élevé, ne présentent pas une rentabilité satisfaisante. Ils pourraient, par contre, être utilisés comme « vitrine d'expérimentation environnementale », tout en étant réservés aux véhicules de fonction des directeurs, par exemple.
- la mobilité électrique appuyée sur un système de production **PV sans stockage présente une rentabilité intéressante**, même si elle reste inférieure à une recharge sur le réseau.

### Analyse environnementale

Les performances sont directement liées au kilométrage parcouru en mode électrique : la réduction de la consommation de carburant entraîne une réduction proportionnelle des émissions de CO<sub>2</sub>, la recharge avec une source d'énergie renouvelable ayant un impact nul.

Dans le cas d'une recharge sur le réseau sans production d'origine renouvelable, la situation actuelle ne serait pas dégradée malgré le facteur carbone élevé de l'électricité. Cependant, dans ces conditions, la mobilité électrique resterait moins performante que les véhicules thermiques modernes et ne répondrait pas aux enjeux environnementaux.

Les meilleurs résultats nécessitent, à la fois une part de mobilité électrique élevée et la production d'électricité d'origine renouvelable.

### Conclusions de l'analyse environnementale

- toute introduction d'une **mobilité électrique ou hybride aura un impact positif** (même le scénario démonstrateur).
- les **véhicules électriques permettent une réduction de CO<sub>2</sub> la plus importante** (>40% et 60teCO<sub>2</sub>/an) et sont sur le plan environnemental nettement plus performants que les hybrides.
- une **recharge sur le réseau électrique peut être envisagée ponctuellement** et pour des besoins en énergie limités. (par exemple, pour des hybrides rechargeables utilisés en anticipation de l'installation d'une centrale de production d'électricité d'origine renouvelable.

## PHASE 4 : POSSIBILITE D'INTEGRATION A UN RESEAU INTELLIGENT

---

### Un réseau électrique intelligent

#### L'évolution nécessaire du réseau électrique vers un réseau intelligent

L'organisation actuelle "à sens unique" du système électrique est obsolète. Une évolution profonde est nécessaire pour permettre le développement des énergies renouvelables décentralisées et intermittentes, ainsi que l'intégration des nouveaux usages électriques, dont la mobilité.

Le futur réseau de distribution d'électricité sera "intelligent", c'est-à-dire qu'il utilisera des technologies informatiques pour optimiser en temps réel l'efficacité de la production, de la distribution et de la consommation.

#### Des fonctionnalités de complexité graduelle

Les fonctionnalités envisageables sur un réseau intelligent sont multiples, certaines sont déjà déployées à titre expérimental dans le projet Millener d'EDF SEI, comme le délestage piloté de consommateurs et le lissage d'une production intermittente.

Dans l'avenir proche, il sera possible de piloter une production d'énergie renouvelable intermittente et de moduler la recharge de véhicules électriques.

#### Un réseau à imaginer

A l'heure actuelle, le réseau électrique de Guadeloupe n'a pas encore démarré sa transition. **Un groupe de travail composé des collectivités locales, de l'Etat, d'EDF et des acteurs de l'énergie devrait être créé sans délai pour initier la réflexion** sur le sujet et définir les spécificités techniques.

### Intégration de la mobilité électrique de la DEAL et de la DAAF

Le système de production photovoltaïque, le stockage et les véhicules électriques des parcs DEAL et DAAF peut être intégré dès maintenant dans le réseau électrique et constituer **ses premiers éléments intelligents**.

Avec les moyens techniques existants, il serait possible de :

- mesurer la production et la consommation de tous les usages sur chacun des sites,
- connaître l'état de charge des véhicules,
- gérer la production photovoltaïque et affecter l'énergie selon des priorités,
- asservir la consommation (recharge véhicules, bâtiments) à la production.

Avec un développement logiciel, il sera possible de prédire la production et la consommation et de déterminer la meilleure stratégie d'utilisation des ressources. Ce point rejoint et complète la réflexion sur une meilleure maîtrise des mobilités, évoquée dans la partie 1.

### Apports du retour d'expérience des projets en cours

De nombreux projets expérimentaux sont en cours sur d'autres territoires. Un retour d'expérience serait profitable tant pour le choix des équipements de recharge, l'impact de la mobilité électrique et la définition du réseau intelligent Guadeloupéen.

## X.4. Proposition pour la mise en œuvre

La mobilité électrique au sein des parcs de la DEAL et de la DAAF constitue un objectif ambitieux mais tout à fait atteignable. La présente étude a démontré la faisabilité environnementale et économique d'une solution adaptée au contexte guadeloupéen et qui respecte les orientations du Gouvernement en matière de mobilité des parcs de l'Etat.

La mise œuvre du scénario "Objectif 50%" retenu se fera nécessairement d'une manière progressive sur plusieurs années. Les actions à mener concernent autant la concertation avec les partenaires, le développement des connaissances que la réalisation technique proprement dite dont il faudra choisir avec soin la date de déploiement.

### X.4.1. Phasage du projet de mobilité EnR des services DEAL et DAAF

Les étapes successives peuvent être définies de la manière suivante :

#### A. CONTEXTE INSULAIRE

A-1. **Mise en place d'un groupe de travail** : la mobilité électrique dépasse le cadre strict des besoins des services DEAL et DAAF. Il est nécessaire d'initier une réflexion et une concertation au niveau local entre les partenaires de l'énergie : Etat, Région, Département, EDF et les acteurs de l'énergie.

Ce groupe de travail aura pour mission le partage des connaissances, l'élaboration du cadre technique du réseau intelligent, l'augmentation de la pénétration des énergies renouvelables, le développement et l'accompagnement de projets expérimentaux et la définition d'une stratégie de déploiement d'un réseau d'Infrastructures de Recharges de Véhicules Électriques (IRVE) en vue du développement de la mobilité électrique.

A-2. **Retour d'expérience des projets en cours et du plan de déplacement de la DEAL** : la mobilité électrique et les réseaux intelligents font l'objet de plusieurs expérimentations actuellement en cours dont les conclusions seraient utiles pour définir les aspects techniques du projet DEAL/DAAF. Par ailleurs, le plan de déplacement de la DEAL permettra de consolider les hypothèses d'évolution des parcs véhicules.

#### B. MOBILITE DES SERVICES DEAL ET DAAF

B-1. **Mise en projet de la mobilité DEAL / DAAF Guadeloupe** : il s'agit de finaliser la définition technique, de consolider le volet financier et de définir le cadencement des étapes de réalisation selon les capacités financières.

B-2. **Réalisation d'un démonstrateur** pour lancer concrètement la mobilité électrique : le scénario proposé implique l'achat de deux véhicules électriques et l'installation clé-en-main d'une ombrière photovoltaïque équipée de bornes de recharge. Ce démonstrateur a pour objet l'appropriation de la mobilité électrique par les usagers et la validation technique du projet. Ce sera également un excellent support de communication interne et externe.

Un budget de 20 à 25 k€ est à prévoir pour l'ombrière PV auquel s'ajoutent ~45k€ pour l'achat des véhicules.

B-3. **Retour d'expérience du démonstrateur** : les informations collectées lors de l'expérimentation permettront de consolider ou de faire évoluer le projet, puis de décider de la suite de l'engagement (jalon Go / No Go).

B-4. **Réalisation de la centrale photovoltaïque** : le générateur dimensionné pour la totalité des besoins de la mobilité du site est réalisé en une seule fois. La production sera dans un premier temps autoconsommée par le bâtiment et **générera des économies de dépenses d'électricité**.

B-4.1. Création du générateur photovoltaïque à St-Phy pour budget prévisionnel de ~70 k€.

B-4.2. Création du générateur photovoltaïque à Dothémare pour budget prévisionnel de ~50 k€.

B-5. **Déploiement des véhicules électriques et hybrides \*** : achat des véhicules et installation des bornes de recharge selon le scénario 2-B ou la variante 2b-B'. Il est à noter que l'acquisition de VE-Hy ou de VE-HY-R peut se faire indépendamment de la mise en service de la centrale PV.

Budget prévisionnel pour les bornes de recharge : St Phy ~ 20 k€.

B-6. **Suite du déploiement des véhicules électriques et hybrides \*** : selon le scénario 3-B ou une variante, en fonction des possibilités financières de renouvellement de véhicules. L'installation des bornes de recharges se fait selon le nombre de VE et VEHy\_R des parcs.

Budget prévisionnel pour les bornes de recharge : St Phy ~ 25 k€, Dothémare ~25k€.

**Fin du déploiement des véhicules et atteinte de l'objectif de mobilité \*** : selon le scénario 4-C ou la variante 5c-C'. Budget prévisionnel pour les bornes de recharge : St Phy ~ 20 k€, Dothémare ~20k€.

(\* les réalisations sur les sites de St-Phy et Dothémare peuvent être déphasées pour limiter l'engagement annuel des investissements)

### X.4.2. Représentation graphique de l'échéancier de mise en œuvre

#### X.4.2.a. Répartition par site

La priorité d'équipement est donnée au site de St-Phy où pourra être installé le démonstrateur.

La construction des générateurs photovoltaïques intervient aux étapes B-4.1 et B-4.2 après validation technique et la consolidation des aspects financiers.

Le déploiement des bornes de recharge est proposé progressif (B-5 à B-7) en phase avec l'acquisition des véhicules électriques pour permettre un étalement des investissements. Cependant, l'opération pourrait s'effectuer en une seule fois sur chaque site pour simplifier les travaux.

Le budget prévisionnel d'investissement pour l'équipement est estimé à :

- St-Phy : ~150k€ (démonstrateur : 20k€ - PV: 70k€ - bornes recharge : 60k€).
- Dothémare : ~95 k€ (PV : 50 k€ - bornes recharge : 45k€).

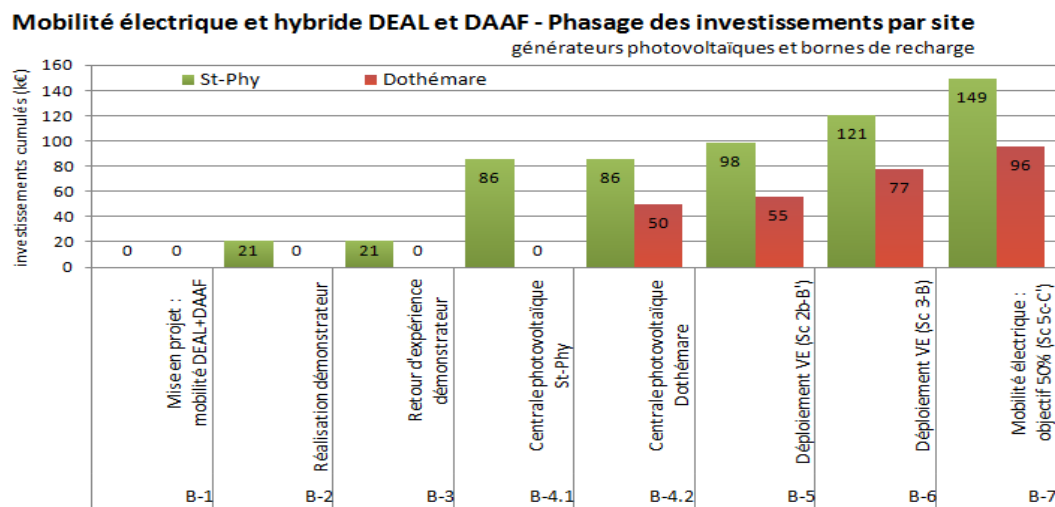


Figure X.1 : Phasage des investissements par site (hors véhicules)

#### X.4.2.b. Décomposition par type d'équipement

Pour réaliser le projet de mobilité électrique des services DEAL et DAAF (cas du scénario mixte électrique/hybride, 5c-C'), il faut prévoir les investissements suivants :

- construction des générateurs photovoltaïques : ~ 135k€ (y compris démonstrateur)
- création des infrastructures de recharge : ~ 110k€
- acquisition des véhicules électriques et hybrides : ~ 880k€

#### Mobilité électrique et hybride DEAL et DAAF - Phasage des investissements par type

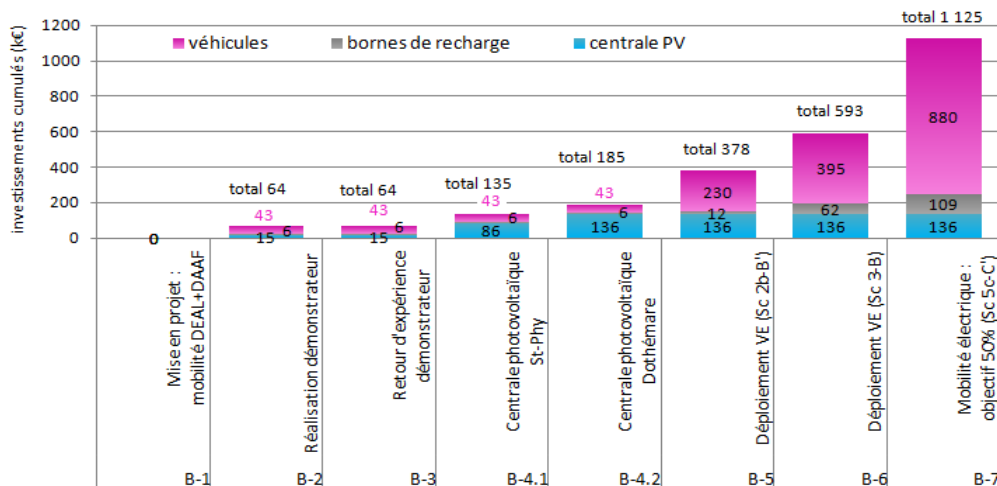


Figure X.2 : Phasage des Investissements par type