



**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

• • •

### 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 aux 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 CO2 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 démonstrateur	2-B Déploiement VE	2b-B' VE sur trajets courts	3-B Déploiement VE
nb véhicules * VE / VEHy / VEHy_R	5 2/3/0	12 9/3/0	12 6/6/0	26 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 50% VE	5-C VE sur liaisons	5b-C' Priorité VEHy et R	5c-C' VE et VEHy
nb véhicules * VE / VEHy / VEHy_R	47 44/3/0	47 44/3/0	47 8/33/7	47 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<sub>el</sub>/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<sub>el</sub>/an
- utilisation préférentielle de VEHy et VEHy\_R Sc 5b-C' : 22 MWh<sub>el</sub>/an
- utilisation préférentielle de VE avec introduction de VEHy\_R Sc 5c-C' : 97 MWh<sub>el</sub>/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

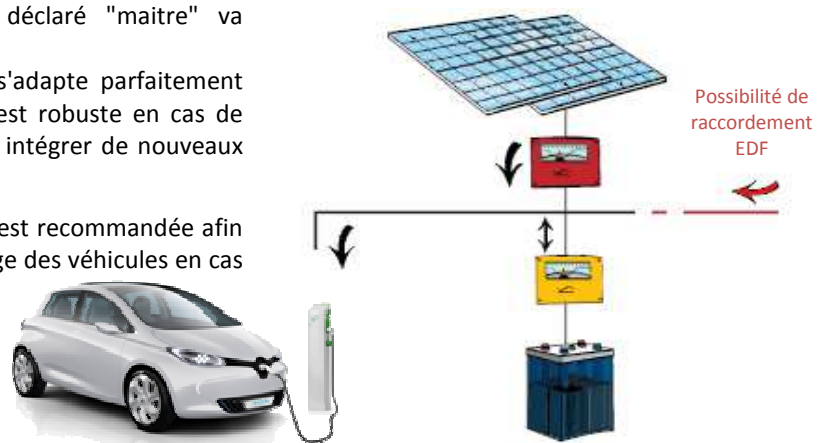
Les bornes sont installées au niveau des aires de stationnement en nombre suffisant pour alimenter tous les véhicules électriques du parc et certaines voitures du personnel.

### 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.

## INTRODUCTION

### Finalité de l'étude

La présente étude de faisabilité a pour objet de dimensionner un système de production à Energie Renouvelable destinée à alimenter le futur parc de véhicules électriques ou hybrides rechargeables des services de la DEAL et de la DAAF de la Guadeloupe.

Les contraintes à satisfaire sont :

- le respect de la directive ministérielle : remplacement de 50% des parcs,
- l'optimisation des dépenses liées aux déplacements professionnels obtenue par la réduction de la consommation de carburant,
- la réduction de l'impact environnemental tant sur les émissions de polluants et que de GES.

### Objectifs de la Phase 1 : Définition des besoins de production d'énergie

La première étape consiste en un état des lieux des parcs véhicules actuels, des besoins de déplacement et des consommations énergétiques.

Cette connaissance permettra d'élaborer plusieurs scénarios d'évolution des parcs et de déterminer les besoins en énergies pour satisfaire la demande de la mobilité électrique ou hybride.

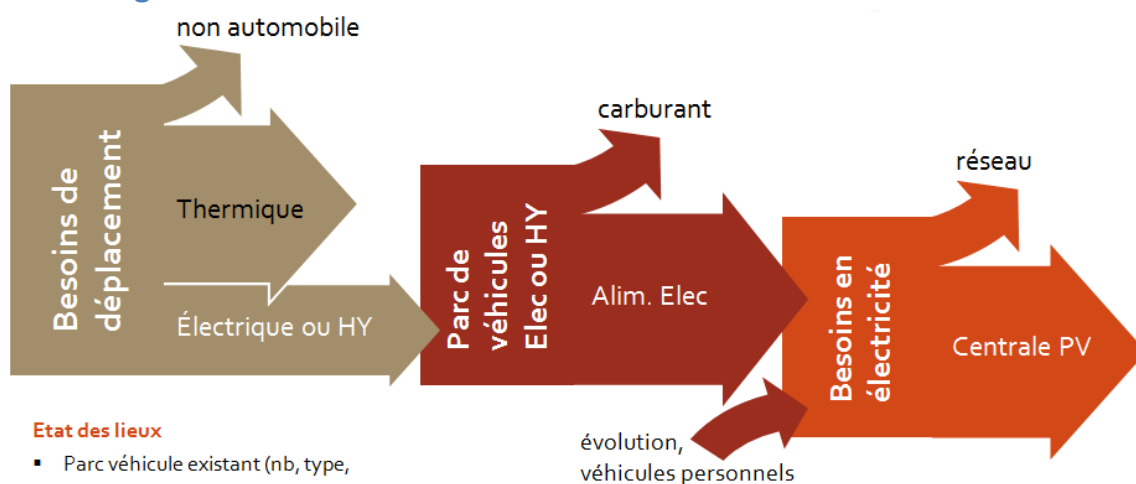
Phase1.1 : Besoins de mobilité

- évaluation qualitative et quantitative des usages ;
- prise en compte des contraintes liées à l'usage de véhicules électriques : l'impact du relief, de l'autonomie des batteries, des contraintes horaires d'utilisation et de charge ;

Phase1.1 : Dimensionnement du parc de véhicules futur :

- identification des usages compatibles avec des véhicules électriques ou hybrides ;
- définition des parcs véhicules en fonction des évolutions des besoins et de l'application de la circulaire de décembre 2012 ;
- évaluation du parc supplémentaire appartenant aux agents ou visiteurs
- élaboration de scénarios selon les types de véhicules électriques ou hybrides envisagés (en qualité et quantité) pour évaluer les stratégies de renouvellement des parcs d'une analyse.

### Méthodologie



#### État des lieux

- Parc véhicule existant (nb, type, énergie...)
- Type de déplacements (fréquence, durée, distances...)
- Consommations et dépenses
- Modes de fonctionnement
- etc

#### Prospective et feed-back utilisateurs

- Adéquation véhicules/déplacements
- Acceptabilité
- Trajets domicile/travail

#### Besoins de production et Dimensionnement PV

- Energie et puissance horaire
- Champ PV, stockage
- Complément réseau

## Objectifs de la Phase 2 : Caractéristiques de la centrale photovoltaïque

Cette deuxième étape a pour objet la définition du système photovoltaïque qui permettra de satisfaire les besoins en énergie du parc véhicules.

Phase 2.1 : Impacts liés au site - aspects environnementaux et réglementaires

- Identification du gisement solaire de Guadeloupe en tenant compte des masques sur chaque site ;
- Etude de sites et d'implantation : caractéristiques physiques du terrain, projet de reconstruction, impact de la mise en place de nouvelles infrastructures ;

Phase 2.2 : Descriptif de la centrale photovoltaïque et des installations de stockage

- Descriptif technique : modules PV, supports, onduleurs, réseau électrique, stockage d'électricité; bornes de rechargement des véhicules ;
- Evaluation de la production, diagramme des pertes, productibilité du champ ;

Phase 2.3 : Contraintes de maintenance et de suivi des installations

- Monitoring et suivi des installations ;
- Identification des opérations de maintenance préventive nécessaire et leur périodicité ;
- Proposition d'un plan de formation des personnels.

## Objectifs de la Phase 3 : Etude de faisabilité économique et environnementale

Il s'agit d'évaluer les différents scénarios élaborés en phase 1 selon des critères de rentabilité économique et de vérifier que leurs performances environnementales répondent aux enjeux de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants atmosphériques.

Phase 3.1 Rentabilité économique

- Surcoût à l'investissement imposé par l'usage du photovoltaïque et d'un parc batterie ;
- Coût global et temps de retour liés aux économies réalisées.

Phase 3.2 Évaluation environnementale

- Estimation des gains énergétiques liés à l'utilisation de véhicules électriques ou hybrides ;
- Estimation des gains CO<sub>2</sub> et autres polluants (NO<sub>x</sub> et particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>).

## Objectifs de la Phase 4 : Possibilité d'intégration à un « smart grid »

Cette dernière phase présente les possibilités d'interconnexion de la centrale photovoltaïque avec le réseau électrique Guadeloupéen et formule une proposition pour le déploiement d'un réseau d'infrastructures de charge pour les véhicules électriques :

- Définition d'un réseau intelligent, intérêt pour les énergies renouvelables et la mobilité ;
- Différentes fonctionnalités, contraintes actuelles du réseau et besoin de développement.

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

---

# I. ETAT DES LIEUX DES PARCS VEHICULES EXISTANTS

## I.1. Typologies des parcs véhicules

### I.1.1. Parc de la DEAL

DONNEES SOURCES : LISTE DES VEHICULES DE LA DEAL



#### I.1.1.a. Nombre et énergie

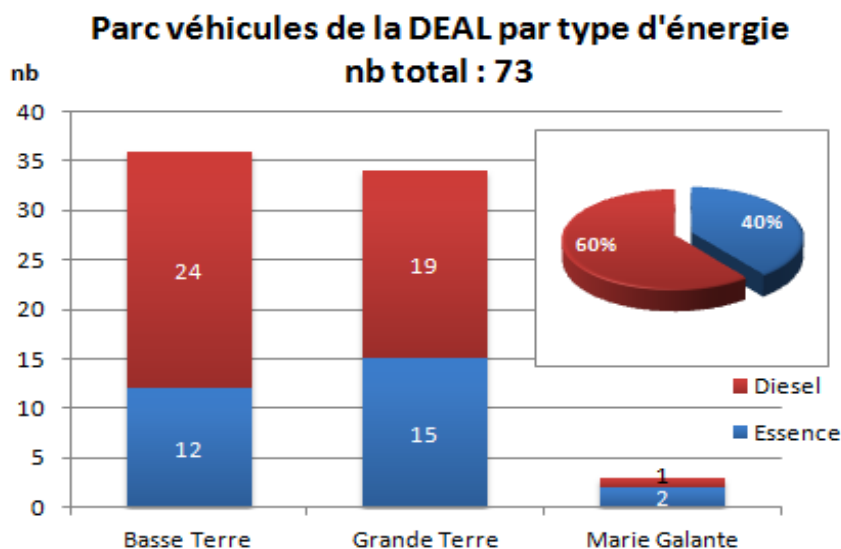


Figure I.1 : DEAL - répartition du parc véhicules par site et par énergie

Le parc de la DEAL comprend 73 véhicules affectés aux différents sites et principalement situés dans trois zones géographiques principales : Basse-Terre (36 véhicules - 49%), Grande-Terre (34 véhicules - 47%) et Marie-Galante (3 véhicules - 4%)

Sa composition est relativement équilibrée avec une répartition Diesel/Essence de 60/40%. Cette répartition est sensiblement uniforme sur les principaux sites.

#### I.1.1.b. Age des véhicules

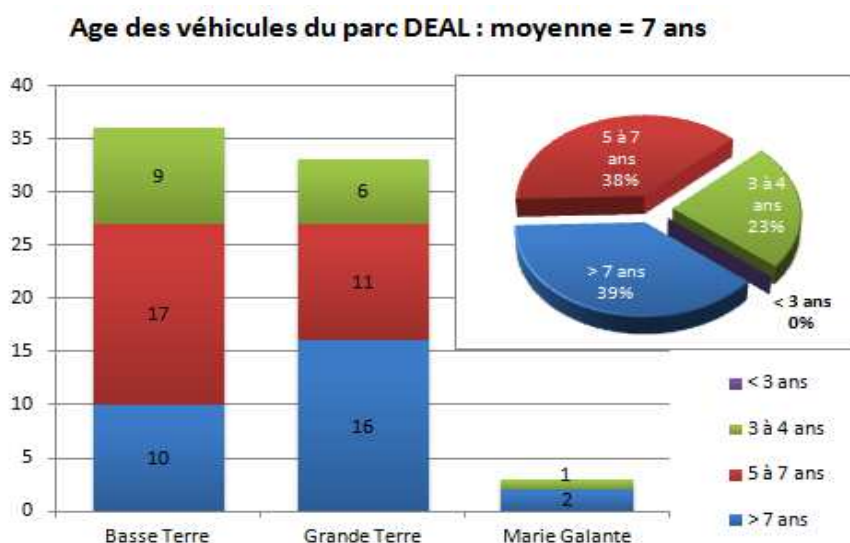


Figure I.2 : DEAL - répartition du parc véhicules par site et par âge

Le parc DEAL est assez ancien avec moyenne d'âge calculée au 31 aout 2014 de 7 ans. On compte 28 véhicules de plus de 7 ans (soit 1 tiers) et aucun de moins de 3 ans.

**I.1.1.c. Performances normalisées**

**DONNEES SOURCES :** - LISTE DES VEHICULES DE LA DEAL  
 - FICHES TECHNIQUES DES VEHICULES

**COEFFICIENTS DE CONVERSION :** - Gazole : 1 litre/100km = 26,5gCO<sub>2</sub>/km  
 - Essence : 1 litre/100km = 23,2gCO<sub>2</sub>/km

*nb : les émissions de CO<sub>2</sub> sont directement liées à la consommation de carburant.*

Les résultats présentés ci-dessous sont les valeurs officielles du constructeur automobile déterminées dans les conditions normalisées d'un cycle de roulage (NEDC). Elles diffèrent généralement des mesures effectuées en conditions réelles d'utilisation qui sont influencées par de nombreux paramètres extérieurs tels que le style de conduite, les conditions climatiques, le relief...

L'objectif recherché est une évaluation objective des performances théoriques du parc et de permettre une comparaison.

Dans le cas du parc véhicules de la DEAL, la consommation des véhicules Diesel (136 gCO<sub>2</sub>/km - 5,1 l/100km) est légèrement plus faible que celle des véhicules Essence (141 gCO<sub>2</sub>/km - 6,1 l/100km). Le cas particulier pour Grande-Terre s'explique par la présence plus importante de véhicules utilitaires.

En moyenne, le parc DEAL affiche **138 gCO<sub>2</sub>/km** ou **5,5 l/100km**.

**Parc véhicules de la DEAL : émissions de CO<sub>2</sub> normalisées moyennes en g/km**

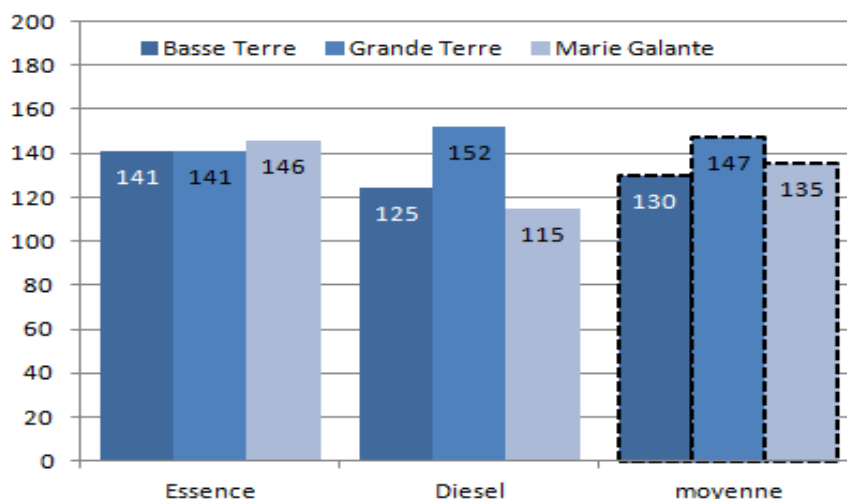


Figure I.3 : DEAL - émissions normalisées de CO<sub>2</sub> par site et par énergie

**DEAL : consommations normalisées moyennes en litres/100 km**

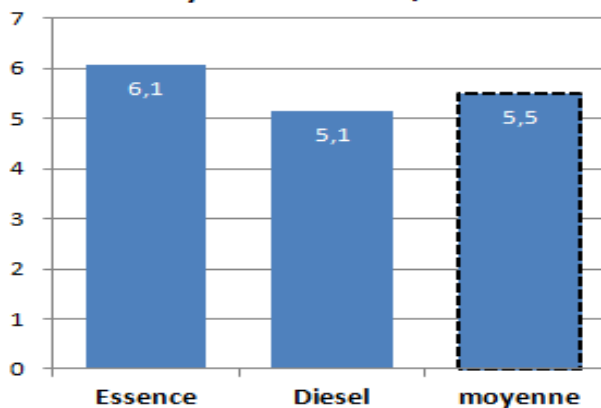


Figure I.4 : DEAL - consommations normalisées

**I.1.2. Parc de la DAAF**

DONNEES SOURCES : LISTE DES VEHICULES DE LA DAAF

*I.1.2.a. Nombre et énergie*

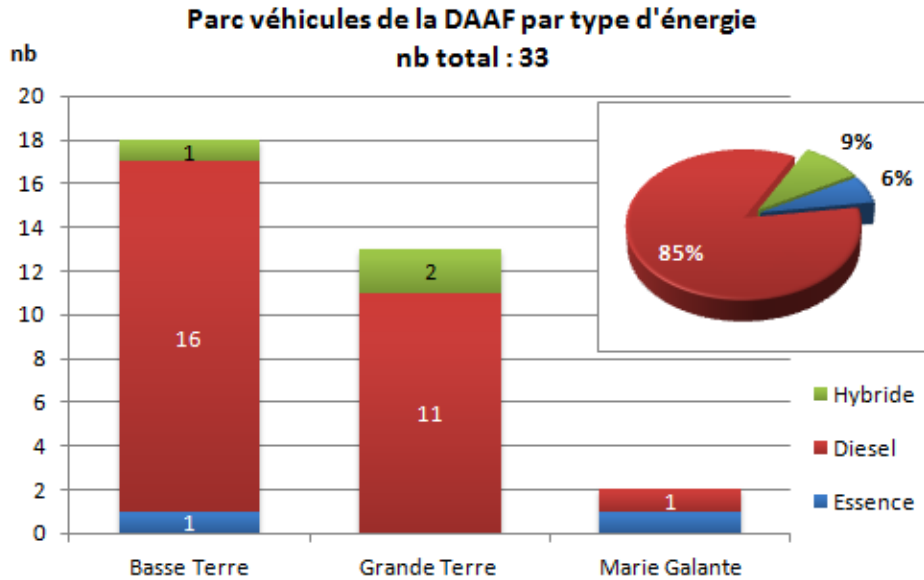


Figure I.5 : DAAF - répartition du parc véhicules par site et par énergie

Le parc de la DEAL comprend 33 véhicules situés, à l'instar de la DEAL, dans trois zones géographiques principales : Basse-Terre (18 véhicules - 55%), Grande-Terre (13 véhicules - 39%) et Marie-Galante (2 véhicules - 6%)  
Le parc est majoritairement à motorisation Diesel (85%). Il comprend 2 modèles essence et 3 véhicules hybrides essence non-rechargeables.

*I.1.2.b. Age des véhicules*

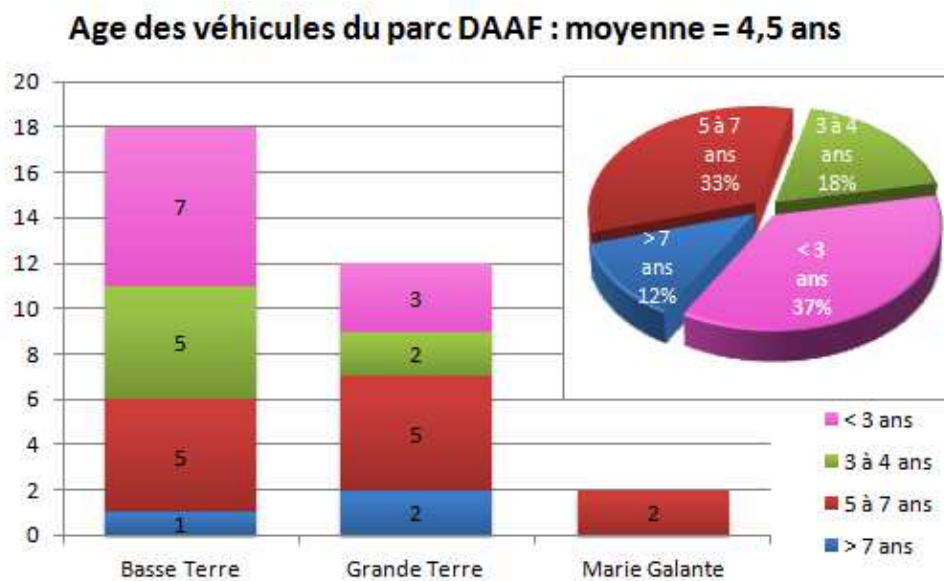


Figure I.6 : DAAF - répartition du parc véhicules par site et par âge

Le parc DAAF a une moyenne d'âge de 4 ans ½ au 31 aout 2014: 3 véhicules seulement ont plus 7 ans et plus d'un tiers a moins de 3 ans.



**I.1.2.c. Performances normalisées**

**DONNEES SOURCES :** - LISTE DES VEHICULES DE LA DAAF  
 - FICHES TECHNIQUES DES VEHICULES

**COEFFICIENTS DE CONVERSION :** - Gazole : 1 litre/100km = 26,5gCO<sub>2</sub>/km  
 - Essence : 1 litre/100km = 23,2gCO<sub>2</sub>/km

De la même manière que pour l'analyse du parc de la DEAL, le calcul des performances normalisées a pour objectif une évaluation objective et la comparaison dans des conditions identiques.

**Parc véhicules de la DAAF : émissions de CO2 normalisées moyennes en g/km**

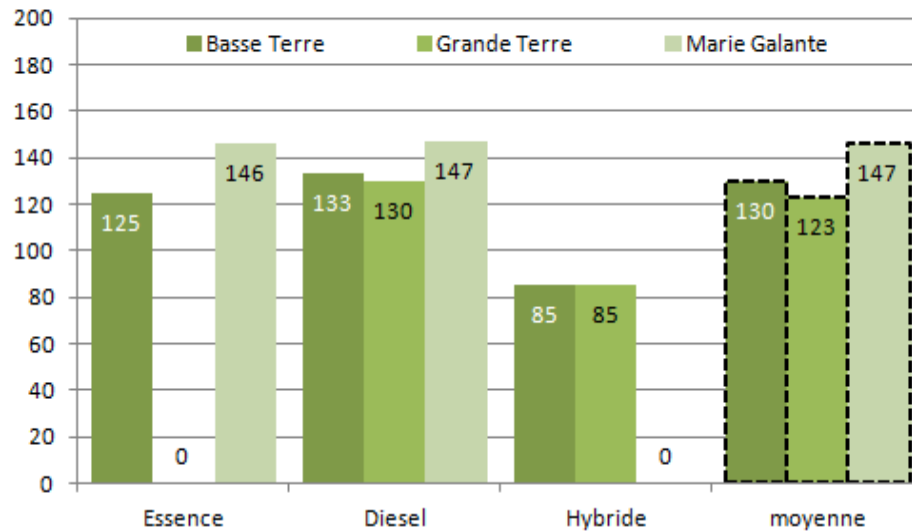


Figure I.7 : DAAF - consommations normalisées

**DAAF : consommations normalisées moyennes en litres/100 km**

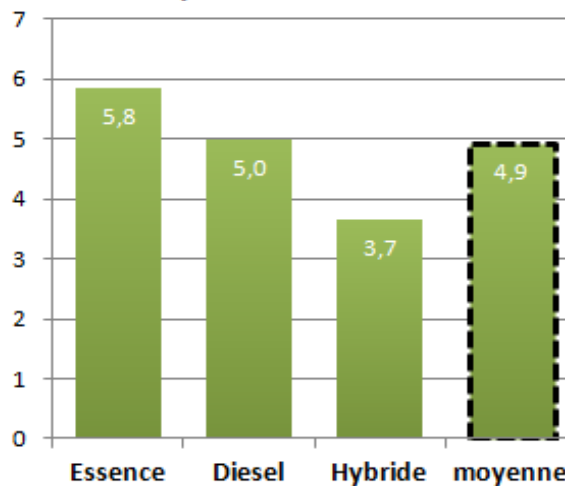


Figure I.8 : DAAF - émissions normalisées de CO<sub>2</sub> par site et par énergie

Pour le parc de la DAAF, fortement "diésélisé", la part "essence" est peu représentative, d'autant qu'elle ne concerne que deux petites voitures. Les performances globales sont donc fortement influencées par les véhicules à motorisation Diesel (132 gCO<sub>2</sub>/km - 5 l/100km).

Il est à noter les excellentes performances affichées des voitures hybrides (85 gCO<sub>2</sub>/km - 3,7 l/100km).

## 1.2. Conditions réelles d'utilisation du parc de la DEAL

- DONNEES SOURCES : - relevés des compteurs kilométriques des véhicules : 2013 à août 2014,  
 - dépenses de carburant pour la DEAL : 2012 à août 2014,  
 - factures carburant pour la DEAL : juin-juillet-août 2014, spécifiant :  
 \* le volume mensuel et les dépenses de carburant par véhicule,  
 \* la consommation en l/100 km si l'utilisateur a renseigné le kilométrage parcouru.

### 1.2.1. Distances parcourues

#### 1.2.1.a. Kilométrage total

L'analyse des relevés kilométriques montre une légère tendance à l'augmentation des distances parcourues en 2014. En moyenne, le kilométrage total effectué à la DEAL s'élève à 744 000 km/an et se répartit à parts quasi-égales entre les zones de Basse-Terre et de Grande-Terre. Les distances parcourues à Marie-Galante restent très faibles et ne représentent qu'1% du total.

*nb : le total 2014 a été obtenu par extrapolation des valeurs de janvier à août 2014*

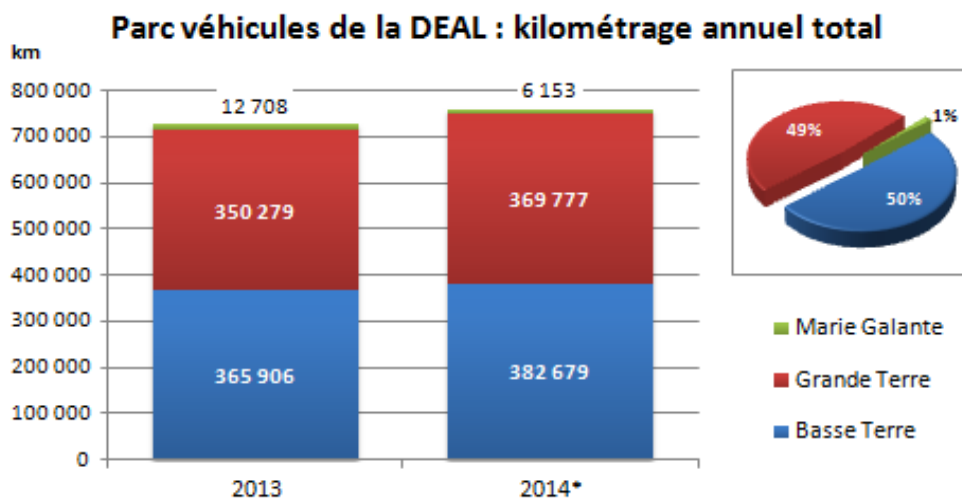


Figure I.9 : DEAL - Cumul des distances parcourues par zones géographiques

#### 1.2.1.b. Kilométrage par véhicule

La répartition des distances parcourues sur le parc est très inégale :

- une dizaine de véhicules effectuent moins de 3000 km/an et semblent sous-utilisés (1.). On peut cependant considérer que les faibles distances sont normales à Marie-Galante.
- deux véhicules affichent un kilométrage très supérieur (2.) (est-ce une erreur de saisie?).
- on peut constater une légère tendance à utiliser préférentiellement les véhicules les plus récents.

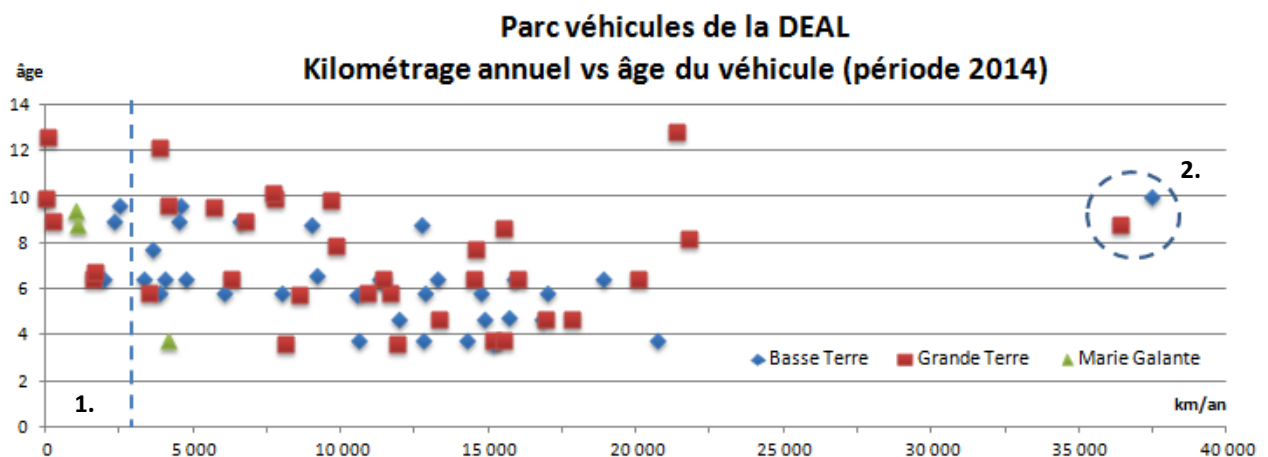
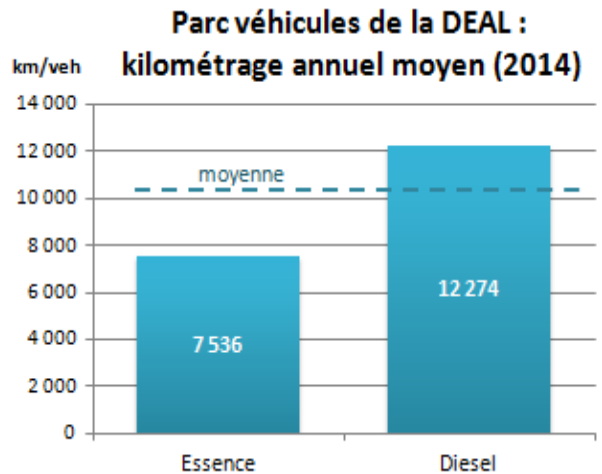


Figure I.10 : DEAL - Kilométrage en fonction de l'âge des véhicules

En moyenne, la distance annuelle parcourue est de l'ordre de **10 400 km/an/veh.** Les motorisations diesel sont nettement plus sollicitées que les versions essences, l'écart de distance parcourue est de 60% en moyenne.

*nb : le calcul a été effectué sur 2014 et non sur la période 2013-2014 en raison de l'évolution du nombre de véhicules au parc*

Figure I.11 : DEAL - kilométrage annuel moyen par véhicule



1.2.1.c. Véhicules à faible kilométrage

Neuf véhicules ont été identifiés avec un kilométrage estimé inférieur à 3 000km/an

Tableau I-1 : DEAL - liste des véhicules à faible relevé kilométrique

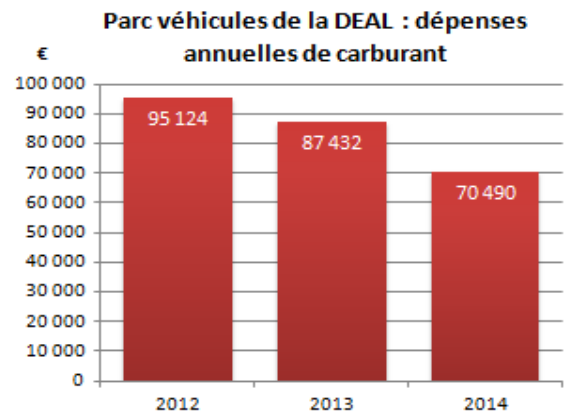
modèle	immat	site	zone	conducteur	état	mise en service	age	kilométrage 2014	
TWINGO 3 EXPRESSION	971D2914A	Es	DUGOMMIER	BT	POOL	Bon	23/09/2004	9,9	0
TWINGO 3 CONFORT 1.4	CY-272-ZK	Es	BOUGAINVILLIERS	BT	POOL	Bon	19/09/2005	9,0	2 324
CLIO CAMPUS	CY-320-SA	Es	DUGOMMIER	BT	POOL	Bon	13/03/2008	6,5	1 946
C3 GPL	CZ-997-TS	Es	BOUGAINVILLIERS	BT	POOL	Bon	29/12/2004	9,7	2 496
KANGOO	971D2681A	Go	SDBA	GT	POOL	Moyen	24/01/2002	12,6	54
CLIO CAMPUS	CZ-218-JV	Es	RAIZET	GT	POOL	Bon	13/03/2008	6,5	1 608
C3HDI	CZ-986-TS	Go	DOTHEMARE	GT	POOL	Bon	02/12/2007	6,8	1 674
TWINGO 3 CONFORT 1.5	CZ-999-TS	Es	RAIZET	GT	POOL	Bon	19/09/2005	9,0	231
TWINGO 3 EXPRESSION	DA-355-WS	Es	SDBA	GT	LOGISTIQUE GT	Moyen	23/09/2004	9,9	0

1.2.2. Consommations de carburant réelles

1.2.2.a. Dépenses annuelles de carburant

Les dépenses de carburant, évaluées à 70,5 k€ pour l'année 2014, sont en baisse constante sur les 3 dernières années. Avec un coût moyen de 1,42 €/litre de carburant<sup>1</sup>, la consommation totale est estimée à **49 800 litres** en 2014.

Figure I.12 : DEAL - dépenses annuelles de carburant



1.2.2.b. Consommation moyenne

La consommation moyenne est calculée par le rapport du volume de carburant sur le kilométrage.

Parc véhicules de la DEAL : consommation moyenne estimée

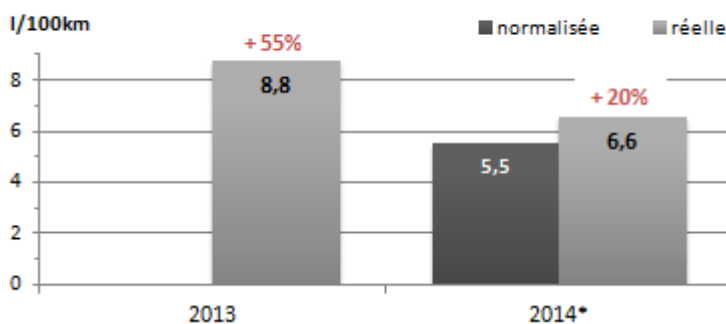


Figure I.13 : DEAL - estimation de la consommation moyenne

Pour 2014, la consommation moyenne des véhicules serait de **6,6 l/100km**, soit 20% de plus que la valeur normalisée.

Pour 2013, le résultat est de 8,8 l/100km. Cette consommation élevée peut s'expliquer en partie par des vols de carburant constatés et qui viennent artificiellement augmenter les volumes achetés.

<sup>1</sup> Prix moyens relevés de juin à août 2014 : gazole=1,35€/l, essence = 1,57€/l, pondéré par le kilométrage parcouru

**1.2.2.c. Consommation spécifique de certains véhicules**

L'information de la consommation spécifique apparaît sur les factures de carburant : elle est basée sur une saisie manuelle du kilométrage à la station service. Sur la période analysée -juin à août 2014- elle n'a été déterminée que pour 43 véhicules, soit **59%** du parc.

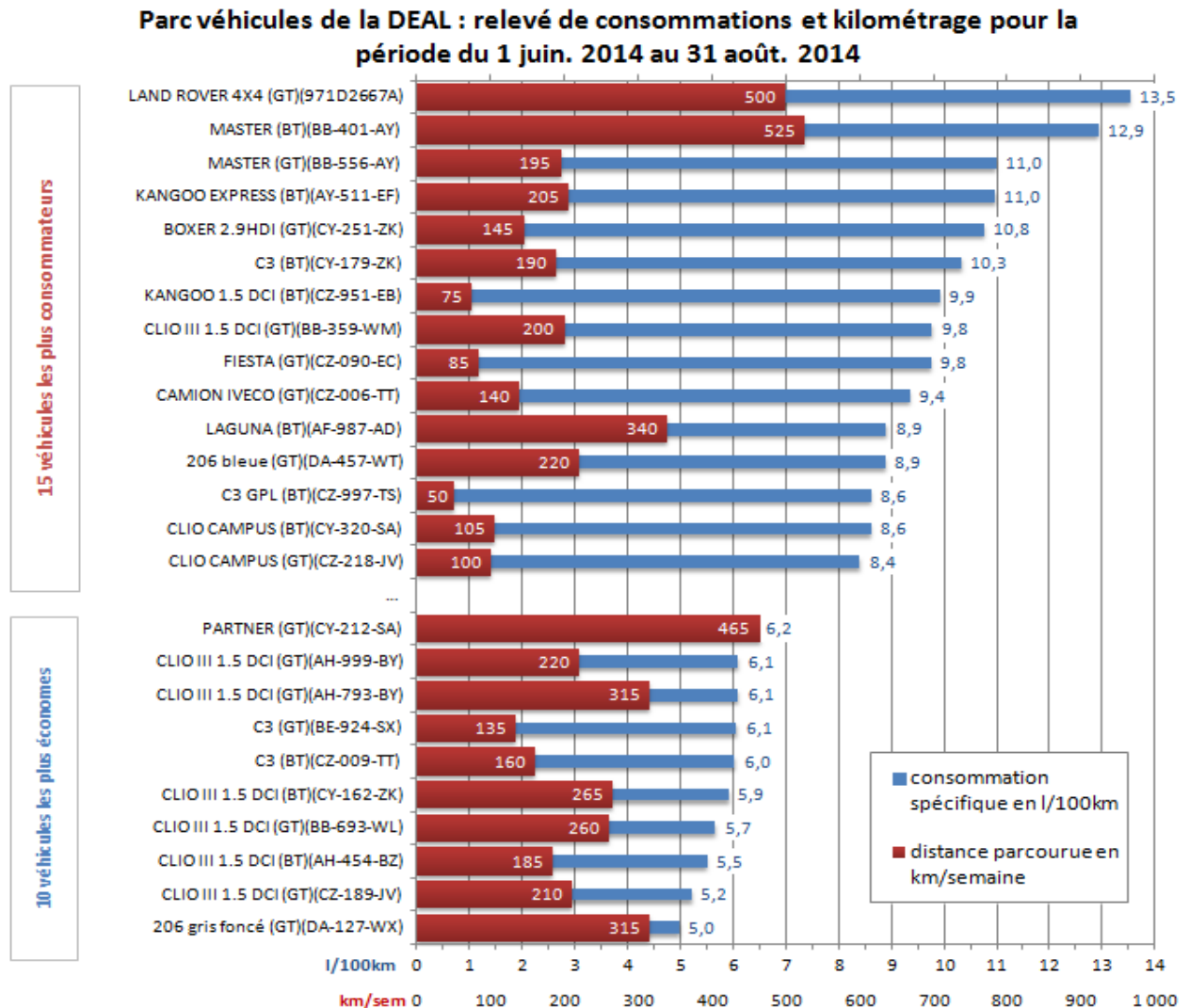


Figure I.14 : DEAL - consommations et kilométrage par véhicule

Sur cet échantillon et durant la période concernée, de très fortes disparités de consommation apparaissent, l'intervalle est très large de 5 à 13,5 l/100km :

- selon le type de véhicule : les utilitaires ont normalement une consommation plus élevée (>10 l/100km),
  - pour des véhicules identiques : CLIO 1,5 DCI : de 5,2 à 9,8 l/100km, soit un écart de 90%...
- Cette différence peut néanmoins s'expliquer par les conditions d'utilisation (nombre de passagers embarqués, style de conduite).

La consommation moyenne calculée sur cet échantillon est de ~8 l/100 km, valeur très en décalage avec celle estimée précédemment à partir des volumes et kilométrage totaux.

L'échantillon considéré ou la période observée ne sont visiblement pas représentatifs.

### I.2.3. Demandes de déplacements professionnels

**DONNEES SOURCES :** - EXTRACTION DU SYSTEME DE GESTION GRR DE LA DEAL  
- DONNEES DU 23 DECEMBRE, 2013 AU 31 AOUT 2014

La base de données est renseignée par les agents avant leur départ. Les informations ne sont pas consolidées par un pointage effectif des destinations ou des durées d'utilisation, les résultats peuvent donc contenir une part de subjectivité.

Les champs "date", "durée" et "description" ont du être corrigés manuellement pour pouvoir être exploitables. Le tableau de données GRR a ensuite été croisé avec la liste des véhicules du parc.

Il est à noter que les demandes inscrites dans la base ne concernent que **les 51 véhicules de "pool"**, soit 70% du parc de la DEAL. En effet, l'utilisation et l'emprunt des véhicules dit "affectés" ne sont pas comptabilisés dans la base.

On peut également considérer qu'une partie des petits déplacements (ex. trajet inter-établissements) ne sont pas identifiés, la saisie dans le système n'étant pas jugée pertinente pour des sorties courtes et à proximité. En conséquence, la part de ces déplacements apparaîtra minimisée.

Par ailleurs, les 197 sorties explicitement marquées en "panne" ou "entretien" ont été comptabilisées séparément pour ne pas impacter les résultats de l'analyse des déplacements.

La période analysée -du 23 décembre 2013 au 31 août 2014- comprend **36 semaines** et **180 jours ouvrés**.

#### I.2.3.a. répartition selon la durée

Une répartition des demandes de déplacements a été effectuée selon la durée d'emprunt.

Par hypothèse on définit :

Type de déplacement	durée d'emprunt
- trajet court, urbain ou proche	: < 2h
- trajet extra-urbain	: entre 2h et 4h
- trajet long ou liaison interurbaine:	> 4h
- autre trajet, emprunt long	: 1 semaine

L'interprétation de la durée d'emprunt comme temps de déplacement génère nécessairement des imprécisions. Par exemple, une formation d'une journée n'implique pas un déplacement long. Cependant, sur près de 3700 demandes de réservation, seules 70 concernent explicitement des formations ou des séminaires. L'erreur est donc supposée limitée.

Les déplacements d'une durée supérieure à la demi-journée sont largement majoritaires et concernent les deux tiers des demandes. Les trajets courts et potentiellement plus fréquents sont paradoxalement moins nombreux et les emprunts de longue durée sont exceptionnels.

**Demandes de déplacements pour la DEAL :  
du 23 déc. 2013 au 31 août. 2014**

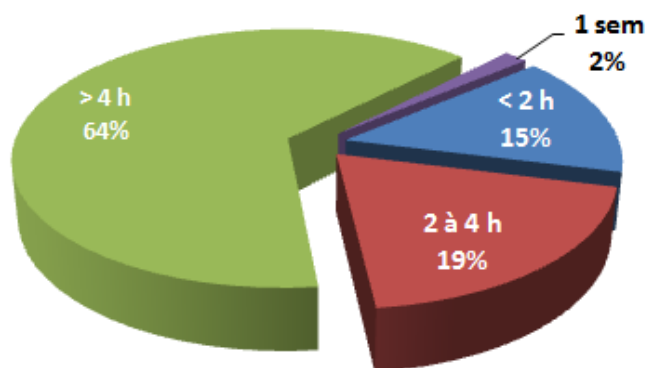


Figure I.15 : DEAL - répartition des demandes de déplacements

L'analyse par zone géographique montre une répartition sensiblement différente, notamment la part des petits trajets qui est réduite de plus de la moitié pour Grande-Terre : le regroupement des services sur le même site de Dothémare aurait eu un impact visible.

**type de déplacements  
pool Grande-Terre**

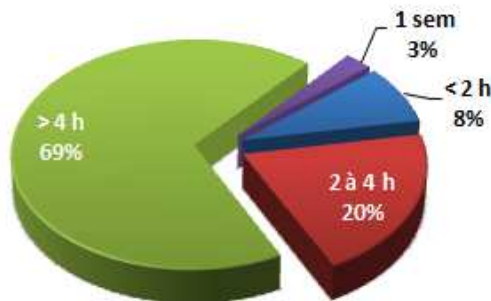


Figure I.16 : DEAL - répartition des déplacements grande-terre

**type de déplacements  
pool Basse-Terre**

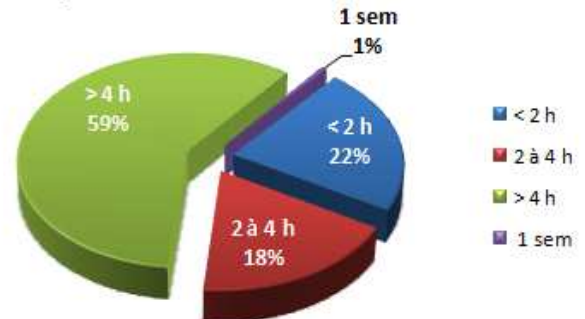


Figure I.17 : DEAL - répartition des déplacements Basse-Terre

### 1.2.3.b. fréquence des déplacements

Sur la période du 23 décembre au 31 août, il a été enregistré 3 697 sorties dont 60 emprunts d'une semaine. En moyenne, le nombre hebdomadaire de demandes de déplacement pour l'ensemble de la DEAL s'élève plus de 100 par semaine.

La répartition est à quasi égalité entre les zones de Grande-Terre et Basse-Terre, avec respectivement 1 920 et 1 777 sorties.

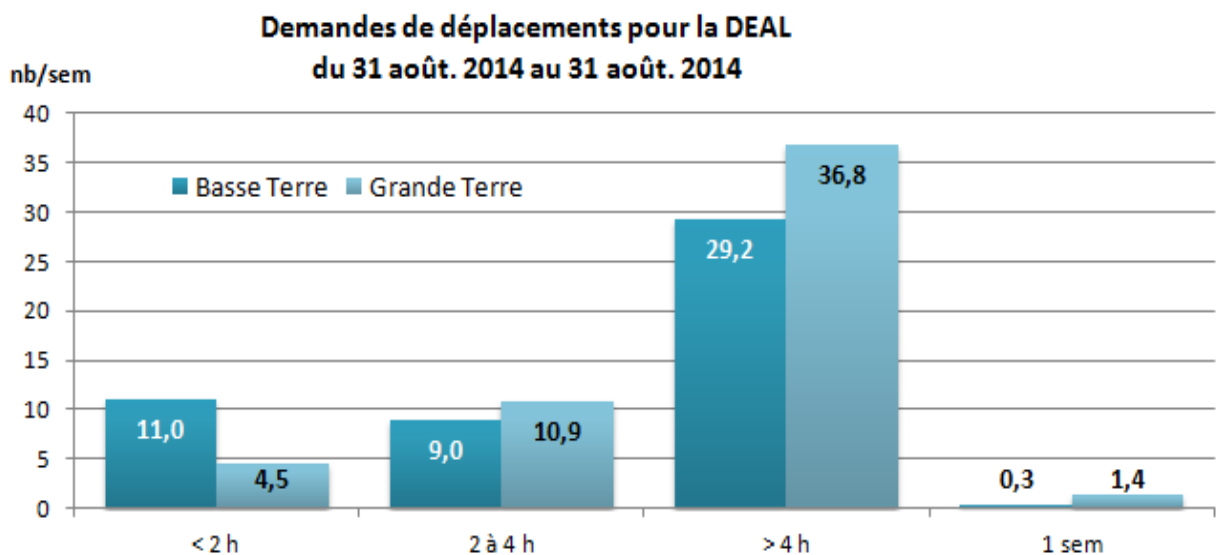


Figure I.18 : Fréquence des demandes de déplacements par durée et par site

### 1.2.4. Taux d'utilisation des véhicules

#### 1.2.4.a. moyenne semestrielle

Sur la période analysée, seuls 39 véhicules ont fait l'objet d'au moins une demande de déplacement sur les 51 que contient le "pool", ce qui correspond à une exploitation de 76% du parc.

La fréquence d'utilisation a été calculée pour chacun des véhicules du parc selon la disponibilité des informations contenue dans la base GRR.

*nb. les emprunts longs d'une semaine complète sont équivalents à 5 déplacements journaliers. Leur nombre a donc été multiplié par 5 jours ouvrés pour être comparables et comptabilisés avec les autres demandes limitées à 1 journée.*

#### Parc véhicules de la DEAL - relevé d'utilisation pour la période du 23 déc. 2013 au 31 août. 2014

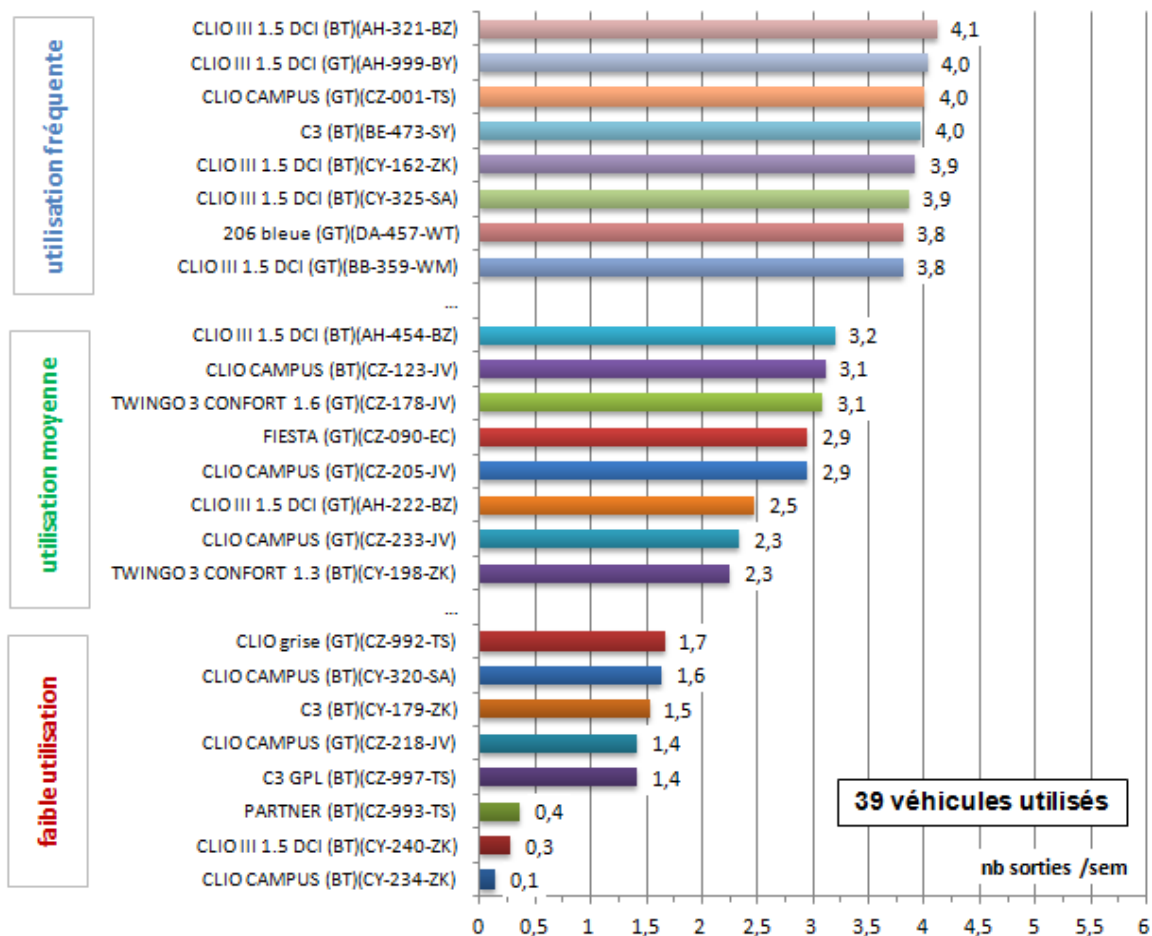


Figure I.19 : DEAL - fréquence d'utilisation des véhicules

Pour les 39 véhicules utilisés, la moyenne est de 2,8 sorties par semaine et par véhicule.

Rapportée à l'ensemble des 51 véhicules du "pool", le taux d'utilisation s'abaisse à **2,15 sorties par semaine et par véhicule**.

#### 1.2.4.b. période de pleine activité

Pour estimer les besoins maximum en déplacement, une deuxième analyse a été ciblée sur une période de pleine activité, sans congés liés aux vacances scolaires.

Sur la période choisie - du 6 janvier au 10 février 2014- le taux d'utilisation des véhicules est en augmentation sensible avec une moyenne de 3,8 sorties par semaine et par véhicules.

Cependant, dans le même temps, seulement 36 véhicules ont été empruntés : en conséquence, le taux d'utilisation moyen du "pool" n'est plus que de **2,5 sorties par semaine et par véhicule**, soit **~15% de plus** que la moyenne semestrielle.

### 1.2.4.c. Véhicules immobilisés

La base de déplacement indique, pour certains véhicules et de manière explicite, des sorties pour entretien ou réparation (libellés du type : "panne", "contrôle technique", "atelier", réparation", "véhicule immobilisé"...)

On constate que 20 véhicules ont été immobilisés plus d'une semaine, totalisant près de 370 jours ouvrés d'indisponibilité. Ces véhicules ne sont plus disponibles pour les déplacements et cette situation peut générer un sentiment de saturation du parc ressenti par les agents lors de la réservation d'un véhicule.

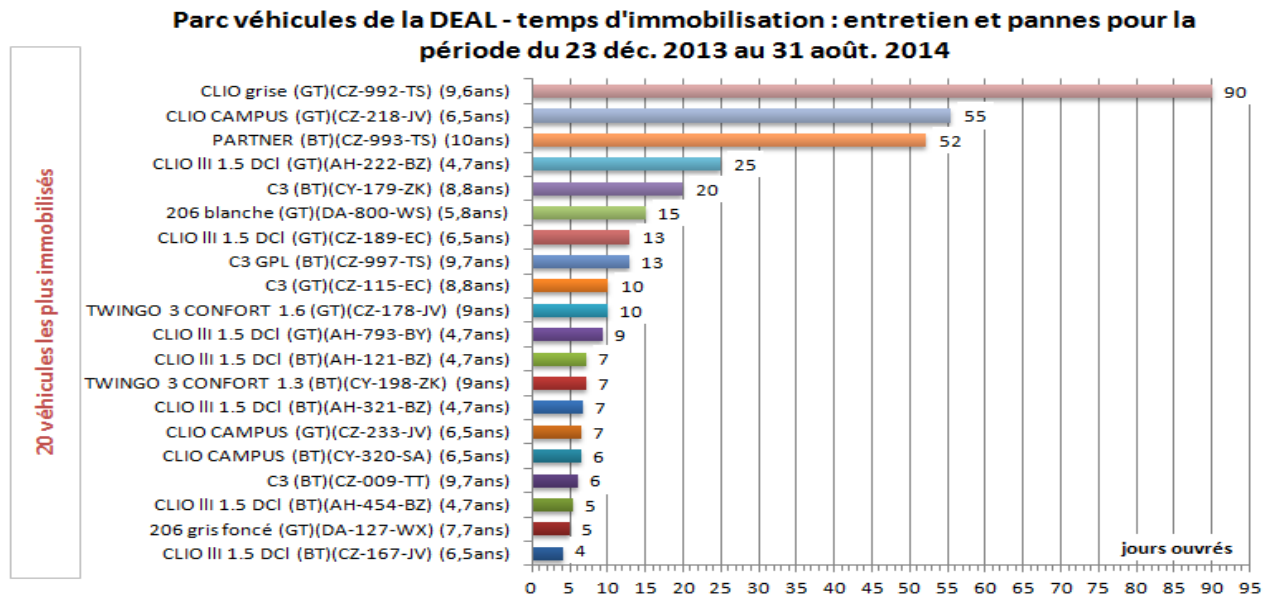


Figure I.20 : DEAL - temps d'immobilisation par véhicules

nb. les durées correspondantes exprimées dans la base en heures calendaires (24h/jour et 7j/semaine) ont été additionnées pour chaque véhicule et converties en jours ouvrés.

### 1.2.5. Cas d'usages particuliers

#### 1.2.5.a. Véhicules de direction et des services

#### Parc véhicules de la DEAL - Usages spécifiques : Direction et Services

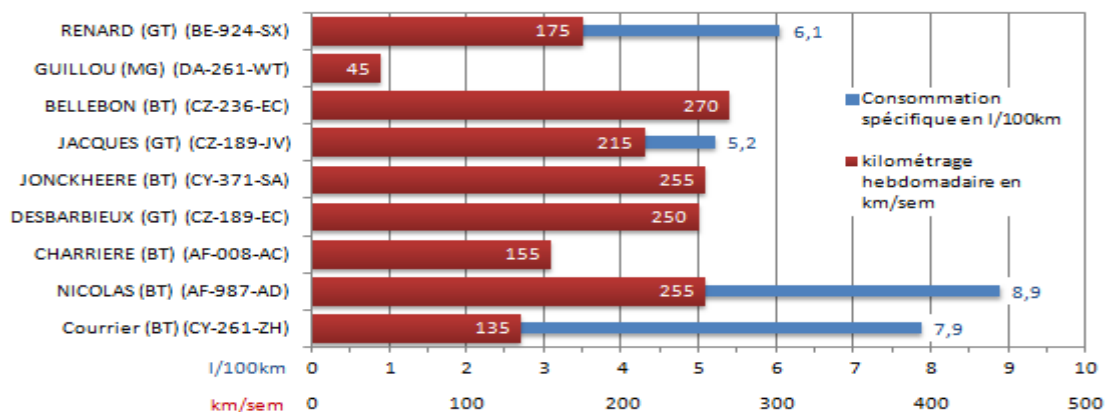


Figure I.21 : DEAL - usages et déplacements des véhicules de direction et des services

-> **véhicule de direction ou de service** : effectue tous types de trajets, incluant des liaisons interurbaines régulières pour une moyenne hebdomadaire de 150 à 270 km.

-> **véhicule courrier** : effectue de petits trajets, quasi exclusivement urbains, la distance moyenne hebdomadaire est de 135 km, soit ~25 km par jour ouvré.



### 1.2.5.b. Véhicules utilitaires

Quatre véhicules spécifiques (utilitaires hors VUL et 4x4) ont été identifiés dans le Parc DEAL. Ils parcourent des distances hebdomadaires de 220 à 320 km/sem.

L'utilisation n'est pas très bien définie, mais d'après le kilométrage elle peut s'apparenter à une combinaison hebdomadaire de 2,5 trajets type extra-urbains et 1 trajet type liaison.

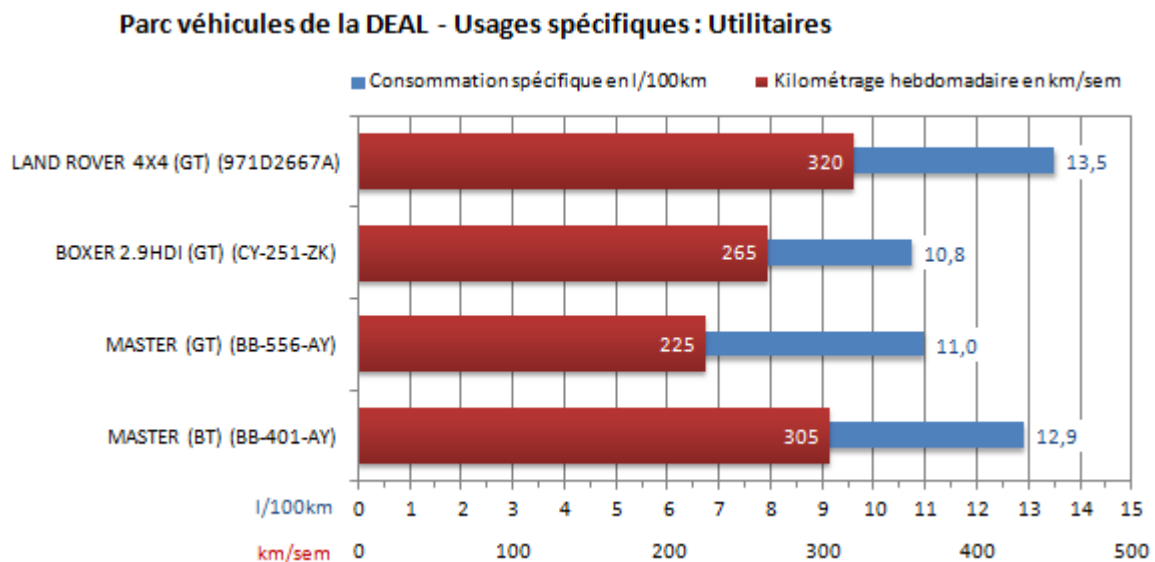


Figure I.22 : DEAL - usages et déplacements des véhicules utilitaires

### 1.3. Utilisation du parc de la DAAF

DONNEES SOURCES : FACTURES CARBURANT POUR LA DAAF : déc. 2013 à août 2014, spécifiant :

- les dépenses mensuelles par type de carburant,
- le volume mensuel par type de carburant,

LES INDICATIONS DES SERVICES DE LA DAAF précisant

- le kilométrage annuel moyen des véhicules
- la fréquence d'utilisation des véhicules
- la répartition des déplacements par type

Concernant la DAAF, l'extraction des données de la base de déplacement GRR n'a pas été possible. L'analyse est basée sur les déclarations des services.

#### 1.3.1. Consommations réelles et kilométrage moyen

Le bilan des factures de carburants montrent une consommation mensuelle moyenne de l'ordre de 2 100 litres de carburant.

La répartition Essence/Gazole est de 18%/82% conforme à la composition du parc, ce qui indique une utilisation homogène des véhicules.

Par extrapolation, le volume de carburant annuel pour 2014 est de 25 300 litres.

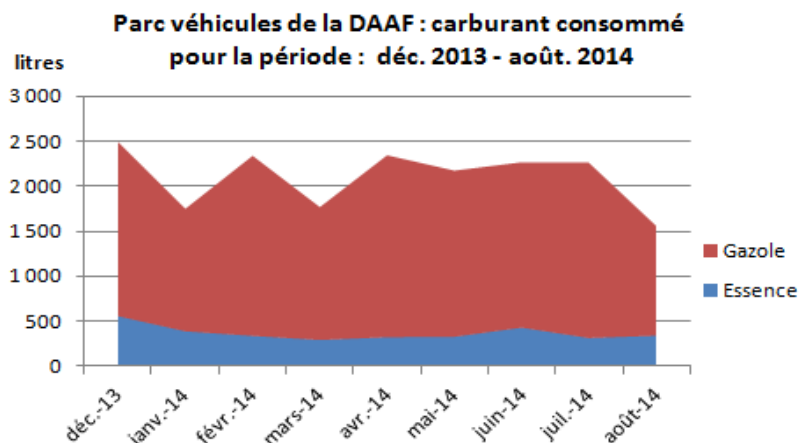


Figure I.23 : DAAF - relevé d'achat de carburant

D'après les estimations fournies par la DAAF :

	2013	2014	observations
Kilométrage total km/an	594 000	454 400	2013 : ~18 000 km / véhicule 2014 : ~100 km / véhicule, 3 jours /semaine
Volume de carburant l/an	35 900	25 300	2013 : estimation à partir des dépenses 2014 : extrapolation des factures
Consommation l/100km	6,04	5,56	2014 : à comparer avec la consommation normalisée estimée à 4,92 l/100km

Tableau I-2 : DAAF - tableau des consommations et distances moyennes annuelles

La comparaison des bilans 2013 et 2014 laisse apparaître une réduction sensible à la fois du kilométrage effectué et des consommations.

Ces évolutions peuvent être expliquées par une optimisation des besoins de déplacements de la DAAF et par l'introduction de véhicules hybrides théoriquement plus économes<sup>2</sup>.

Par rapport à la valeur normalisée, l'écart de consommation est de l'ordre de 25% en 2013 et 15% en 2014.

#### Parc véhicules de la DAAF : consommation moyenne estimée

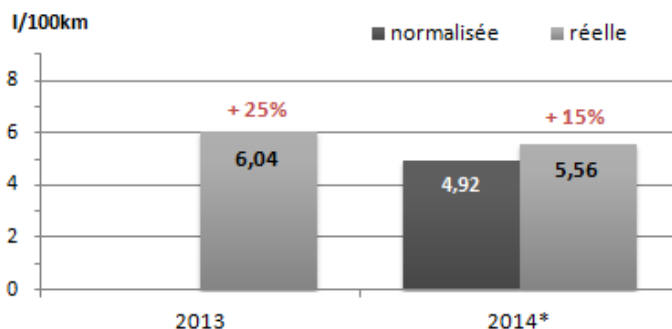


Figure I.24 : DAAF : estimation de consommation moyenne

<sup>2</sup> le relevé effectué sur la moitié seulement du parc véhicules ne permet pas de consolider le kilométrage annuel, une imprécision subsiste avec une erreur estimée à 0/+10%

### I.3.2. Types de déplacements professionnels

La répartition des demandes de déplacements a été déterminée selon les estimations de la DAAF.

A l'instar de la DEAL, une grande majorité des besoins concerne les liaisons Basse-Terre / Pointe-à-Pitre. Les petits déplacements urbains sont minoritaires en raison d'une implantation peu dispersée des services de la DAAF.

#### DAAF - demande journalière par type de trajet



Figure I.25 : DAAF - répartition des demandes de déplacements

### I.3.3. Taux d'utilisation des véhicules

L'utilisation des véhicules du parc est estimée à 3 déplacements par véhicule et par semaine, avec une pondération de 90%.

Le taux d'utilisation moyen est de **2,7 sorties par semaine et par véhicule**, ce qui correspond à 90 demandes de déplacement par semaine pour l'ensemble de la DAAF.

## II. ANALYSE COMPARATIVE DES PARCS DEAL ET DAAF

### II.1. Etat des lieux et performance des véhicules

#### II.1.1.a. Type et âge des véhicules

Le parc véhicules de la DEAL est deux fois plus important que celui de la DAAF. Il est composé de 40% de motorisations Essence alors que le parc de la DAAF est très majoritairement Diesel (82%) et intègre des véhicules hybrides à hauteur de 10%.

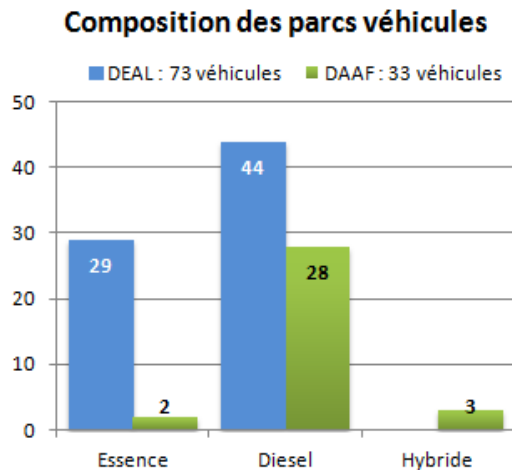


Figure II.1 : Composition des parcs DEAL et DAAF

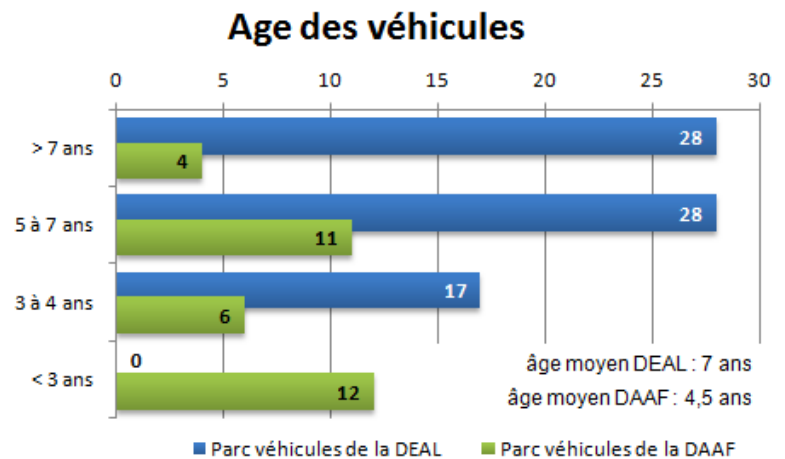


Figure II.2 : Age des véhicules DEAL et DAAF

La DAAF dispose de véhicules plus récents, la moyenne d'âge est de 4 ans ½ et seuls 4 véhicules ont plus de 7 ans, soit environ 10% du parc.

A contrario, le parc DEAL est assez ancien avec une moyenne d'âge de 7 ans. Un tiers des véhicules a plus de 7 ans et aucun n'a moins de 3 ans.

#### II.1.1.b. Emissions de CO<sub>2</sub>

En moyenne, le parc de la DAAF est légèrement plus performant que celui de la DEAL : ceci s'explique par des véhicules plus récents et la présence de voitures hybrides.

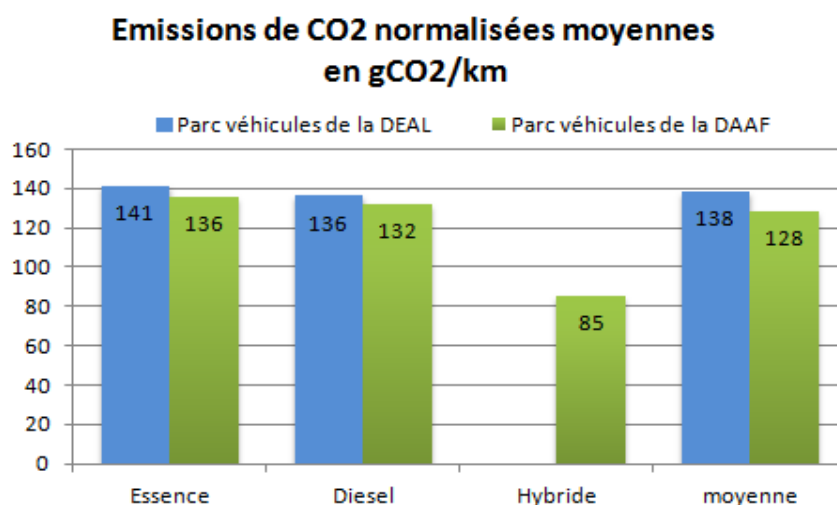


Figure II.3 : Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> pour les parcs DEAL et DAAF

## II.2. Dépenses annuelles

- DONNEES SOURCES :
- FACTURES CARBURANT POUR LA DEAL : JUIN-JUILLET-AOUT 2014
  - détail des frais d'entretien DEAL pour 2012-2103-2104
  - bilan des frais de carburant DEAL pour 2012-2103-2104
  - détail des frais d'entretien DAAF
  - déclarations du responsable du parc DAAF

### II.2.1. Dépenses globales

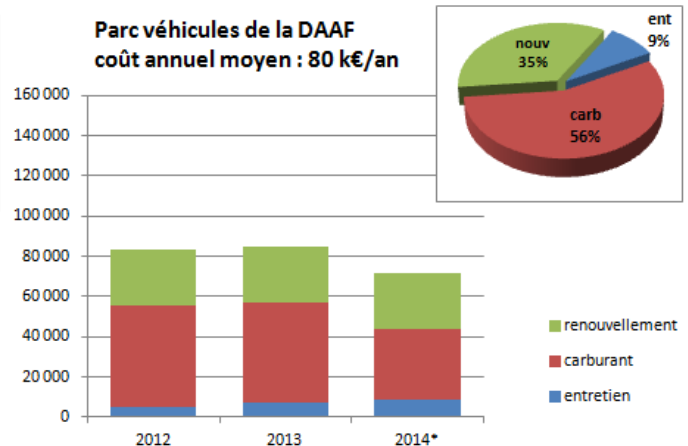
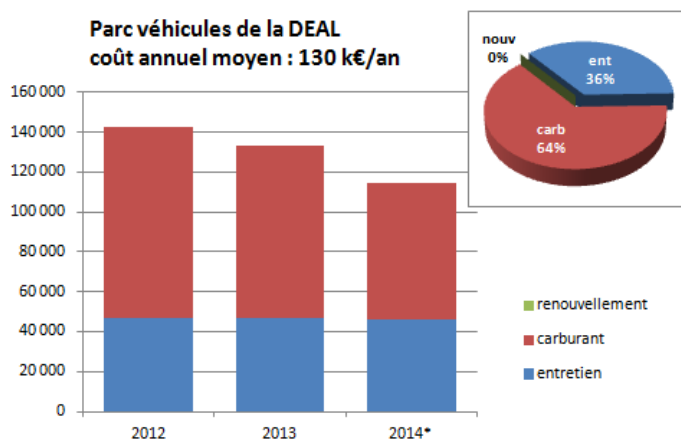


Figure II.4 : DEAL - couts d'exploitation du parc véhicules

Figure II.5 : DAAF - couts d'exploitation du parc véhicules

Pour les deux parcs, les dépenses de carburant représentent la plus grande part avec 60% du total.

Pour la DEAL, le 2è poste de concerne l'entretien, à hauteur de 40% du total, une proportion très supérieure à la DAAF. Ces dépenses peuvent s'expliquer par un parc vieillissant, des interventions plus fréquentes et la nécessité de remplacer les pièces d'usure.

Sur les deux dernières années, la DAAF consacre un tiers de son budget au renouvellement de son parc (en moyenne 1,5 véhicule/an). Durant la même période la DEAL n'a réalisé aucun achat.

### II.2.2. Par véhicule, par kilomètre parcouru et par déplacement

Ramenées au véhicule, les dépenses de la DAAF sont nettement supérieures (~30%). Ceci s'explique par une utilisation plus intensive de chaque véhicule. On peut noter que les dépenses d'entretien sont 3 fois inférieures pour un véhicule DAAF.

La décomposition des coûts rapportés au kilométrage montre une plus grande efficacité du parc de la DAAF :

- au global : 15€/100km à la DAAF; 17,6€/100km à la DEAL, soit 20 % de plus
- carburant : un véhicule DEAL consomme 40% de plus au kilomètre,
- entretien et renouvellement : les 2 postes cumulés sont du même ordre de grandeur.

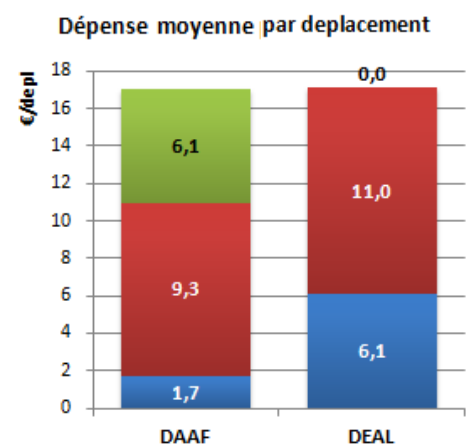
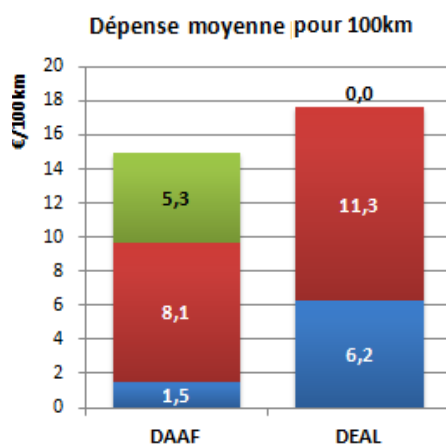
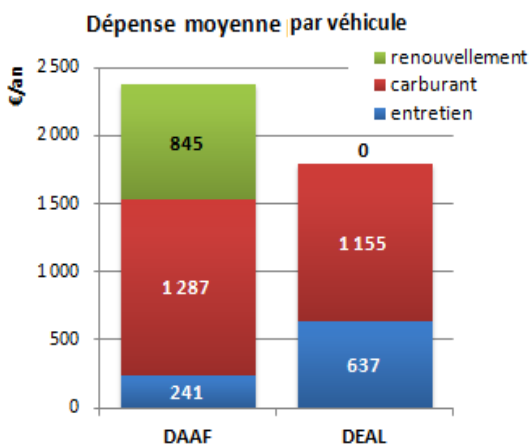


Figure II.8 : DEAL et DAAF - couts par véhicule

Figure II.7 : DEAL et DAAF - couts par 100 km

Figure II.6 : DEAL et DAAF - couts par déplacement

### II.3. Besoins de déplacement

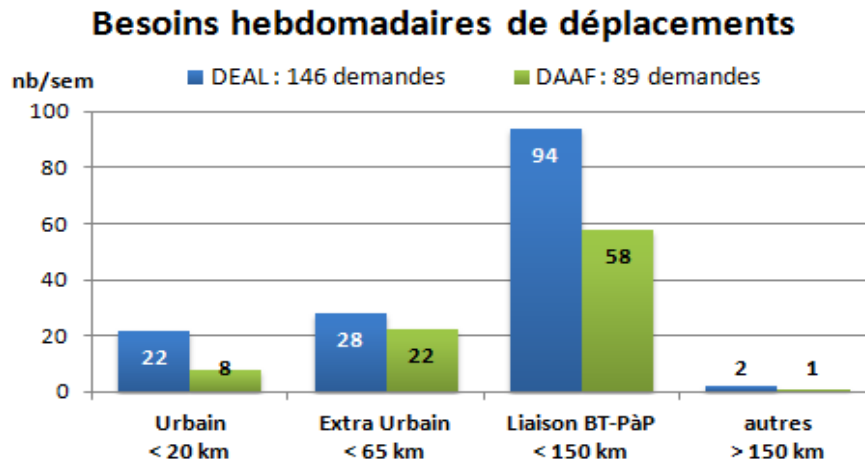


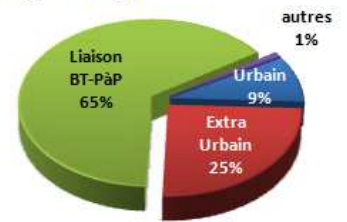
Figure II.9 : Demandes de déplacements hebdomadaires pour la DEAL et la DAAF

Les profils de déplacements sont assez proches pour la DEAL et la DAAF, avec une grande majorité de liaisons Basse-Terre à Pointe-à-Pitre.

La différence majeure concerne les petits trajets urbains, la demande pour la DEAL est plus importante, vraisemblablement en raison de son implantation multisite actuelle.

Au cumul, les besoins pour les deux directions s'élèvent à 235 déplacements par semaine.

DAAF - demande déplacement par type de trajet



DEAL - demande déplacement par type de trajet

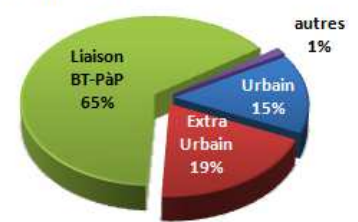


Figure II.10 : Répartition des déplacements pour la DEAL et la DAAF

### II.4. Synthèse pour les deux parcs véhicules

Les caractéristiques principales des parcs véhicules et des besoins de déplacement sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-1 : Synthèse de l'état des lieux des parcs DEAL et DAAF

Parc de la DAAF : 33 véhicules		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	total	par véhicule
demande déplacement	<i>nb/sem</i>	8	23	59	1	90	2,7
kilométrage hebdomadaire	<i>km/sem</i>	140	1 240	6 960	140	8 480	260
répartition des trajets	<i>% nb</i>	9%	25%	65%	1%		
	<i>% km</i>	2%	15%	82%	1,6%		
consommation moyenne*	<i>l/100km</i>						5,8
Parc de la DEAL : 73 véhicules		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	total	par véhicule
demande déplacement	<i>nb/sem</i>	23	29	95	3	150	2,1
kilométrage hebdomadaire	<i>km/sem</i>	390	1 600	11 310	460	13 760	190
répartition des trajets	<i>% nb</i>	15%	19%	63%	2,0%		
	<i>% km</i>	3%	12%	82%	3,3%		
consommation moyenne*	<i>l/100km</i>						7,4

\* moyenne 2013-14 et pour la DEAL, prise en compte d'un vol de carburant estimé à 3 000 €

## III. VEHICULES ELECTRIQUES ET HYBRIDES

### III.1. Etat des lieux de l'offre en véhicules électriques et hybrides

L'offre en véhicules électriques et hybrides est en pleine expansion. Toyota, le précurseur, est maintenant rejoint par les principaux constructeurs automobiles qui proposent (ou vont mettre prochainement sur le marché) des modèles spécifiques ou des variantes de leur gamme à motorisation, soit électrique ou hybrides thermique/électrique à différents niveau d'hybridation.

#### III.1.1. Véhicules Electriques (VE)

La propulsion est entièrement assurée par un moteur électrique et à partir d'énergie stockée dans des batteries embarquées. Le véhicule doit être rechargé régulièrement.

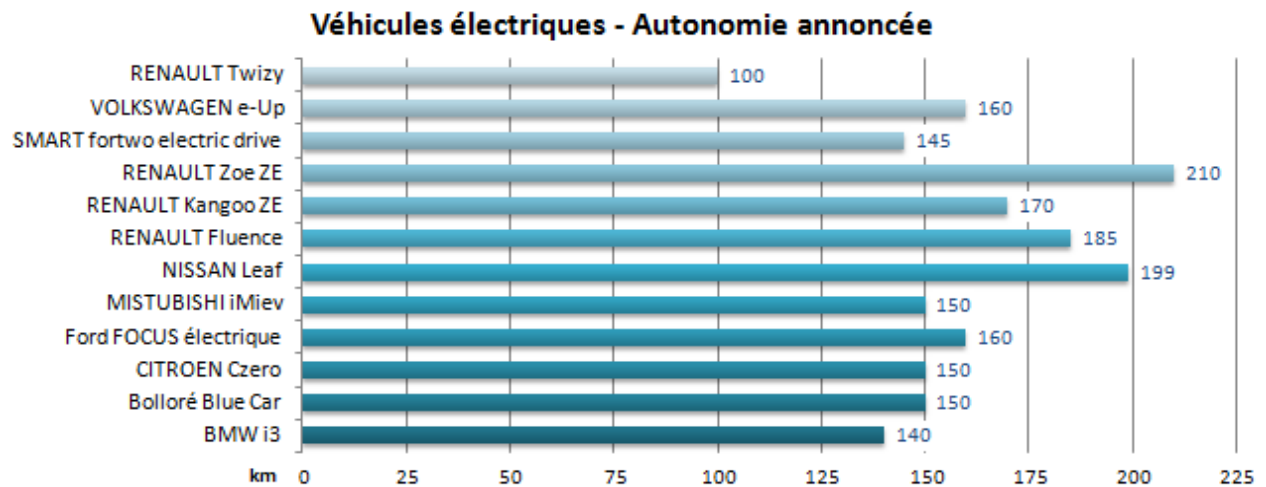


Figure III.1 : Autonomie annoncée de quelques véhicules électriques

En moyenne, sur l'échantillon présenté ci-dessus, l'autonomie annoncée est de 160 km, pour une consommation électrique de l'ordre de 14 kWh/100km.

#### III.1.2. Véhicules Hybrides (VEHy)

Un véhicule hybride dispose de deux motorisations distinctes, une électrique et une thermique, implantées dans une chaîne de traction parallèle ou en série. La voiture est nécessairement équipée de deux réserves d'énergie, un réservoir de carburant et une batterie.

**La charge électrique est assurée de manière autonome**, par récupération d'énergie (au freinage, par exemple) ou par le moteur thermique.

Le fonctionnement des deux moteurs, en simultané ou séparément, est piloté par le calculateur qui assure les conditions de roulage en optimisant les consommations et les émissions de gaz d'échappement.

On parle de véhicule "Full-Hybrid" lorsque chaque moteur peut assurer seul toutes les phases d'utilisation.

### Véhicules Hybrides - Autonomie électrique et émissions de CO2

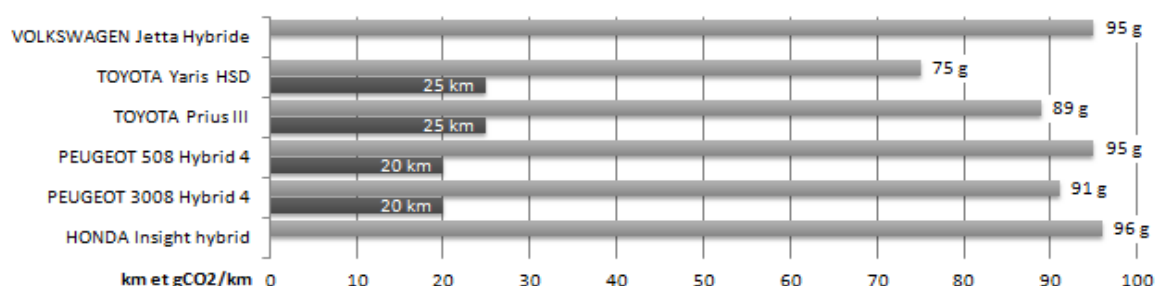


Figure III.2 : Autonomie électrique et émissions de CO2 de quelques véhicules hybrides

Par conception, un véhicule hybride n'a qu'une faible autonomie en mode tout électrique. En effet, l'objectif de l'hybridation est de remplacer ponctuellement la motorisation thermique peu efficace sur des parcours urbains. L'autonomie totale de la voiture est déterminée par la capacité du réservoir de carburant.

Les avantages par rapport un véhicule thermique sont un fonctionnement silencieux et non polluant en ville et des consommations globalement améliorées.

### III.1.3. Hybrides rechargeables (VEHy-R)

Un véhicule hybride rechargeable est de conception identique à un véhicule hybride et fonctionne de la même manière. La différence majeure consiste en la possibilité de recharger la batterie à partir du réseau électrique. La voiture peut ainsi fonctionner sur des petits trajets réguliers en mode électrique sans avoir recours au moteur thermique et sans consommer de carburant.

La consommation et les émissions polluantes peuvent donc être significativement réduites à condition que l'utilisateur branche régulièrement sa voiture sur le réseau électrique. Dans le cas contraire, la batterie sera rechargée par le moteur thermique de la même manière qu'un véhicule hybride conventionnel.

#### Véhicules Hybrides Rechargeables - Autonomie électrique et émissions de CO2

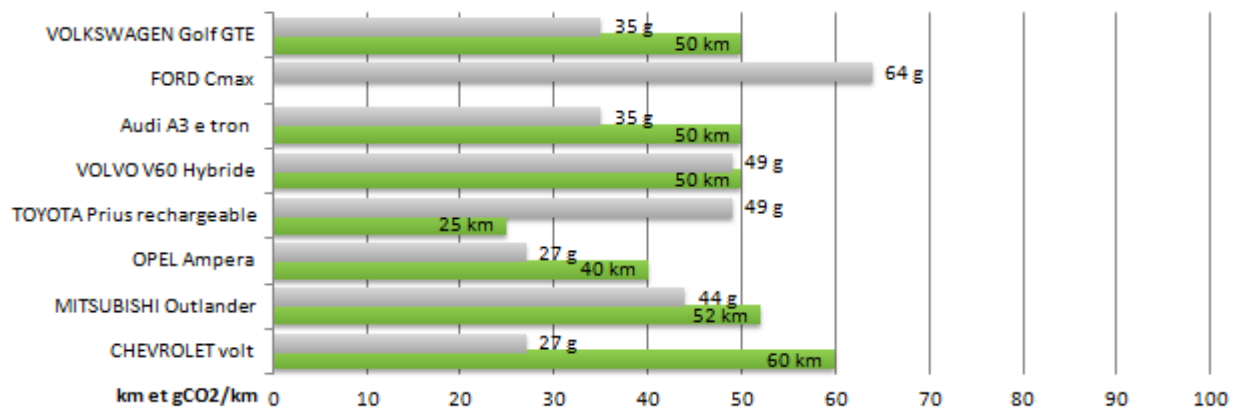


Figure III.3 : Autonomie électrique et émissions de CO2 de quelques véhicules hybrides rechargeables



### III.1.4. Cout de la technologie

D'un niveau de prix voisin, les hybrides restent globalement plus chers que les véhicules électriques (+10%), alors que les hybrides rechargeables affichent des prix très importants (+100%).

Ces différences peuvent s'expliquer par une technologie plus complexe mais également par une gamme supérieure et des prestations premium.

L'intérêt complémentaire du véhicule électrique est le montant maximum du "bonus écologique" dont il bénéficie : la réduction peut atteindre 27%, ce qui aboutit à un niveau de prix comparable à un véhicule thermique de gamme similaire.

Pour les véhicules hybrides, la prime indexée sur les émissions de CO<sub>2</sub>, n'apporte qu'une réduction de l'ordre de 8%. Le prix final de la voiture reste donc élevé.

Taux d'émission de CO <sub>2</sub> (en grammes par kilomètre)	Montant du bonus au 1er novembre 2013 (en euros)
0 à 20 g	6 300 (dans la limite de 27 % du coût d'acquisition)
21 à 60 g	4 000 (dans la limite de 20 % du coût d'acquisition)

Tableau III-1 : Barème du bonus écologique

Source :

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Bonus-Malus-2014>

**cas des Véhicules hybrides électriques :** les véhicules émettant moins de 110 grammes de CO<sub>2</sub>/km sont éligibles au bonus : **3 300 euros**.

(l'aide ne peut excéder 8,25 % du coût d'acquisition, sans pouvoir être inférieure à la somme de 1 650 euros)

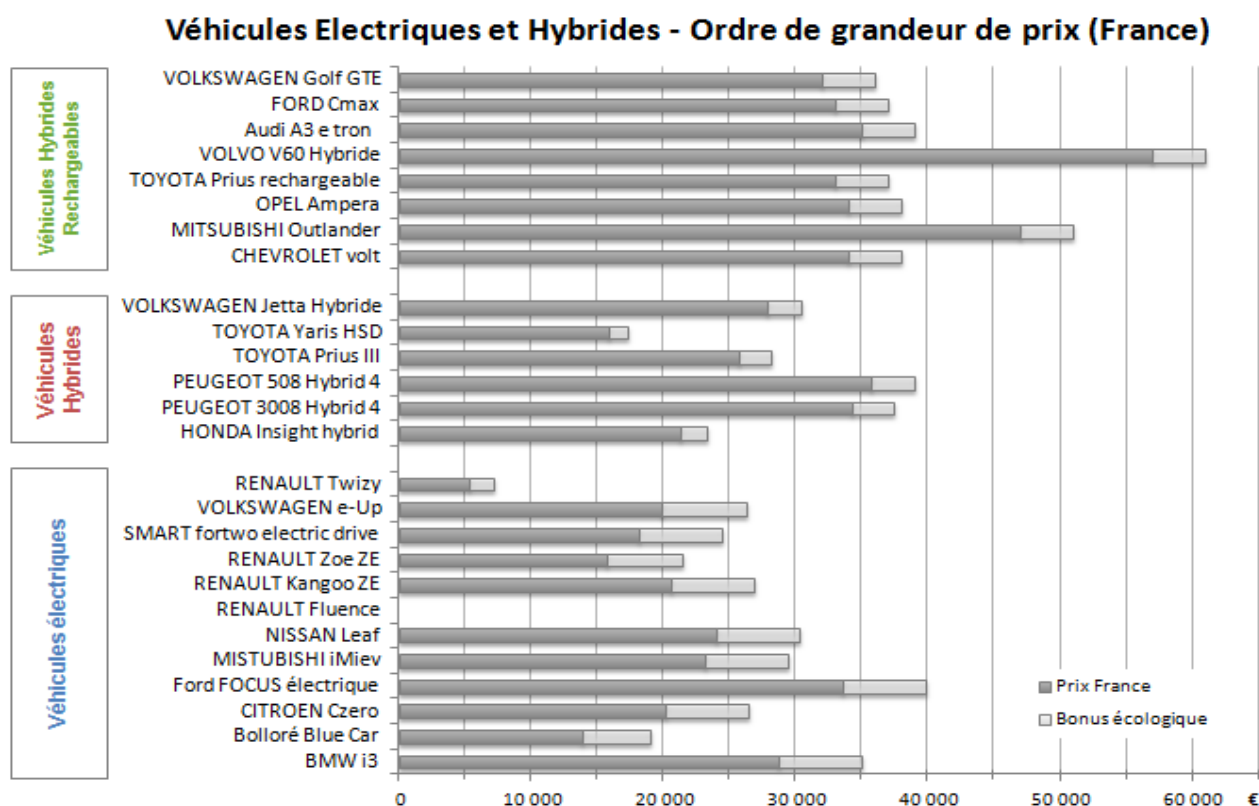


Figure III.4 : Ordre de grandeur de prix de certains véhicules électriques et hybrides du marché

## III.2. Performances dans les conditions réelles d'utilisation

### III.2.1. Correction de consommation

#### III.2.1.a. Exemple du véhicule thermique

Les consommations normalisées et réelles ont été évaluées dans la "Partie I - Etat des lieux" de la présente étude : on obtient, en moyenne pondérée pour les deux parcs véhicules DEAL et DAAF

- 5,3 l/100km en conditions normalisées,
- 6,9 l/100km en conditions réelles ce qui correspond à un écart de +30%.

Cette différence s'explique par les conditions particulières d'utilisation, notamment : le relief, le besoin de climatisation, la charge du véhicule.

Compte tenu de la faible efficacité énergétique d'un moteur thermique (<25% au global), cette augmentation de consommation de carburant alimente essentiellement les pertes thermiques.

#### Efficacité énergétique d'un véhicule à moteur thermique

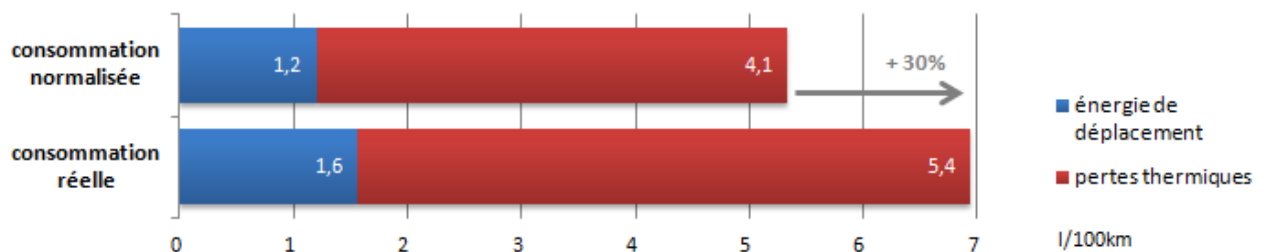


Figure III.5 : Efficacité énergétique d'une motorisation thermique

Dans les conditions d'utilisation des parcs DEAL et DAAF, l'énergie moyenne nécessaire à la mise en mouvement du véhicule n'est que de 1,6 litres de carburant par 100km, soit de l'ordre de **14,5 kWh/100km<sup>3</sup>**.

#### III.2.1.b. Application à un véhicule électrique

Les besoins et les conditions de déplacement ne sont pas liés au véhicule. On peut raisonnablement considérer que quel que soit le véhicule utilisé, à motorisation thermique ou électrique, l'énergie nécessaire à la mise en mouvement reste globalement constante.

Avec un rendement énergétique du moteur électrique de l'ordre de 90%, il en résulte une estimation de consommation d'un véhicule électrique, dans les conditions réelles d'utilisation de **16 kWh/100km**, soit de l'ordre de 15% de plus que la moyenne normalisée.

#### Efficacité énergétique comparée de véhicules à moteur thermique et électrique

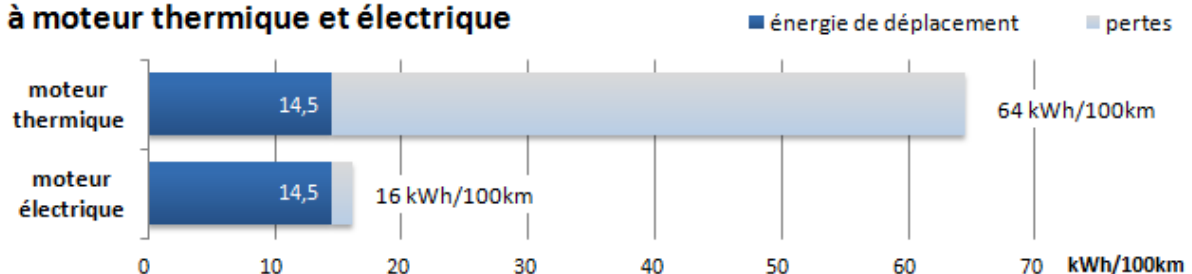


Figure III.6 : Efficacité énergétique des motorisations thermique et électrique

<sup>3</sup> Estimation sur la base d'un carburant fictif 50% gazole-50% essence de PCI égal à 9,3 kWh/l.

### III.2.2. Autonomie corrigée des véhicules électriques<sup>4</sup>

La méthode de correction décrite précédemment permet d'évaluer l'autonomie espérée des véhicules électrique dans les conditions réelles d'utilisation.

#### Véhicules électriques - Autonomie estimée en utilisation réelle

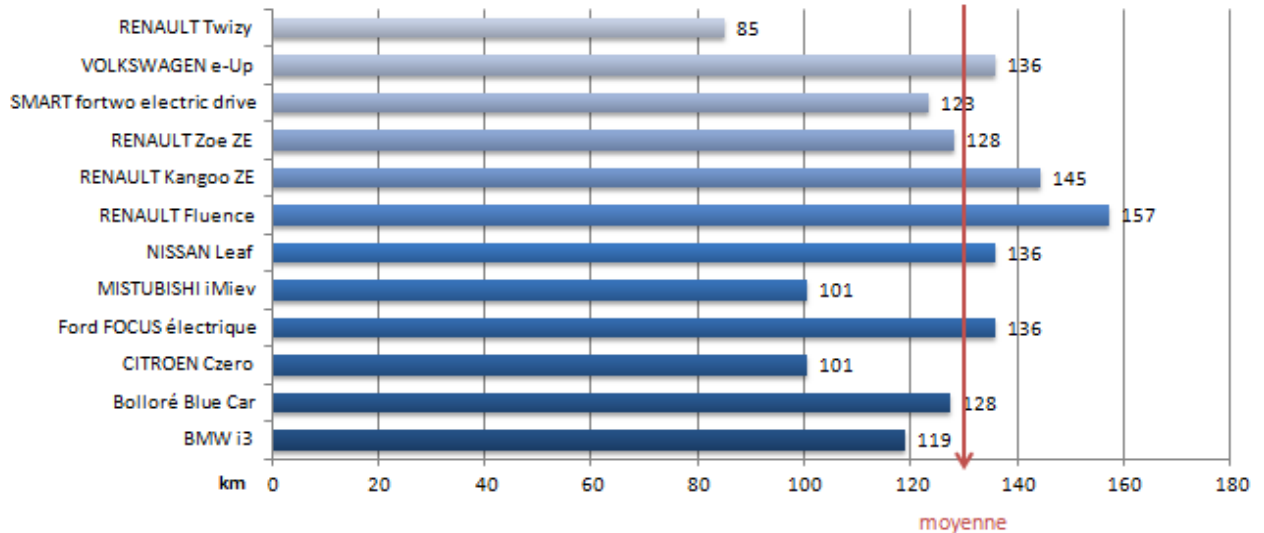


Figure III.7 : Autonomie en conditions réelles de quelques véhicules électriques

Sur l'échantillon présenté ci-dessus, l'autonomie moyenne est de l'ordre de 130 km.

### III.2.3. Evaluation des émissions de CO<sub>2</sub><sup>4</sup>

Sur la base des consommations corrigées et à partir du facteur carbone du kWh électrique du réseau de Guadeloupe, on détermine les émissions de CO<sub>2</sub> pour chaque véhicule.

#### Véhicules électriques - Emissions théoriques\* de CO<sub>2</sub> par recharge sur le réseau électrique de Guadeloupe

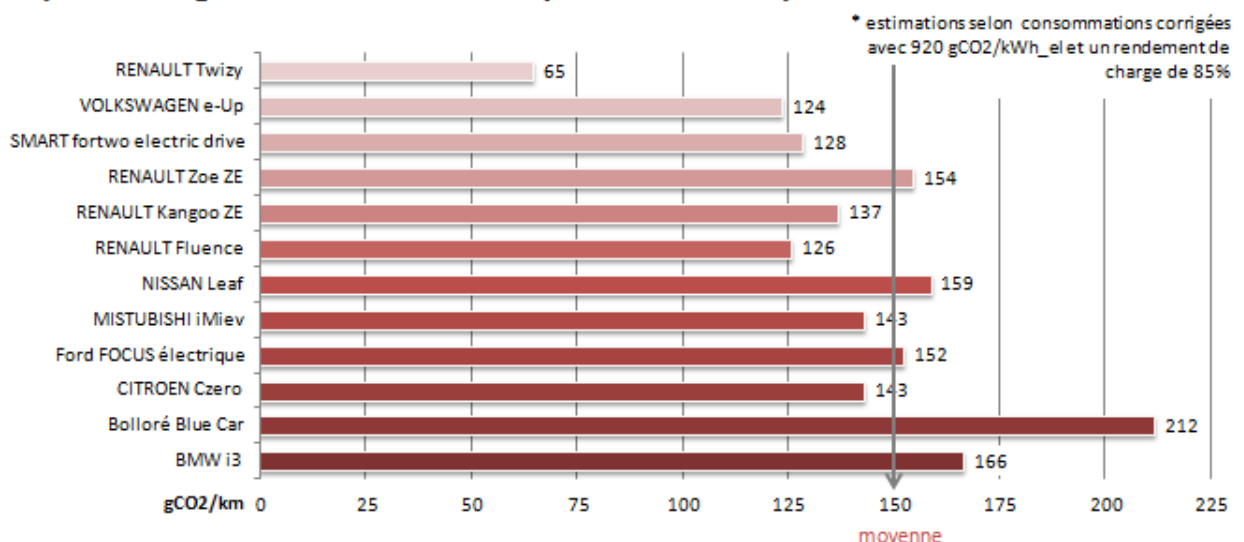


Figure III.8 : Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> pour quelques véhicules électrique dans le contexte guadeloupéen

En moyenne, sur l'échantillon présenté, les émissions s'élèvent à 150 gCO<sub>2</sub>/km, un niveau très supérieur à un véhicule thermique récent.

<sup>4</sup> Les estimations présentées ci-dessus sont basées sur des valeurs et une approche théorique dans le but de réaliser l'étude de faisabilité. Elles ne sont pas garanties et doivent d'être consolidées par une expérimentation en conditions réelles.

### III.3. Modes de recharge

Les constructeurs proposent plusieurs modes qui permettent un temps de recharge de la batterie entre 10h et 30 min. Il n'est cependant pas nécessaire d'attendre la décharge complète pour recharger.

#### III.3.1. Recharge normale

Le véhicule est branché sur une domestique dédiée 16A monophasé - 3kVA. La charge complète nécessite une dizaine d'heures.

#### III.3.2. Recharge accélérée

Le raccordement se fait nécessairement via un boîtier spécifique de 7 à 20 kVA. Il permet d'abaisser le temps de charge à quelques heures.

#### III.3.3. Recharge rapide.

Une charge complète effectuée en moins d'une 1 heure est possible via les bornes de recharge publiques ou de parking. Ces points de recharge nécessitent une forte puissance électrique, supérieure à 40kVA, en courant alternatif ou en courant continu.

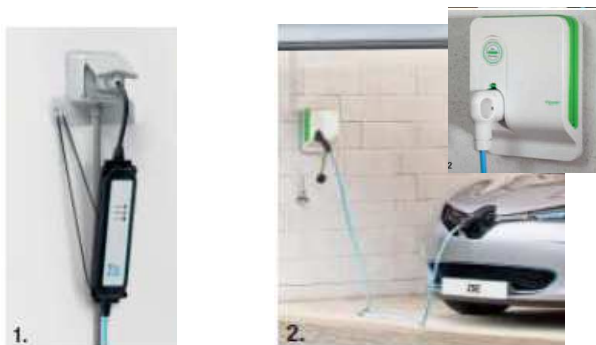


Figure III.10 : Points de recharge normale et accélérée - source Renault



Figure III.9 : Bornes de recharge publiques - source : [www.global-et-local.eu/](http://www.global-et-local.eu/)

#### III.3.4. Types de prises

Différents format de prises peuvent être proposés selon les constructeurs :

	Domestique	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
<b>Puissance</b>	3 kw AC (mono)	De 3 à 7 kw AC (Mono)	De 3 à 43 kw AC (tétra)	De 3 à 22 kw AC (tétra)	50 kw DC
<b>Mode de Charge</b>	Mode 1 et 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3	Mode 4
<b>Application</b>	Infrastructure	Véhicule	Véhicule Infrastructure	Infrastructure	Véhicule
<b>Obturbateurs</b>	Oui	Non	Non	Oui	Non

Figure III.11 : Types de prises de recharge - source : [www.gestion-des-risques-interculturels.com/](http://www.gestion-des-risques-interculturels.com/)

Il est à noter que :

- L'Union Européenne a adopté le 29 septembre 2014 sa directive CPT "Clean Power for Transport", une nouvelle réglementation pour assurer la mise en place et le déploiement de points de recharge. Elle fixe notamment les normes communes de conception et d'utilisation, ainsi que le standard de type 2 pour les prises. La Directive devrait être transcrite et applicable dans les Etas membres d'ici fin 2016.
- Par anticipation, les constructeurs français avaient choisi le type 3, notamment pour l'équipement des stations Autolib.

Dans le cas présent et pour le développement d'une nouvelle infrastructure, il est recommandé d'adopter le standard européen et d'assurer la cohérence et la compatibilité avec les installations existantes.

## IV. MOBILITE ELECTRIQUE - DEAL ET DAAF

### IV.1. Hypothèses de construction des scénarios

#### IV.1.1. Objectifs à atteindre

L'introduction de véhicules électriques ou hybrides doit répondre aux objectifs suivants : le respect de la directive ministérielle qui impose un remplacement de 50% des parcs, l'optimisation des dépenses liées aux déplacements professionnels obtenue par la réduction de la consommation de carburant et la réduction de l'impact environnemental tant sur les émissions de polluants et que de GES.

#### IV.1.2. Usages compatibles

L'offre de mobilité électrique ou hybride ne contient actuellement que les véhicules de tourisme (VL) et quelques utilitaires légers (VUL). **Les usages compatibles ne concernent pas les camionnettes et fourgons.**

##### IV.1.2.a. Véhicules électriques

La contrainte principale pour l'utilisation d'une voiture électrique est son autonomie limitée couplée à un temps de charge long en regard d'un plein de carburant pour un véhicule thermique.

Dans le contexte de la DEAL et de la DAAF, un véhicule électrique serait parfaitement adapté aux trajets urbains et extra-urbains, d'une distance cumulée journalière très inférieure à son autonomie. La recharge complète peut être assurée lors du stationnement au parking, la nuit.

Concernant les liaisons Basse-Terre / Pointe-à-Pitre, la distance aller-retour étant très proche de l'autonomie maximale, il y a un risque de ne pas pouvoir effectuer le trajet en intégralité. Le déplacement pourrait néanmoins être envisagé avec certains véhicules électriques et avec une recharge partielle sur le site de destination pour garantir le retour dans de bonnes conditions.

*nb. cette approche devra être révisée avec l'évolution prévisible des performances de véhicules électriques*

##### IV.1.2.b. Véhicules hybrides

Un véhicule hybride peut satisfaire tout type de déplacement, mais pourra être préféré sur les trajets longs et les usages particuliers (ex. Direction) en raison de son autonomie élevée.

Par ailleurs, un VEHy Rechargeable peut fonctionner sur de petits trajets en mode tout électrique, à condition de le recharger régulièrement...

##### IV.1.2.c. Adéquation déplacement / type véhicule

Tableau IV-1 : Compatibilité véhicules électrique et hybrides avec les déplacements

Parcs véhicules DEAL et DAAF	Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km
Type véhicule	VE VEHy-R VEHy	VE VEHy-R VEHy	VE* VEHy-R VEHy	VEHy-R VEHy

\* selon l'autonomie, un VE nécessite une recharge au moins partielle en cours de trajet

#### IV.1.3. Optimisation des parcs véhicules

Plusieurs pistes d'optimisation sont envisageables et permettraient de réduire tant les besoins de déplacements que la taille des parcs. Ces actions sont à la fois du domaine technique et managériale.

La liste présentée ci-dessous est donnée à titre indicatif et son intégration éventuelle dans un Plan de Déplacements d'Administration (PDA) reste à la discrétion des services :

- améliorer le suivi des emprunts : validation de la demande par la hiérarchie, affectation d'un véhicule par le gestionnaire de parc, relevé et suivi "au fil de l'eau" du kilométrage et des consommations...
- réduire le taux d'immobilisation : remplacer les véhicules anciens et améliorer l'efficacité des réparations.
- élaborer une charte pour les réunions : fixer les limites horaires de départ et d'arrivée pour favoriser le covoiturage et, ultérieurement, la mise en place de navettes pour les liaisons Basse-Terre / Point-à-Pitre.
- regrouper les services sur un site unique (en cours).
- réduire le nombre de véhicules affectés et améliorer la visibilité de leur disponibilité.
- réduire le nombre de véhicules du parc pour obtenir un taux d'utilisation d'au moins 3 sorties hebdomadaires.

#### IV.1.4. Intégration des besoins pour le personnel

Le bilan GES 2012 de la DEAL montre une prédominance de l'utilisation de la voiture pour les trajets domicile-travail. Une petite minorité utilise les transports en communs. La distance moyenne est de 24 km/jour.

A l'heure actuelle, il n'y a pas de besoin identifié pour le personnel, tant pour l'utilisation de voiture électrique que de vélo à assistance électrique (VAE).

Cependant, on peut supposer que l'apparition de ces nouveaux véhicules va se faire selon le développement du marché et, qu'à court terme, certains agents en seront équipés.

La DEAL et la DAAF peuvent préparer et accompagner cette évolution avec l'installation d'équipement de recharge à des endroits privilégiés sur les bâtiments existants et se conformer à la réglementation pour les bâtiments neufs. Il a été convenu d'intégrer à terme 4 à 5 véhicules du personnel dans les scénarios de mobilité. la présence éventuelle de Vélos à Assistance Électrique (VAE) n'aura pas d'impact significatif sur la demande d'énergie, mais faudra prévoir leur stationnement sécurisé et leur bornes de recharge.

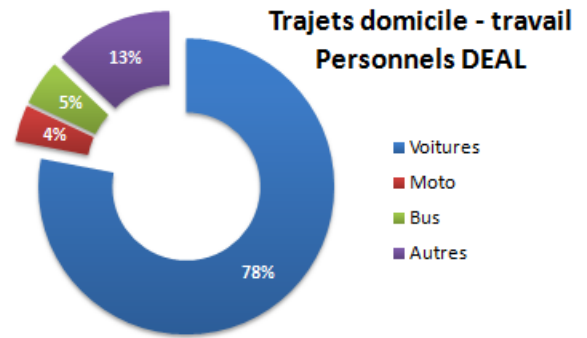


Figure IV.1 : DEAL - Répartition des trajets domicile-travail

#### IV.1.5. Evaluation des besoins futurs des parcs

##### IV.1.5.a. Principe de calcul

Le besoin de déplacement est exprimé en nombre par semaine et par type de trajet. On détermine ensuite un nombre de véhicules nécessaires pour satisfaire la demande et puis le kilométrage moyen parcouru<sup>5</sup>.

Les différents scénarios sont construits en ajustant une part de "mobilité électrique en %" pour chaque type de trajet. Le nombre de véhicules électriques à introduire est obtenu par la somme "besoins" x "part électrique" sur tous les trajets.

##### IV.1.5.b. Hypothèses d'évolution des besoins

Des hypothèses d'optimisation ont été appliquées aux parcs (cf. §IV.1.3, hors véhicules utilitaires) :

- réduction des petits trajets : suite au regroupement des services sur le site de St-Phy, les trajets urbains à Basse-Terre sont réduits à un niveau identique à la DAAF et à la DEAL Dothémare, soit 9% des besoins actuels,
- réduction de 5% des autres déplacements liés à l'évolution des effectifs,
- augmentation du taux d'utilisation des véhicules en nombre de sorties/veh/semaine : DEAL : 2,1 à 2,6 et DAAF : 2,7 à 2,9.

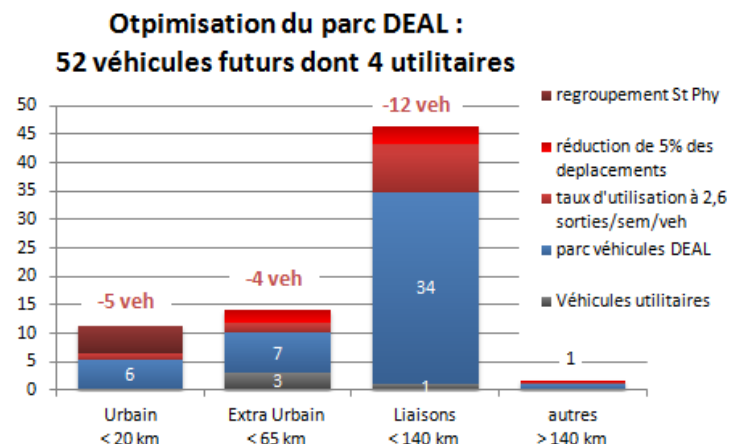


Figure IV.2 : Optimisation du parc véhicules de la DEAL

D'après ces hypothèses, les besoins de mobilité pour la DEAL et la DAAF seraient les suivants :

Parcs futurs : DEAL et DAAF	Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	total
<b>DAAF : 29 véhicules + 1 utilitaire</b>	10%	23%	66%	1%	
déplacements DAAF nb/sem	8,1	19,0	54,6	0,9	83
kilométrage DAAF km/sem	138	1 050	6 500	131	7 819
parc véhicules DAAF nb	2,8	6,6	18,8	0,3	29
<b>DEAL : 48 véhicules + 4 utilitaires</b>	9%	15%	72%	2%	
déplacements DEAL nb/sem	13,5	18,1	86,5	2,9	121
kilométrage DEAL km/sem	230	997	10 288	436	11 950
parc véhicules DEAL nb	5,3	7,1	33,9	1,1	48

Tableau IV-2 : DEAL et DAAF - Synthèse des besoins futurs pour les scénarios de déplacements

<sup>5</sup> Le kilométrage total par type de trajet est déterminé par le produit : nb de déplacements x 85% x distance maxi.

## IV.2. Scénarios d'introduction des VE et VEHy dans les parcs

L'introduction, puis le déploiement, de véhicules électriques et hybrides pour les déplacements professionnels va entraîner des évolutions majeures à plusieurs niveaux :

- chez les agents : prise en main du véhicule, style de conduite, branchement de la recharge, etc...
- à l'atelier : équipement, formation des personnels pour l'entretien des véhicules dans les règles de l'art et de sécurité,
- sur les infrastructures : (re)dimensionnement de la distribution électrique, emplacement et bornes de recharge, système de production électrique,
- sur le budget qui devra intégrer le coût des équipements spécifique et un éventuel surcôt à l'achat.

Les scénarios proposés ci-après tiennent compte de toutes ces contraintes et assurent la progressivité et la souplesse nécessaires à une intégration réussie.

### IV.2.1.a. Scénarios progressifs avec des véhicules électriques pour la DEAL

Les différents scénarios de base décrits ci-dessous sont construits avec une utilisation préférentielle de véhicules électriques. Cette hypothèse est la plus contraignante tant sur la capacité à satisfaire correctement la demande de déplacements que sur les besoins en énergie qui conditionnent les infrastructures de recharge et de production. L'intégration de véhicules hybrides est proposée dans des variantes.

Les scénarios ci-dessous sont indépendants. La présentation en ordre croissant propose une progressivité de la démarche selon les critères :

- nombre de véhicules et du % électrique du parc,
- difficulté à satisfaire les besoins de déplacement,
- kilométrage à couvrir, et donc de l'énergie à fournir.

Jusqu'à huit véhicules électriques du personnel sont intégrés dans les scénarios : ils vont impacter la demande en énergie, mais ils ne sont pas comptabilisés dans les parcs et n'interviennent pas dans les besoins de déplacement.

Tableau IV-3 : DEAL - Descriptif des scénarios progressifs de mobilité électrique

Scénarios de Mobilité Electrique pour la DEAL		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	personnel	total	% Veh Elec
besoin de déplacements en nb/sem		13,5	18,1	86,5	2,9	40,0	121	
<b>Scénario 1 :</b>	<b>1 - Mobilité électrique (%)</b>	25%	10%	0%	0%		6%	
<b>démonstrateur VE</b>	<b>1 - Kilométrage Elec (%)</b>	0%	1%	0%	0%		1%	
↳ 25% Urbain - 10% Extra Urbain								
	<b>1 - nb de véhicules Elec</b>	1,3	0,7	0,0	0,0		2	4%
Le scénario 1 traite sans risque les petits déplacements et assure l'appropriation des VE par l'ensemble des usagers. Seuls 2 véhicules sont nécessaires et les infrastructures sont de petite taille. Le scénario 1 est un démonstrateur pour valider la suite du plan de déploiement.								
<b>Scénario 2 :</b>	<b>2 - Mobilité électrique (%)</b>	50%	25%	5%	0%		16%	
<b>déploiement VE sur trajets courts</b>	<b>2 - Kilométrage Elec (%)</b>	1%	2%	4%	0%		7%	
↳ 50% Urbain - 25% Extra Urbain								
	<b>2 - nb de véhicules Elec</b>	2,6	1,8	1,7	0,0		6	13%
Le scénario 2 est un déploiement sur les trajets courts et permet d'expérimenter l'utilisation d'un véhicule électrique sur des liaisons Basse-Terre / Pointe-à-Pitre.								
<i>type véhicule</i>		VE	VE	VEHy_R				
<b>Scénario 2b :</b>	<b>2b - Mobilité électrique (%)</b>	50%	25%	5%	0%		16%	
<b>déploiement VE sur trajets courts</b>	<b>2b - Kilométrage Elec (%)</b>	1%	2%	1%	0%		4%	
↳ 50% Urbain - 25% Extra Urbain								
	<b>2b - nb de véhicules Elec</b>	2,6	1,8	1,7	0,0		6	13%
Le scénario 2b est une variante avec l'utilisation de VEHy_Rechargeables pour les liaisons.								
<i>type véhicule</i>		VE	VE	VE		VE		
<b>Scénario 3 :</b>	<b>3 - Mobilité électrique (%)</b>	100%	75%	15%	0%	50%	39%	
<b>déploiement VE sur liaisons</b>	<b>3 - Kilométrage Elec (%)</b>	2%	6%	13%	0%		21%	
↳ 100% Urbain - 75% Extra Urbain - 15% Liaisons								
	<b>3 - nb de véhicules Elec</b>	5,3	5,3	5,1	0,0	4,0	16	33%
Le scénario 3 traite la grande majorité des déplacements courts et vise le déploiement des VE sur les liaisons accompagné de l'extension nécessaire des infrastructures								
<i>type véhicule</i>		VE	VE	VE		VE		
<b>Scénario 4 :</b>	<b>4 - Mobilité électrique (%)</b>	100%	100%	33%	0%	100%	56%	
<b>objectif 50% Electrique</b>	<b>4 - Kilométrage Elec (%)</b>	2%	8%	28%	0%		39%	
↳ 100% Urbain - 100% Extra Urbain - 33% Liaisons								
	<b>4 - nb de véhicules Elec</b>	5,3	7,1	11,2	0,0	8,0	24	50%
L'objectif de 50% de VE dans le parc est atteint avec le traitement de 100% des déplacements courts.								
<i>type véhicule</i>		VE	VE	VE		VE		
<b>Scénario 5 :</b>	<b>5 - Mobilité électrique (%)</b>	0%	0%	70%	0%	100%	44%	
<b>objectif 50% Electrique (liaisons)</b>	<b>5 - Kilométrage Elec (%)</b>	0%	0%	60%	0%		60%	
↳ 0% Urbain - 0% Extra Urbain - 70% Liaisons								
	<b>5 - nb de véhicules Elec</b>	0,0	0,0	23,7	0,0	8,0	24	50%
Variante de l'objectif de 50% de VE dans le parc avec le traitement seul de 75% des liaisons.								

nb : les véhicules électriques pour le personnel sont intégrés dans les scénarios DEAL, mais comptent pour les deux directions

## Scénarios de Mobilité Electrique pour la DEAL

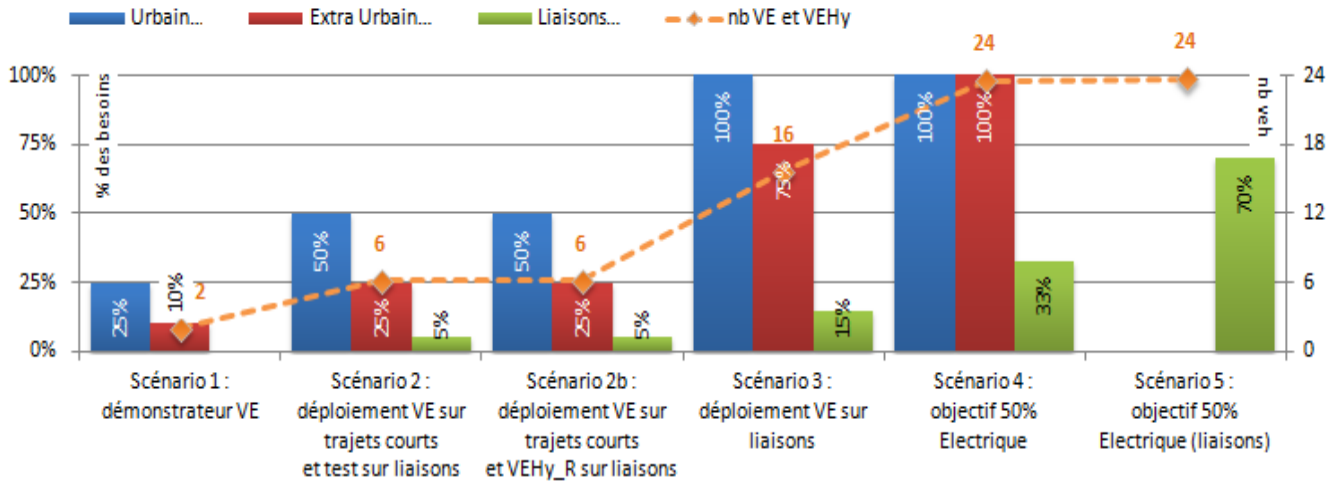


Figure IV.3 : DEAL - Représentation graphique des scénarios de mobilité électrique

### IV.2.1.b. Scénarios alternatifs avec des véhicules hybrides pour la DEAL

L'objectif de remplacement de 50% du parc véhicules peut être réalisé avec des véhicules hybrides. C'est l'objet des variantes au scénario 5 :

#### Scénario 5b : utilisation de véhicules hybrides.

Les véhicules hybrides sont autonomes et ne nécessitent pas d'installation particulière : ils peuvent être introduits dès maintenant, à l'instar de la DAAF.

#### Scénario 5c : utilisation de véhicules hybrides rechargeables.

Les véhicules hybrides rechargeables n'ont qu'une autonomie limitée en mode électrique. Le besoin en recharge n'est pas lié au kilométrage parcouru mais à la capacité de la batterie, notamment sur les trajets longs. En conséquence, les besoins en énergie d'un VEHy\_R sont très inférieurs à un VE.

Tableau IV-4 : DEAL - Descriptif des scénarios de mobilité hybride

Scénarios de Mobilité pour la DEAL		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	person nel	total	% Veh Elec
besoin de déplacements nb/sem		13,5	18,1	86,5	2,9	40,0	121	
type véhicule				VEHy		VE		
Scénario 5b : objectif 50% Hybride 0% Urbain - 0% Extra Urbain - 70% Liaisons	5b - Mobilité électrique (%)	0%	0%	70%	0%	100%	44%	
	5b - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	0%	0%		0%	
	5b - nb de véhicules Elec	0,0	0,0	23,7	0,0	8,0	24	50%
L'objectif est atteint avec 50% de voitures hybrides dans le parc. Ces véhicules sont autonomes et ne nécessitent aucune infrastructure nouvelle.								
type véhicule				VEHy_R		VE		
Scénario 5c : objectif 50% Hybride Rechargeable 0% Urbain - 0% Extra Urbain - 70% Liaisons	5c - Mobilité électrique (%)	0%	0%	70%	0%	100%	44%	
	5c - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	19%	0%		19%	
	5c - nb de véhicules Elec	0,0	0,0	23,7	0,0	8,0	24	50%
L'objectif est atteint avec 50% de voitures hybrides rechargeables dans le parc. Ces véhicules ne fonctionnent que partiellement en mode électrique et les infrastructures nécessaires seront réduites.								



**IV.2.1.c. Scénarios progressifs avec des véhicules électriques et hybrides pour la DAAF**

La situation actuelle de la DAAF qui dispose déjà de 3 véhicules hybrides est détaillée dans le scénario A : le parc est déjà 10% d'introduction de VE/VEHy.

Les scénarios présentés visent à l'introduction principalement de véhicules électriques, le déploiement d'hybrides est proposé en variante.

**Scénario B :** introduction de véhicules électriques sur les trajets courts, les hybrides existants sont affectés préférentiellement aux liaisons,

**Scénario B' :** variante avec la poursuite du déploiement des véhicules hybrides,

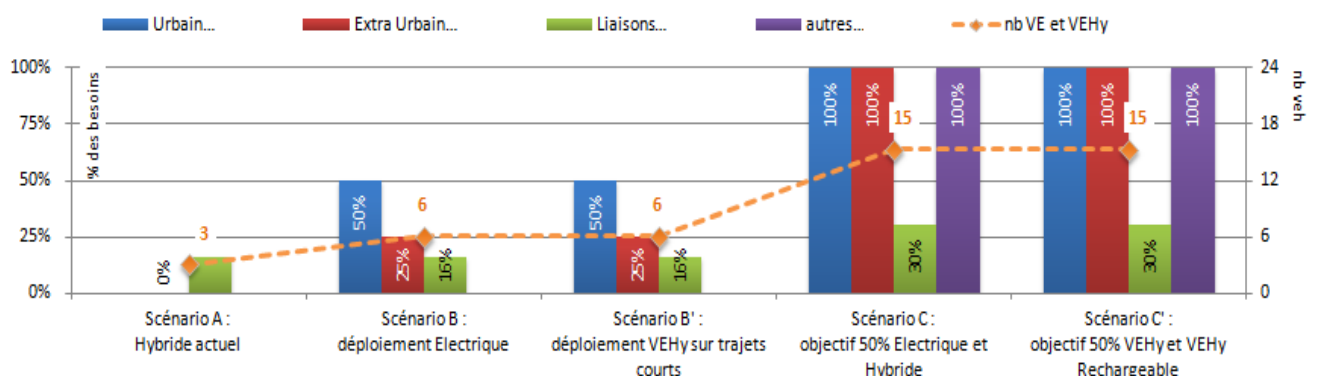
**Scénario C :** déploiement de véhicules électriques pour atteinte de l'objectif de 50% et réaffectation des VEHy existants sur des trajets courts,

**Scénario C' :** variante avec intégration de véhicules hybrides et hybrides rechargeables en nombre égal.

**Tableau IV-5 : DAAF - Descriptif des scénarios progressifs de mobilité électrique**

Scénarios de Mobilité Electrique pour la DAAF		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	total	% Veh Elec
besoin de déplacement en nb/sem		8.1	19.0	54.6	0.9	83	
type véhicule				VEHy			
<b>Scénario A :</b> <b>Hybride actuel</b> <small>0% Urbain - 0% Extra Urbain - 16% Liaisons</small>	A - Mobilité électrique (%)	0%	0%	16%	0%	10%	
	A - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	0%	0%	0%	
	A - nb VE et VEHy	0,0	0,0	3,0	0,0	3	10%
Situation actuelle de la DAAF avec 3 véhicules hybrides utilisés préférentiellement sur des liaisons.							
type véhicule		VE	VE	VEHy			
<b>Scénario B :</b> <b>déploiement Electrique</b> <small>50% Urbain - 25% Extra Urbain - 16% Liaisons</small>	B - Mobilité électrique (%)	50%	25%	16%	0%	23%	
	B - Kilométrage Elec (%)	1%	3%	0%	0%	4%	
	B - nb VE et VEHy	1,4	1,6	3,0	0,0	6	21%
Introduction et déploiement de véhicules électriques sur les trajets courts							
type véhicule		VEHy	VEHy	VEHy			
<b>Scénario B' :</b> <b>déploiement VEHy sur trajets</b> <small>50% Urbain - 25% Extra Urbain - 16% Liaisons</small>	B' - Mobilité électrique (%)	50%	25%	16%	0%	23%	
	B' - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	0%	0%	0%	
	B' - nb VE et VEHy	1,4	1,6	3,0	0,0	6	21%
Variante au scénario B déploiement de véhicules hybrides uniquement							
type véhicule		VEHy	VE	VE	VEHy		
<b>Scénario C :</b> <b>objectif 50% Electrique et Hybride</b> <small>100% Urbain - 100% Extra Urbain - 30% Liaisons</small>	C - Mobilité électrique (%)	100%	100%	30%	100%	56%	
	C - Kilométrage Elec (%)	0%	13%	25%	0%	38%	
	C - nb VE et VEHy	2,8	6,6	5,7	0,3	15	52%
L'objectif de 50% de VE dans le parc est atteint avec le traitement de 100% des déplacements courts et une partie des liaisons.							
type véhicule		VEHy	VEHy	VEHy	VEHy		
<b>Scénario C' :</b> <b>objectif 50% VEHy et VEHy</b> <small>100% Urbain - 100% Extra Urbain - 30% Liaisons</small>	C' - Mobilité électrique (%)	100%	100%	30%	100%	56%	
	C' - Kilométrage Elec (%)	0%	9%	0%	0%	9%	
	C' - nb VE et VEHy	2,8	6,6	5,7	0,3	15	52%
Variante de l'objectif de 50% avec des VEHy et VEHy_Rechargeables							

**Scénarios de Mobilité Electrique pour la DAAF**



**Figure IV.4 : DAAF - Représentation graphique des scénarios de mobilité électrique**

### IV.3. Evaluation des besoins en énergie

#### IV.3.1. Méthodologie et hypothèses de calcul

Les besoins en énergies ont été calculés à partir des distances parcourues en mode électrique et en propulsion thermique. La répartition électrique/thermique du kilométrage total varie selon les différents scénarios.

##### IV.3.1.a. principe

- affectation des véhicules sur les différents types de trajet (cf. scénarios),
- calcul de la distance parcourue en mode électrique,
- détermination l'énergie nécessaire en fonction du kilométrage total et de la consommation du véhicule,
- majoration de la demande électrique pour tenir compte des rendements de charge et système PV.

##### IV.3.1.b. hypothèses de calcul

Tableau IV-6 : Caractéristiques des véhicules pour le calcul des besoins en énergie

caractéristiques techniques des véhicules		conso élec kWh/100km	capacité kWh	Autonomie élec km
VE	Electrique	16	20	125
VEHy_R	Hybride Rechargeable	26	10	40
VEHy	Hybride	0	0	
rendement de charge et système PV			20%	

Il est à noter que :

- un véhicule hybride est autonome et n'a aucun impact sur la demande électrique,
- un hybride rechargeable est limité par sa batterie : la demande électrique par trajet ne peut donc pas excéder la capacité de la batterie. La priorité de fonctionnement est donnée au mode électrique.

#### IV.3.2. Combinaison des scénarios DEAL et DAAF

Pour la suite de l'étude, on s'intéressera aux besoins en énergies cumulés des parcs DEAL et DAAF qui seront calculés sur une combinaison des scénarios DEAL et DAAF déterminés précédemment. Cette association conserve la progressivité et intègre les véhicules du personnel. Au cumul pour les deux directions, le besoin de déplacement est évalué à ~1 million de km par an.

Pour simplifier la suite de l'analyse, on distingue 2 familles de scénarios :

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

Scénario DEAL-DAAF	1-A démonstrateur	2-B Déploiement VE	2b-B' VE sur trajets courts	3-B Déploiement VE
nb véhicules *	5	12	12	26
VE / VEHy / VEHy_R	2/3/0	9/3/0	4/6/2	23/3/0
Part de mobilité électrique	1%	6%	3%	17%

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

Scénario DEAL-DAAF	4-C 50% VE	5-C VE sur liaisons	5b-C' Priorité VEHy et R	5c-C' VE et VEHy
nb véhicules *	47	47	47	47
VE / VEHy / VEHyR	44/3/0	44/3/0	8/32/7	32/9/6
Part de mobilité 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%.

#### IV.3.3. Répartition des parcs selon les zones géographiques

##### IV.3.3.a. Cas de Marie-Galante :

L'analyse des déplacements effectuée à un niveau global, n'est vraisemblablement pas représentative de la situation réelle étant donné la spécificité de l'île. Cependant, les véhicules affectés à Marie-Galante ne représentent que ~5% des parcs et on peut raisonnablement considérer leur impact comme faible ou négligeable.

Dans la suite de l'étude, les scénarios de mobilité ne concerneront que les zones de Basse-Terre et Grande-Terre, les véhicules de Marie-Galante resteront dans les "50% thermique".

Néanmoins, une mobilité électrique ou hybride pourrait certainement être mise en place sur l'île. Il faudrait une analyse plus spécifique et des scénarios adaptés au contexte particulier de ce territoire.

#### IV.3.3.b. Répartition Basse-Terre / Grande-Terre :

La demande d'énergie a été reportée à 60% sur le site de St-Phy à Basse-Terre et à 40% sur le site de Dothémare pour Grande-Terre.

Cette répartition a été fixée à un niveau intermédiaire entre la répartition des véhicules à quasi égalité sur les 2 sites à l'heure actuelle et une affectation des effectifs DEAL +DAAF majoritairement à St Phy (~75%).

#### IV.3.4. Besoins des scénarios

Les besoins en énergies sont modestes pour le scénario "démonstrateur" qui ne demande que 1,6 MWh/an, et s'élèvent au plus à 115 MWh/an pour une mobilité à 50% électrique du scénario le plus exigeant : DEAL 5 + DAAF C.

##### IV.3.4.a. Scénarios intermédiaires

La répartition est effectuée prioritairement sur un seul site pilote - arbitrairement Basse Terre- afin de limiter la complexité de réalisation du projet.

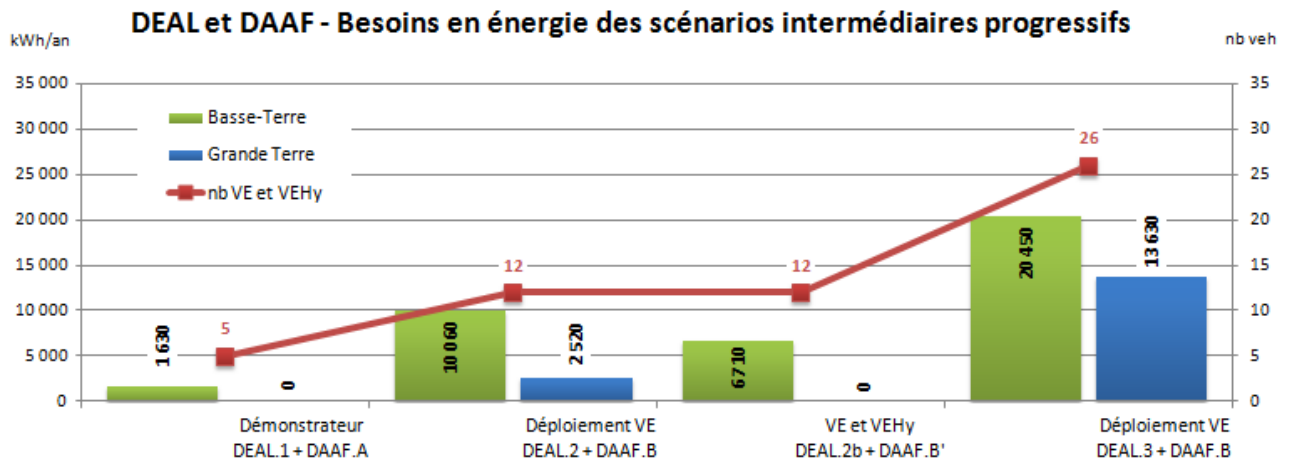


Figure IV.5 : Besoins en énergies des scénarios intermédiaires par site

##### IV.3.4.b. Scénarios "Objectif 50%"

La répartition conduit à un besoin maximum de 69 MWh/an pour le site de St-Phy dans le cas du scénario 5-C. Le minimum est obtenu à Dothémare avec l'utilisation de véhicules hybrides.

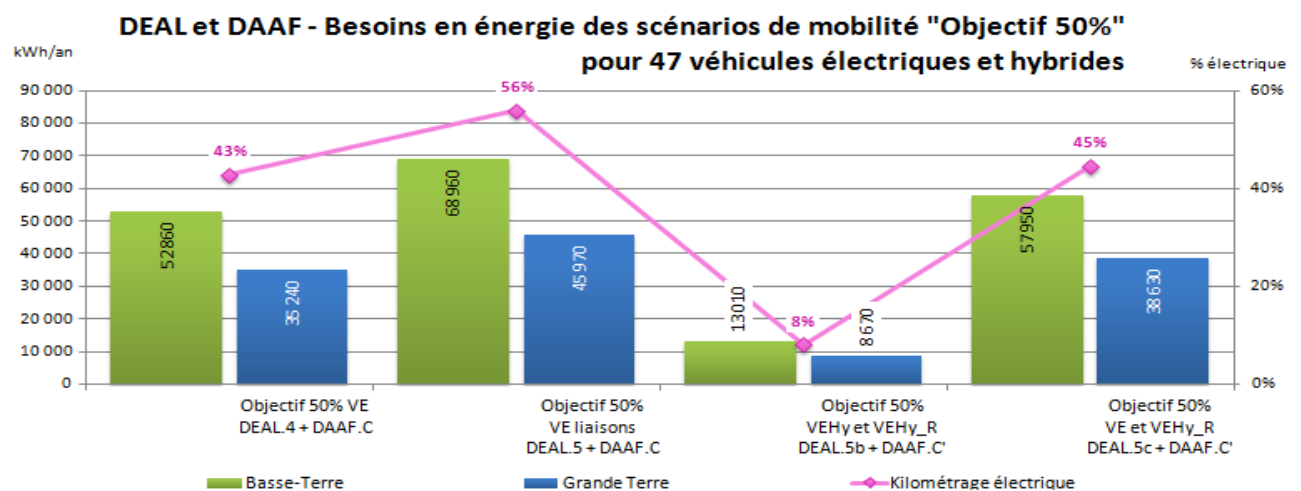


Figure IV.6 : Besoins en énergies des scénarios de mobilité "Objectif 50%" par site

A titre indicatif, est donnée une estimation du champ photovoltaïque<sup>6</sup> nécessaire pour compenser les besoins en énergie des déplacements. Les caractéristiques détaillées du système seront déterminées en phase II selon plusieurs variantes techniques.

Tableau IV-7 : DEAL et DAAF - Combinaison des scénarios de mobilité et répartition par sites

DEAL et DAAF - Besoins en énergie des Scénarios de Mobilité		Total kWh/an	nb véhicules	Répartition par site		Estimation PV		
titre	%			kWh/an	kWc	m <sup>2</sup>		
DEAL	Scénario 1 :démonstrateur VE	1 630	5	BT	100%	1 630	2	13
DAAF	Scénario A :Hybride actuel			GT	0%	0	0	0
DEAL	Scénario 2 :déploiement VE sur trajets courts et test sur liaison.	12 580	12	BT	80%	10 060	7	46
DAAF	Scénario B :déploiement Electrique			GT	20%	2 520	2	13
DEAL	Scénario 2b :déploiement VE sur trajets courts et VEHy_R sur lia	6 710	12	BT	100%	6 710	5	33
DAAF	Scénario B' :déploiement VEHy sur trajets courts			GT	0%	0	0	0
DEAL	Scénario 3 :déploiement VE sur liaisons	34 080	26	BT	60%	20 450	13	86
DAAF	Scénario B :déploiement Electrique			GT	40%	13 630	9	59
DEAL	Scénario 4 :objectif 50% Electrique	88 100	47	BT	50%	44 050	28	185
DAAF	Scénario C :objectif 50% Electrique et Hybride			GT	50%	44 050	28	185
DEAL	Scénario 5 :objectif 50% Electrique (liaisons)	114 930	47	BT	50%	57 470	36	238
DAAF	Scénario C :objectif 50% Electrique et Hybride			GT	50%	57 470	36	238
DEAL	Scénario 5b :objectif 50% Hybride	21 680	47	BT	50%	10 840	7	46
DAAF	Scénario C' :objectif 50% VEHy et VEHy Rechargeable			GT	50%	10 840	7	46
DEAL	Scénario 5c :objectif 50% Hybride Rechargeable	96 580	47	BT	50%	48 290	31	205
DAAF	Scénario C' :objectif 50% VEHy et VEHy Rechargeable			GT	50%	48 290	31	205

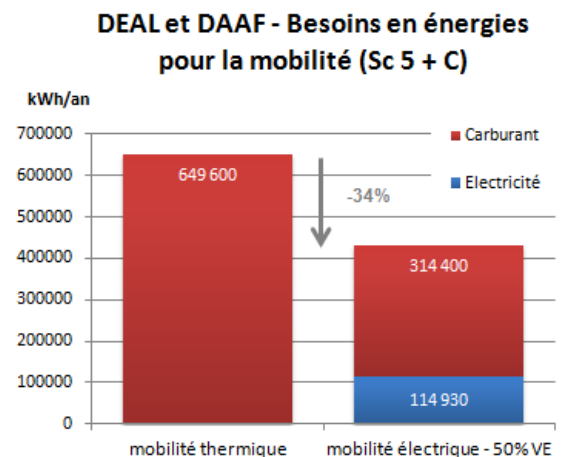
#### IV.4. Impact de la mobilité sur la demande électrique

##### IV.4.1. Réduction des besoins en énergie

Le transfert de la mobilité thermique vers une mobilité électrique entraîne une réduction de l'ordre de 50% de la consommation de carburant.

Grâce à l'efficacité énergétique de la propulsion électrique, le bilan énergétique des déplacements est significativement réduit, de l'ordre de 34%.

Figure IV.7 : Comparaison des besoins en énergies pour la mobilité



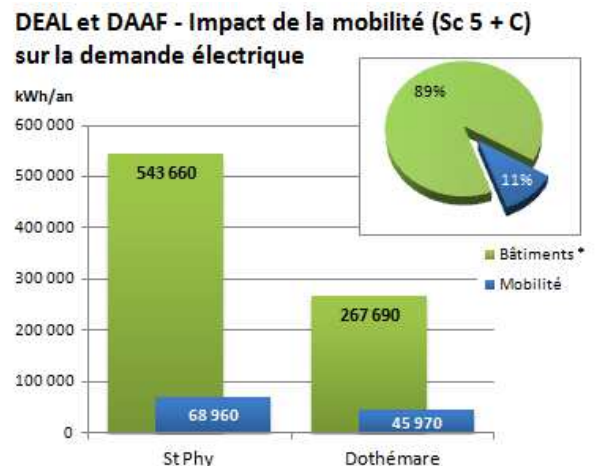
##### IV.4.2. Part de la mobilité dans la demande électriques des infrastructures

Dans le cas du scénario de mobilité le plus exigeant, la demande d'énergie liée à la mobilité électrique ne dépasse pas 15% des besoins des bâtiments.

L'impact de l'introduction de véhicules électriques dans les parcs reste donc limité.

\* besoins réels pour Dothémare, estimés pour le futur bâtiment de St-Phy

Figure IV.8 : Impact de la mobilité sur la demande électrique



<sup>6</sup> En hypothèses : productivité PV en Guadeloupe : Nh= 1600h et surface spécifique = 6,6 m<sup>2</sup>/kWc

## IV.5. Simulation de l'état de charge d'un véhicule électrique

Des simulations de charge/décharge des véhicules électriques ont été réalisées sur une semaine type selon les trajets habituels. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- véhicule électrique de capacité batterie = 20 kWh et consommation = 16 kWh/100km
- charge au parking à une puissance de 3 kW, la nuit de 21 h à 6h
- charge photovoltaïque au " fil du soleil" : selon puissance PV instantanée disponible (Pc = 3kWc)

### IV.5.1. Trajets urbains < 20km, 7 fois par semaine

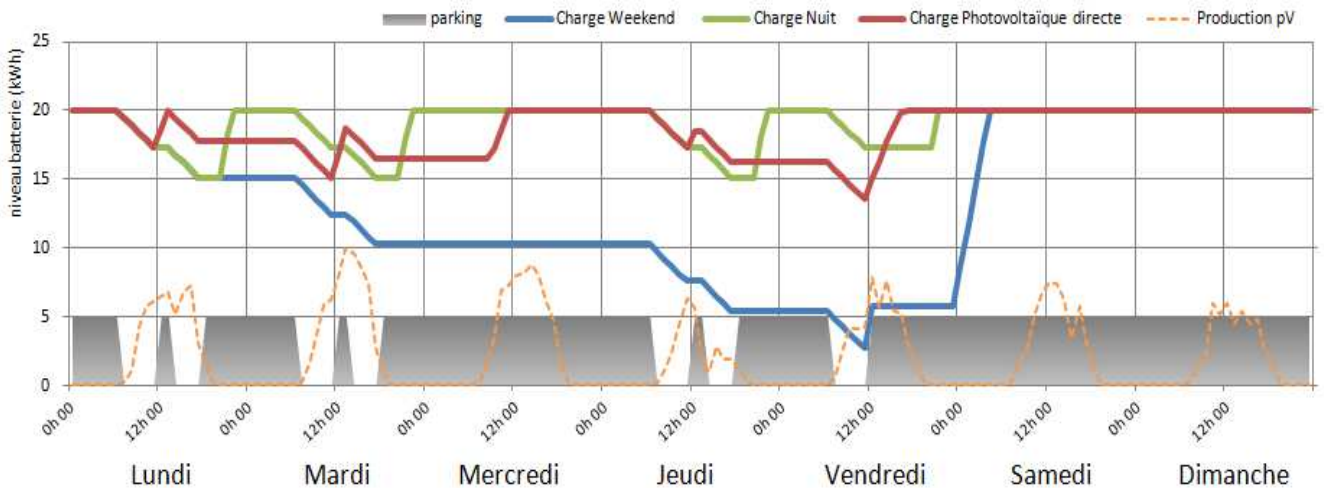


Figure IV.9 : Simulation de charge électrique sur trajets urbains

#### Constats

- une charge journalière n'est pas obligatoire, 1 à 2 fois par semaine selon usage.
- il y a possibilité d'une recharge "au fil du soleil", si le véhicule est au parking à la mi-journée.

### IV.5.2. Trajets extra-urbains < 65km, 4 fois par semaine

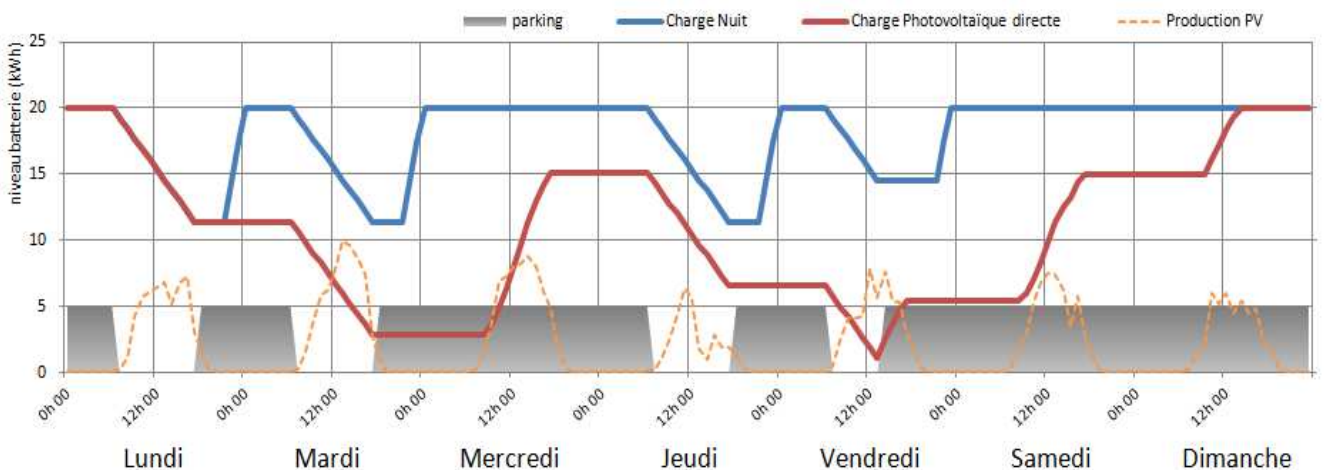


Figure IV.10 : Simulation de charge électrique sur trajets extra-urbains

#### Constats

- Charge journalière recommandée pour garantir le trajet du lendemain.
- Recharge "au fil du soleil" difficile en raison du déphasage production/stationnement au parking.

#### IV.5.3. Trajets liaisons < 140 km, 3 fois par semaine

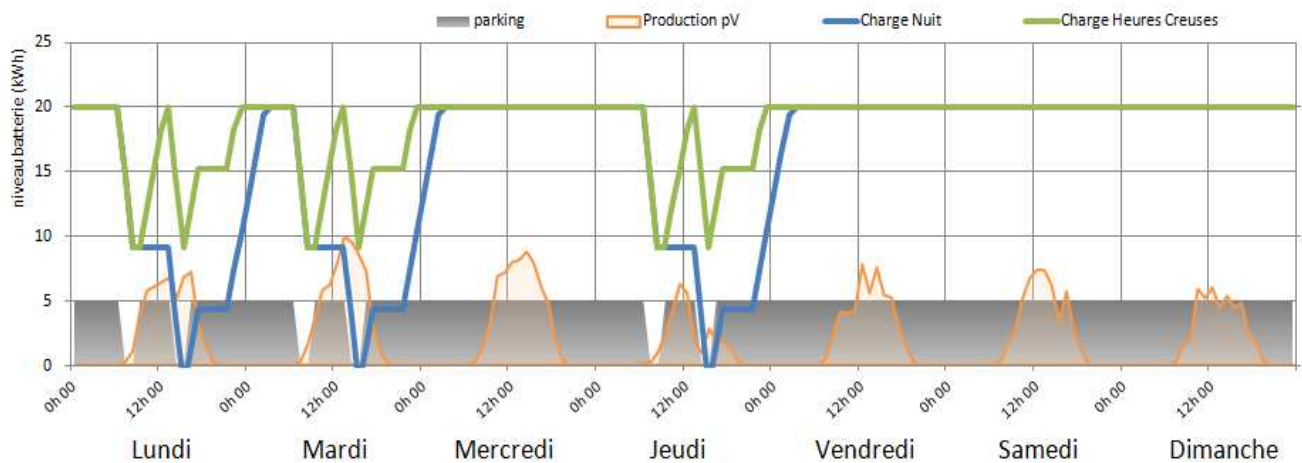


Figure IV.11 : Simulation de charge électrique sur trajets liaisons

#### Constats

- recharge à mi-parcours obligatoire, une infrastructure est nécessaire sur le site distant.
- bon phasage PV-parking, recharge "au fil du soleil" à étudier, notamment grâce à l'équipement en bornes de recharge sur le site distant.

*nb : les simulations présentées ci-dessus ont pour but de consolider la faisabilité des scénarios et d'identifier les limites d'utilisation. Elles ne constituent pas une garantie de fonctionnement en situation réelle.*

#### IV.6. Accompagnement du changement

L'évolution prévue des parcs véhicules et le passage d'une mobilité thermique vers une mobilité électrique ou hybride va bouleverser les modes de fonctionnement et les comportements habituels. Cette transition doit être progressive et nécessairement accompagnée pour une bonne appropriation par l'ensemble des usagers.

Certaines actions peuvent être anticipées.

#### Agents :

- sensibilisation à la mobilité électrique, information sur le projet et sur les véhicules,
- formation à l'utilisation de VE/VEHy : prise en main, conduite, perception par les autres usagers de la route (silence de fonctionnement), risques électriques...
- appropriation des règles d'utilisation, de stationnement (si emplacements réservés) et de recharge.

#### Direction :

- exemplarité,
- définition et application des règles d'utilisation.

#### Services généraux :

- formation des personnels pour l'entretien des véhicules dans les règles de l'art et de sécurité,
- équipement en matériel adéquats,
- formation à la maintenance des infrastructures de production et de recharge,
- préparation des contrats si prestation extérieure.

## PHASE 2 : CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

---

# V. FAISABILITE D'IMPLANTATION DES SYSTEMES

## V.1. Identification du gisement solaire

nb : les graphiques ci-dessous ne prennent pas en compte les masques éventuels

### V.1.1. Ensoleillement moyen

#### Ensoleillement à Basse-Terre (Guadeloupe) sur un plan horizontal

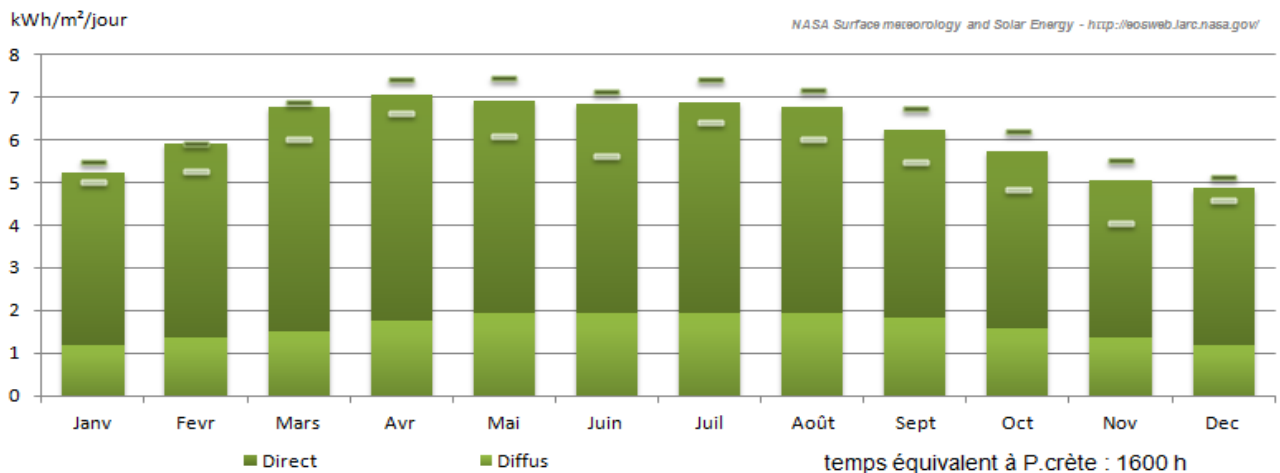


Figure V.1 : Ensoleillement moyen direct et diffus à Basse-Terre

L'ensoleillement du site est important avec une moyenne annuelle de 6 kWh/m<sup>2</sup>/jour. La part de rayonnement direct est de l'ordre de 75%, ce qui est favorable à l'utilisation des modules photovoltaïques à silicium cristallin.

#### Ensoleillement moyen mensuel à Basse-Terre (Guadeloupe) pour différentes inclinaisons

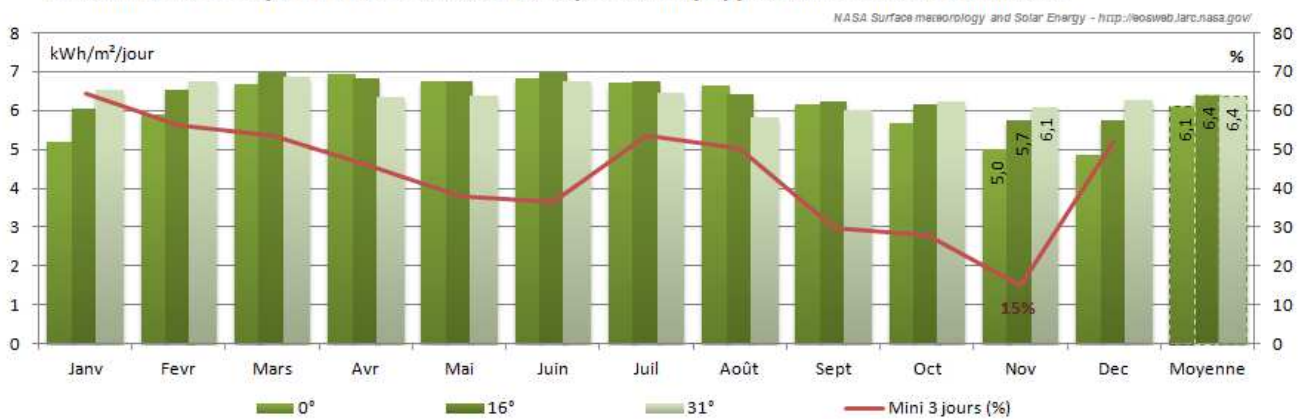


Figure V.2 : Ensoleillement moyen à Basse-Terre pour différentes inclinaisons

La période la plus défavorable est octobre-novembre avec un risque de jours "sans soleil" pouvant abaisser le rayonnement sur 3 jours consécutifs à 15% de la valeur mensuelle.

Pour maximiser la production photovoltaïque sur la période critique et conserver un rendement annuel satisfaisant, on retiendra une inclinaison optimale proche de 30°.

### V.1.2. Principe de dimensionnement en "site isolé"

Pour que l'installation autonome soit capable de satisfaire les besoins d'énergie en toutes circonstances, elle doit être dimensionnée selon les conditions les plus défavorables, à savoir une demande de déplacement soutenue et ensoleillement réduit.

On prendra donc comme hypothèses de conception :

- mois de référence d'ensoleillement : novembre
- inclinaison préférentielle du champ solaire : 30°
- autonomie des batteries : 3 jours



## V.2. Dimensionnement ordre de grandeur

Un pré-dimensionnement simplifié est réalisé préalablement pour identifier les contraintes majeures d'implantation. Les caractéristiques détaillées du système photovoltaïque autonome sont données en partie II du présent rapport.

### Hypothèses de calcul :

- Productivité solaire :  $N_h = 1600$  h/an
- Module PV : Si-cristallin de 250Wc et  $1,65$  m<sup>2</sup>
- Batterie type OPZ : capacité (C10) = 6,2 kWh pour 0,2 m<sup>2</sup>
- Autonomie : 3 jours avec une décharge maxi de 50%

Selon les scénarios les plus exigeants (Sc 4-C et 5-C), les caractéristiques des systèmes sont :

Tableau V-1 : Caractéristiques ordre de grandeur des systèmes de production d'énergie

DEAL et DAAF - Besoins en énergie		Besoin Total kWh/an	Répartition par site kWh/an	Estimation PV			Estimation batteries			
scénarios les plus exigeants				kWc	nb	m <sup>2</sup>	kWh	nb	m <sup>2</sup>	
DEAL	Scénario 4 : objectif 50% Electrique	88 100	BT	52 860	34	136	224	1220	197	42
DAAF	Scénario C : objectif 50% Electrique et Hybride		GT	35 240	23	92	152	813	132	28
DEAL	Scénario 5 : objectif 50% Electrique (liaisons)	114 930	BT	68 960	44	176	290	1591	257	54
DAAF	Scénario C : objectif 50% Electrique et Hybride		GT	45 970	29	116	191	1061	172	36

nb : le dimensionnement ordre de grandeur n'intègre pas les éventuelles pertes par excédent de production.

## V.3. Faisabilité d'implantation à St Phy

### V.3.1. Plan du futur site

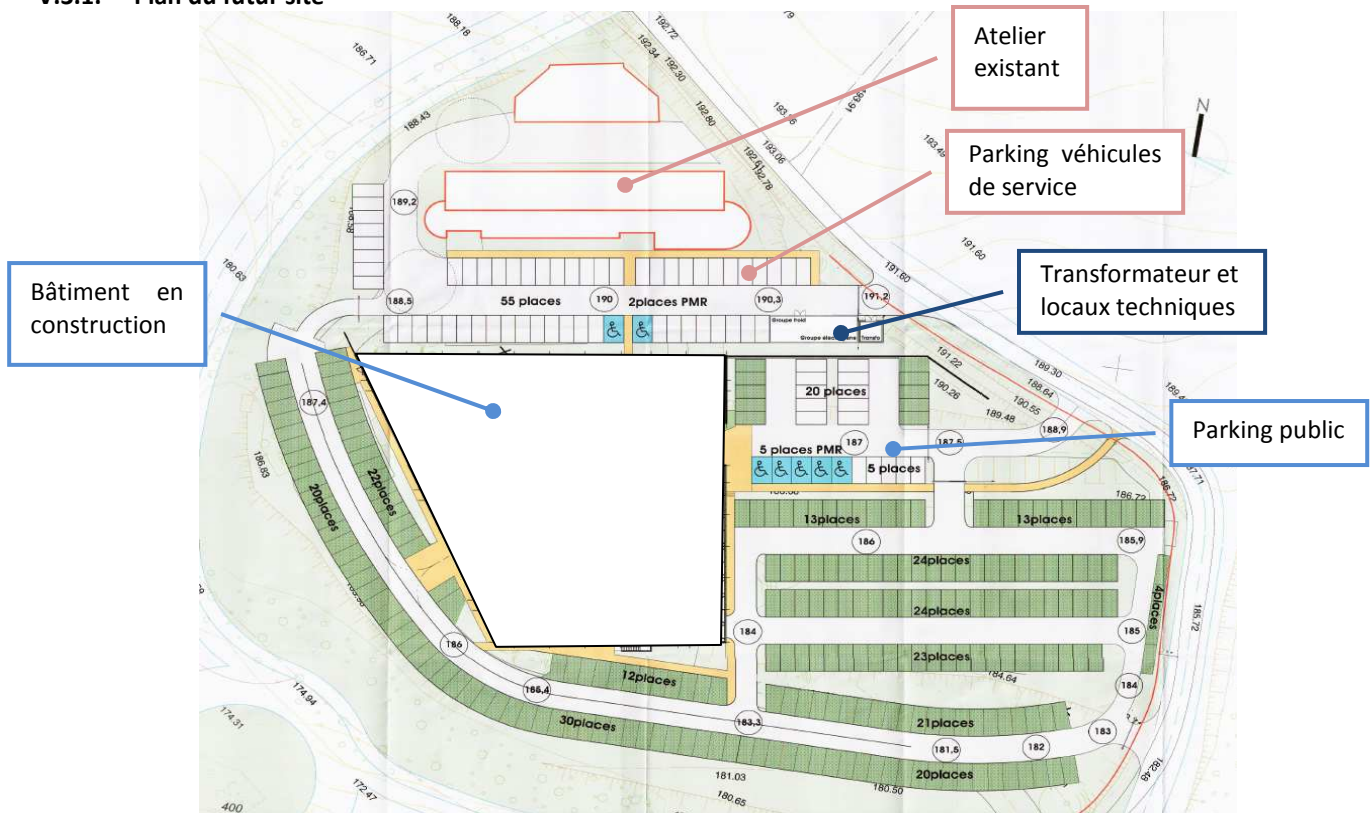


Figure V.3 : Plan masse du projet St Phy - source SEMAG

### V.3.2. Masques solaires

Le site est situé en hauteur, dans une zone d'urbanisation peu dense. Les bâtiments et particulièrement les toitures, ne sont soumis à aucun masque proche.

Le relief de la Soufrière peut générer une légère perte d'ensoleillement en tout début de matinée. La hauteur, estimée à moins de 10°, n'aura pas un impact significatif sur la production. Ce masque lointain est négligé à ce niveau de l'étude.

### V.3.3. Photovoltaïque sur l'atelier existant

Une première solution d'implantation serait sur la toiture de l'atelier existant :

les avantages :

- bâtiment de propriété DEAL
- proximité du parking véhicules et des locaux techniques électriques
- disponibilité de surfaces techniques (réaffectation)

les inconvénients :

- inclinaison de toiture défavorable : nécessite un support de modules PV
- surface disponible limitée => champ PV fractionné, partiellement en ombrière de parking

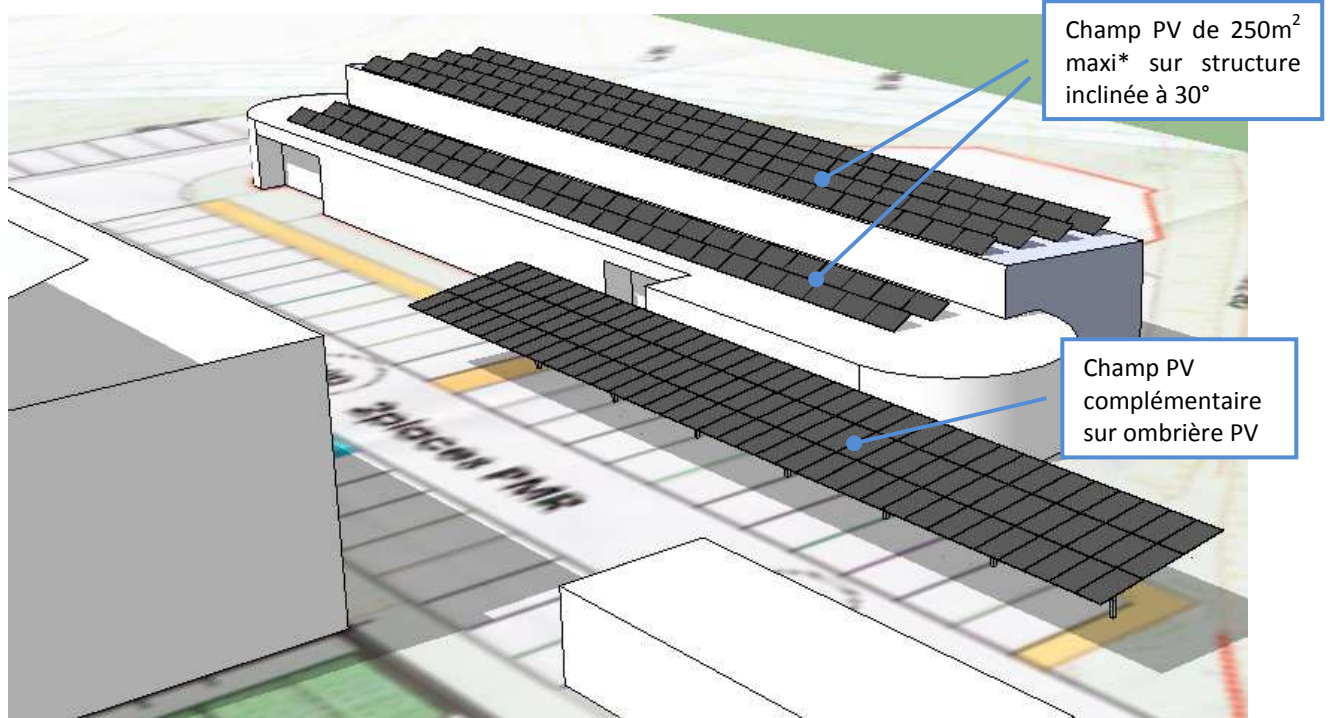


Figure V.4 : Croquis d'implantation du champ PV sur l'atelier et en ombrière de parking

\* taille maximale estimée selon les informations disponibles, le champ réel pourrait être réduit selon la conception de la toiture (dimensions et inclinaison exactes, hauteur des acrotères...)

Dans le cas du scénario 4-C (besoin de ~34kWc), la surface du toit de l'atelier devrait être suffisante. Par contre, pour satisfaire le scénario 5-C (~44kWc), un champ complémentaire doit être prévu.

#### Ecartement du champ PV

Le montage sur une structure inclinée nécessite un espacement suffisant pour éviter les ombrages, en particulier en début et fin de journée. Dans le cas présent, avec une inclinaison de 30°, il faut un écartement minimal de 2m.

Le champ PV pourrait être posé dans le plan de la toiture, mais la perte de rendement due à l'inclinaison défavorable devrait être compensée par des modules supplémentaires.

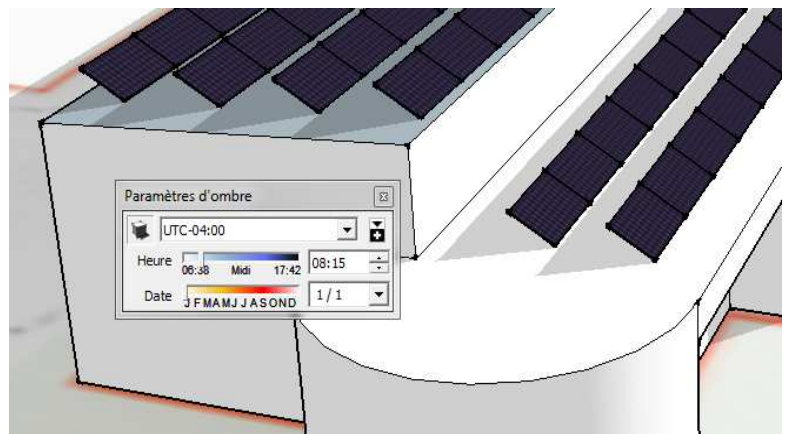


Figure V.5 : Ombrage des "sheds" inclinés à 30° (cas critique du 1<sup>er</sup> janv. A 8h15)

### V.3.4. Photovoltaïque sur le nouveau bâtiment

- les avantages :
- inclinaison de toiture favorable (15 à 20°, à confirmer),
  - grande surface disponible
  - possibilité de pose en surimposition, plus simple et moins cher
  - proximité du parking véhicules et des locaux techniques électriques

- les inconvénients :
- nécessité d'un avenant au contrat de partenariat avec la SEMAG, la DEAL n'étant pas propriétaire,
  - incertitude sur la disponibilité de surfaces techniques (onduleurs, gaines techniques)

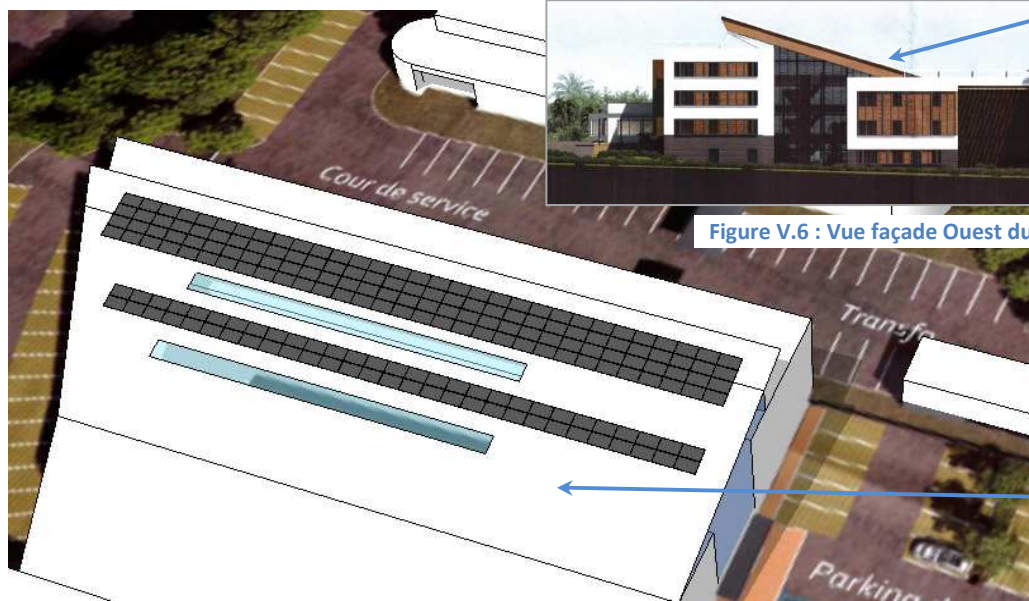


Figure V.6 : Vue façade Ouest du projet St-Phy - source SEMAG

Implantation du  
Champ PV de 300m<sup>2</sup>

Possibilité d'extension  
ultérieure du champ PV

Figure V.7 : Croquis d'implantation du champ PV en toiture du nouveau bâtiment

### V.3.5. Photovoltaïque en ombrière de parking

- les avantages :
- pas d'interface avec le bâtiment
  - confort des usagers amélioré (protection contre le soleil et la pluie)
  - grande surface disponible

- les inconvénients :
- risque d'ombrage : bâtiments environnants et végétation
  - non compatible avec des surfaces engazonnées
  - surcoût lié au prix de la structure

Ombrière photovoltaïque  
de 300m<sup>2</sup> sur le parking de  
service

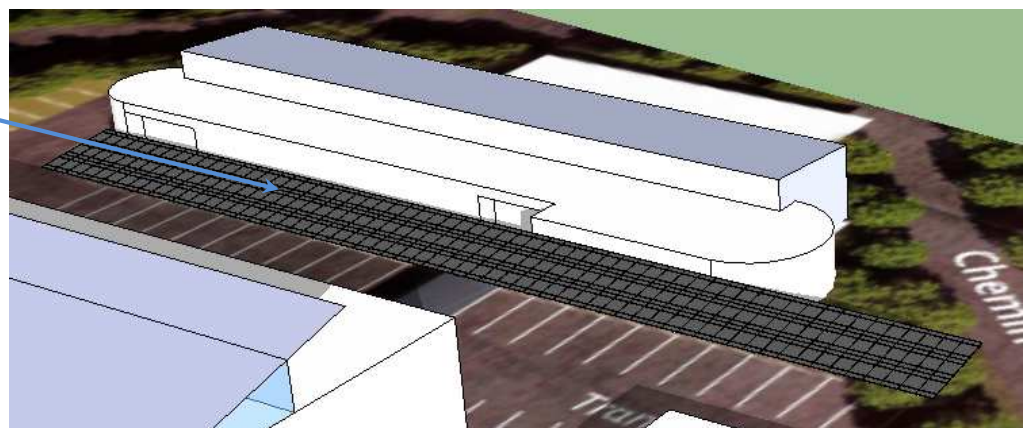


Figure I.8 : Croquis d'implantation  
du champ PV en ombrière de

### V.3.6. Choix préférentiel d'implantation du champ photovoltaïque

La solution technique la plus simple et la plus économique est l'implantation en toiture du nouveau bâtiment. Cette hypothèse est retenue pour la suite de l'étude.

Le surcoût estimé du poste photovoltaïque dans le cas d'un montage sur structure inclinée est de 25% et s'élève à 100% pour une ombrière de parking.

## V.4. Faisabilité d'implantation à Dothémare

### V.4.1. Plan du site

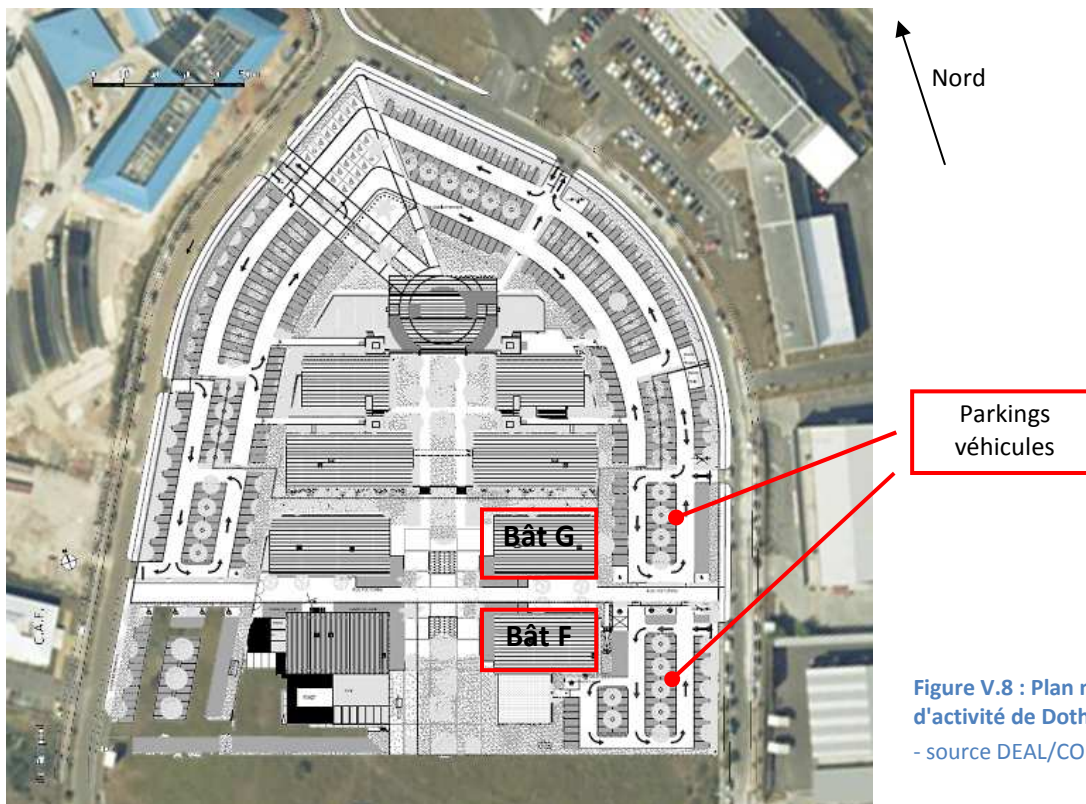


Figure V.8 : Plan masse de la zone d'activité de Dothémare  
- source DEAL/COLORADO

### V.4.2. Masques solaires

Le site est situé dans une zone d'activité tertiaire sans relief prononcé, à proximité de l'aéroport. Les constructions environnantes sont de hauteur comparable à celle des bâtiments de la DEAL et de la DAAF, les toitures ne sont soumises à aucun masque proche.

### V.4.3. Surfaces disponibles pour le système solaire



Figure V.9 : Vue des bâtiments F et G de la DEAL et la DAAF - source DEAL/COLORADO

Les deux bâtiments F et G sont de taille identique et disposent chacun d'une toiture à pan unique légèrement inclinée vers le Sud. La surface potentiellement disponible est l'ordre de  $2 \times 600 \text{ m}^2$ .

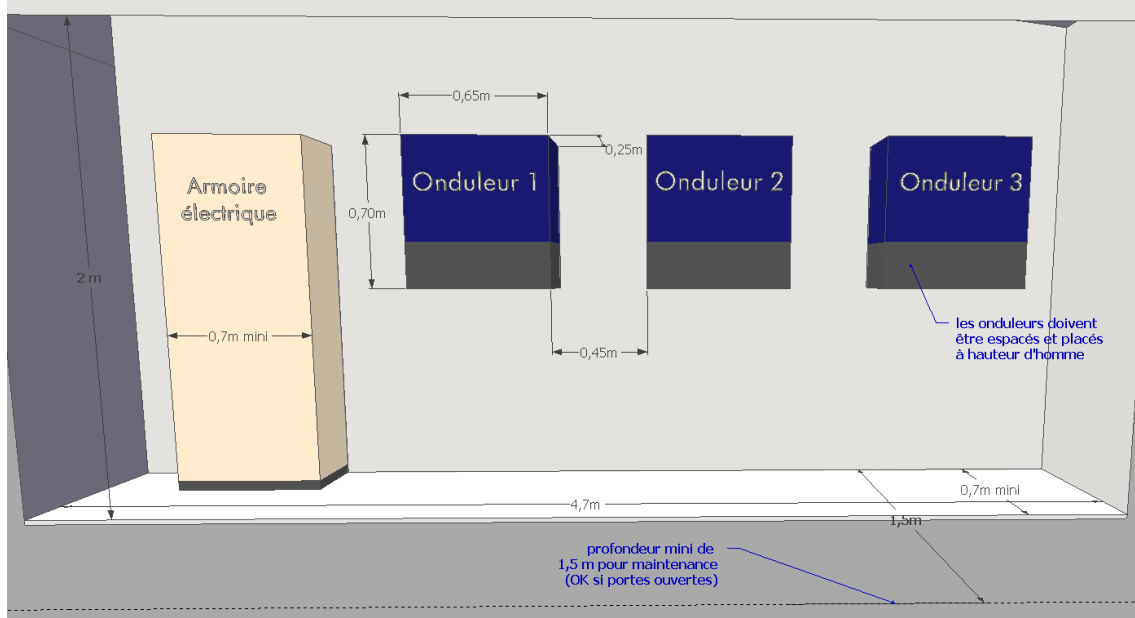
Une seule toiture serait suffisante pour implanter un champ photovoltaïque de  $120 \text{ m}^2$  composé de modules en silicium cristallin. Il est même possible d'envisager l'utilisation de modules photovoltaïques amorphes, technologie moins chère et plus efficace lors d'un faible ensoleillement. La surface du champ serait cependant augmentée à  $\sim 300 \text{ m}^2$ .

L'installation d'ombrière de parking n'est pas envisageable en raison de la végétalisation des surfaces.

## V.5. Besoin de surfaces techniques

### V.5.1. Dimensions du local onduleurs

Le local onduleur doit être accessible, fermé et ventilé. Les dimensions doivent permettre l'implantation des équipements conformément aux règles de sécurité et aux préconisations du fabricant : H=2m, L=5m, P=1,5m



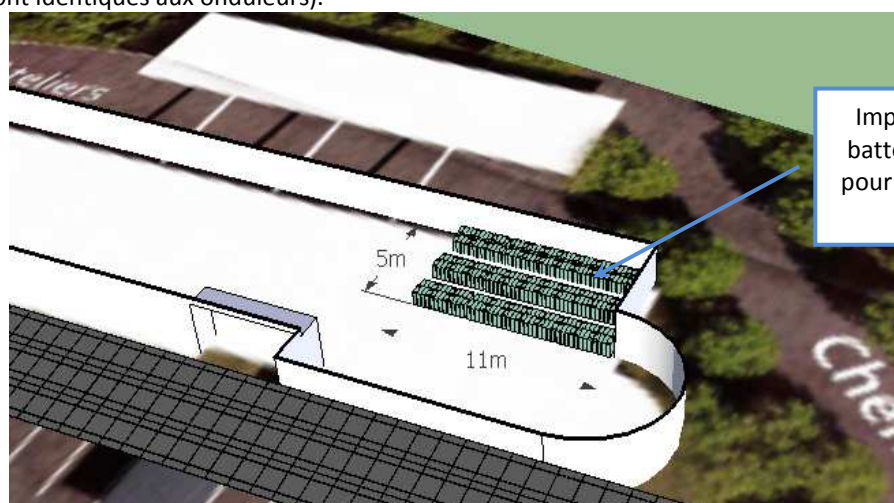
nb : les chemins de câbles et les boîtiers de protection ne sont pas représentés

Figure V.10 : Croquis d'implantation du local onduleurs

### V.5.2. Parc batteries

Le parc batteries doit être installé dans une zone fermée et ventilée. La surface doit permettre la pose au sol des éléments, la circulation et la manutention avec un chariot. Pour garantir la sécurité en cas de fuite, les batteries doivent être positionnées sur une rétention qui peut être individuelle (bac étanche placé sous les batteries) ou intégrée dans le génie civil (caniveaux périphériques et collecteurs dédié).

En complément, le local batteries doit disposer d'une petite zone de préparation et stockage de l'électrolyte liquide. Un local électrique pour implanter les chargeurs/régulateurs doit être installé à proximité immédiate (les contraintes d'implantation sont identiques aux onduleurs).



Implantation du parc batteries : ~50 à 60 m<sup>2</sup> pour une autonomie de 3 jours

Figure V.11 : Croquis d'implantation du parc batteries

A St-Phy, le parc batteries pourrait être implanté dans l'atelier existant, sur une surface de l'ordre de 55 m<sup>2</sup>.  
A Dothémare, il faudrait environ 40 m<sup>2</sup>.

## V.6. Règles pour l'installation d'un générateur photovoltaïque en toiture.

### **Déclaration préalable :**

La pose d'un générateur photovoltaïque en toiture n'est pas soumise à un permis de construire, mais comme toute modification de l'aspect extérieur d'un bâtiment, elle nécessite le dépôt d'un dossier de déclaration préalable de travaux auprès du service d'urbanisme de la Mairie.

L'avis de non opposition vaut accord pour le lancement de la réalisation.

### **Accord du propriétaire :**

Dans le cas où le producteur n'est pas le propriétaire des bâtiments, un contrat doit être établi entre les deux parties pour formaliser l'autorisation et les conditions d'utilisation des surfaces : toitures, parkings et des locaux techniques. L'accord définit explicitement les surfaces utilisées (type, dimensions), la durée de mise à disposition, les limites de périmètre d'entretien/maintenance, les garanties et les assurances...

Selon le type de contrat, la mise à disposition des surfaces par le propriétaire peut être rémunérée.

### **Règles de réalisation :**

Le champ photovoltaïque en toiture et l'installation électrique doivent être réalisés dans les règles de l'art et être conforme à la norme NFC 15-100, notamment concernant son dispositif de protection et de sectionnement qui doit être indépendant et accessible.

### **Signalisation :**

Pour des raisons de sécurité des personnels et des techniciens, une signalisation spécifique doit être apposée sur tous les éléments du système photovoltaïque (chemin de câbles, local onduleurs, armoire TGBT, transformateur...) pour préciser l'implantation du champ PV et indiquer la présence de tension AC et DC.

### **Vérification :**

Avant la mise en service, l'installation de production doit être vérifiée par un contrôleur technique indépendant et obtenir le visa du Consuel.

### **Protection de découplage (cas d'un raccordement au réseau public) :**

Le générateur photovoltaïque raccordé au réseau public doit être équipé d'un dispositif de déconnexion conforme à la norme DIN VDE 0126 1.1 : il s'agit de garantir l'arrêt de la production lors d'une coupure en amont du réseau EDF. Cette fonctionnalité est normalement intégrée dans les onduleurs récents et réglée en usine.

### **Information EDF SEI :**

Dans tous les cas, même si l'installation de production d'électricité n'est pas raccordée directement sur le réseau public, il est préférable d'informer EDF de sa réalisation. L'énergie étant produite pour des besoins propres et consommée sur place, il n'y aura pas de contrat d'achat.

Un générateur photovoltaïque pour de l'autoconsommation pourra faire l'objet d'une convention, notamment pour s'assurer de la conformité de l'installation et éventuellement de la non-injection de courant sur le réseau.

EDF pourra également demander une possibilité de déconnexion ponctuelle en cas du dépassement du seuil de 30% de puissance issue d'une production intermittente sur le réseau électrique. Cependant dans ce cas particulier et vue du compteur électrique (limite de propriété), le générateur photovoltaïque n'est pas un système de production, mais un **réducteur de consommation**. Le déconnecter équivaldrait à interdire une économie d'énergie à l'usager...

## V.7. Point sur la réglementation sur la recharge des véhicules

Sources <http://www.smartgrids-cre.fr> et <http://www.legifrance.gouv.fr/>

### **V.7.1. Décret n° 2011-873 du 25 juillet 2011**

**relatif aux installations dédiées à la recharge des véhicules électriques ou hybrides rechargeables dans les bâtiments et aux infrastructures pour le stationnement sécurisé des vélos**

- Ce décret, pris en application de l'article 57 de la loi « Grenelle II », prévoit la mise en place de prises de recharge pour les véhicules électriques dans toutes les constructions d'immeubles à usage de bureaux ou d'habitation de plus de deux logements et prévoyant un parking clos et couvert.

- Il impose la prédisposition des installations électriques basse tension pour assurer la recharge de véhicules électriques ou hybrides rechargeables avec un pré-équipement d'au moins 10% des places de parking.
- Il impose la création d'un parc vélos sécurisé avec la possibilité de branchement.
- Cette mesure, entrée en vigueur au début de l'année 2012, concernera également les immeubles de bureaux existants, avec une mise en conformité à effectuer avant le 1er janvier 2015 pour la France métropolitaine.

#### V.7.2. Arrêté du 20 février 2012

##### relatif à l'application des articles R. 111 14 2 à R. 111 14 5 du code de la construction et de l'habitation

- Cet arrêté concrétise les dispositions prises dans le cadre de la loi Grenelle II, puis par décret le 25 juillet 2011. Il fixe les exigences relatives aux installations électriques permettant la recharge des véhicules électriques et hybrides rechargeables dans les parcs de stationnement des bâtiments collectifs d'habitations et de bureaux neufs. Les dispositions de cet arrêté sont applicables aux bâtiments ayant fait l'objet d'une demande de permis de construire déposée à partir du 1er juillet 2012.
- Tous les bâtiments neufs résidentiels ou de bureau équipés de places de stationnement individuelles couvertes ou d'accès sécurisé devront être dotés « des gaines techniques, câblages et dispositifs de sécurité nécessaires à l'alimentation d'une prise de recharge pour véhicule électrique ou hybride rechargeable et permettant un comptage individuel ». Le dispositif, installé à partir du tableau général basse tension, devra pouvoir « desservir au moins 10 % des places destinées aux véhicules automobiles, avec un minimum d'une place ».
- La charge normale nécessite une puissance de 4 kW par point de recharge

#### V.7.3. Cas des services de la DEAL et de la DAAF de Guadeloupe

Le décret d'application de la loi Grenelle ne fait référence qu'à des bâtiments dotés de parkings clos et **couverts**. En conséquence, les sites de St-Phy et de Dothémare ne seraient pas concernés par le texte.

## VI. CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

### VI.1. Architecture d'un système photovoltaïque en site isolé

#### VI.1.1. L'exemple du village de Kaw

Kaw est un village de Guyane situé au milieu des marais. Du fait de son éloignement, il n'est pas raccordé au réseau électrique EDF. La cinquantaine d'habitations est alimentée en électricité par une centrale autonome hybride Photovoltaïque-Diesel qui assure la production, le stockage l'énergie, ainsi que la gestion du petit réseau de distribution.

L'installation fournit environ 160 MWh/an, avec une pointe maximale de puissance de 35kW le soir. Elle est composée d'un champ solaire de 100 kWc, d'un parc batteries de 1160 kWh permettant une autonomie de 2 jours et de deux groupes électrogènes de 100 kW chacun.

La première centrale a été construite en 1982 et a été entièrement rénovée en 2009 pour un budget de 2 M€.

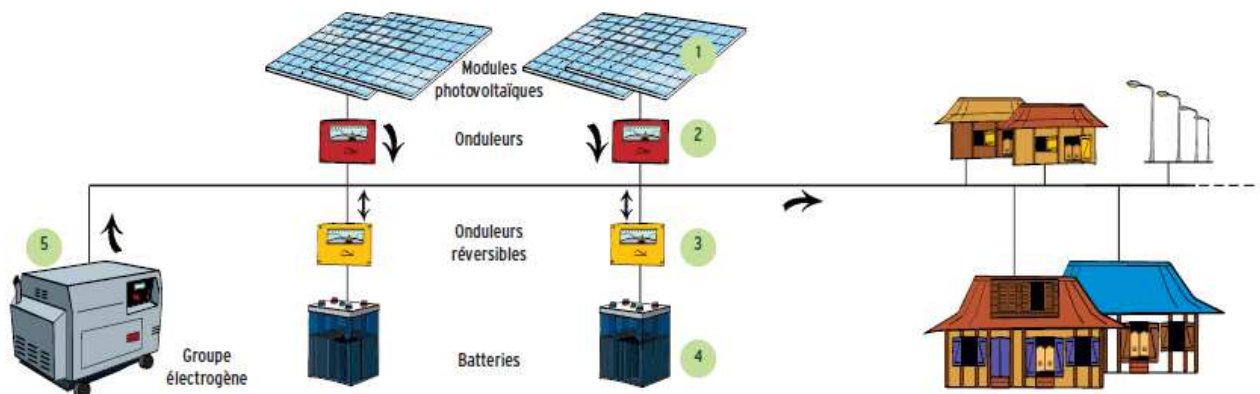


Figure VI.1 : Architecture du système électrique en site isolé du village de Kaw (Guyane) - source Ademe

#### Principe de fonctionnement :

Tous les éléments de production et de stockage, ainsi que les multiples consommateurs sont connectés directement au réseau de distribution basse tension.

Les onduleurs réversibles (3) sont au cœur du système : ils pilotent la production (2-5), gèrent le stockage (4) et régulent la tension et la fréquence du réseau électrique. Le groupe électrogène (5), nécessaire pour la sécurité de l'approvisionnement, est également utilisé en appoint et a permis de limiter la taille du parc batteries.

#### Avantages du système :

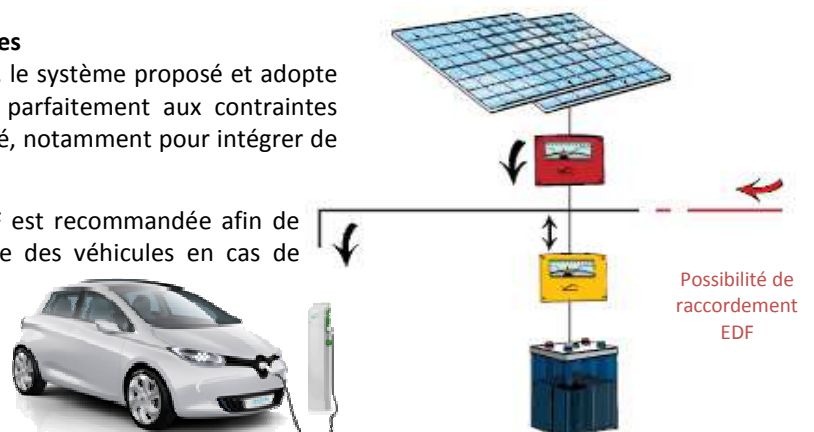
- **implantation** : les composants ne sont pas obligatoirement installés en un lieu unique, mais peuvent être dispersés sur tout le réseau, ce qui facilite leur implantation.
- **modularité** : le système peut facilement évoluer en fonction des besoins avec l'ajout ultérieur d'un autre champ photovoltaïque ou un parc batteries.
- **sécurité** : la fourniture d'électricité est garantie en cas de panne d'un des composants, même si la production peut être limitée ponctuellement. Par exemple, le dysfonctionnement du champ solaire sera compensé par les batteries et le groupe électrogène. De même, le système peut fonctionner plusieurs jours sans groupe Diesel.

#### VI.1.2. Architecture proposée pour le parc véhicules

Pour l'alimentation autonome du parc véhicules, le système proposé et adopte le même principe de conception : il s'adapte parfaitement aux contraintes d'implantation sur les sites 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 dysfonctionnement du système autonome.

Figure VI.2 : Architecture proposée pour le système autonome de recharge véhicules





### VI.1.3. Dimensionnement des systèmes

#### VI.1.3.a. Paramètres communs

Les besoins en énergies considérés sont ceux du scénario 5-C, le plus exigeant. L'autonomie des batteries est fixée à 3 jours avec un seuil de décharge maximal de 50% pour garantir leur durabilité.

Les simulations ont été réalisées avec PVSyst 6.30 en mode "système isolé avec batteries" et avec des données météorologiques horaires de Pointe-à-Pitre<sup>7</sup>.

Pour une meilleure représentativité de la consommation des bornes de recharge véhicules, un profil de puissance a été élaboré avec une répartition de la charge sur les jours de la semaine et à 70% la nuit. En effet, un profil moyen constant conduit à un surdimensionnement du système.

Le niveau de puissance est ajusté pour chacun des sites pour obtenir une énergie totale annuelle conforme aux besoins, soit 69 MWh à St-Phy et 46 MWh à Dothémare.

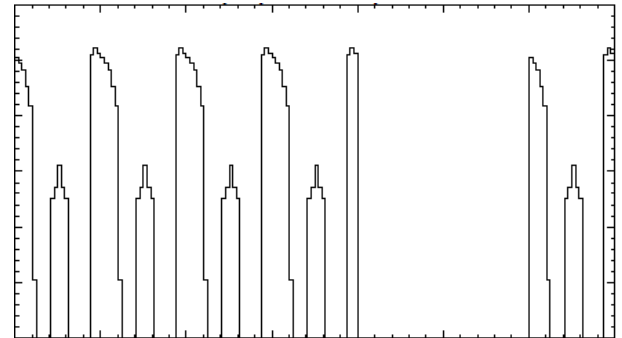


Figure VI.3 : Profil de consommation électrique du parc véhicules

#### VI.1.3.b. Fonctionnement du logiciel de simulation

Dans le mode "système isolé avec batteries", le logiciel PVSyst détermine automatiquement un pré-dimensionnement "optimal" des différents composants et une architecture du système à partir des besoins en énergies, de l'autonomie demandée et du gisement solaire. Un ajustement manuel est effectué a posteriori.

Les calculs détaillés sont fait sur la base des caractéristiques techniques de matériels existants sélectionnés dans la bibliothèque disponible dans le logiciel : c'est une nécessité pour la simulation mais le choix n'est pas définitif pour une réalisation ultérieure du projet.

Les résultats présentés ci-après présentent logiquement des légères différences par rapport au dimensionnement ordre de grandeur effectué au paragraphe I.2.

#### VI.1.3.c. Système Autonome St-Phy

A St-Phy, le champ solaire est positionné sur le toit du nouveau bâtiment, incliné à 20° et orienté 10° vers l'Est. Un masque lointain a été intégré pour tenir compte du relief.

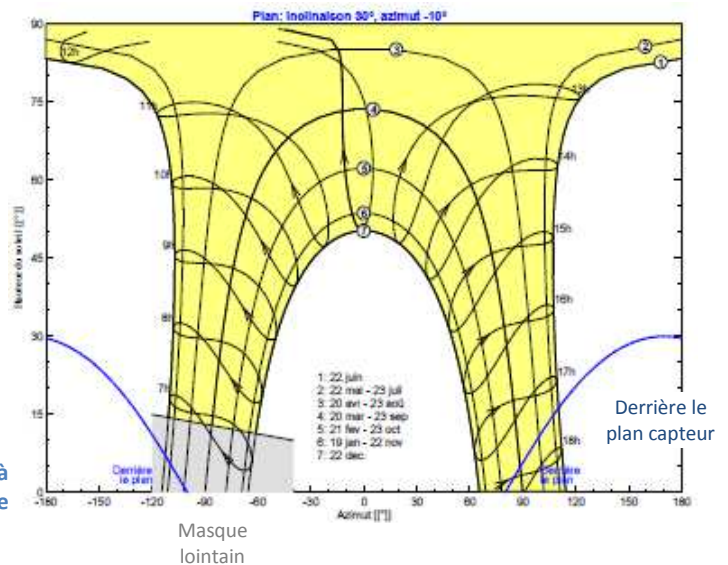


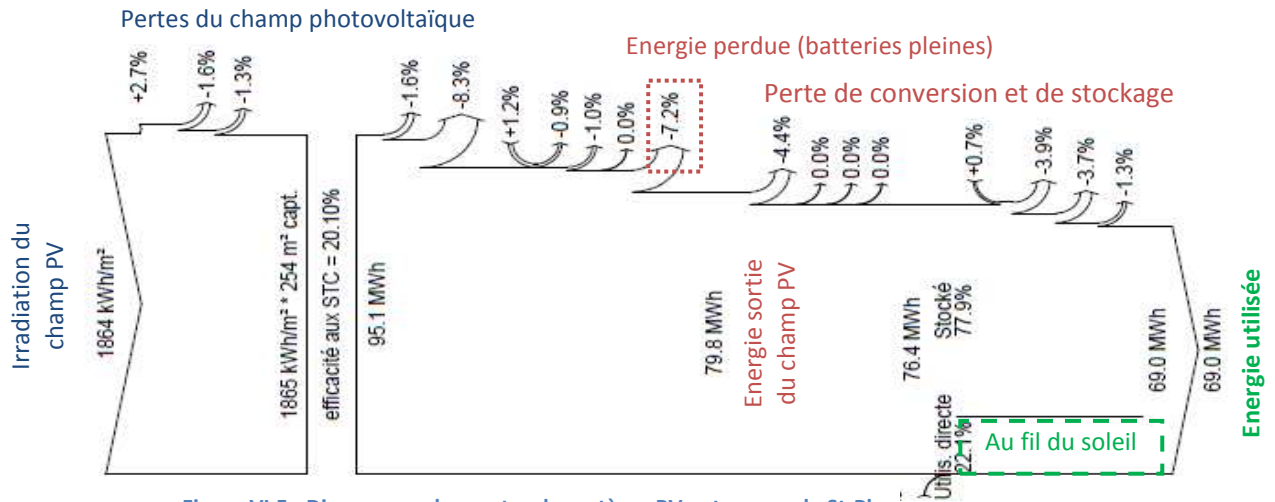
Figure VI.4 : Course solaire vue par le champ PV à St-Phy - Basse Terre

### Résultats de la simulation

Principaux paramètres système		Type de système		Isolé avec batteries	
Horizon		Hauteur moyenne	12.5°		
Orientation plan capteurs		inclinaison	20°	azimut	-10°
Champ PV		Nombre de modules	204	Pnom total	51.0 kWc
Batterie		Modèle	OPzS Solar 4100	Technologie	ouverte, tubulaire
batteries		Nombre d'unités	192	Tension / Capacité	96 V / 12360 Ah
Besoins de l'utilisateur		profil journalier	modulation hebdomadaire	global	68.9 MWh/an
Principaux résultats de la simulation					
Production du système	Energie disponible	82.48 MWh/an	Productible	1617 kWh/kWc/an	
	Energie utilisée	68.96 MWh/an	En excès (inutilisée)	6.13 MWh/an	
Besoins non satisfaits	Indice de performance (PR)	70.6 %	Fraction solaire (SF)	100.0 %	
	Fraction du temps	0.0 %	Energie manquante	0.00 MWh/an	

<sup>7</sup> Il n'existe pas de données météorologiques mesurées à Basse-Terre. Cependant, le faible éloignement de Pointe-à-Pitre permet d'utiliser le même fichier sans générer une erreur significative.

**Diagramme des pertes**



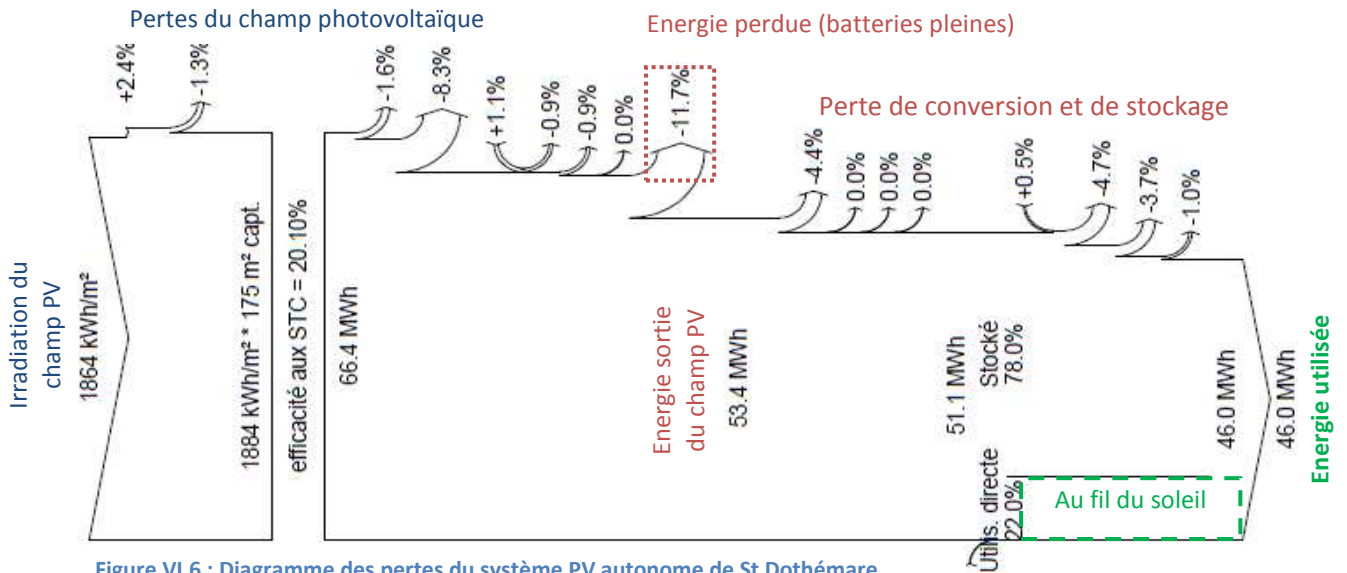
**VI.1.3.d. Système Autonome à Dothémare**

A Dothémare, le champ solaire est positionné sur le toit d'un des bâtiments, incliné à 15° et orienté 18° vers l'Ouest.

**Résultats de la simulation**

<b>Principaux paramètres système</b>	Type de système	<b>Isolé avec batteries</b>	
Orientation plan capteurs	inclinaison	15°	azimut 18°
Champ PV	Nombre de modules	141	Pnom total <b>35.3 kWc</b>
Batterie	Modèle	OPzS Solar 4100	Technologie ouverte, tubulaire
batteries	Nombre d'unités	96	Tension / Capacité <b>96 V / 6180 Ah</b>
Besoins de l'utilisateur	profil journalier	modulation hebdomadaire	global 46.0 MWh/an
<b>Principaux résultats de la simulation</b>			
Production du système	<b>Energie disponible</b>	<b>58.05 MWh/an</b>	Productible 1647 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	45.99 MWh/an	En excès (inutilisée) 6.96 MWh/an
	Indice de performance (PR)	68.4 %	Fraction solaire (SF) 100.0 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	0.0 %	Energie manquante 0.00 MWh/an

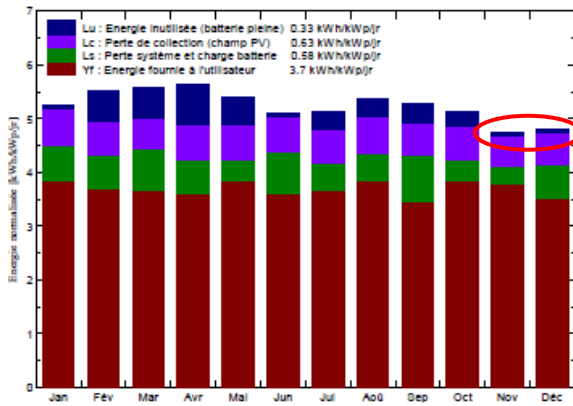
**Diagramme des pertes**



VI.1.3.e. Histogramme des productions

Le dimensionnement des champs solaire a été fait au plus juste pour assurer la fourniture d'électricité les mois de faible ensoleillement (novembre-décembre et janvier) : l'excédent solaire est quasi-nul.

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 51.0 kWc



Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 35.3 kWc

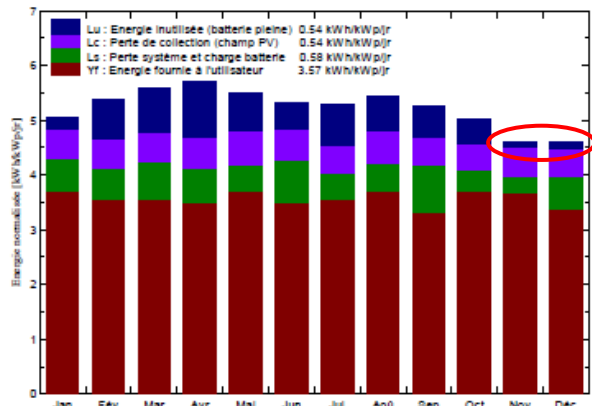


Figure VI.7 : Productions mensuelles pour St-Phy et Dothémare

VI.1.3.f. Synthèse des performances des systèmes

Tableau VI-1: Synthèse des performances des systèmes photovoltaïques autonomes

Site	Besoins MWh/an	Energie du Champ PV MWh/an	Production PV		Excédent PV		Utilisation directe MWh/an	Stockage batteries	
			MWh/an	perte %	MWh/an	% prod		MWh/an	perte %
St Phy	69	95,1	82,3	13%	6,1	7%	16,8	59,6	14%
Dothémare	46	66,4	58,1	13%	6,9	12%	11,2	39,9	15%

Les pertes sont intrinsèques aux technologies utilisées :

- **générateur photovoltaïque** : ~13% : pertes ohmiques dans les câblages, rendement de conversion DC/AC...
- **parc batteries** : ~15% : rendement du convertisseur, efficacité de charge et décharge, auto-décharge...

Les pertes par excédent de production sont liées à la nécessité de sur-dimensionner le champ PV pour garantir la fourniture minimale les mois de faible ensoleillement. Cette production pourrait être injectée sur le réseau EDF via un dispositif de couplage spécifique.

La revente nécessiterait l'élaboration d'un contrat d'achat avec EDF pour chacune des installations. Les gains annuels s'élèveraient au plus à 1700€ pour les deux sites avec un tarif d'achat réglementé de 13c€/KWh au 1<sup>er</sup> octobre 2014.

Il est à noter la possibilité d'un raccordement au réseau permettrait de s'affranchir partiellement des contraintes d'un système autonome qui conduisent à un surdimensionnement de la production et du stockage.

VI.1.3.g. Sensibilité des caractéristiques de dimensionnement

Les caractéristiques du système ont une influence sur les performances. Leur sensibilité est résumée ci-dessous :

Tableau VI-2 : Sensibilité des paramètres de dimensionnement du système autonome

	Evolution *	Production	Excédent	Autonomie	Satisfaction du besoin
Champ photovoltaïque	↗	↗	↗↗	→	oui
	↘	↘	↘	↘	non
Parc batteries	↗	→	↘	↗	oui
	↘	→	↗	↘	non
Consommation véhicules	↗	→	↘	↘↘	non

\* évolution par rapport au dimensionnement déterminé précédemment, les autres paramètres étant fixés

## VI.2. Description des équipements

### VI.2.1. Composants d'un générateur photovoltaïque

#### Les modules Photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont composés de 72 cellules en silicium monocristallin à haut rendement. La puissance crête unitaire est de 245 Wc pour des dimensions de 156 x 80cm, soit 1,25 m<sup>2</sup> par module.



Figure VI.8 : Modules photovoltaïque SunPower E20-245Wc

Les champs PV de St-Phy et dothémare seraient respectivement composés de 204 et 141 modules pour des surfaces de 255 et 175 m<sup>2</sup>.

#### Le système de fixation des modules

Différents systèmes de fixation de modules existent sur le marché, les plus complexes permettent une intégration complète au bâti, c'est dire que le champ photovoltaïque assure également la fonction d'étanchéité.

Pour le présent projet, la solution la plus simple consiste à installer les modules en sur-imposition dans le plan de la toiture, soit par une fixation directe du module, soit par un système de profilés.



Figure VI.9 : Exemple de fixation en toiture - [www.archiexpo.fr](http://www.archiexpo.fr)

Dans le cas où l'orientation de la toiture n'est pas favorable (atelier existant à St-Phy), le montage des modules doit se faire sur une structure inclinée elle-même fixée sur la toiture.

Un tel système est nécessairement plus complexe et plus coûteux, en particulier dans une zone tropicale compte tenu des contraintes de résistance aux conditions cycloniques.



Figure VI.10 : Exemple de montage des modules sur structure inclinée - [www.archiexpo.fr](http://www.archiexpo.fr)

#### L'onduleur photovoltaïque

L'appareil transforme le courant continu issu des modules photovoltaïques en courant alternatif. Son régulateur interne (tracker mppt) optimise la production d'énergie.

L'onduleur scrute en permanence le réseau électrique sur le lequel il est raccordé pour injecter un courant conforme aux caractéristiques (tension et fréquence) de ce réseau. Il assure également le découplage en cas de coupure électrique en aval.



Figure VI.11 : Onduleur photovoltaïque SMA Sunny TriPower

Les générateurs de St Phy et Dothémare pourraient être équipés respectivement de trois onduleurs de 15kW et 17kW.

#### L'onduleur régulateur/chargeur

Il assure une gestion intelligente de la charge et de la décharge des batteries pour optimiser leur durée de vie.

L'appareil fournit et régule le courant du réseau électrique distribué aux bornes de recharge des véhicules.

Les installations de St Phy et Dothémare pourraient être équipées de trois à quatre onduleurs/régulateurs de 6kW - 48V DC - 230V AC.



Figure VI.12 : Onduleur chargeur site isolé SMA Sunny Island

### Le parc batteries

Le parc est constitué d'éléments de batteries de 2V branchés en série de manière à obtenir une tension adaptée au régulateur/chargeur (24 éléments pour 48V). La capacité totale du parc est déterminée par la capacité unitaire<sup>8</sup> de chaque élément et le nombre de branches mises en parallèle.

Les parcs batteries de St-Phy et Dothémare seraient composés respectivement de 192 et 96 éléments de type OPZ Solar 4100.

Figure VI.13 : Élément de batterie solaire type OPZ



### Le monitoring

Le système autonome de production photovoltaïque et de recharge véhicule devra être supervisé par un outil informatique qui aura pour fonction :

- de suivre et mesurer en temps réel le fonctionnement de tous les composants du système,
- de détecter les dysfonctionnements, d'alerter et d'enclencher automatiquement les actions de sauvegarde,
- d'enregistrer les données et de gérer un historique,
- de piloter et d'optimiser l'utilisation de l'énergie,
- d'afficher et de transmettre les données synthétiques de l'état du système.

Un tel outil de supervision devra vraisemblablement être développé spécifiquement pour cette application à la manière d'un logiciel de gestion technique du bâtiment (GTB).

Une solution à étudier serait l'intégration du système de production et de recharge dans la GTB existante.

### VI.2.2. Les bornes de recharge véhicules

L'offre en équipement de recharge se développe rapidement, il existe maintenant sur le marché une variété de produit différents. Dans le cas présent, les bornes de recharges doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- être conçues pour un usage extérieur, dans un contexte tropical,
- être compatibles avec les futurs véhicules : type de prises, protocole de communication,
- délivrer une puissance de 5 à 10kW maxi,
- être pilotées à distance : lancement de la charge, modulation de la puissance...
- comptabiliser l'énergie délivrée sur chaque prise.

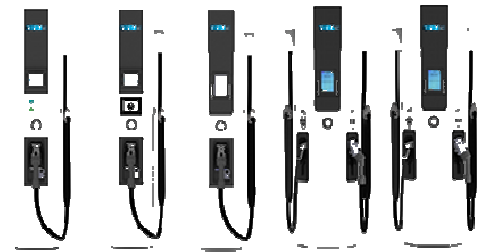


Figure VI.14 : Bornes de recharge DBT - [www.dbtcev.fr](http://www.dbtcev.fr)

### VI.2.3. Systèmes clé en main

Plusieurs constructeurs proposent des équipements clés en main pour la production photovoltaïque et la recharge. Cette solution est simple à mettre en œuvre et ne nécessite pas d'étude, elle serait parfaitement adaptée à la réalisation d'un démonstrateur (scénario 1).



Figure VI.16 : Abri de recharge pour vélos électriques - source : [www.abritez-vous-chez-nous.com](http://www.abritez-vous-chez-nous.com)



Figure VI.15 : Abri photovoltaïque pour voiture - source : BMW

<sup>8</sup> La capacité de la batterie est fonction du temps de décharge : dans le cas de l'OPZ solar 4100, la capacité pour une décharge en 120h (C120) est de 4100Ah et de 3090Ah pour un temps de 10h (C10).

### **VI.3. Contraintes d'exploitation**

#### **VI.3.1. Entretien / maintenance**

Un système solaire autonome est relativement peu exigeant et fonctionne sans intervention humaine. Les contraintes d'exploitation se limitent aux opérations annuelles décrites ci-après :

- champ photovoltaïque : nettoyage des modules, vérification et resserrage des fixations,
- parc batteries : contrôle du niveau d'électrolyte, remplissage éventuel,
- composant électriques : nettoyage des armoires et de bornes de recharge, vérification des câblages et resserrage des borniers et connecteurs,
- systèmes informatiques : mise à jour des logiciels selon les prescriptions des constructeurs.

#### **VI.3.2. Remplacement des équipements**

Les modules photovoltaïques disposent d'une garantie de fonctionnement de 20 à 25 ans (90% de la puissance), il n'est pas nécessaire de les remplacer.

Les onduleurs et les batteries ont une durée de vie de l'ordre de 10 ans. Le remplacement est à prévoir et à effectuer selon les performances effectives des appareils.

#### **VI.3.3. Formation des personnels**

Une prise en main des nouveaux équipements ou une formation complète est à programmer pour le personnel selon leur fonction future :

- usager : prise en main du véhicule, particularité de la conduite (autonomie, silence de fonctionnement), règles de sécurité pour la recharge...
- technicien d'entretien des véhicules : entretien courant, traitement des pannes de niveau 1, règles de sécurité,
- technicien de maintenance du système : fonctionnement du système de production, opération de maintenance préventive, règles de sécurité (électricité, travail en hauteur...)
- superviseur : utilisation du système logiciel, traitement des alarmes, programmation...

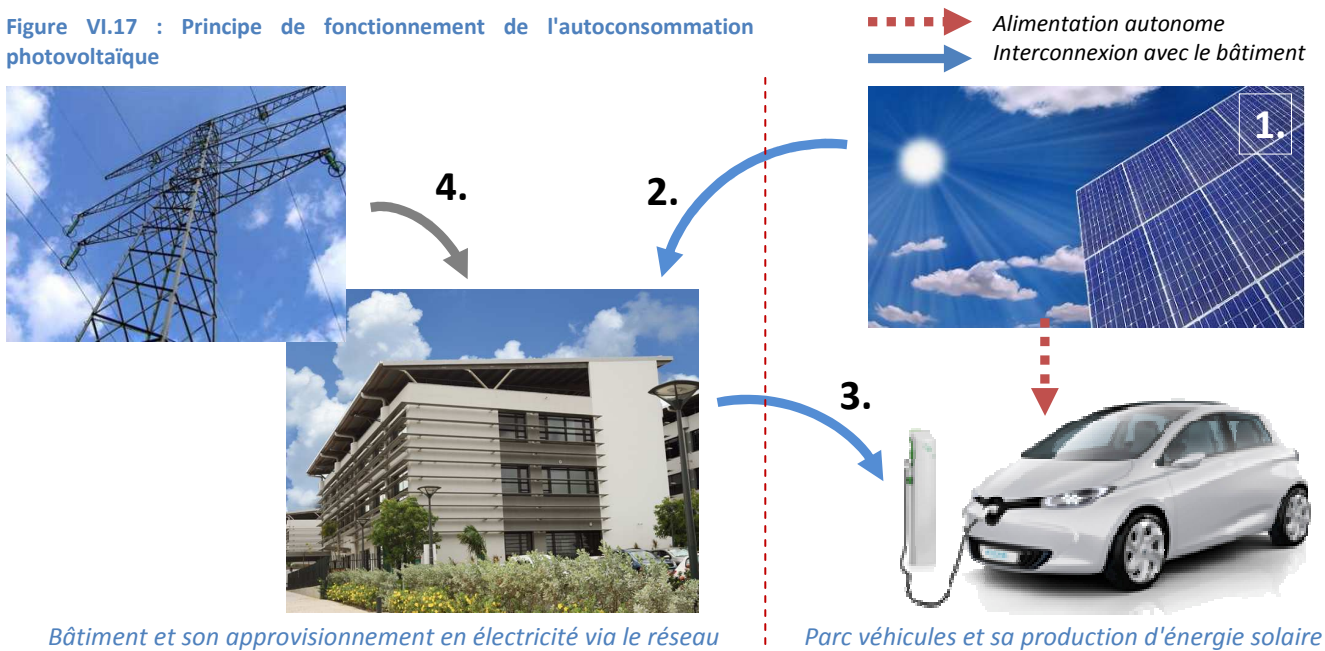
## VI.4. Une alternative au stockage : l'autoconsommation photovoltaïque

Dans la réalité, le parc véhicules n'est pas indépendant : il est rattaché, tant sur le plan matériel que fonctionnel, à des infrastructures immobilières telles que le parking et le bâtiment.

Une solution consisterait à exploiter ces liaisons existantes pour alimenter en énergies les véhicules dans le souci de la meilleure efficacité et du respect des contraintes environnementales.

### VI.4.1. Principe de fonctionnement

Figure VI.17 : Principe de fonctionnement de l'autoconsommation photovoltaïque



Bâtiment et son approvisionnement en électricité via le réseau

Parc véhicules et sa production d'énergie solaire

1. L'énergie pour la mobilité électrique est produite par un générateur photovoltaïque : elle est donc issue d'une source renouvelable et décarbonée. La centrale solaire est dimensionnée pour couvrir au moins 100% des besoins annuels.
2. L'énergie est cédée directement au bâtiment, sans passer par le réseau EDF. Elle est instantanément consommée pour les différents usages électriques. On remarque que l'appel de puissance sur le réseau est diminué d'autant.
3. Selon ses besoins du parc véhicules, le bâtiment restitue l'électricité reçue du générateur photovoltaïque.
4. Le réseau sécurise l'approvisionnement d'énergie, en cas d'ensoleillement ponctuellement insuffisant ou en cas de problème technique.

### VI.4.2. Simulation de la demande électrique

La simulation ci-dessous a été réalisée avec les données de consommation réelles des bâtiments de Dothémare. La production PV est issue d'un profil horaire relevé sur la même période sur une centrale existante proche et recalé pour une puissance crête de 29 kWc correspondant aux besoins du scénario 5-C (cf. paragraphe I.2).

#### Consommations électriques du 21 juillet au 3 août 2014 - Site Dothémare

Consommation électrique sur la période : 10690kWh

Simulation de production PV : 1600kWh / Autoconsommation PV : 99,94%

■ Conso électrique actuelle  
■ Production PV (29kWc)

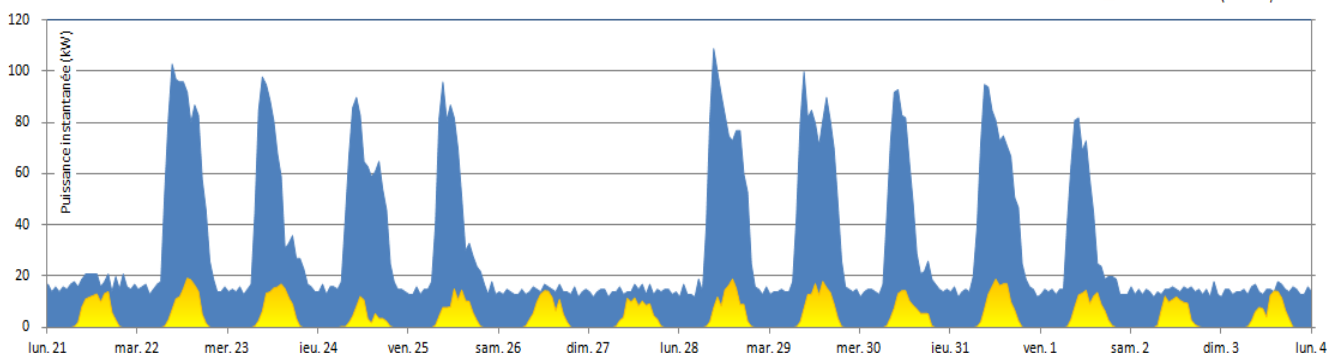
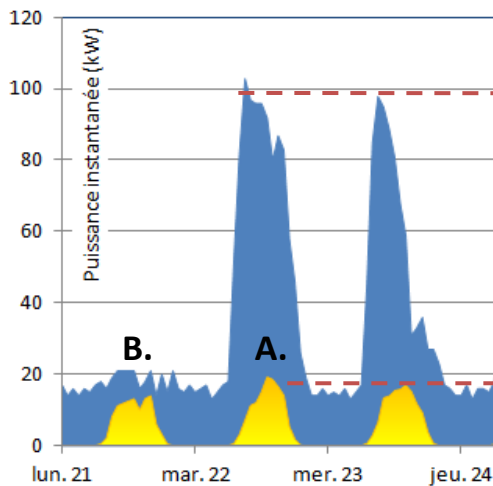


Figure VI.18 : Profils de puissances consommée et produite - site Dothémare



La puissance cumulée des deux bâtiments F et G de Dothémare s'élève à ~100 kW en journée (A.)

*Puissance électrique maxi à la mi-journée*

Le talon électrique (puissance mini) de nuit et les jours non travaillés est de l'ordre de 17 kW.

Sur la période concernée<sup>9</sup>, avec une centrale photovoltaïque dimensionnée pour couvrir les besoins de la mobilité du site, on ne constate pas d'excédent de production, même le week-end (B.) : l'énergie générée est totalement **autoconsommée**.

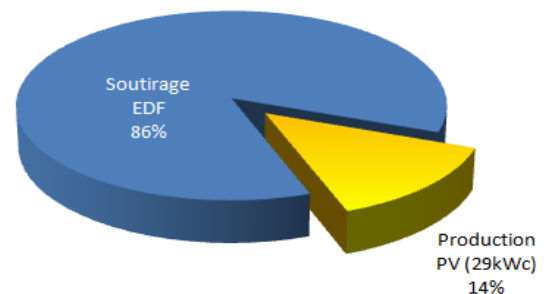
*Talon électrique (nuit et week-end)*

Figure VI.19 : Zoom sur les profils de puissances électriques

Dans une situation actuelle, sans compter les besoins des véhicules électriques, la production d'énergie renouvelable représenterait 14% des besoins d'électricité des bâtiments et entraînerait une économie de dépenses du même ordre de grandeur.

Figure VI.20 : Part d'autoconsommation simulée

Consommations électriques du 21 juillet au 3 août 2014 - Site Dothémare



### VI.4.3. Simulation de recharge des véhicules électriques

Le profil de charge du parc véhicules de Dothémare a été élaboré selon la répartition des déplacements et un besoin total en énergie pour la mobilité du scénario 5-C.

La recharge est effectuée prioritairement la nuit, et en journée (hors pointe du matin et soir) pour les trajets de type liaisons Basse-Terre / Pointe-à-Pitre. La puissance moyenne de charge est fixée à 2 kW pour simuler un foisonnement.

*nb : par souci de simplicité dans la construction de la représentation visuelle, l'énergie de charge est recalée à égalité avec la production PV. La simulation ci-dessous ne peut donc pas être considérée comme une prédiction de charge.*

Simulation des profils de recharge véhicules et de production photovoltaïque - Site Dothémare

Production PV = Energie de recharge des véhicules électriques

■ Charge VE (~15 veh) ■ Production PV (29kWc)

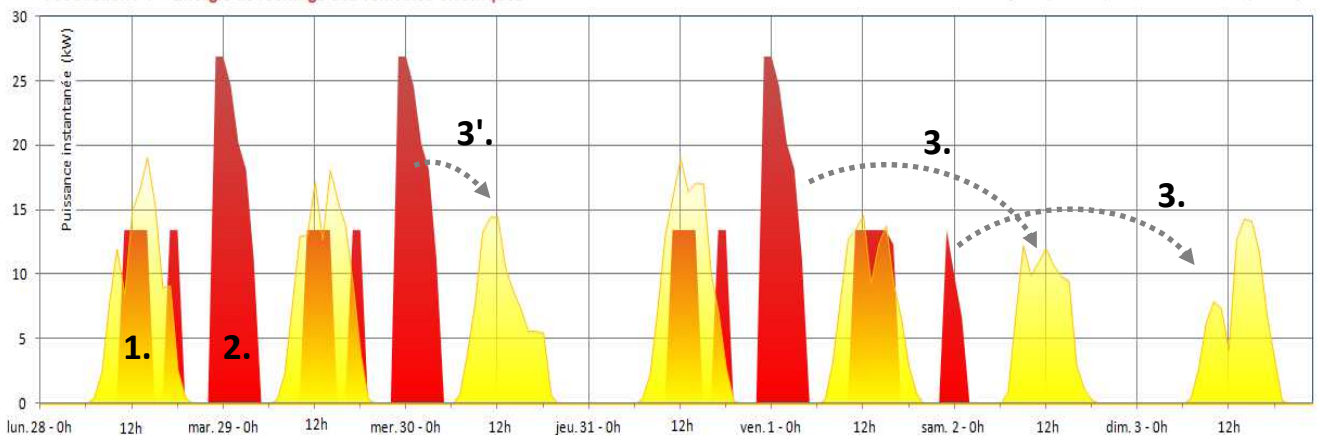


Figure VI.21 : Simulation de recharge du parc véhicules électrique de Dothémare

<sup>9</sup> La période analysée n'est certainement pas représentative et ne permet pas de conclure. Mais la puissance PV étant faible en regard de la consommation des bâtiments, une légère sur-production PV injectée sur le réseau pourra se produire, mais uniquement les week-ends et jours fériés. Une étude d'autoconsommation complète permettra de dimensionner au mieux le générateur photovoltaïque et de quantifier l'excédent de production.



**Constats :**

1. Une partie de la charge peut être effectuée de jour "au fil du soleil" : la production PV est compatible en phasage et puissance avec la demande de charge des véhicules stationnés en journée.
2. La recharge complète des véhicules doit être effectuée la nuit, notamment pour les trajets longs.
3. et 3'. Une gestion intelligente permettrait de limiter la charge de nuit en la reportant le week-end et les après midi des journées "courtes" (mercredi et vendredi) pour une recharge "au fil du soleil". La demande électrique serait ainsi mieux répartie sur la semaine, mais nécessite une meilleure planification et prévision de l'usage et la consommation des véhicules.

**VI.4.4. Simulation de la consommation électrique finale**

Le profil de consommation électrique final intégrant la mobilité électrique a été élaboré de la manière suivante

- demande en électricité totale : somme des puissances des bâtiments F et G et de la recharge véhicules,
- production photovoltaïque : énergie PV = énergie de recharge,
- soutirage réseau EDF : puissance totale - puissance photovoltaïque

**Simulation du profil de consommation électrique avec mobilité - Site Dothémare**

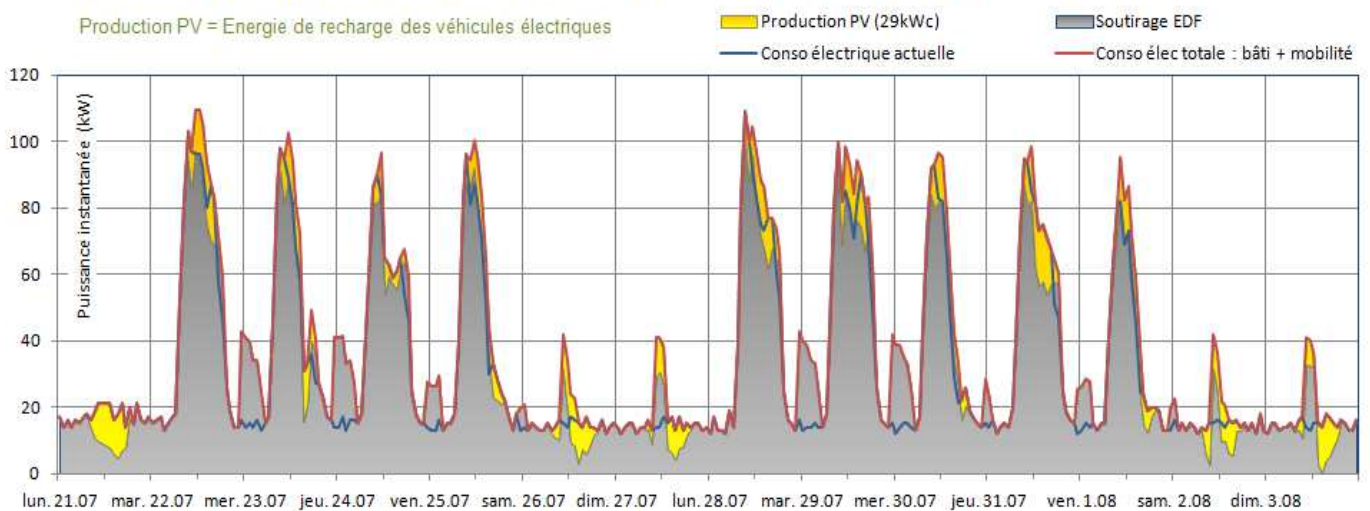


Figure VI.22 : Simulation du profil de puissance finale (bâtiment + photovoltaïque + mobilité) - site Dothémare

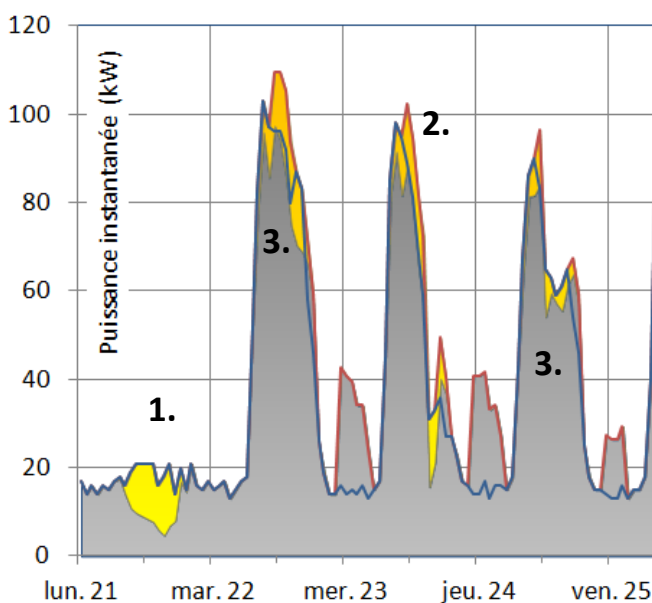


Figure VI.23 : Zoom sur le profil de puissance finale

**Constats :**

1. La centrale photovoltaïque (aire jaune) joue le rôle d'un **économiseur d'énergie** en journée : l'électricité soutirée sur le réseau (aire grise) est réduite.
2. La demande de puissance maximale intégrant la mobilité (courbe rouge) est du même ordre de grandeur que la demande actuelle (courbe bleue) : **la mobilité électrique est compatible avec l'alimentation électrique actuelle** (aucun renforcement n'est nécessaire).
3. La puissance soutirée sur le réseau (aire grise) est souvent inférieure en journée à la demande actuelle (courbe bleue) : **le système de "mobilité à énergie renouvelable" aurait pour effet de réduire l'impact global** sur le réseau électrique.

## PHASE 3 : ETUDE DE FAISABILITE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

---

## VII. EVALUATION ECONOMIQUE

### VII.1. Hypothèses de calcul

#### Référence

Pour améliorer la pertinence de l'analyse économique, les scénarios de mobilité électrique et hybride sont comparés avec une évolution tendancielle de renouvellement du parc avec des véhicules thermiques. Cette situation correspondrait à une non-application de la circulaire.

Un scénario complémentaire "Renouvellement 50% thermique" a donc été introduit et calculé selon la même méthodologie : il sert de scénario de référence..

#### Méthode

La méthode du "Taux d'Enrichissement en Capital" (TEC) <sup>®</sup> développée par Bernard CHABOT a été utilisée en analyse différentielle (TECDIF) pour la comparaison des scénarios de mobilité électrique par rapport à la référence mobilité thermique. La période d'observation économique est de 20 ans et le taux d'actualisation de 5 %.

#### Coût des matériels

- système photovoltaïque	-> en surimposition de toiture	: 2 €/Wc	(solution évaluée)
	-> sur structure inclinée	: 2,5 €/Wc	
	-> en ombrière de parking	: 4 €/Wc	
- parc batteries		: 310 €/kWh	
- borne de recharge		: 3000 €	

#### Prix des véhicules

Le prix à l'achat est basé sur les tarifs métropole majorés de 20%, incluant le bonus écologique :

- électrique	: 25 000 €
- hybride	: 30 000 €
- hybride rechargeable	: 44 500 €
- thermique	: 25 000 €

L'étude ne concerne que les 50% des parcs, soit 39 véhicules, concernés par la circulaire. Les véhicules restants suivent une évolution normale indépendante des scénarios présentés.

#### Coût des énergies

énergie	prix actuel	prix moyen sur 20 ans	avec une augmentation annuelle de 2,5% :
- électricité	: 0,15 €/kWh	: 0,2 €/kWh	(tarif d'achat sur le réseau EDF)
- carburant	: 1,46 €/l	: 1,95 €/l	

#### Dépenses d'entretien et renouvellement

poste	entretien/maintenance	provision pour renouvellement
- système PV	: 1000 €/an	Investissement / 20 (durée vie = 20 ans)
- parc batteries	: 1000 €/an	Investissement / 10 (durée vie = 10 ans)
- véhicules	: 500 €/an/veh	valeur à neuf du parc / 15 (renouvellement du parc en 15 ans, soit 5 veh /an )

#### Variantes de production d'électricité

La source d'approvisionnement en électricité a un impact important sur les coûts d'investissement et d'exploitation. Les scénarios ont été évalués selon les trois variantes décrites ci-dessous :

- Système photovoltaïque autonome** : c'est la solution de base, avec un champ photovoltaïque en surimposition de toiture couplé à un parc de batteries permettant une autonomie de 3 jours.
- Système photovoltaïque sans stockage** : c'est une alternative où la production photovoltaïque (PV en surimposition de toiture) est "autoconsommée" au fil du soleil mais compense intégralement les besoins électriques de la mobilité.
- Recharge sur le réseau EDF** : il n'y pas d'installation de production EnR, ni de stockage, l'énergie pour la mobilité est directement soutirée sur le réseau EDF, à l'instar des systèmes métropolitains.

## VII.2. Valeur à neuf du parc véhicules

Les parcs futurs de la DEAL et la DAAF sont évalués à 77 véhicules (cf. §IV.1 : hypothèses de construction des scénarios) dont 39 sont à remplacer par des véhicules électriques ou hybrides selon la circulaire (50% des parcs).

Pour comparer les scénarios entre eux, on calcule la valeur à neuf<sup>10</sup> du parc d'après le prix actuel des véhicules : on peut ainsi mettre en évidence l'effet du prix à l'achat selon le type de véhicules introduits. Logiquement, le parc selon le scénario 5b-C' qui fait appel à des hybrides et hybrides rechargeables plus chers a une valeur la plus élevée.

Dans le cas des scénarios intermédiaires, le nombre de véhicules électriques et hybrides est inférieur à l'objectif de 50% et a été complété par des véhicules thermiques pour obtenir un parc total de 77 voitures.

La valeur à neuf du parc permet de déterminer le montant des dépenses annuelles de renouvellement.

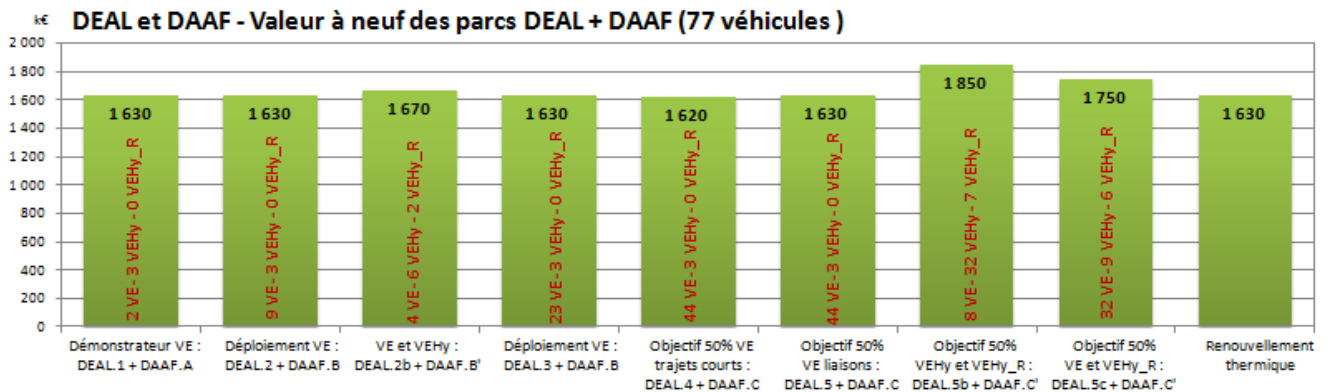


Figure VII.1 : Valeur à neuf du parc véhicules selon les scénarios de mobilité

## VII.3. Dépenses d'investissement

Les dépenses d'investissement concernent le système de production photovoltaïque autonome et les infrastructures de recharge des véhicules. Il est à noter que les équipements sont dimensionnés pour les véhicules des parcs DEAL et DAAF, ainsi que pour les voitures du personnel, soit 39 + 8 = 47 véhicules pour les scénarios "Objectif 50%".

### VII.3.1.a. Scénarios intermédiaires

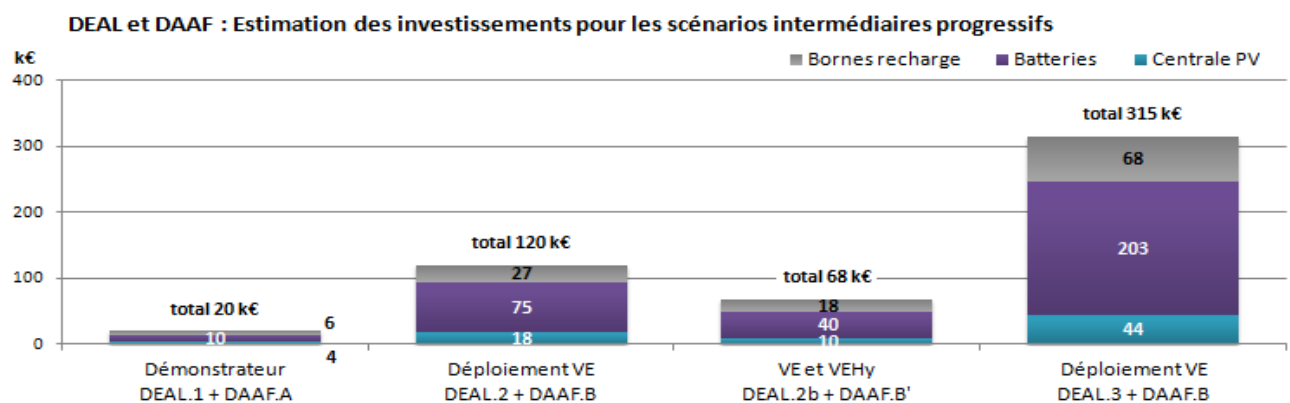


Figure VII.2 : Comparaison des coûts d'investissement pour les scénarios intermédiaires

Les besoins en investissements sont très faibles pour le scénario "démonstrateur" et restent modestes pour les autres scénarios intermédiaires.

On peut constater également que la grande majorité de l'investissement concerne le parc batteries, la centrale photovoltaïque et les bornes de recharge n'ont qu'un poids relatif limité.

<sup>10</sup> La valeur à neuf correspond à une situation fictive où tous les véhicules seraient achetés en une fois au début de la période d'observation

### VII.3.1.b. Scénarios "Objectif 50%"

#### DEAL et DAAF : Estimation des investissements pour les scénarios de mobilité "Objectif 50%"

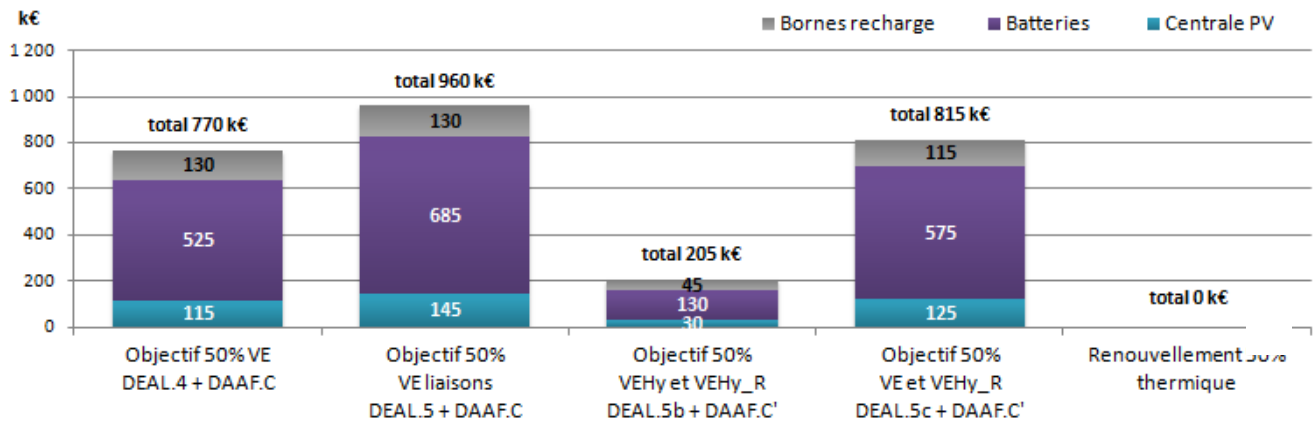


Figure VII.3 : Comparaison des coûts d'investissement pour les scénarios "Objectif 50%".

Les besoins en investissement pour les scénarios "Objectif 50%" vont de 200 k€ à 1 M€. Ils sont directement liés à la demande en électricité : ainsi, le scénario 5b-C' faisant appel à des véhicules hybrides nécessite le plus faible investissement. A contrario, l'utilisation intensive de véhicules électriques impose une infrastructure de production et de recharge la plus importante et un investissement en conséquence.

La grande majorité de l'investissement concerne le parc batteries avec plus des deux tiers du total. Le générateur photovoltaïque et l'infrastructure de recharge ne représentent chacun que 15%.

#### Répartition moyenne des investissements pour les scénarios "Objectif 50%"

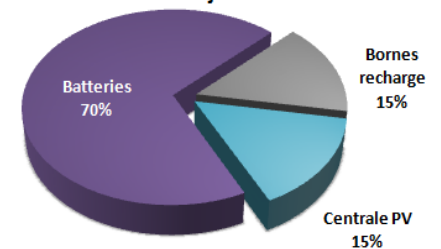


Figure VII.4 : Répartition moyenne des investissements

Bien qu'importants pour certains scénarios, les montants affichés sont à comparer avec les autres investissements immobiliers, notamment la construction du nouveau bâtiment de St-Phy.

## VII.4. Estimation des dépenses annuelles d'exploitation

Les dépenses d'exploitation sont constituées des frais d'entretien (véhicule et système de production), des coûts de l'énergie et des provisions ou dépenses pour le renouvellement des équipements.

Dans le cas présent l'électricité étant auto-produite les dépenses d'énergies ne concernent que le carburant. Les coûts sont calculés avec un prix moyen sur la période d'observation de 20 ans.

### VII.4.1.a. Scénarios intermédiaires

#### DEAL et DAAF - Estimation des charges d'exploitation pour les scénarios intermédiaires progressifs

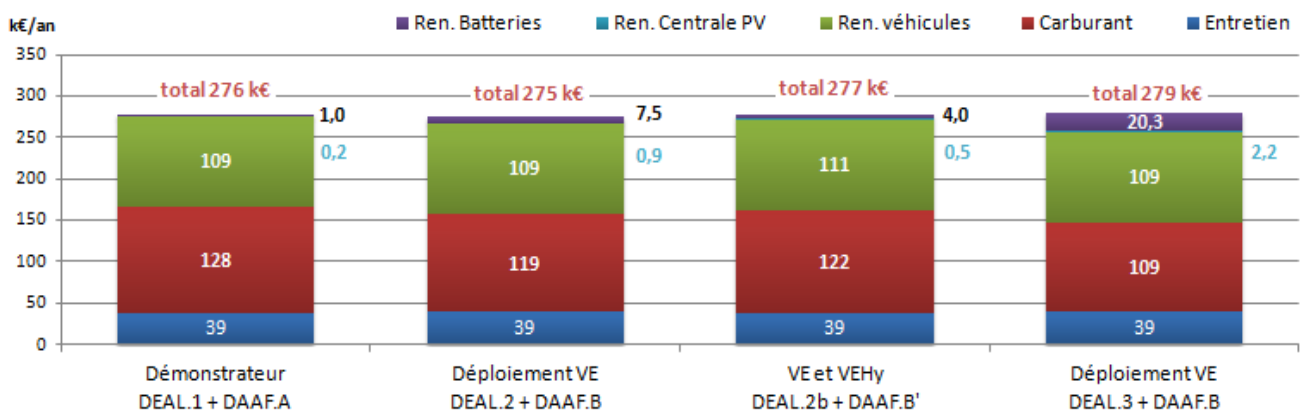


Figure VII.5 : Comparaison des charges d'exploitation selon les scénarios intermédiaires

VII.4.1.b. Scénarios "Objectif 50%

**DEAL et DAAF - Estimation des charges d'exploitation pour les scénarios de mobilité "Objectif 50%"**

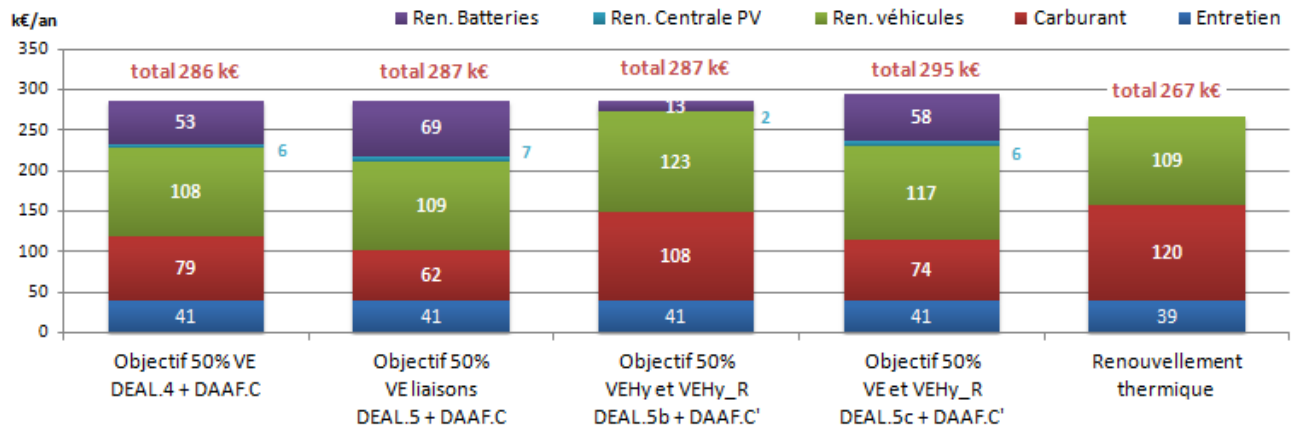


Figure VII.6 : Comparaison des charges d'exploitation selon les scénarios "Objectif 50%"

On peut constater que les dépenses totales d'exploitation sont très proches quel que soit le scénario de mobilité intermédiaire ou objectif : les économies de carburant obtenues par les véhicules électriques sont compensées par les charges liées au renouvellement des véhicules et du parc batteries (la part du photovoltaïque est presque négligeable).

Les dépenses les plus faibles sont d'ailleurs obtenues avec des véhicules thermiques.

**En conséquence, une mobilité électrique ou hybride alimentée par une centrale photovoltaïque avec stockage ne permet pas de réduire les coûts d'exploitation.**

VII.4.1.a. Scénarios "Objectif 50% avec un système photovoltaïque sans stockage

Une centrale photovoltaïque en autoconsommation (cf.§ VI.4.) supprime la contrainte technique et économique du stockage par batteries. Les charges d'exploitation peuvent être réduites grâce à la mobilité électrique jusqu'à près de 20% par rapport à une solution thermique.

**DEAL et DAAF - Estimation des charges d'exploitation avec un système photovoltaïque sans stockage**

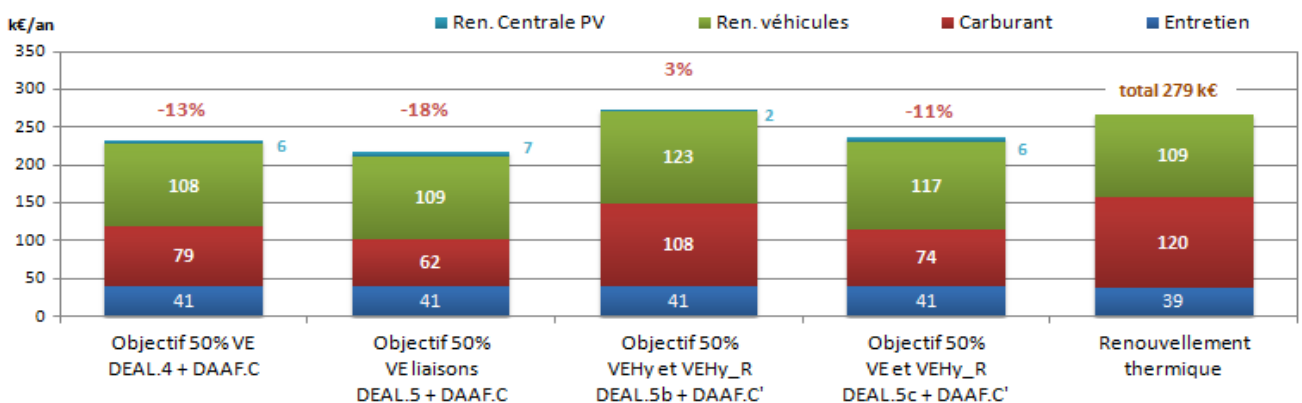


Figure VII.7 : Comparaison des charges d'exploitation avec un système photovoltaïque sans stockage

**VII.5. Estimation des coûts cumulés**

Les coûts présentés ci-après comprennent :

- les investissements : positionnés en une fois l'année 0,
- les dépenses d'exploitation fixes : entretien et renouvellement,
- les dépenses d'exploitation variables : énergies avec des prix en augmentation de 2,5% par an.

Le cumul est calculé sur la période d'observation économique de 20 ans

*nb. les coûts présentés dans ces graphiques ne sont pas actualisés, ce qui explique les éventuelles différences avec l'analyse économique détaillée au paragraphe VII.6. suivant.*

VII.5.1. Scénarios Objectif 50% : système photovoltaïque autonome

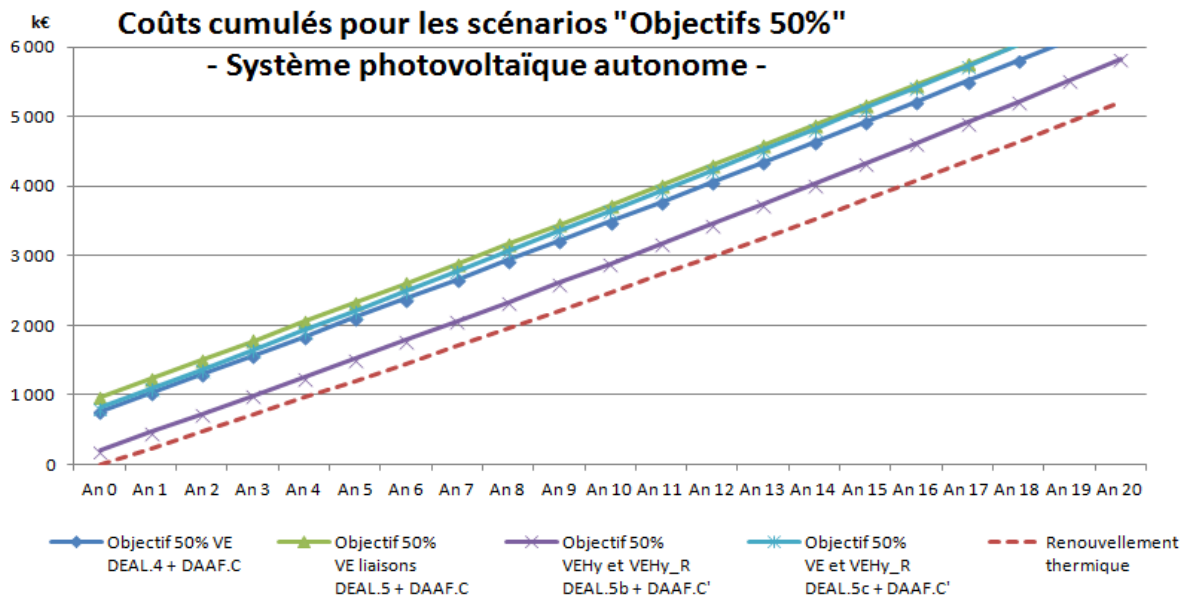


Figure VII.8 : Coût cumulés des scénarios "Objectif 50%" avec un système photovoltaïque autonome

Le graphique des coûts cumulés montre qu'aucun des scénarios de mobilité avec un système de production autonome n'est économiquement intéressant : la courbe "Renouvellement thermique" est située nettement en dessous des autres, ce qui s'explique par des coûts toujours inférieurs et l'absence d'investissements autres que l'achat des véhicules.

VII.5.2. Cas du scénario 4-C : variantes d'alimentation électrique

Ce scénario fait appel essentiellement à des **véhicules électriques**

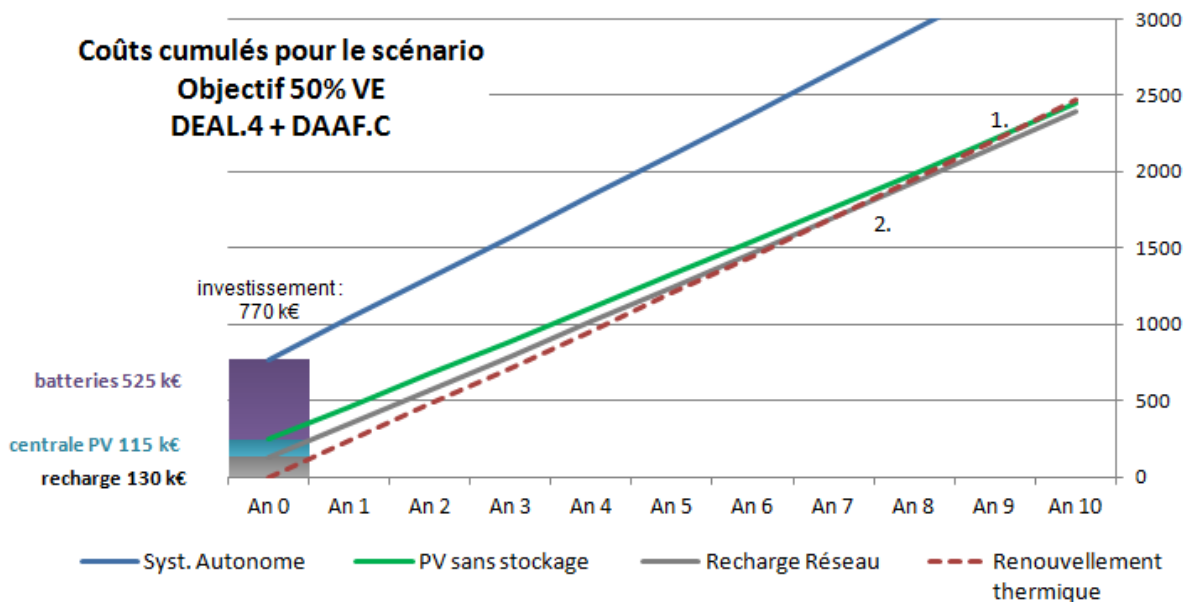


Figure VII.9 : Coûts cumulés selon le scénario 4-C "VE" - trois variantes d'alimentation électrique

Constats :

- Système photovoltaïque autonome : la courbe diverge en raison d'un investissement important et des coûts d'exploitation plus élevés que la référence thermique.
- Système photovoltaïque sans stockage : l'investissement initial est compensé par des dépenses d'exploitation plus faibles après une période de 9 à 10 ans (1.). **À moyen terme, cette solution est donc rentable.**
- Recharge sur le réseau EDF : l'investissement se limite aux bornes de recharge, il est compensé par les économies d'énergies en 7 à 8 ans (2.).

### VII.5.3. Cas du scénario 5b-C' : variantes d'alimentation électrique

Ce scénario fait appel essentiellement à des **véhicules hybrides et hybrides rechargeables**

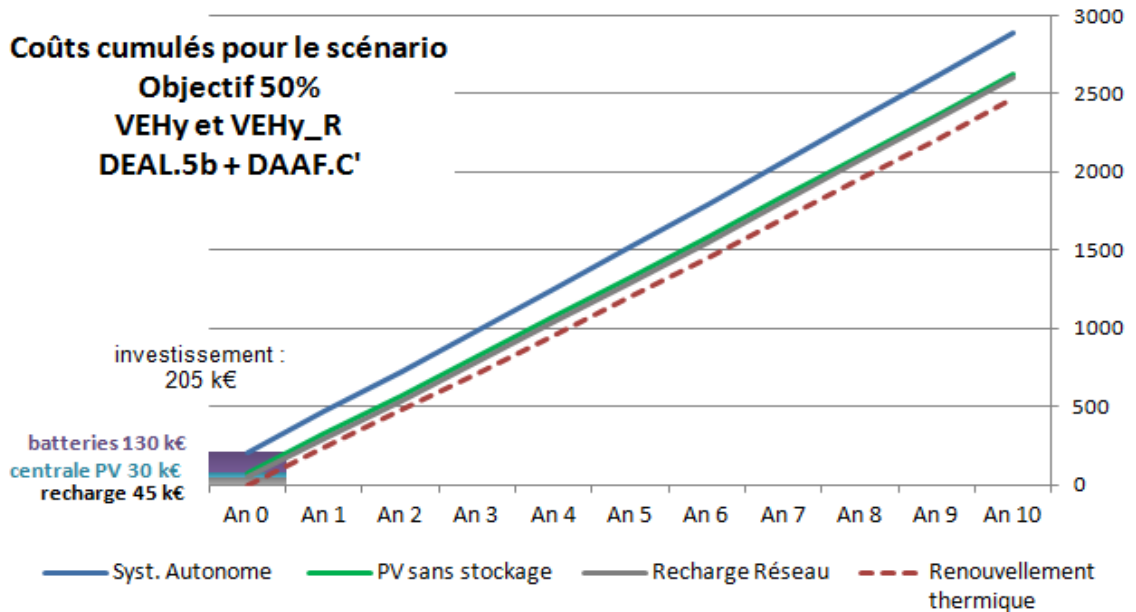


Figure VII.10 : Coûts cumulés selon le scénario 5b-C' "VEHy et VEHy\_R" - trois variantes d'alimentation électrique

#### Constats :

Contrairement au scénario précédent et malgré un besoin d'investissement réduit, aucune des variantes d'alimentation électrique ne permet d'atteindre les performances de la référence thermique. Ceci s'explique par le renouvellement de véhicules plus chers et des économies de carburant insuffisantes.

## VII.6. Analyse économique détaillée TEC dif

### VII.6.1. Scénarios calculés selon la méthode du taux d'enrichissement en capital (TEC)

Les quatre scénarios de mobilité répondant à l'objectif de 50% de renouvellement des parcs par des véhicules électriques ou hybrides ont été comparés à la référence "renouvellement thermique". La méthode prend en compte une actualisation des coûts avec un taux de 5%.

Pour chacun des scénarios, les trois variantes d'alimentation électriques ont été évaluées :

- système photovoltaïque autonome,
- système photovoltaïque sans stockage,
- recharge sur le réseau EDF.

Les résultats seront également présentés en fonction du kilométrage parcouru en mode électrique : la correspondance avec les libellés des scénarios est donnée ci-dessous :

Scénario "Objectif 50%"	VEHy et VEHy_R DEAL.5b + DAAF.C'	VE DEAL.4 + DAAF.C	VE et VEHy_R DEAL.5c + DAAF.C'	VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C	Renouvellement thermique
Part électrique du kilométrage total	8%	43%	45%	56%	0%

Les paramètres économiques représentés graphiquement dans les paragraphes suivants sont le cout global actualisé, le temps de retour brut et le taux d'enrichissement en capital. Les autres critères économiques sont donnés en annexe dans les tableaux de résultats complets.



### VII.6.2. Coût global actualisé (CGA) du kilomètre parcouru

Le coût global intègre les investissements actualisés sur la période d'observation, les charges d'entretien et de renouvellement, ainsi que les dépenses d'énergies.

Dans le cas d'un parc renouvelé avec des véhicules thermiques, le coût global est de 26,5 c€/km.

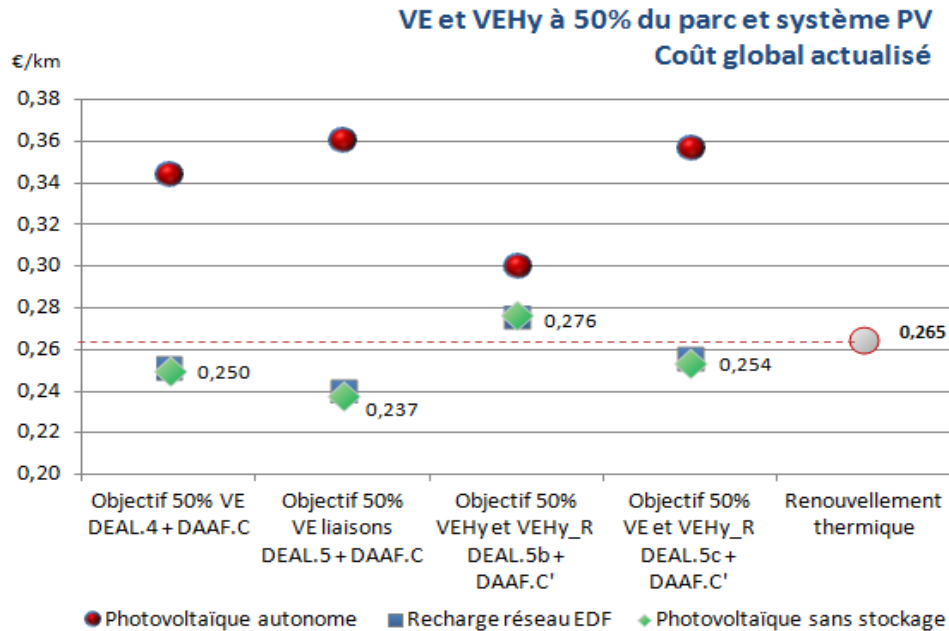


Figure VII.11 : Analyse économique - coût global actualisé au km

#### VII.6.2.a. Impact des scénarios sur coût global

- dans tous les cas avec un système photovoltaïque autonome, le coût global au kilomètre est **toujours plus élevé** que la référence, conséquence logique du coût élevé des parcs batteries.
- une réduction du coût global au km est obtenue avec des véhicules électriques et un système photovoltaïque sans stockage. Les véhicules hybrides restent plus chers à l'utilisation.
- un système de production photovoltaïque n'augmente pas le coût global de la mobilité électrique : on obtient des résultats similaires, mais légèrement inférieurs, avec un soutirage sur le réseau EDF.

#### VII.6.2.b. Evolution du coût global selon le kilométrage électrique

Les résultats précédents sont présentés pour mettre en relation le CGA avec le taux de mobilité électrique

Avec un système photovoltaïque autonome, le coût global augmente avec le kilométrage électrique, conséquence de l'augmentation de la taille du parc batteries nécessaire.

A contrario, un système photovoltaïque sans stockage est d'autant plus efficace que la distance parcourue est importante : le meilleur résultat est obtenu dans le cas du scénario 5-C qui exploite au maximum les véhicules électriques.

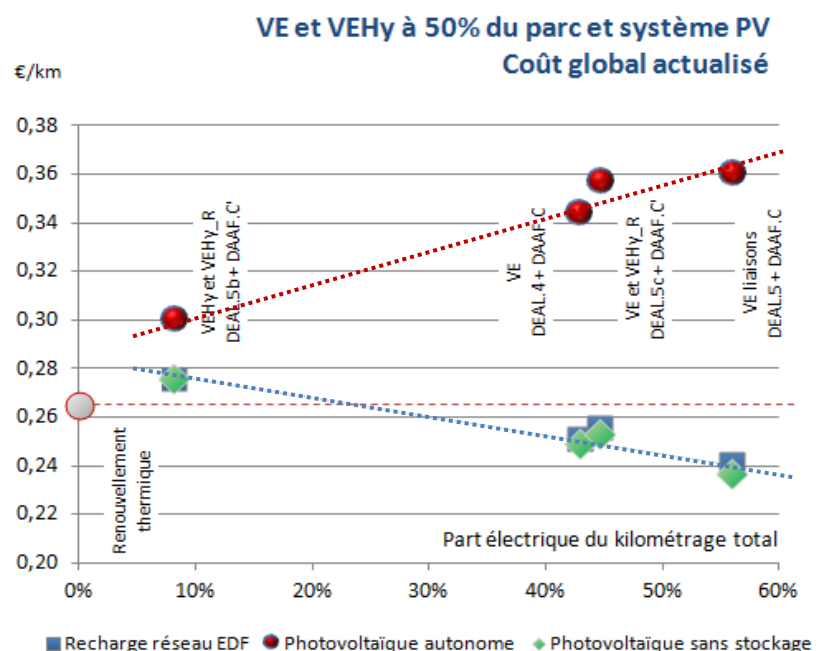


Figure VII.12 : Analyse économique - coût global actualisé en fonction du kilométrage électrique

### VII.6.3. Temps de retour brut différentiel (TRB dif)

Le TRB différentiel correspond au temps de retour en nombre d'année si la solution de mobilité électrique est préférée à la référence thermique.

Pour plusieurs scénarios, le TRB n'est pas calculable, c'est-à-dire que les coûts d'investissement et d'exploitation sont toujours supérieurs à la valeur de référence.

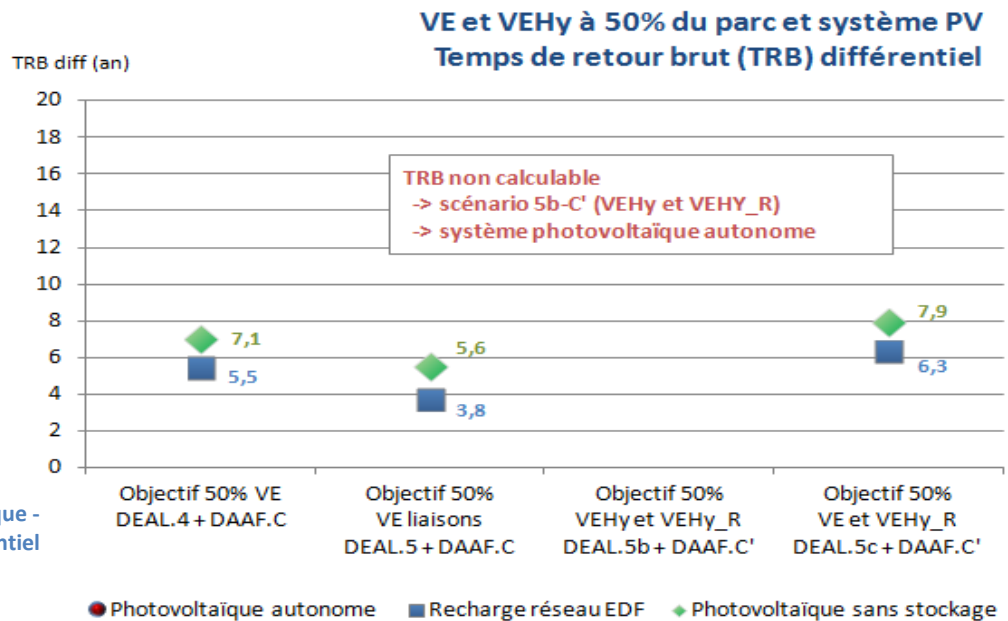


Figure VII.13 : Analyse économique - temps de retour brut différentiel

#### VII.6.3.a. Impact des scénarios sur le TRB

- avec un système photovoltaïque autonome, le TRB n'est pas calculable pour aucun des scénarios,
- de même, l'utilisation préférentielle de véhicules hybrides (Sc 5b-C') n'est pas rentable : les VEHy et VEHy\_R sont plus chers à l'achat et ne permettent pas une économie de carburant suffisante.
- pour les autres scénarios, le temps de retour est d'autant plus faible que l'utilisation des véhicules électriques est importante : le scénario 5-C est de ce fait le plus intéressant,
- la recharge sur le réseau EDF offre les temps de retours les plus courts, grâce à un investissement réduit.

#### VII.6.3.b. Evolution du TRB selon le kilométrage électrique

Pour les systèmes sans stockage, un kilométrage électrique minimal est nécessaire pour obtenir un TRB inférieur à la période d'observation.

Par ailleurs, plus le kilométrage parcouru en mode électrique est important, plus le TRB sera court.

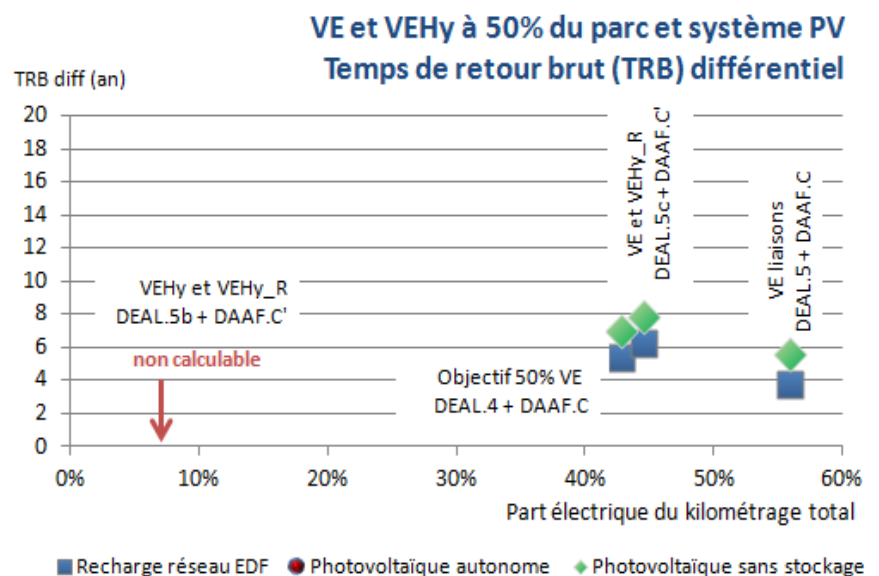


Figure VII.14 : Analyse économique - temps de retour brut en fonction du kilométrage électrique

#### VII.6.4. Indicateur de rentabilité TEC dif

Le Taux d'Enrichissement en Capital (TEC) est indicateur de rentabilité universel qui synthétise l'ensemble des paramètres du projet.

Dans le cas d'une analyse différentielle, la solution alternative de mobilité est plus rentable que la solution de référence "renouvellement thermique" si la valeur du TEC est positive et d'autant plus qu'elle est élevée.

##### TAUX D'ENRICHISSEMENT EN CAPITAL

La méthode TEC est une méthode globale d'analyse économique qui est proposée pour simplifier l'analyse du coût du kWh et des services fournis par les systèmes de production à énergie renouvelable et pour calculer la rentabilité des projets correspondants.

Dans chaque cas, les formules simplifiées et des outils graphiques permettent de cerner très simplement la sensibilité des résultats aux paramètres d'ensoleillement, à ceux de coûts d'investissement, de financement et d'exploitation et d'entretien-maintenance et aux tarifs de vente du kWh ou du service fourni.

La valeur du TEC est définie comme la valeur actuelle nette (VAN) des projets générée par chaque euro investi.

L'analyse de la rentabilité par le taux d'enrichissement en capital permet de comparer très simplement les projets EnR avec ceux de basé sur des solutions techniques conventionnelles de production d'électricité.

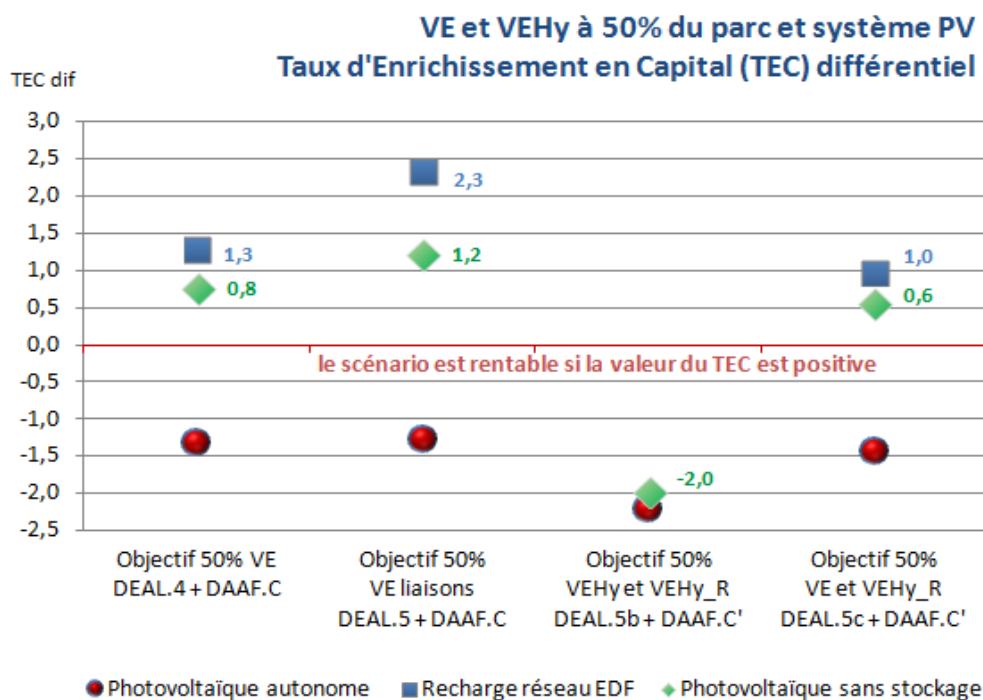


Figure VII.15 3 : Analyse économique - Taux d'Enrichissement en Capital différentiel

Dans le cas présent, le scénario 5-C qui maximise l'utilisation des véhicules électriques présente la meilleure performance économique avec un système d'alimentation électrique sans stockage. Les deux autres scénarios 4-C et 5c-C affichent une rentabilité satisfaisante dans les mêmes conditions.

## VII.7. Conclusions de l'analyse économique

L'analyse économique des différents scénarios de mobilité a montré que :

- 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,
- les véhicules hybrides rechargeables, en raison de leur prix élevé, ne présentent pas une rentabilité satisfaisante,
- 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.

## VIII. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

### VIII.1. Hypothèses de calcul

#### Consommations d'énergies et émissions de GES des véhicules :

type	Carburant l/100km	Electricité kWh/100km	CO <sub>2</sub> gCO <sub>2</sub> /km
Thermique actuel	6,6	0	160
Thermique	5,6 *	0	130
Hybride	4,7 *	0	110
Hybride rechargeable	2,8 *	26	65
Electrique	0	16	0 / 150**

\* selon cycle normalisé corrigé des conditions réelles (+30%)

\*\* selon la recharge : 0 si 100% EnR et 150 sur réseau EDF de Guadeloupe

#### Facteur CO<sub>2</sub> du kWh électrique

En Guadeloupe : 920 gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>

#### Méthode de calcul

L'analyse vise à comparer entre eux les différents scénarios de mobilité avec comme référence une situation tendancielle qui consiste à conserver le parc existant (pas de renouvellement des véhicules). Seuls 39 véhicules (50% des parcs DEAL et DAAF) sont pris en compte, le reste des parcs n'étant pas impacté par les scénarios de mobilité.

Un scénario complémentaire 100% thermique (renouveaulement du parc avec des véhicules thermiques) a été calculé.

La même méthode est appliquée à chaque scénario :

- Calculs des constantes :
  - Kilométrage total parcouru (besoin de déplacement) :  $Km_{total} = \sim 1$  million de km par an
  - Volume total tendanciel de carburant consommé :  $V_{carb.tend} = \sim 66\ 000$  l/an
  - Emissions totale tendancielle de CO<sub>2</sub> :  $CO_{2tend} = 165$  tCO<sub>2</sub>/an
- Détermination du kilométrage parcouru, par type de véhicule : selon les scénarios de mobilité
- Estimation du volume de carburant économisé, par type de véhicule :  $V_{eco} = Km_{veh} \times (Conso_{tend} - Conso_{veh}) \times 100$
- Estimation de l'économie totale de carburant :  $Eco_{carb}\% = \frac{\sum V_{eco}}{V_{carb.tend}} \times 100$
- Estimation de la masse de CO<sub>2</sub> évitée, par type de véhicule :  $CO_{2eco} = Km_{veh} \times (CO_{2actu} - CO_{2veh}) \times 100$
- Estimation de l'économie totale de CO<sub>2</sub> émis :  $Eco_{CO_2}\% = \frac{\sum CO_{2eco}}{CO_{2tend}} \times 100$
- Cas d'une recharge sur le réseau des VE : calcul identique avec un facteur 150 gCO<sub>2</sub>/km au lieu de 0.

### VIII.2. Estimation de la réduction de la consommation et des émissions de CO<sub>2</sub>

Tableau VIII-1: Synthèse de l'analyse environnementale

DEAL et DAAF - Analyse environnementale		Kilométrage électrique		Kilométrage annuel total (km/an)			Economie de carburant		CO <sub>2</sub> évité		recharge réseau EDF
scénarios intermédiaires progressifs		km/an	%	VE	VEHy	VEHy_R	litres/an	%	tCO <sub>2</sub> el/an	%	
DEAL	Scénario 1 : démonstrateur VE			8 012	0	0					
DAAF	Scénario A : Hybride actuel	8 000	0,8%	0	53 043	0	526	0,8%	1,3	0,8%	0,1
DEAL	Scénario 2 : déploiement VE sur trajets courts et test sur liaisons	61 700	6,1%	44 801	0	0	5 003	7,6%	12,8	7,8%	3,6
DAAF	Scénario B : déploiement Electrique			16 896	53 043	0					
DEAL	Scénario 2b : déploiement VE sur trajets courts et VEHy_R sur liaisons	27 400	2,7%	18 567	0	26 233	3 463	5,2%	9,3	5,6%	6,5
DAAF	Scénario B' : déploiement VEHy sur trajets courts			0	69 939	0					
DEAL	Scénario 3 : déploiement VE sur liaisons	167 100	16,6%	128 550	0	0	10 499	15,9%	26,5	16,1%	4,7
DAAF	Scénario B : déploiement Electrique			16 896	53 043	0					
scénarios de mobilité "Objectif 50%"											
DEAL	Scénario 4 : objectif 50% Electrique	432 000	42,8%	235 704	0	0	25 753	38,9%	64,1	39,0%	5,8
DAAF	Scénario C : objectif 50% Electrique et Hybride			152 993	13 694	0					
DEAL	Scénario 5 : objectif 50% Electrique (liaisons)	563 600	55,9%	367 266	0	0	34 386	52,0%	85,6	52,0%	7,5
DAAF	Scénario C : objectif 50% Electrique et Hybride			152 993	13 694	0					
DEAL	Scénario 5b : objectif 50% Hybride	82 100	8,1%	0	367 266	0	10 657	16,1%	30,5	18,6%	30,5
DAAF	Scénario C' : objectif 50% VEHy et VEHy Rechargeable			0	113 150	53 537					
DEAL	Scénario 5c : objectif 50% Hybride Rechargeable	449 400	44,6%	367 266	0	0	28 149	42,5%	71,1	43,2%	16,0
DAAF	Scénario C' : objectif 50% VEHy et VEHy Rechargeable			0	113 150	53 537					
	Renouvellement 50% thermique	0	0				4 833	7,3%	16,7	10,1%	

### VIII.2.1. Scénarios intermédiaires

Les performances environnementales des scénarios intermédiaires sont directement liées au kilométrage parcouru en mode électrique (la recharge avec une source d'énergie renouvelable a un impact nul).

Même si les valeurs absolues restent modestes, l'évolution de la consommation de carburant et des émissions de CO<sub>2</sub> est sensible et positive quelle que soit l'action réalisée.

#### DEAL et DAAF : Performances des scénarios intermédiaires progressifs

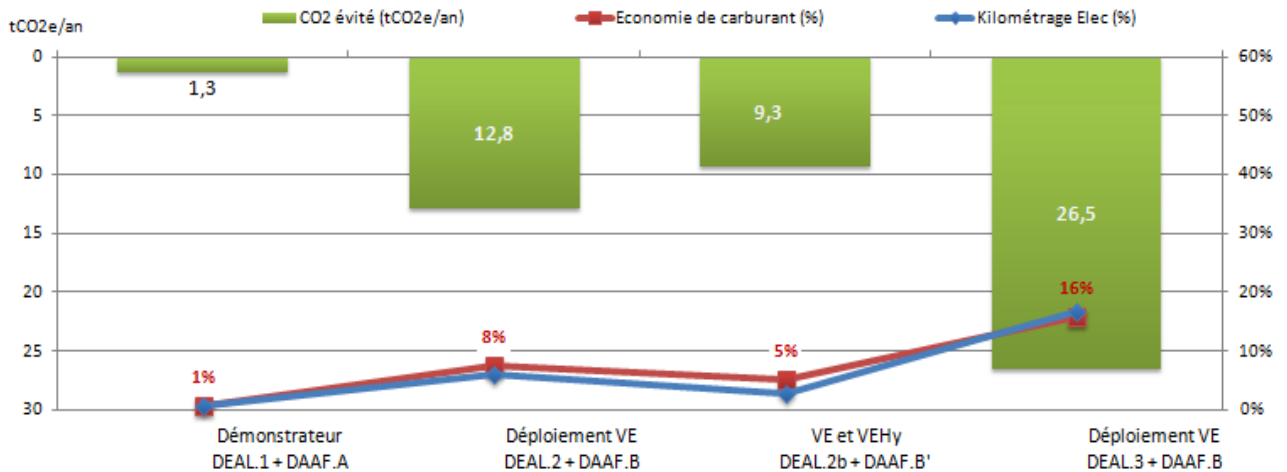


Figure VIII.1 : Performances environnementales des scénarios de mobilité intermédiaires

### VIII.2.2. Scénarios "Objectifs 50%

Les scénarios les plus performants sont logiquement ceux qui exploitent au maximum les véhicules électriques : les gains en consommation de carburant dépassent les 40% pour les scénarios 4-C, 5-C et 5c-C', soit une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de plus de 60 t<sub>ecO2</sub>/an.

L'utilisation de véhicules hybrides (5b-C') présente un intérêt moindre, les gains sont obtenus grâce aux consommations spécifiques améliorées par rapport à un véhicule thermique.

Enfin, le renouvellement du parc avec des véhicules thermiques modernes est le scénario le moins performant, mais il apporterait néanmoins une petite amélioration de l'ordre de 7%.

#### DEAL et DAAF : Performances des scénarios de mobilité "Objectif 50%"

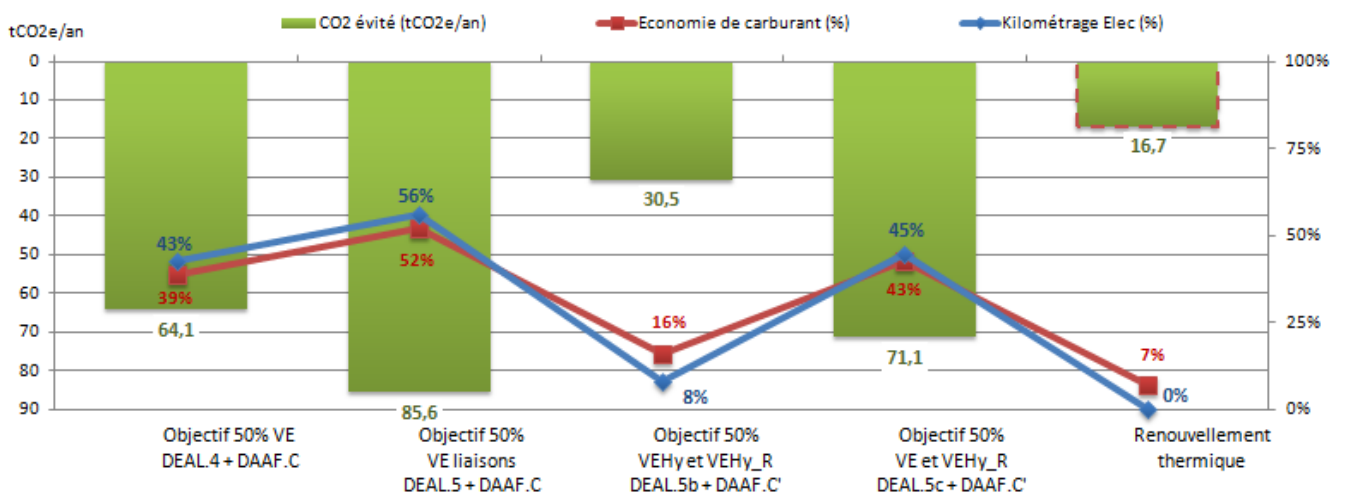


Figure VIII.2 : Performances environnementales des scénarios de mobilité "Objectif 50%"

### VIII.3. Evaluation de la recharge sur le réseau électrique

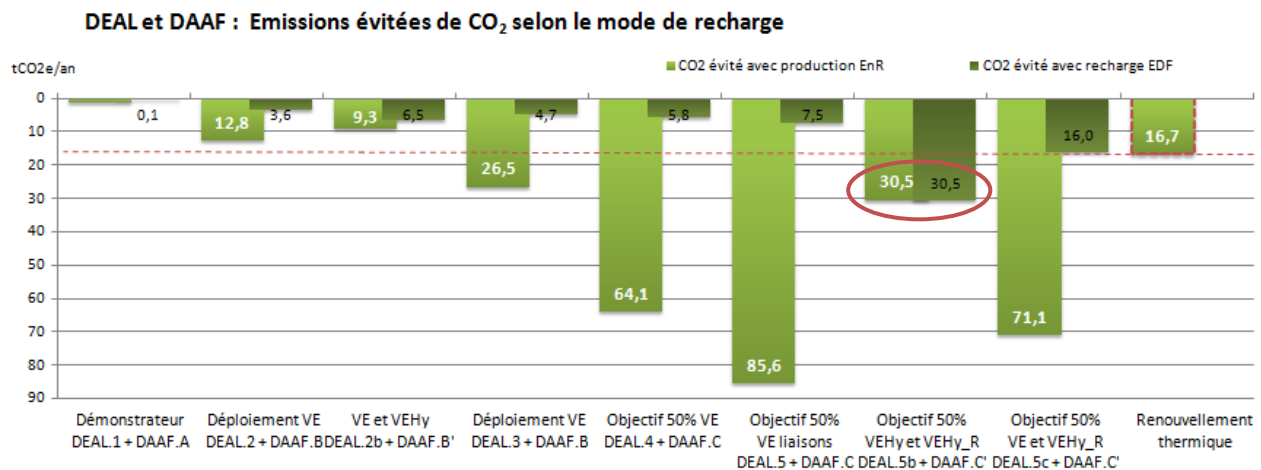


Figure VIII.3 : Evaluation des émissions de CO<sub>2</sub> avec une recharge électrique sur le réseau

Malgré le facteur carbone élevé de l'électricité du réseau Guadeloupéen, une recharge sur le réseau ne dégrade pas la situation actuelle. On obtient en effet une légère amélioration qui est due à l'ancienneté du parc existant (émission moyenne de 163 gCO<sub>2</sub>/km contre 150 gCO<sub>2</sub>/km pour un véhicule électrique rechargé sur le réseau).

Le principe d'une recharge sur le réseau n'est pas pour autant satisfaisant, puisqu'une réduction plus forte des émissions de CO<sub>2</sub> est obtenue avec des véhicules thermiques modernes. En effet, les deux meilleurs scénarios 5-C et 5c-C' envisagés en recharge directe permettraient respectivement une économie de 7,5 et 16 tCO<sub>2</sub>/an contre 16,7 tCO<sub>2</sub>/an pour une flotte renouvelée avec des véhicules thermiques.

L'autre cas singulier du scénario 5b-C' s'explique par la faible demande en électricité des véhicules hybrides : la source d'alimentation n'a donc qu'un impact négligeable. La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est due à l'efficacité globale des véhicules.

**En conclusion, si la recharge des véhicules sur le réseau électrique est à déconseiller dans le cas d'une utilisation normale, elle doit pouvoir être envisagée ponctuellement pour des besoins électriques limités :**

- alimentation de véhicules hybrides rechargeables,
- recharge des véhicules "démonstrateur" dans le cas d'une expérimentation,
- sécurisation de la recharge (panne du système de production EnR, autonomie insuffisante...).

Par ailleurs, la Guadeloupe a affiché l'ambition d'une autonomie énergétique et d'une production basée sur des énergies renouvelables. La pertinence de la recharge des véhicules sur le réseau devra être reconsidérée en fonction de l'évolution du facteur carbone du kWh électrique.

### VIII.4. Autres polluants atmosphériques

Les émissions de polluants du transport automobile, notamment les hydrocarbures (HC), les oxydes d'azote (NOx) et les particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) sont directement liées à la consommation de carburant. En conséquence, la réduction de ces émissions est homogène à la réduction de la consommation.

### VIII.5. Conclusions de l'analyse environnementale

L'analyse environnementale des différents scénarios de mobilité a montré que :

- toute introduction d'une **mobilité électrique ou hybride aura un impact positif** (même la plus modeste : ex. démonstrateur).
- les **véhicules électriques permettent une réduction de CO<sub>2</sub> la plus importante** (>40% et 60tCO<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.

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

---

# IX. INTEGRATION A UN RESEAU ELECTRIQUE INTELLIGENT

## IX.1. Un réseau électrique intelligent

### IX.1.1. L'évolution nécessaire du réseau électrique

Le développement des énergies renouvelables, décentralisées et pour certaines intermittentes, l'apparition de nouveaux usages électriques -dont la mobilité- et les programmes d'efficacité énergétique vont entraîner une évolution sensible de la consommation d'électricité et du profil de charge.

L'organisation "descendante" du système électrique -de la production vers la consommation- n'est plus adaptée et va devoir évoluer profondément pour garantir la fourniture de l'énergie et la stabilité du réseau.

L'évolution vers un "smart grid" apparait comme la solution d'avenir. Elle est par ailleurs préconisée par les SRCAE et PRERURE de la Guadeloupe, mais sans en détailler les caractéristiques et les fonctionnalités.

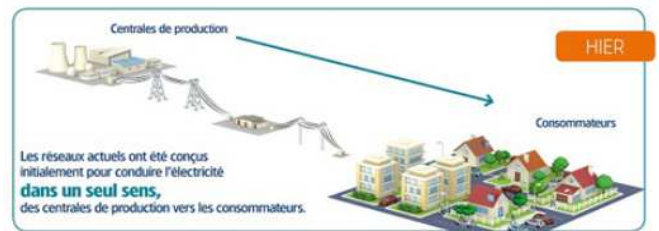


Figure IX.1 : Organisation descendante actuelle du réseau électrique - [www.erdf.fr](http://www.erdf.fr)

### IX.1.2. Qu'est-ce qu'un "smart grid"

Le "smart grid" est un "réseau de distribution d'électricité intelligent" qui utilise les technologies informatiques pour optimiser en temps réel l'efficacité de la production, de la distribution et de la consommation.

Le réseau électrique n'est plus une arborescence à sens unique mais un maillage reliant entre eux les multiples producteurs et consommateurs.

Un réseau intelligent nécessite que tous les éléments qui le composent soient communicants, capable de collecter et de transmettre des informations et d'exécuter des instructions.

Exemple d'équipements :

- les compteurs intelligents qui mesurent en temps réel la consommation électrique,
- les systèmes de délestage qui permet de réduire momentanément la demande,
- les onduleurs intelligents permettant de moduler l'énergie injectée ou de se déconnecter,
- les systèmes de pilotage des bornes de recharge des véhicules électriques,
- les systèmes de stockage de l'électricité,
- les outils de modélisation dynamique de production décentralisée,
- les sous-stations électriques intelligentes permettant un pilotage de la distribution.

La raison d'être d'un réseau intelligent est le partage et la mutualisation des potentiels de chacun des éléments qui le compose dans le but de la meilleure efficacité globale.

### IX.1.3. Le réseau intelligent selon ERDF

(source [www.erdf.fr/ERDF\\_Smartgrid](http://www.erdf.fr/ERDF_Smartgrid))

Aujourd'hui, le consommateur peut aussi être producteur d'électricité (installation de panneaux solaires par exemple). Le réseau doit par conséquent prendre en compte la circulation de l'électricité dans les deux sens : collecter l'électricité produite d'un côté et distribuer celle à consommer de l'autre, comme illustré dans le schéma ci-contre. Le smart-grid ou réseau intelligent permet de contrôler et d'éviter les sur-tensions et sous-tensions qui pourraient entraîner des pannes.



Figure IX.2 : Principe du réseau intelligent - [www.erdf.fr](http://www.erdf.fr)



## IX.2. Fonctionnalités supportées par un réseau intelligent

Le réseau intelligent n'est pas figé, il doit pouvoir évoluer en fonction des besoins et du déploiement des composants techniques intelligents. En Guadeloupe, il doit encore être entièrement défini.

### IX.2.1. Consommateurs et producteurs

#### Fonctionnement sur des plages prédéfinies :

Une incitation tarifaire permet le décalage de certaines consommations aux heures creuses pour limiter le pic électrique du soir. Le système est simple et déjà opérationnel, particulièrement pour les chauffe-eau : un contacteur commandé par un signal EDF assure la mise sous tension des consommateurs branchés en aval.

Il est à noter que les plages actuelles fixées par EDF sur la base du système de production métropolitain ne sont vraisemblablement pas adaptées au contexte insulaire, ni à la part importante de la production photovoltaïque.

#### Délestage :

Associé à un système de comptage intelligent, un boîtier va couper ou enclencher l'alimentation électrique de certains consommateurs (chauffe-eau, climatiseur...) et permettre ainsi une modulation de la puissance appelée sur le réseau. Différents systèmes sont en vente pour le grand public dans l'objectif de réduire la facture d'électricité et de d'optimiser une production photovoltaïque en autoconsommation.

Un tel système est testé à grande échelle en Guadeloupe dans le cadre du projet Millener : par l'intermédiaire d'une "passerelle énergétique", EDF peut réduire momentanément, la consommation de certains appareils et ainsi limiter l'utilisation de moyens de production émissifs en gaz à effet de serre (en cas de pics de consommation ou encore de baisse ponctuelle de production photovoltaïque). L'intervention extérieure est sans impact sur le confort, d'autant que les usagers peuvent reprendre à tout moment le contrôle de leurs appareils.

#### Stockage temporaire et lissage d'une production EnR intermittente :

Un autre dispositif du projet Millener consiste en l'installation chez les particuliers d'une batterie de stockage raccordée à un générateur photovoltaïque. Les intérêts sont multiples : lissage de l'intermittence de la production, stockage en journée pour consommation en soirée (réduction du pic du soir), sécurité en cas de coupure EDF.

A plus grande échelle, une centrale photovoltaïque avec stockage a été mise en service à mi 2014 en Guyane : elle fournit au réseau une puissance constante de 2 MW selon un profil prévisionnel fourni au gestionnaire au moins 24h à l'avance.

#### Pilotage de la production EnR décentralisée :

Cette fonctionnalité n'existe pas encore pour des raisons réglementaires : les générateurs EnR sont réglés pour une production maximale et conçus pour avoir un comportement passif sur le réseau (pas d'action sur la tension ni la fréquence, pas d'injection d'énergie réactive).

Cependant, cette limitation n'est pas technique : dans la réalité les onduleurs photovoltaïques régulent déjà en temps réel tous les paramètres du courant électrique injecté sur le réseau. Le développement d'onduleurs intelligents pourrait se faire à moindre coût et dans un délai court.

Il est à noter que le projet ESPRIT (EDF R&D, Ines, G2ELab, Idea, Transénergie, Hespul, 2011) a mis en avant la possibilité d'utiliser des onduleurs pour un nombre important de services systèmes et notamment :

- la régulation de la tension,
- la régulation de l'énergie réactive injectée,
- la limitation des harmoniques,
- l'équilibrage entre les phases sur les réseaux triphasés.

### IX.2.2. Cas de la mobilité électrique

La mobilité est un nouvel usage de l'électricité. La recharge de ces véhicules pourra se faire au domicile du conducteur le soir, au bureau, dans la rue ou sur un parking... La consommation sera nomade et difficilement imprévisible.

En conséquence, le déploiement de la mobilité électrique doit nécessairement se faire en étant pleinement intégrée dans le réseau intelligent.

Figure IX.3 : Exemple de points de recharge de véhicules électriques - [www.erdf.fr](http://www.erdf.fr)



Plusieurs modes de gestion intelligente de la recharge sont à l'étude :

Modulation de la recharge des véhicules électriques :

Le standard de borne de recharge qui devrait être déployé permettra une communication avec le véhicule et un pilotage intelligent de la charge.

Exemple des étapes du processus :

- vérification de la connexion, du circuit de protection de l'installation, des caractéristiques du câble
- lecture des informations du véhicule : caractéristiques électriques, état de charge de la batterie...
- calcul de la puissance instantanée allouée au véhicule selon une analyse multicritère :
  - le niveau de priorité,
  - l'état de charge de la batterie,
  - le fonctionnement éventuel d'autres équipements électriques, et particulièrement les autres bornes d'un même parc,
  - la plage tarifaire la plus économique,
  - la production d'énergie intermittente...
- détermination et information de la durée de recharge,
- fourniture pilotée en temps réel de la puissance de recharge.

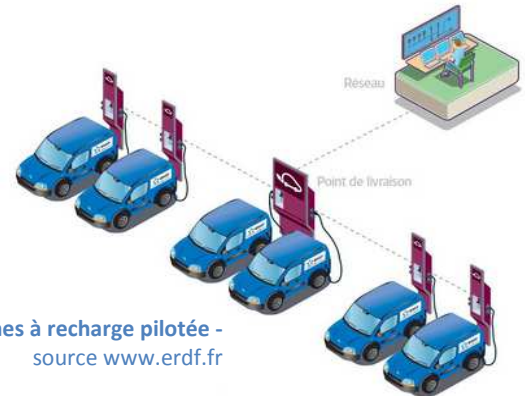


Figure IX.4 : "Grappe" de bornes à recharge pilotée - source www.erdf.fr

Service réseau : Vehicle-To-Grid (V2G) :

Partant du constat qu'un véhicule est majoritairement stationné, l'idée est d'utiliser la capacité de stockage embarquée pour contribuer à réguler le réseau électrique. Le véhicule électrique est rechargé suivant la même gestion que dans le scénario précédent mais avec la possibilité supplémentaire de réinjecter de l'électricité stockée dans les batteries sur demande du gestionnaire du réseau lors des pointes de consommation. Le V2G est assimilé à un moyen de stockage nomade.

Cette fonctionnalité n'est pour l'instant pas intégrée dans les véhicules électriques actuels, mais les constructeurs automobiles explorent le sujet. En effet, de multiples difficultés techniques et structurelles restent encore à être levées, notamment : le vieillissement prématuré des batteries, le déploiement d'un "smart grid" et des infrastructures intelligentes de recharge, le développement du parc de VE, la définition d'un modèle économique viable et intéressant pour l'utilisateur.

**IX.3. Intégration des parcs véhicules de la DEAL et de la DAAF**

Le système de production photovoltaïque et de stockage destiné à alimenter la mobilité électrique de la DEAL et de la DAAF peut être intégré dans un réseau intelligent. Les possibilités offertes dépassent la simple compensation des besoins énergétiques des véhicules, ce qui peut amener un dimensionnement optimal différent de celui d'un système autonome déterminé en partie II.

**IX.3.1. Possibilité d'intégration dans un réseau intelligent**

*Dothémare*

*St Phy*

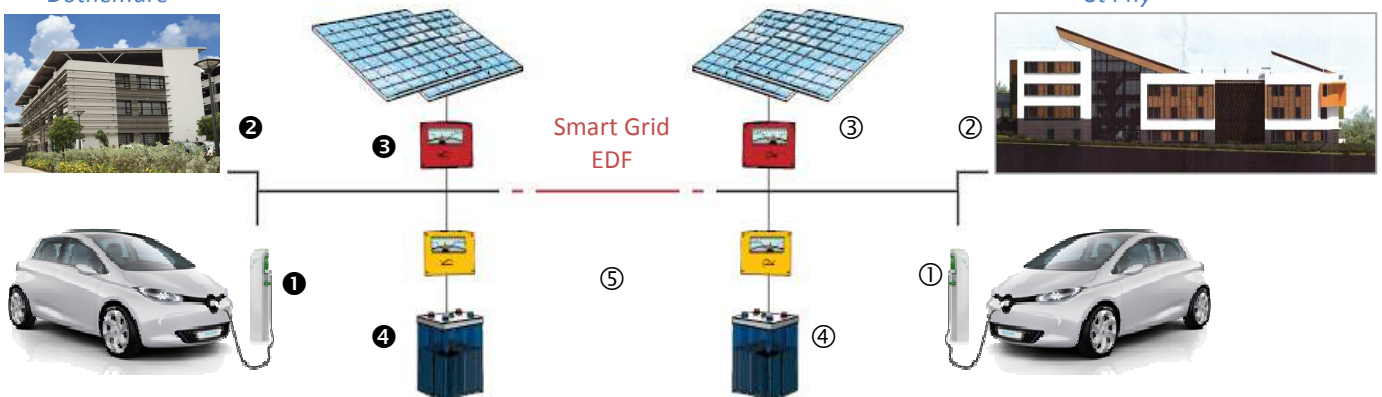


Figure IX.5 : Synoptique d'intégration de la mobilité électrique dans un réseau intelligent

### IX.3.2. Principe de fonctionnement

L'ensemble des équipements connectés sur le réseau sont dotés d'un système de contrôle intelligent et communicant.

Le futur réseau intelligent EDF (5) est le centre névralgique du système : il assure la transmission des informations, le transport de l'électricité de la production vers le point de consommation et sécurise l'approvisionnement en énergie. Il est nécessairement supervisé par un outil informatique qui gère et pilote le réseau selon la stratégie définie par le gestionnaire.

La pertinence de la gestion du système est améliorée grâce à un outil de prédiction de la production EnR et de simulation du profil de charge.

Gestion de la production photovoltaïque (3) :

- sur chacun des sites, la production est mesurée en temps réel et injectée sur le réseau,
- l'énergie est affectée par ordre de priorité à :
  1. la recharge des véhicules, sur le site de production, puis sur le site distant,
  2. la recharge des batteries de stockage, sur le site de production et sur le site distant,
  3. la consommation des bâtiments, sur le site de production et sur le site distant,
  4. l'excédent éventuel de production est vendu au gestionnaire de réseau.
  - 4'. la production photovoltaïque est écrêtée pour limiter l'impact sur le réseau.

La production EnR multisite et la mutualisation de l'énergie permet d'optimiser le rendement des générateurs et de compenser partiellement les aléas météorologiques.

Gestion des consommations (1 et 2), pour les usages des bâtiments et des bornes de recharge des véhicules :

- les consommations sont mesurées en temps réel,
- les besoins sont pilotés (partiellement) pour adapter la demande électrique par :
  - > une modulation de la puissance de recharge des véhicules,
  - > un délestage temporaire de certains équipements du bâtiment (ex. coupure de la climatisation lors d'une intermittence de production photovoltaïque).

Gestion du stockage (4) :

Les deux parcs batteries sont utilisés prioritairement pour les besoins des véhicules mais peut également assurer un service réseau.

- recharge des véhicules électriques pour effacer la demande d'énergie,
- alimentation du bâtiment pour limiter l'appel puissance sur le réseau,
- lissage de la production intermittence des EnR,
- injection sur le réseau lors des pointes.

Un outil de prédiction des besoins à court terme et la connaissance à chaque instant de l'état de chaque parc batteries permettra de déterminer la meilleure stratégie de charge/décharge.

### IX.3.3. Extension ultérieure

La structure du réseau permet l'ajout d'un nouvel équipement (par exemple des bornes publiques de recharge) quel que soit l'endroit desservi par le réseau. La nouvelle installation sera intégrée comme un nouveau composant du réseau intelligent.

## IX.4. Apports du retour d'expérience des projets en cours

Le retour d'expérience des projets expérimentaux réalisés sur d'autres territoires serait pertinent pour mieux définir un réseau intelligent intégrant la mobilité électrique et les équipements de recharge. Les rapports ne sont malheureusement pas disponibles pour la présente étude.

### **Projet Infini Drive – Un standard de charge pour les flottes**

Piloté par le groupe La Poste et ERDF, le projet Infini Drive s'adresse aux flottes captives et vise à mettre au point un système standardisé intelligent et communiquant entre le véhicule, la borne, le réseau électrique et le système d'information.

### **Projet VERT - Tester la recharge solaire en milieu insulaire**

Le projet VERT vise à expérimenter l'utilisation de véhicules électriques rechargeables à partir d'infrastructures de recharge solaire, dans un milieu insulaire (Ile de la Réunion) où les productions électriques classiques sont fortement dépendantes des hydrocarbures.

### **Projet EGUISE – Un système de charge prédictif et intelligent**

Coordonné par DBT, le projet EGUISE (Ecosystème de la Gestion Universelle et Intelligente de Services et de l'Energie des véhicules électriques) vise à développer un écosystème composé d'une infrastructure de charge et d'un système de gestion prédictive et intelligente.

### **Projet Millener - Gestion de l'énergie dans les Iles - Expérimentation en Guadeloupe pour les particuliers**

Millener est un projet innovant visant **trois finalités** dans le domaine de l'énergie :

- Encourager les comportements d'efficacité énergétique,
- Favoriser l'intégration des énergies renouvelables intermittentes comme le photovoltaïque,
- Contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

### **Projet VERDI : Réconcilier le véhicule électrique et l'efficacité énergétique (Poitou-Charentes)**

Le projet Véhicule énergétique et Energies Renouvelables dans un Réseau de Distribution Intelligent (VERDI) a pour objectif de mettre au point une méthode d'optimisation du réseau de distribution favorisant l'essor du véhicule électrique. Celle-ci est une alternative au renforcement du réseau de distribution d'électricité, qui résulte de l'augmentation de la consommation d'électricité et du raccordement des installations de production d'énergies renouvelables.

### **Le projet Seine Aval Véhicules Electriques (S.A.V.E)**

Cette expérimentation a pour but d'aider à valider les choix techniques (infrastructures, véhicules électriques, systèmes d'information), de confirmer le bilan CO<sub>2</sub> du véhicule électrique et d'expérimenter des *business models* pour des clients particuliers et professionnels. Elle durera de 12 à 18 mois. Les bornes devraient être opérationnelles d'ici fin 2010 et les voitures livrées progressivement à partir de début 2011, pour une exploitation jusqu'en 2012.

### **Le projet EDISON sur l'île de Bornholm (Danemark)**

Le projet EDISON (Electric vehicles in a distributed and integrated market using sustainable energy and open networks), lancé fin février 2010, vise à développer une infrastructure intelligente, nécessaire à l'adoption à grande échelle de véhicules électriques fonctionnant grâce à des énergies de sources renouvelables.

## **IX.5. Les perspectives de développement du réseau intelligent en Guadeloupe**

La réalisation d'un réseau intelligent en Guadeloupe est souhaitable et nécessaire. Il est possible dès maintenant de commencer sa construction, le projet de "*Mobilité à Energie Renouvelable*" de la DEAL et la DAAF pourrait constituer un des premiers éléments.

A court terme, des évolutions majeures sont à apporter par le gestionnaire du réseau, notamment :

- la définition des protocoles de communication entre les équipements intelligents
- la construction d'un nouveau modèle économique viable : tarifs d'injection et de consommation, rémunération du service réseau, droits d'accès au réseau...
- la mise à jour des règles et normes pour le raccordement au réseau public,
- l'évolution technique des composants du réseau électrique.

Afin de préparer l'avenir et de ne pas subir l'arrivée des nouveaux usages électriques, **un groupe de travail comprenant EDF, la Région, le Département, l'Etat, ainsi que les acteurs de l'énergie et de la mobilité devrait être créé sans délai pour définir le réseau électrique intelligent Guadeloupéen et mettre en œuvre des projets expérimentaux.**

## X. CONCLUSION DE L'ETUDE DE FAISABILITE

### X.1. Points forts de l'étude de faisabilité

La présente étude a montré la faisabilité et l'intérêt d'introduire à la DEAL et la DAAF de Guadeloupe une mobilité électrique ou hybride alimentée par une source d'énergie renouvelable.

Les points marquants sont :

#### **Parcs véhicules et les déplacements :**

- il existe un potentiel d'amélioration des parcs, notamment par leur modernisation,
- une réduction des besoins est prévisible avec le regroupement des services à St-Phy,
- d'autres axes d'optimisation des déplacements sont à explorer : gestion, plan de déplacement, management...

#### **Mobilité électrique et hybride :**

- le marché propose déjà une offre de véhicules diversifiée et un développement est à prévoir,
- les prix des véhicules électriques sont assez attractifs avec le bonus écologique, les hybrides sont encore chers.

#### **Faisabilité technique, économie et environnementale**

- les solutions techniques sont disponibles sur le marché,
- la rentabilité économique est plus que satisfaisante avec une production photovoltaïque sans stockage, mais un système avec batterie n'est jamais rentable,
- les performances environnementales des véhicules électriques sont à la hauteur des enjeux, les hybrides sont moins intéressants,
- l'architecture recommandée est un système connecté, alimenté par une centrale photovoltaïque en autoconsommation.

#### **Raccordement réseau et smart grid**

Le raccordement du système est recommandé, les intérêts sont multiples :

- simplification du système de production et réduction du coût,
- mutualisation des ressources en énergie,
- sécurisation de l'approvisionnement,
- innovation et préparation d'un réseau intelligent.

Il est nécessaire d'initier la réflexion sur l'évolution du réseau électrique Guadeloupéen, tant pour permettre l'intégration de la mobilité que du développement des énergies renouvelables à la hauteur des enjeux régionaux.

### X.2. Partenaires incontournables du groupe de travail

#### **X.2.1. Région Guadeloupe - Mme Céline Jules-Soret, chef de service énergie**

La Région Guadeloupe est concernée par la mobilité électrique et son émergence sur le marché local en tant que nouveau service proposé aux usagers Guadeloupéens.

Elle est également préoccupée par l'augmentation de la demande énergétique, la fragilité de l'équilibre du réseau électrique. Elle souhaite démarrer une réflexion pour élaborer et concrétiser des actions permettant de répondre aux enjeux régionaux du SRCAE et du PRERURE, notamment le développement des énergies renouvelables en vue de réduire l'empreinte carbone. Pour cela, la Région a besoin de l'implication et des compétences des partenaires locaux.

#### **X.2.2. EDF SEI Guadeloupe - M. Pierre LE ROMANCER, chef du département efficacité énergétique**

La priorité d'EDF est la stabilité du réseau électrique et la satisfaction de la demande des clients. La mobilité en tant que nouvel usage de l'électricité n'est pas souhaitée pour l'instant car elle va augmenter la pression sur le système électrique, non adapté et fortement émissif de gaz à effet de serre. Cependant, EDF souhaite être intégré à une réflexion au niveau local sur le sujet.

Par ailleurs, EDF s'est engagée dans l'évolution du réseau, notamment par le déploiement des compteurs Linky et au travers de l'expérimentation Millener.

Concernant l'autoconsommation photovoltaïque, EDF prévoit la mise en place d'une convention pour encadrer la réalisation de ces installations, mais reste peu favorable à son développement massif, l'impact sur le réseau étant identique à une centrale raccordée directement sur le réseau.

#### **X.2.3. ADEME Guadeloupe - M. Jérôme DANCOISNE, animateur planification et prospectives**

L'ADEME a déjà accompagné des porteurs de projets pour une mobilité à énergie renouvelable, notamment dans les îles du Sud. L'ADEME dispose d'une expérience dans le domaine et soutient toute innovation ou expérimentation permettant de répondre aux enjeux énergétiques et environnementaux du territoire.

### X.3. Synthèse des scénarios de mobilité

Les informations clés des différents scénarios étudiés sont synthétisées dans les deux tableaux ci-dessous :

Tableau X-1 : Chiffres clés des scénarios de mobilité à énergie renouvelable

Scénarios de mobilité	nb véhicules					Investissement du Système de production (k€)		Coût d'exploitation (k€/an)		Rentabilité économique ** d'un système PV sans stockage	Impact environnemental	
	VE	VEHy*	VEHy_R	total *	% des parcs	PV autonome	PV sans stockage	PV sans stockage	PV sans stockage		Economie de carburant	Réduction de GES (teCO2/an)
<b>scénarios intermédiaires progressifs</b>												
Démonstrateur VE : DEAL.1 + DAAF.A	2	3	0	5	7%	20	10	276	275		1%	1
Déploiement VE : DEAL.2 + DAAF.B	9	3	0	12	16%	120	45	275	268		8%	13
VE et VEHy : DEAL.2b + DAAF.B'	4	6	2	12	16%	68	28	277	273		5%	9
Déploiement VE : DEAL.3 + DAAF.B	19	3	0	22	28%	315	112	279	259		16%	27
<b>scénarios de mobilité "Objectif 50%"</b>												
VE trajets courts : DEAL.4 + DAAF.C	36	3	0	39	51%	770	245	286	233	rentable	39%	64
VE liaisons : DEAL.5 + DAAF.C	36	3	0	39	51%	960	275	287	218	très rentable	52%	86
VEHy et VEHy_R : DEAL.5b + DAAF.C'	0	32	7	39	51%	205	75	287	274	non rentable	16%	31
VE et VEHy_R : DEAL.5c + DAAF.C'	24	9	6	39	51%	815	240	295	238	rentable	43%	71
Renouvellement thermique	-	-	-	39	0%	-	-	-	267	-	7%	17

\* dont 3 véhicules existants à la DAAF

\*\* un système PV avec stockage n'est pas rentable, dans aucun des scénarios

Tableau X-2 : Appréciation des scénarios de mobilité à énergie renouvelable

Scénarios de mobilité	Observations	
	éval. globale	Commentaire
<b>scénarios intermédiaires progressifs</b>		
Démonstrateur VE : DEAL.1 + DAAF.A	++	Faible investissement pour la mise en place d'un démonstrateur de mobilité électrique
Déploiement VE : DEAL.2 + DAAF.B	+	Déploiement avec priorité aux véhicules électriques
VE et VEHy : DEAL.2b + DAAF.B'	+	Déploiement mixte électrique/hybride
Déploiement VE : DEAL.3 + DAAF.B	+	Situation "mi-parcours" sur la trajectoire de l'objectif 50%
<b>scénarios de mobilité "Objectif 50%"</b>		
VE trajets courts : DEAL.4 + DAAF.C	++	Scénario de mobilité <b>principalement électrique</b> qui répond aux enjeux environnementaux. Bonne rentabilité et investissements maîtrisés avec un système photovoltaïque sans stockage.
VE liaisons : DEAL.5 + DAAF.C	+	Excellentes rentabilité et performance environnementale, mais investissement élevé et risque d'insatisfaction sur déplacements longs
VEHy et VEHy_R : DEAL.5b + DAAF.C'	-	Faible investissement, mais coût d'exploitation élevé. Scénario non rentable et performance environnementale faible
VE et VEHy_R : DEAL.5c + DAAF.C'	++	Scénario de mobilité <b>mixte électrique/hybride</b> qui répond aux enjeux environnementaux. Bonne rentabilité et investissements maîtrisés avec un système photovoltaïque sans stockage.
Renouvellement thermique	--	ne répond pas à l'objectif

Le compromis le plus satisfaisant est obtenu avec les scénarios :

- **4-C** : introduction de véhicules essentiellement électriques (45% du parc) affectés à des trajets courts, entraînant une part de mobilité électrique de 43%,
- **5c-C'** : introduction mixte de véhicules électriques (30% des parcs) et hybrides, dont certains rechargeables (20% des parcs), avec une part de mobilité électrique de 45%.

## 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€).

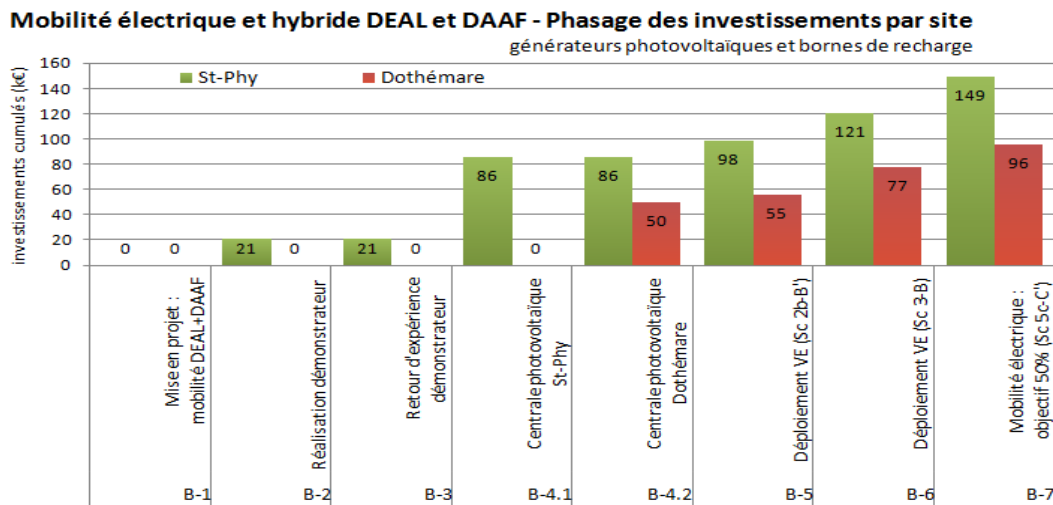


Figure X.1 : Phasage des investissements par site (hors véhicules)

#### 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

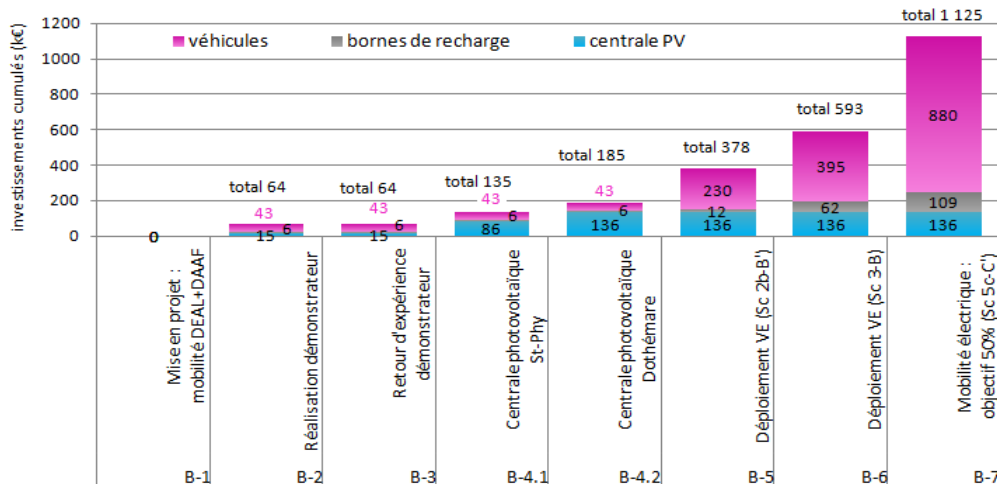


Figure X.2 : Phasage des Investissements par type





## XI. ANNEXES

### XI.1. Liste des sources

#### XI.1.1. Données de parc

##### XI.1.1.a. DEAL :

- liste des véhicules de la DEAL : type, énergie, âge...
- relevé kilométriques : 2013-2014
- extrait du système de gestion des déplacements GRR DEAL (janv. à août 2014)
- relevé des dépenses de carburant : 2012-2013-2014
- factures carburant pour la DEAL : juin-juillet-août 2014
- détail des frais d'entretien DEAL
- Tables du bilan carbone de la DEAL

##### XI.1.1.b. DAAF

- liste des véhicules de la DAAF : type, énergie, âge...
- détail des frais d'entretien DAAF
- déclarations du responsable du parc DAAF

#### XI.1.2. Bibliographie

- Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés »  
*L.NEGRE Sénateur des Alpes-Maritimes - avril 2011*
- Plan Régional des Énergies Renouvelables et de l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie de la Guadeloupe  
*Septembre 2012*
- Rapport de bilan gaz à effet de serre de la DEAL Guadeloupe  
*Juillet 2013*
- Analyse prospective pour l'implantation de véhicules propres dans les îles du Sud  
*Préfecture de Guadeloupe / ITEMS - février 2011*
- Étude relative à l'impact du véhicule électrique et de la production photovoltaïque sur les réseaux de distribution d'électricité  
*Oreca - Atiane energy / hp - mai 2014*
- Synthèse et conclusions du projet ESPRIT  
*Janvier 2012*
- ÉTUDE d'alimentation électrique du village de Kaw par centrale hybride photovoltaïque/diesel  
*ADEME/Transénergie - Juillet 2005*
- Journal officiel - décret 2001-873 du 25/7/2011
- Journal officiel - arrêté 20/2/2012 relatif à l'installation des bornes de recharge électriques

#### XI.1.3. Consultation internet

La présente étude a bénéficié d'informations précieuses collectées sur les sites web suivants :

- |  |  |
|--|--|
| <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/">www.developpement-durable.gouv.fr/</a> | <a href="http://www.larevueautomobile.com/fiche-technique/">www.larevueautomobile.com/fiche-technique/</a> |
| <a href="http://www.ademe.fr/">www.ademe.fr/</a>   | <a href="http://www.caradisiac.com/fiches-techniques/">www.caradisiac.com/fiches-techniques/</a>           |
| <a href="http://www.smartgrids-cre.fr">www.smartgrids-cre.fr</a>                           | <a href="http://www.expert-ve.fr">www.expert-ve.fr</a>   |
| <a href="http://www.photovoltaique.info">www.photovoltaique.info</a>                       | <a href="http://www.chargemap.com">www.chargemap.com</a>   |
| <a href="http://www.eosweb.larc.nasa.gov/">www.eosweb.larc.nasa.gov/</a>                   | <a href="http://www.auto-selection.com/fiche-technique/">www.auto-selection.com/fiche-technique/</a>       |
| <a href="http://www.millenerguadeloupe.com/">www.millenerguadeloupe.com/</a>               | <a href="http://www.sma-france.com/">www.sma-france.com/</a>   |
| <a href="http://www.legifrance.gouv.fr/">www.legifrance.gouv.fr/</a>                       | <a href="http://www.sunpower.fr/">www.sunpower.fr/</a>   |
| <a href="http://www.avem.fr/">www.avem.fr/</a>   | <a href="http://www.dbtcev.fr/">www.dbtcev.fr/</a>   |
| <a href="http://www.wikipédia.fr">www.wikipédia.fr</a>                                     |  |

## XI.2. Table des illustrations

Figure I.1 : DEAL - répartition du parc véhicules par site et par énergie.....	14
Figure I.2 : DEAL - répartition du parc véhicules par site et par âge.....	14
Figure I.3 : DEAL - émissions normalisées de CO <sub>2</sub> par site et par énergie.....	15
Figure I.4 : DEAL - consommations normalisées.....	15
Figure I.5 : DAAF - répartition du parc véhicules par site et par énergie.....	16
Figure I.6 : DAAF - répartition du parc véhicules par site et par âge.....	16
Figure I.7 : DAAF - consommations normalisées.....	17
Figure I.8 : DAAF - émissions normalisées de CO <sub>2</sub> par site et par énergie.....	17
Figure I.9 : DEAL - Cumul des distances parcourues par zones géographiques.....	18
Figure I.10 : DEAL - Kilométrage en fonction de l'âge des véhicules.....	18
Figure I.11 : DEAL - kilométrage annuel moyen par véhicule.....	19
Figure I.12 : DEAL - dépenses annuelles de carburant.....	19
Figure I.13 : DEAL - estimation de la consommation moyenne.....	19
Figure I.14 : DEAL - consommations et kilométrage par véhicule.....	20
Figure I.15 : DEAL - répartition des demandes de déplacements.....	21
Figure I.16 : DEAL - répartition des déplacements grande-terre.....	21
Figure I.17 : DEAL - répartition des déplacements Basse-Terre.....	22
Figure I.18 : Fréquence des demandes de déplacements par durée et par site.....	22
Figure I.19 : DEAL - fréquence d'utilisation des véhicules.....	23
Figure I.20 : DEAL - temps d'immobilisation par véhicules.....	24
Figure I.21 : DEAL - usages et déplacements des véhicules de direction et des services.....	24
Figure I.22 : DEAL - usages et déplacements des véhicules utilitaires.....	25
Figure I.23 : DAAF - relevé d'achat de carburant.....	26
Figure I.24 : DAAF : estimation de consommation moyenne.....	26
Figure I.25 : DAAF - répartition des demandes de déplacements.....	27
Figure II.1 : Composition des parcs DEAL et DAAF.....	27
Figure II.2 : Age des véhicules DEAL et DAAF.....	28
Figure II.3 : Comparaison des émissions de CO2 pour les parcs DEAL et DAAF.....	28
Figure II.4 : DEAL - couts d'exploitation du parc véhicules.....	28
Figure II.5 : DAAF - couts d'exploitation du parc véhicules.....	29
Figure II.6 : DEAL et DAAF - couts par déplacement.....	29
Figure II.7 : DEAL et DAAF - couts par 100 km.....	29
Figure II.8 : DEAL et DAAF - couts par véhicule.....	29
Figure II.9 : Demandes de déplacements hebdomadaires pour la DEAL et la DAAF.....	30
Figure II.10 : Répartition des déplacements pour la DEAL et la DAAF.....	30
Figure III.1 : Autonomie annoncée de quelques véhicules électriques.....	31
Figure III.2 : Autonomie électrique et émissions de CO2 de quelques véhicules hybrides.....	31
Figure III.3 : Autonomie électrique et émissions de CO2 de quelques véhicules hybrides rechargeables.....	32
Figure III.4 : Ordre de grandeur de prix de certains véhicules électriques et hybrides du marché.....	33
Figure III.5 : Efficacité énergétique d'une motorisation thermique.....	34
Figure III.6 : Efficacité énergétique des motorisations thermique et électrique.....	34
Figure III.7 : Autonomie en conditions réelles de quelques véhicules électriques.....	35
Figure III.8 : Estimation des émissions de CO2 pour quelques véhicules électrique dans le contexte guadeloupéen.....	35
Figure III.10 : Points de recharge normale et accélérée - source Renault.....	36
Figure III.11 : Types de prises de recharge - source : <a href="http://www.gestion-des-risques-interculturels.com/">www.gestion-des-risques-interculturels.com/</a> .....	36
Figure III.9 : Bornes de recharge publiques - source : <a href="http://www.global-et-local.eu/">www.global-et-local.eu/</a> .....	36
Figure IV.1 : DEAL - Répartition des trajets domicile-travail.....	38
Figure IV.2 : Optimisation du parc véhicules de la DEAL.....	38
Figure IV.3 : DEAL - Représentation graphique des scénarios de mobilité électrique.....	40
Figure IV.4 : DAAF - Représentation graphique des scénarios de mobilité électrique.....	41
Figure IV.5 : Besoins en énergies des scénarios intermédiaires par site.....	43
Figure IV.6 : Besoins en énergies des scénarios de mobilité "Objectif 50%" par site.....	43
Figure IV.7 : Comparaison des besoins en énergies pour la mobilité.....	44
Figure IV.8 : Impact de la mobilité sur la demande électrique.....	44
Figure IV.9 : Simulation de charge électrique sur trajets urbains.....	45
Figure IV.10 : Simulation de charge électrique sur trajets extra-urbains.....	45
Figure IV.11 : Simulation de charge électrique sur trajets liaisons.....	46
Figure V.1 : Ensoleillement moyen direct et diffus à Basse-Terre.....	48
Figure V.2 : Ensoleillement moyen à Basse-Terre pour différentes inclinaisons.....	48
Figure V.3 : Plan masse du projet St Phy - source SEMAG.....	49
Figure V.4 : Croquis d'implantation du champ PV sur l'atelier et en ombrière de parking.....	50
Figure V.5 : Ombrage des "sheds" inclinés à 30° (cas critique du 1 <sup>er</sup> janv. A 8h15).....	50
Figure V.7 : Croquis d'implantation du champ PV en toiture du nouveau bâtiment.....	51
Figure V.6 : Vue façade Ouest du projet St-Phy - source SEMAG.....	51
Figure V.9 : Vue des bâtiments F et G de la DEAL et la DAAF - source DEAL/COLORADO.....	52
Figure V.8 : Plan masse de la zone d'activité de Dothémare.....	52
Figure V.10 : Croquis d'implantation du local onduleurs.....	53
Figure V.11 : Croquis d'implantation du parc batteries.....	53
Figure VI.1 : Architecture du système électrique en site isolé du village de Kaw (Guyane) - source Ademe.....	56
Figure VI.2 : Architecture proposée pour le système autonome de recharge véhicules.....	56
Figure VI.3 : Profil de consommation électrique du parc véhicules.....	57

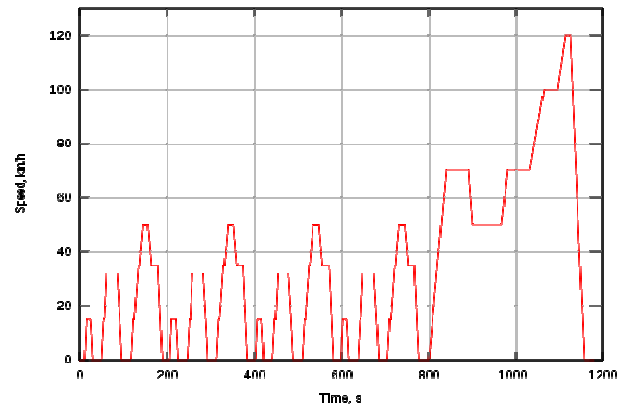
Figure VI.4 : Course solaire vu par le champ PV à St-Phy - Basse Terre .....	57
Figure VI.5 : Diagramme des pertes du système PV autonome de St-Phy .....	58
Figure VI.6 : Diagramme des pertes du système PV autonome de St Dothémare .....	58
Figure VI.7 : Productions mensuelles pour St-Phy et Dothémare .....	59
Figure VI.9 : Exemple de fixation en toiture - www.archiexpo.fr .....	60
Figure VI.8 : Modules photovoltaïque SunPower E20-245Wc .....	60
Figure VI.10 : Exemple de montage des modules sur structure inclinée - www.archiexpo.fr .....	60
Figure VI.11 : Onduleur photovoltaïque SMA Sunny TriPower .....	60
Figure VI.12 : Onduleur chargeur site isolé SMA Sunny Island .....	60
Figure VI.16 : Abri de recharge pour vélos électriques - source : www.abritez-vous-chez-nous.com .....	61
Figure VI.13 : Élément de batterie solaire type OPZ .....	61
Figure VI.14 : Bornes de recharge DBT - www.dbtcev.fr .....	61
Figure VI.15 : Abri photovoltaïque pour voiture - source : BMW .....	61
Figure VI.18 : Profils de puissances consommée et produite - site Dothémare .....	63
Figure VI.17 : Principe de fonctionnement de l'autoconsommation photovoltaïque .....	63
Figure VI.21 : Simulation de recharge du parc véhicules électrique de Dothémare .....	64
Figure VI.19 : Zoom sur les profils de puissances électriques .....	64
Figure VI.20 : Part d'autoconsommation simulée .....	64
Figure VI.22 : Simulation du profil de puissance finale (bâtiment + photovoltaïque + mobilité) - site Dothémare .....	65
Figure VI.23 : Zoom sur le profil de puissance finale .....	65
Figure VII.1 : Valeur à neuf du parc véhicules selon les scénarios de mobilité .....	68
Figure VII.2 : Comparaison des coûts d'investissement pour les scénarios intermédiaires .....	68
Figure VII.3 : Comparaison des coûts d'investissement pour les scénarios "Objectif 50%" .....	69
Figure VII.5 : Comparaison des charges d'exploitation selon les scénarios intermédiaires .....	69
Figure VII.4 : Répartition moyenne des investissements .....	69
Figure VII.6 : Comparaison des charges d'exploitation selon les scénarios "Objectif 50%" .....	70
Figure VII.7 : Comparaison des charges d'exploitation avec un système photovoltaïque sans stockage .....	70
Figure VII.8 : Coût cumulé des scénarios "Objectif 50%" avec un système photovoltaïque autonome .....	71
Figure VII.9 : Coûts cumulés selon le scénario 4-C "VE" - trois variantes d'alimentation électrique .....	71
Figure VII.10 : Coûts cumulés selon le scénario 5b-C' "VEHy et VEHy_R" - trois variantes d'alimentation électrique .....	72
Figure VII.11 : Analyse économique - coût global actualisé au km .....	73
Figure VII.12 : Analyse économique - coût global actualisé en fonction du kilométrage électrique .....	73
Figure VII.13 : Analyse économique - temps de retour brut différentiel .....	74
Figure VII.14 : Analyse économique - temps de retour brut en fonction du kilométrage électrique .....	74
Figure VII.15 3 : Analyse économique - Taux d'Enrichissement en Capital différentiel .....	75
Figure VIII.1 : Performances environnementales des scénarios de mobilité intermédiaires .....	77
Figure VIII.2 : Performances environnementales des scénarios de mobilité "Objectif 50%" .....	77
Figure VIII.3 : Evaluation des émissions de CO <sub>2</sub> avec une recharge électrique sur le réseau .....	78
Figure IX.1 : Organisation descendante actuelle du réseau électrique - www.erdf.fr .....	80
Figure IX.2 : Principe du réseau intelligent - www.erdf.fr .....	80
Figure IX.3 : Exemple de points de recharge de véhicules électriques - www.erdf.fr .....	81
Figure IX.4 : "Grappe" de bornes à recharge pilotée - source www.erdf.fr .....	82
Figure IX.5 : Synoptique d'intégration de la mobilité électrique dans un réseau intelligent .....	82
Figure X.1 : Phasage des investissements par site .....	88
Figure X.2 : Programme de mise en œuvre de la mobilité à énergie renouvelable .....	88
Tableau I-1 : DEAL - liste des véhicules à faible relevé kilométrique .....	19
Tableau I-2 : DAAF - tableau des consommations et distances moyennes annuelles .....	26
Tableau II-1 : Synthèse de l'état des lieux des parcs DEAL et DAAF .....	30
Tableau III-1 : Barème du bonus écologique .....	33
Tableau IV-1 : Compatibilité véhicules électrique et hybrides avec les déplacements .....	37
Tableau IV-2 : DEAL et DAAF - Synthèse des besoins futurs pour les scénarios de déplacements .....	38
Tableau IV-3 : DEAL - Descriptif des scénarios progressifs de mobilité électrique .....	39
Tableau IV-4 : DEAL - Descriptif des scénarios de mobilité hybride .....	40
Tableau IV-5 : DAAF - Descriptif des scénarios progressifs de mobilité électrique .....	41
Tableau IV-6 : Caractéristiques des véhicules pour le calcul des besoins en énergie .....	42
Tableau IV-7 : DEAL et DAAF - Combinaison des scénarios de mobilité et répartition par sites .....	44
Tableau V-1 : Caractéristiques ordre de grandeur des systèmes de production d'énergie .....	49
Tableau VI-1 : Synthèse des performances des systèmes photovoltaïques autonomes .....	59
Tableau VI-2 : Sensibilité des paramètres de dimensionnement du système autonome .....	59
Tableau VIII-1 : Synthèse de l'analyse environnementale .....	76
Tableau X-1 : Chiffres clés des scénarios de mobilité à énergie renouvelable .....	86
Tableau X-2 : Appréciation des scénarios de mobilité à énergie renouvelable .....	86

### XI.3. Cycle de conduite

Le *New European Driving Cycle* (NEDC) ou **Motor Vehicle Emissions Group (MVEG)**, est un cycle de conduite automobile conçu pour imiter de façon reproductible les conditions rencontrées sur les routes européenne et est principalement utilisé pour la mesure de la consommation et des émissions polluantes des véhicules au moyen de la procédure décrite par la directive européenne 70/220/CEE.

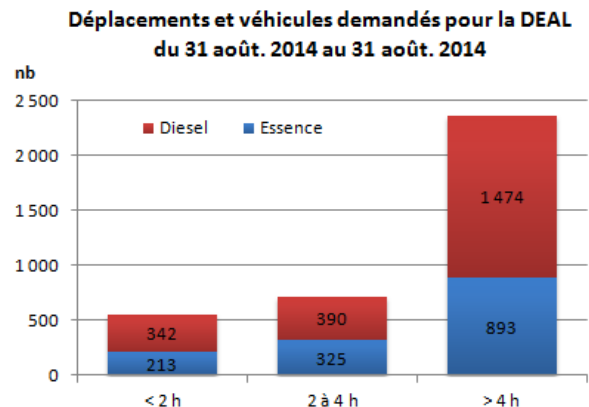
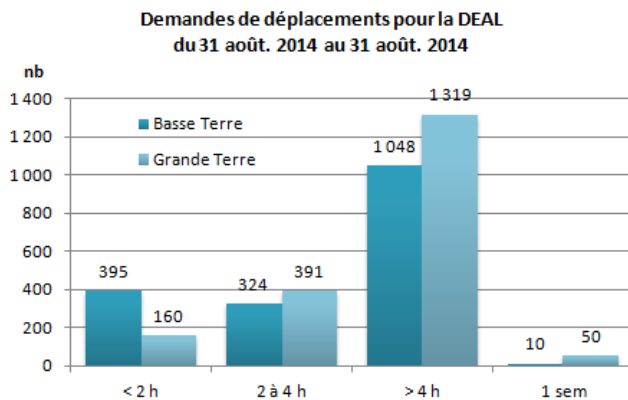
Son remplacement par les cycles WLTC, plus représentatif, est prévu pour 2014 dans le cadre des normes d'émissions Euro5 et Euro6.

Pour le cas particulier des véhicules hybrides rechargeables, qui peuvent fonctionner en mode électrique sur tout ou partie du cycle, la norme européenne s'est adaptée en imposant le relevé de consommation en mode thermique sur cycle NEDC pondéré par l'autonomie en mode électrique.



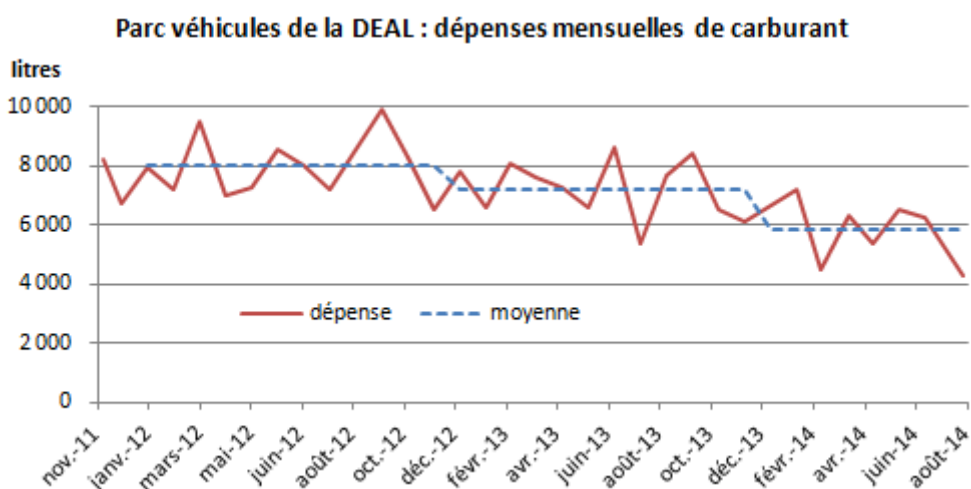
### XI.4. Données complémentaires pour le parc DEAL

#### XI.4.1. Demandes de déplacement



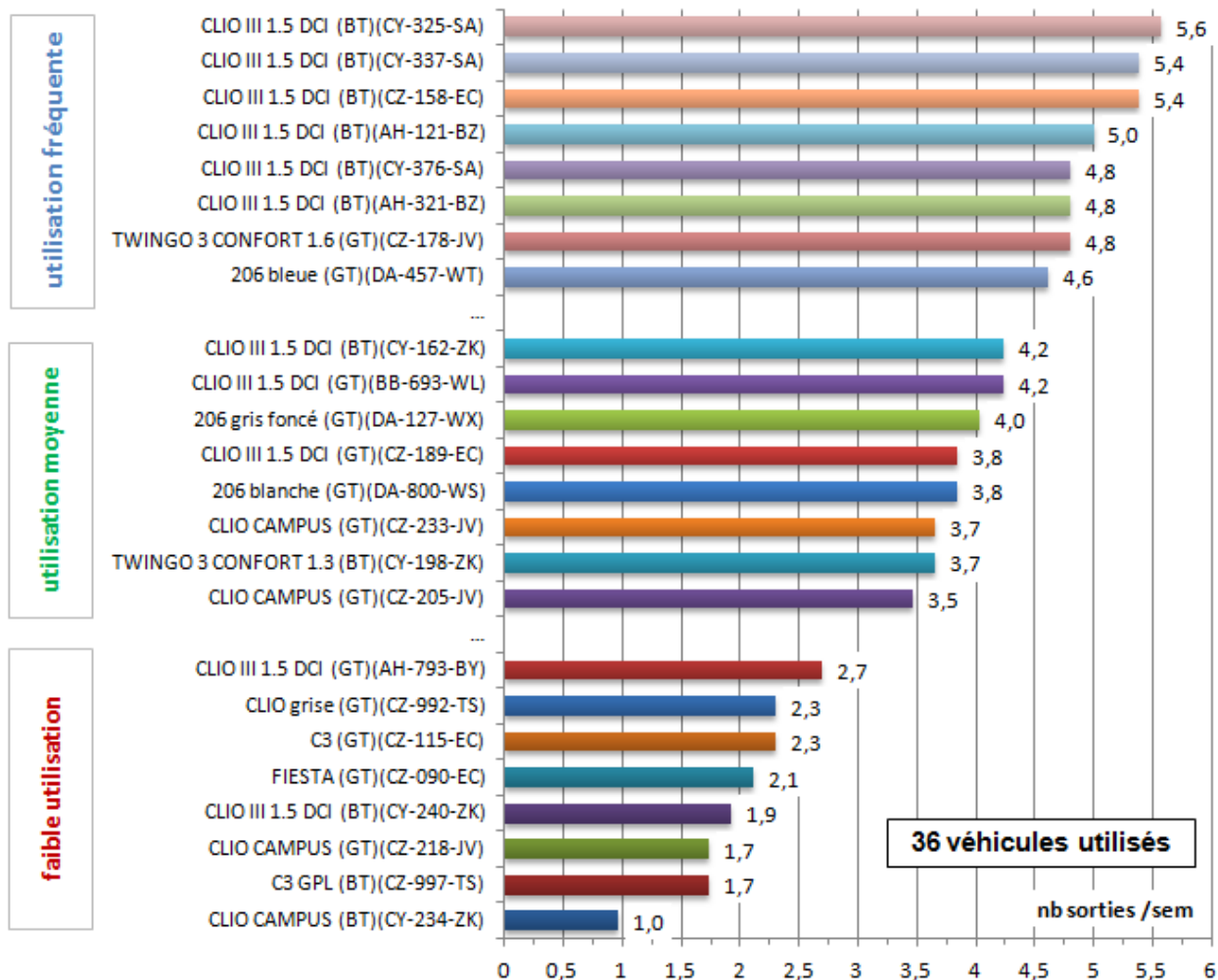
### XI.4.2. Frais de carburant

L'analyse des dépenses de carburant montre la variabilité mensuelle et une tendance de consommation globalement à la baisse.



### XI.4.3. Utilisation en période hors vacances scolaires

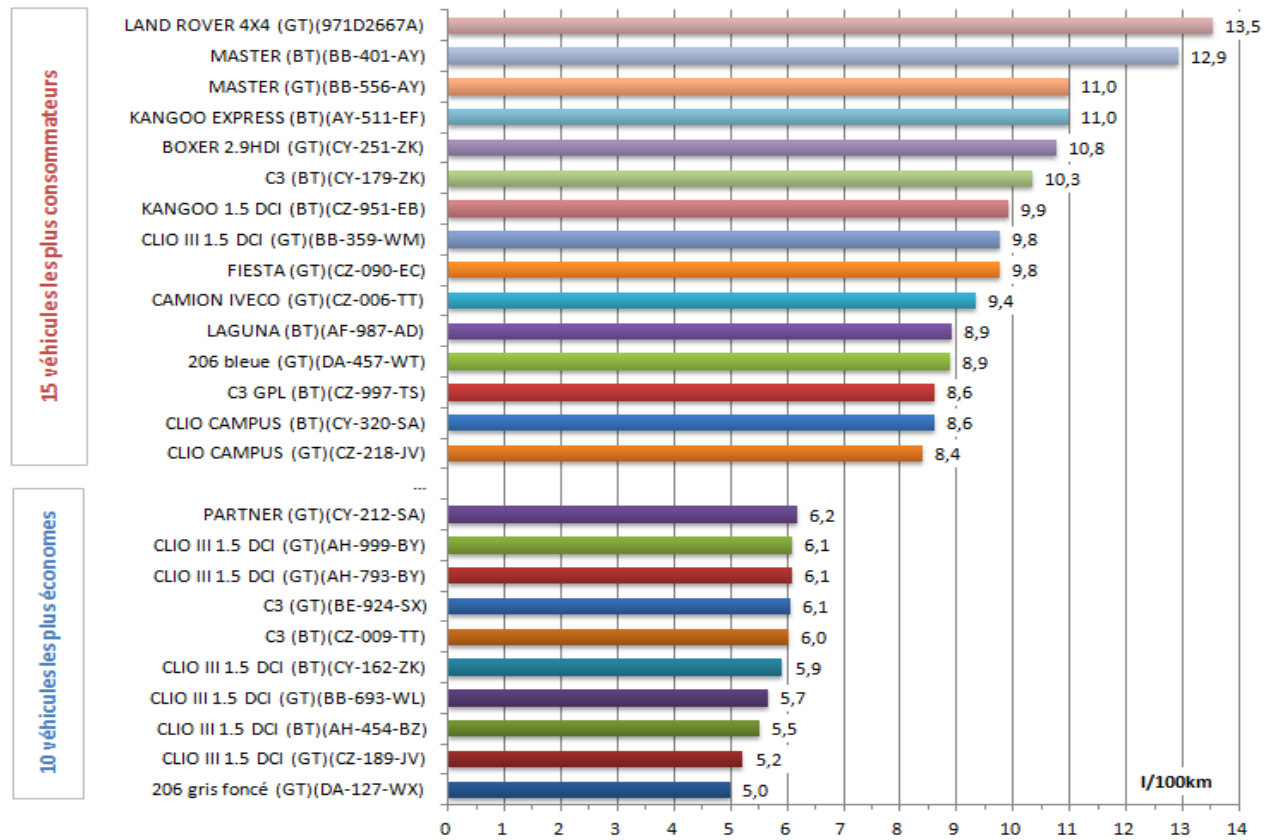
**Parc véhicules de la DEAL - utilisation hors vacances scolaires :  
du 6 janv. 2014 au 10 févr. 2014**



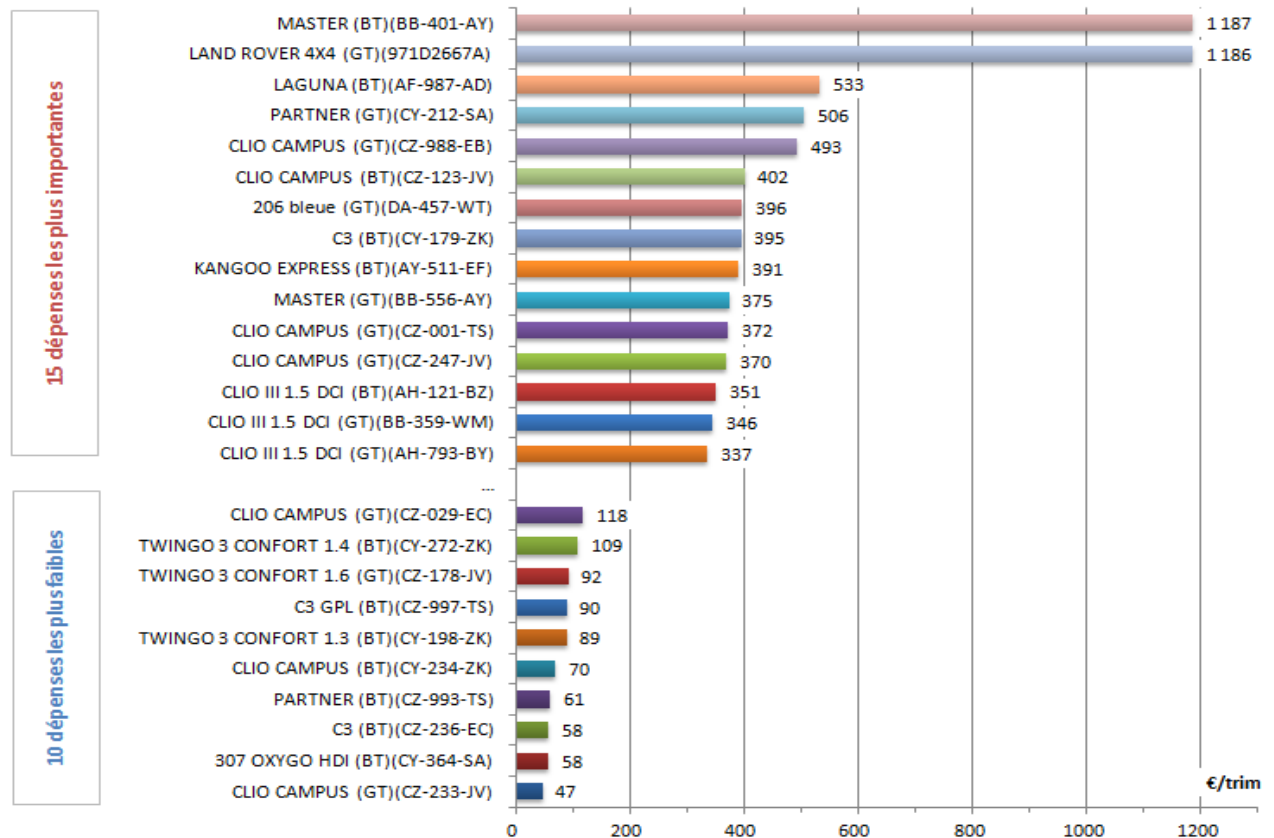
Le cumul des dépenses du 1<sup>er</sup> janvier au 31 août 2014 s'élèvent à 47 k€. Ce montant rapporté à une année entière donne une estimation annuelle de 70 k€, valeur cohérente avec le calcul issu des factures détaillées.

#### XI.4.4. Consommations et dépenses pour la période juin à aout 2014

##### Parc véhicules de la DEAL : relevé de consommations de carburant



##### Parc véhicules de la DEAL : relevé de dépenses de carburant



## XI.5. Plan d'action national pour le développement des véhicules électriques

Source : <http://www.smartgrids-cre.fr>

Le 1er octobre 2009, le ministère du Développement durable a présenté un plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables (VE et VHR) avec 14 actions concrètes pour favoriser le développement de ces véhicules ainsi que celui des infrastructures de recharge.

L'objectif du gouvernement est, en 2020, de voir circuler en France 2 millions de VE et d'atteindre 4,4 millions de points de charge sur voirie et en milieu privatif, dont 90 % à installer dans les copropriétés, résidences principales et immeubles de bureaux.

Les 14 actions du plan véhicules décarbonés	Avancement par rapport au calendrier prévu	
Lancer dès 2010 des démonstrateurs d'infrastructures de charge	Expérimentations SAVE et Strasbourg. 11 collectivités s'engagent dans une charte le 13 avril	
Intégrer les véhicules décarbonés dans les nouvelles solutions de mobilité	Lancement prévu en 2010 d'un appel à projet par l'ADEME	
Créer une filière batterie	Usine en projet à FLINS de la coentreprise Renault-Nissan-Nec-FSI	
Achat des premiers véhicules : 100 000 d'ici 2015 - déjà 50 000 identifiés	Lancement le 13 avril	
Confirmation du super-bonus de 5 000 euros pour l'achat de véhicules jusqu'en 2012	Décret n°2007-1873 du 26 décembre 2007 modifié le décret 19 janvier 2009	
Une prise standard pour charger son véhicule suffit. Aucun changement n'est nécessaire au domicile.	Résultat des groupes de travail 2009	
Dès 2012 les constructions d'immeubles (bureaux et habitations) avec parking intégreront obligatoirement des prises de recharge.	Voté en première lecture au Sénat dans la loi Grenelle 2. Textes de mise en œuvre à voter après la loi	
Dans les copropriétés, la création d'un « droit à la prise » facilitera les travaux nécessaires	Voté en première lecture au Sénat dans la loi Grenelle 2	
Au travail, la création de prises sera également facilitée et obligatoire dans les parkings des immeubles de	Voté en première lecture au Sénat dans la loi Grenelle 2	
Normaliser une prise unique au niveau européen, quelle que soit la puissance de charge	Mandat donné à CEN-CENELEC par la Commission Européenne. Les Industriels sont en avance sur le processus	
Les communes seront soutenues pour déployer les infrastructures de recharge publique	Signature le 23 avril d'une charte avec les collectivités et les constructeurs.	
Organiser le déploiement opérationnel du réseau	Signature le 23 avril d'une charte avec les collectivités et les constructeurs.	
Assurer une production d'énergie non fossile pour les véhicules décarbonés	Axe n°6 du groupe sur la maîtrise de la pointe, présidé par les parlementaires Serge Poignant et Bruno Sido	
Donner une seconde vie à la batterie et à ses éléments	Industriels mobilisés. Solutions en discussion dans un groupe de travail	



Source : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

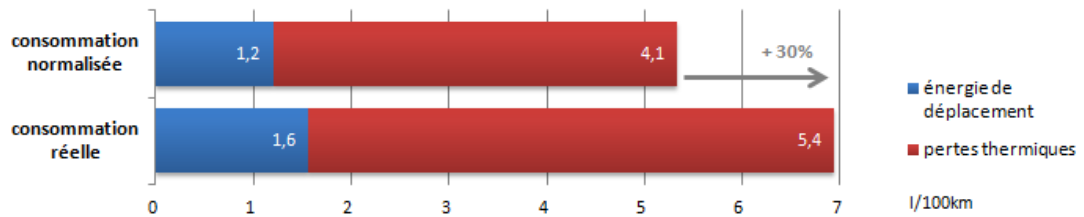


## XI.6. Détail du calcul de correction de consommation d'un véhicule électrique

### Efficacité énergétique d'un véhicule à moteur thermique

moteur thermique	total	énergie de déplacement	pertes thermiques	
<i>rendement du moteur thermique : 22,5%</i>				
consommation réelle	6,9	1,6	5,4	en
consommation normalisée	5,3	1,2	4,1	l/100km
<i>écart réel/norm</i>	30%	30%	30%	

### Efficacité énergétique d'un véhicule à moteur thermique



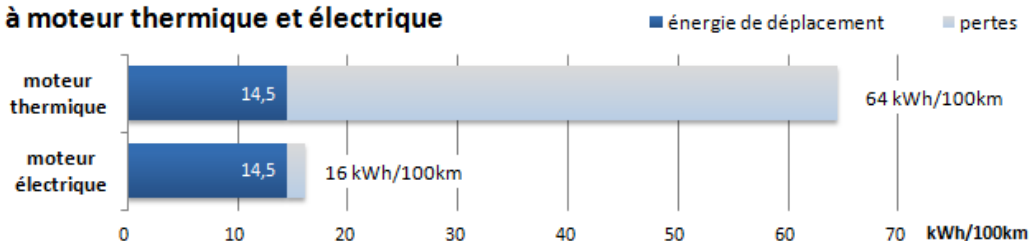
Conversion en kWh :

Energies	PCI		masse volumique (25°C)	
	MJ/kg	kWh/kg	kWh/l	kg/m <sup>3</sup>
Gazole	43	11,94	9,93	831
Essence	42,5	11,81	8,63	731
Carburant 50%Go-50%Es	42,8	11,88	9,28	781

### Efficacité énergétique comparée de véhicules à moteur thermique et électrique

consommation réelle	total	énergie de déplacement	pertes	
<i>rendement du moteur thermique : 22,5%</i>				
<i>rendement du moteur électrique : 90,0%</i>				
moteur électrique	16,1	14,5	1,6	en
moteur thermique	64,4	14,5	49,9	kWh/100km
<i>écart elect/therm</i>	-75%	0%	-97%	
consommation normalisée				
moteur électrique	14,0	12,6	1,4	en
moteur thermique	49,4	11,1	38,3	kWh/100km
<i>écart réel/norm ELEC</i>	15%			
<i>écart réel/norm THERM</i>	30%			

### Efficacité énergétique comparée de véhicules à moteur thermique et électrique



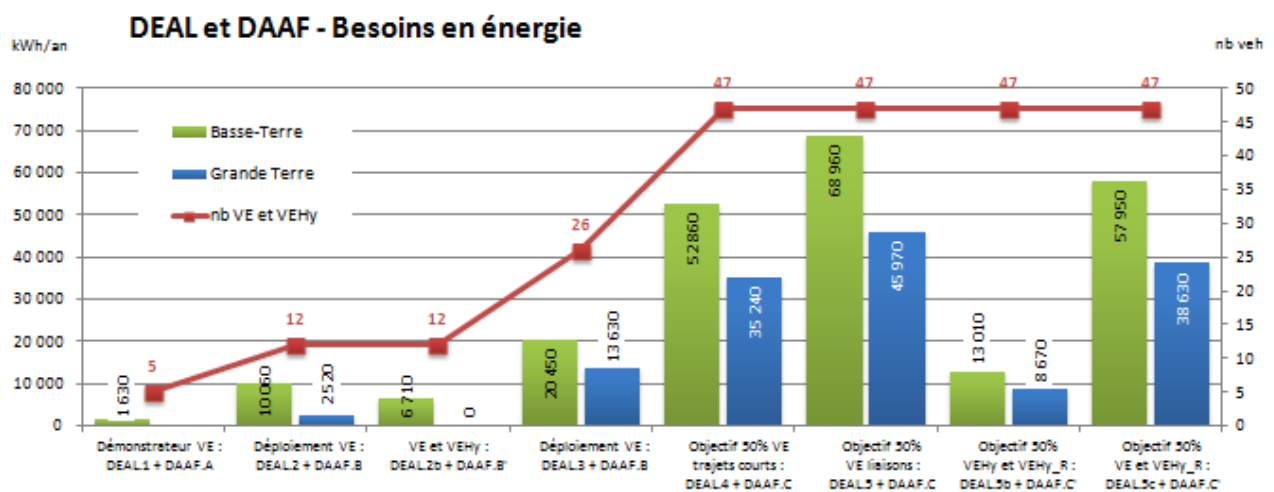
## XI.7. Scénarios détaillés de mobilité

### XI.7.1. Pour la DEAL

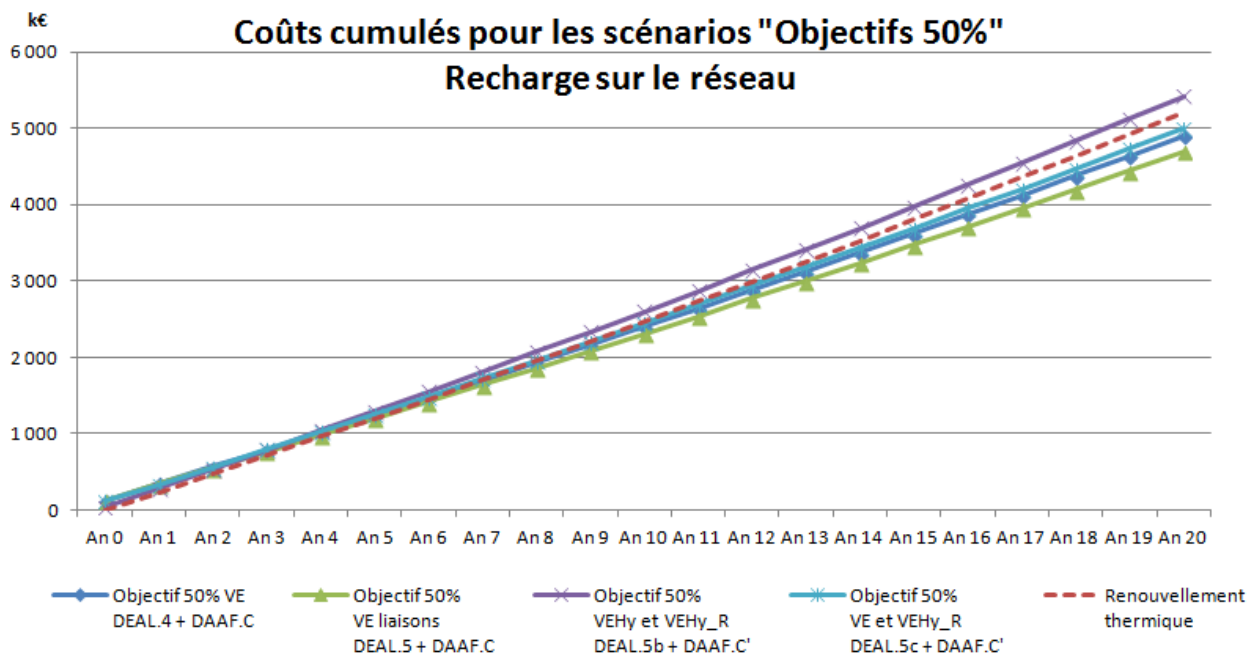
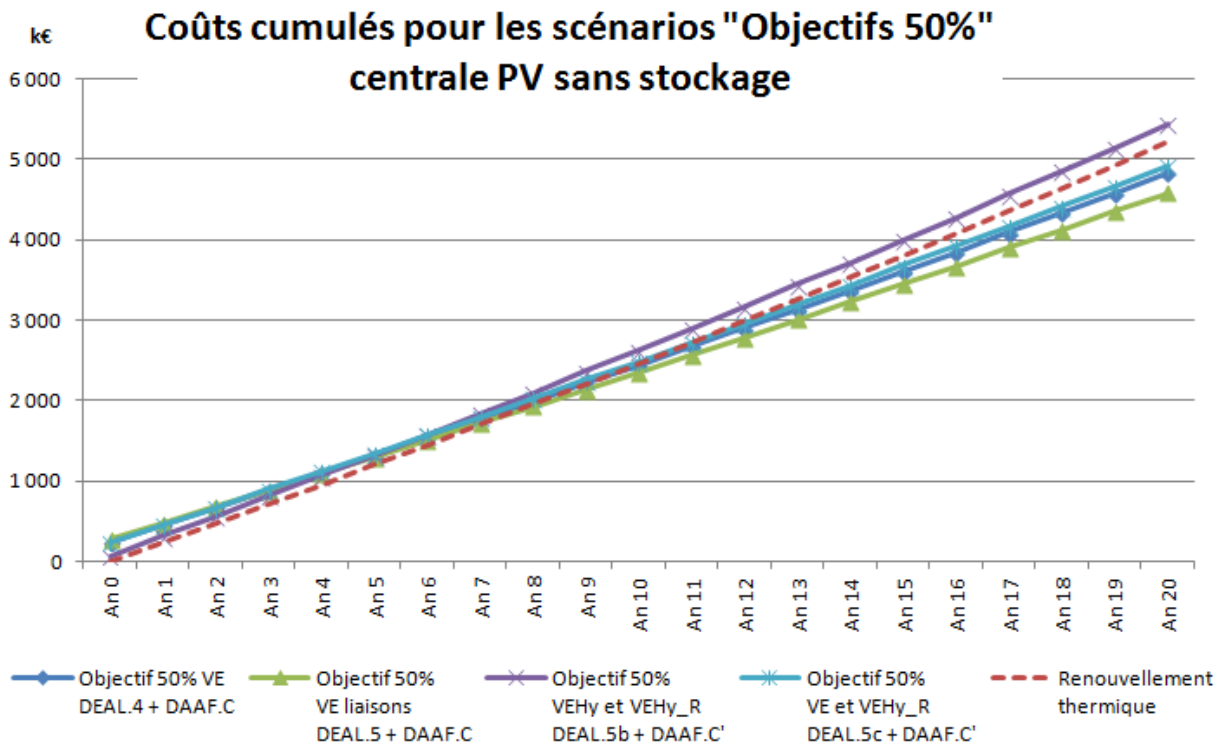
Scénarios de Mobilité Electrique pour la DEAL		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	person nel	total	% Veh Elec
besoin de déplacement en nb/sem		13,5	18,1	86,5	2,9	40,0	121	
<b>Scénario 1 :</b> <b>démonstrateur VE</b> <small>25% Urbain - 10% Extra Urbain</small>	1 - Mobilité électrique (%)	25%	10%	0%	0%		6%	
	1 - Kilométrage Elec (km/sem)	57	100	0	0		157	
	1 - Kilométrage Elec (%)	0%	1%	0%	0%		1%	
	1 - nb de véhicules Elec	1,3	0,7	0,0	0,0		2	4%
	1 - Besoin en énergie (kWh/s)	12,2	21,2	0,0	0,0		35	
Le scénario 1 traite sans risque les petits déplacements et assure l'appropriation des VE par l'ensemble des usagers. Seuls 2 véhicules sont nécessaires et les infrastructures sont de petite taille. Le scénario 1 est un démonstrateur pour valider la suite du plan de déploiement.								
<b>Scénario 2 :</b> <b>déploiement VE sur trajets courts et test sur liaisons</b> <small>50% Urbain - 25% Extra Urbain</small>	2 - Mobilité électrique (%)	50%	25%	5%	0%		16%	
	2 - Kilométrage Elec (km/sem)	115	249	514	0		878	
	2 - Kilométrage Elec (%)	1%	2%	4%	0%		7%	
	2 - nb de véhicules Elec	2,6	1,8	1,7	0,0		6	13%
	2 - Besoin en énergie (kWh/s)	24,4	53,0	109,3	0,0		185	
Le scénario 2 est un déploiement sur les trajets courts et permet d'expérimenter l'utilisation d'un véhicule électrique sur des liaisons Basse-Terre / Pointe-à-Pitre.								
<b>Scénario 2b :</b> <b>déploiement VE sur trajets courts et VEHy_R sur liaisons</b> <small>50% Urbain - 25% Extra Urbain</small>	<i>type véhicule</i>	VE	VE	VEHy_R				
	2b - Mobilité électrique (%)	50%	25%	5%	0%		16%	
	2b - Kilométrage Elec (km/se)	115	249	164	0	0	528	
	2b - Kilométrage Elec (%)	1%	2%	1%	0%		4%	
	2b - nb de véhicules Elec	2,6	1,8	1,7	0,0	0,0	6	13%
2b - Besoin en énergie (kWh/)	24,4	53,0	53,4	0,0	0,0	130		
Le scénario 2b est une variante avec l'utilisation de VEHy_Rechargeables pour les liaisons.								
<b>Scénario 3 :</b> <b>déploiement VE sur liaisons</b> <small>100% Urbain - 75% Extra Urbain - 15% Liaisons</small>	<i>type véhicule</i>	VE	VE	VE	VE			
	3 - Mobilité électrique (%)	100%	75%	15%	0%	50%	39%	
	3 - Kilométrage Elec (km/sem)	230	748	1 543	0	425	2521	
	3 - Kilométrage Elec (%)	2%	6%	13%	0%		21%	
	3 - nb de véhicules Elec	5,3	5,3	5,1	0,0	4,0	16	33%
3 - Besoin en énergie (kWh/s)	48,8	158,9	327,9	0,0	90,3	625		
Le scénario 3 traite la grande majorité des déplacements courts et vise le déploiement des VE sur les liaisons accompagné de l'extension nécessaire des infrastructures								
<b>Scénario 4 :</b> <b>objectif 50% Electrique</b> <small>100% Urbain - 100% Extra Urbain - 33% Liaisons</small>	<i>type véhicule</i>	VE	VE	VE	VE			
	4 - Mobilité électrique (%)	100%	100%	33%	0%	100%	56%	
	4 - Kilométrage Elec (km/sem)	230	997	3 395	0	850	4622	
	4 - Kilométrage Elec (%)	2%	8%	28%	0%		39%	
	4 - nb de véhicules Elec	5,3	7,1	11,2	0,0	8,0	24	50%
4 - Besoin en énergie (kWh/s)	48,8	211,9	721,4	0,0	180,6	1 165		
L'objectif de 50% de VE dans le parc est atteint avec le traitement de 100% des déplacements courts.								
<b>Scénario 5 :</b> <b>objectif 50% Electrique (liaisons)</b> <small>0% Urbain - 0% Extra Urbain - 70% Liaisons</small>	<i>type véhicule</i>	VE	VE	VE	VE			
	5 - Mobilité électrique (%)	0%	0%	70%	0%	100%	44%	
	5 - Kilométrage Elec (km/sem)	0	0	7 201	0	850	7201	
	5 - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	60%	0%		60%	
	5 - nb de véhicules Elec	0,0	0,0	23,7	0,0	8,0	24	50%
5 - Besoin en énergie (kWh/s)	0,0	0,0	1 530,3	0,0	180,6	1 710		
Variante de l'objectif de 50% de VE dans le parc avec le traitement seul de 75% des liaisons.								
<b>Scénario 5b :</b> <b>objectif 50% Hybride</b> <small>0% Urbain - 0% Extra Urbain - 70% Liaisons</small>	<i>type véhicule</i>	VEHy	VE					
	5b - Mobilité électrique (%)	0%	0%	70%	0%	100%	44%	
	5b - Kilométrage Elec (km/se)	0	0	0	0	850	0	
	5b - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	0%	0%		0%	
	5b - nb de véhicules Elec	0,0	0,0	23,7	0,0	8,0	24	50%
5b - Besoin en énergie (kWh/)	0,0	0,0	0,0	0,0	180,6	180		
L'objectif est atteint avec 50% de voitures hybrides dans le parc. Ces véhicules sont autonomes et ne nécessitent aucune infrastructure nouvelle.								
<b>Scénario 5c :</b> <b>objectif 50% Hybride Rechargeable</b> <small>0% Urbain - 0% Extra Urbain - 70% Liaisons</small>	<i>type véhicule</i>	VEHy	VE					
	5c - Mobilité électrique (%)	0%	0%	70%	0%	100%	44%	
	5c - Kilométrage Elec (km/sem)	0	0	2 300	0	850	2 300	
	5c - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	19%	0%		19%	
	5c - nb de véhicules Elec	0,0	0,0	23,7	0,0	8,0	24	50%
5c - Besoin en énergie (kWh/)	0,0	0,0	747,4	0,0	180,6	930		
L'objectif est atteint avec 50% de voitures hybrides rechargeables dans le parc. Ces véhicules ne fonctionnent que partiellement en mode électrique et les infrastructures nécessaires seront réduites.								

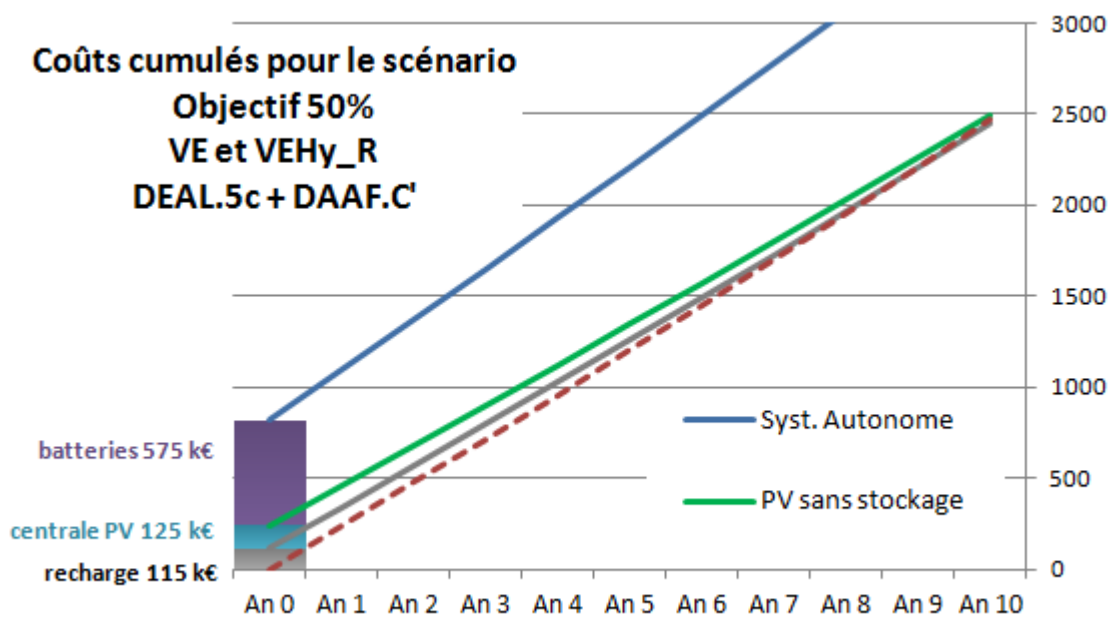
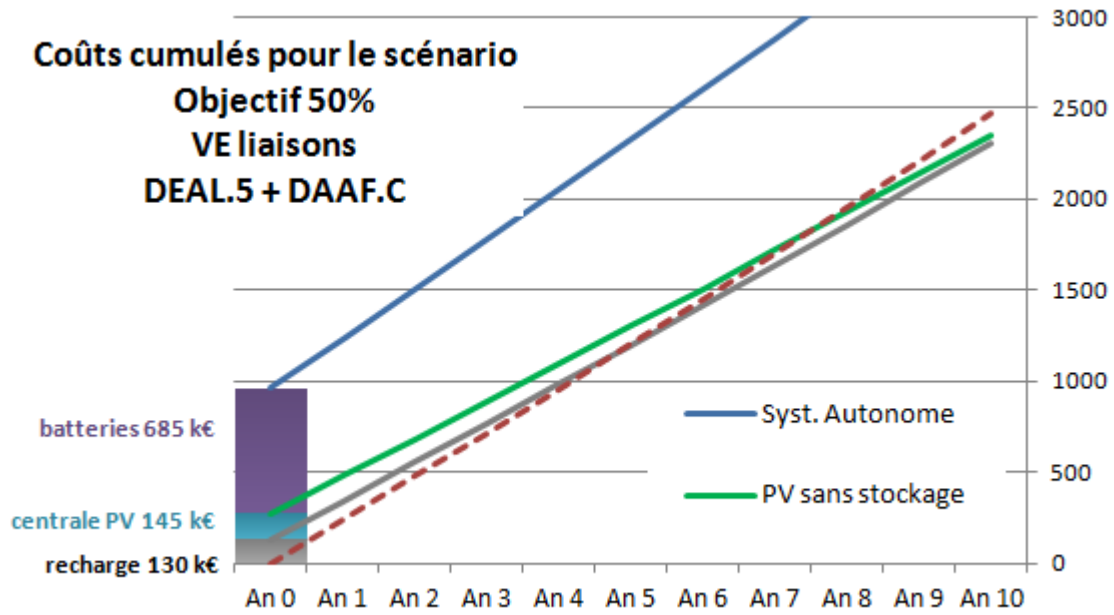
XI.7.2. Pour la DAAF

Scénarios de Mobilité Electrique pour la DAAF		Urbain < 20 km	Extra Urbain < 65 km	Liaisons < 140 km	autres > 140 km	total	% Veh Elec
besoin de déplacements en nb/sem		8,1	19,0	54,6	0,9	83	
type véhicule				VEHy			
<b>Scénario A : Hybride actuel</b>	A - Mobilité électrique (%)	0%	0%	16%	0%	10%	
	A - Kilométrage Elec (km/sem)	0	0	0	0	0	
	A - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	0%	0%	0%	
	A - nb de véhicules Elec	0,0	0,0	3,0	0,0	3	10%
	A - Besoin en énergie (kWh/sem)	0,0	0,0	0,0	0,0	0	
0% Urbain - 0% Extra Urbain - 16% Liaisons							
0% Urbain - 0% Extra Urbain - 0% Liaisons							
Situation actuelle de la DAAF avec 3 véhicules hybrides utilisés préférentiellement sur des liaisons.							
type véhicule		VE	VE	VEHy			
<b>Scénario B : déploiement Electrique</b>	B - Mobilité électrique (%)	50%	25%	16%	0%	23%	
	B - Kilométrage Elec (km/sem)	69	262	0	0	331	
	B - Kilométrage Elec (%)	1%	3%	0%	0%	4%	
	B - nb de véhicules Elec	1,4	1,6	3,0	0,0	6	21%
	B - Besoin en énergie (kWh/sem)	14,6	55,8	0,0	0,0	70	
50% Urbain - 25% Extra Urbain - 16% Liaisons							
Introduction et déploiement de véhicules électriques sur les trajets courts							
type véhicule		VEHy	VEHy	VEHy			
<b>Scénario B' : déploiement VEHy sur trajets courts</b>	B' - Mobilité électrique (%)	50%	25%	16%	0%	23%	
	B' - Kilométrage Elec (km/sem)	0	0	0	0	0	
	B' - Kilométrage Elec (%)	0%	0%	0%	0%	0%	
	B' - nb de véhicules Elec	1,4	1,6	3,0	0,0	6	21%
	B' - Besoin en énergie (kWh/sem)	0,0	0,0	0,0	0,0	0	
50% Urbain - 25% Extra Urbain - 16% Liaisons							
Variante au scénario B déploiement de véhicules hybrides uniquement							
type véhicule		VEHy	VE	VE	VEHy		
<b>Scénario C : objectif 50% Electrique et Hybride</b>	C - Mobilité électrique (%)	100%	100%	30%	100%	56%	
	C - Kilométrage Elec (km/sem)	0	1 050	1 950	0	3 000	
	C - Kilométrage Elec (%)	0%	13%	25%	0%	38%	
	C - nb de véhicules Elec	2,8	6,6	5,7	0,3	15	52%
	C - Besoin en énergie (kWh/sem)	0,0	223,1	414,4	0,0	635	
100% Urbain - 100% Extra Urbain - 30% Liaisons							
L'objectif de 50% de VE dans le parc est atteint avec le traitement de 100% des déplacements courts et une partie des liaisons.							
type véhicule		VEHy	VEHy_R	VEHy	VEHy		
<b>Scénario C' : objectif 50% VEHy et VEHy Rechargeable</b>	C' - Mobilité électrique (%)	100%	100%	30%	100%	56%	
	C' - Kilométrage Elec (km/sem)	0	722	0	0	722	
	C' - Kilométrage Elec (%)	0%	9%	0%	0%	9%	
	C' - nb de véhicules Elec	2,8	6,6	5,7	0,3	15	52%
	C' - Besoin en énergie (kWh/sem)	0,0	234,7	0,0	0,0	235	
100% Urbain - 100% Extra Urbain - 30% Liaisons							
Variante de l'objectif de 50% avec des VEHy et VEHy_Rechargeables							

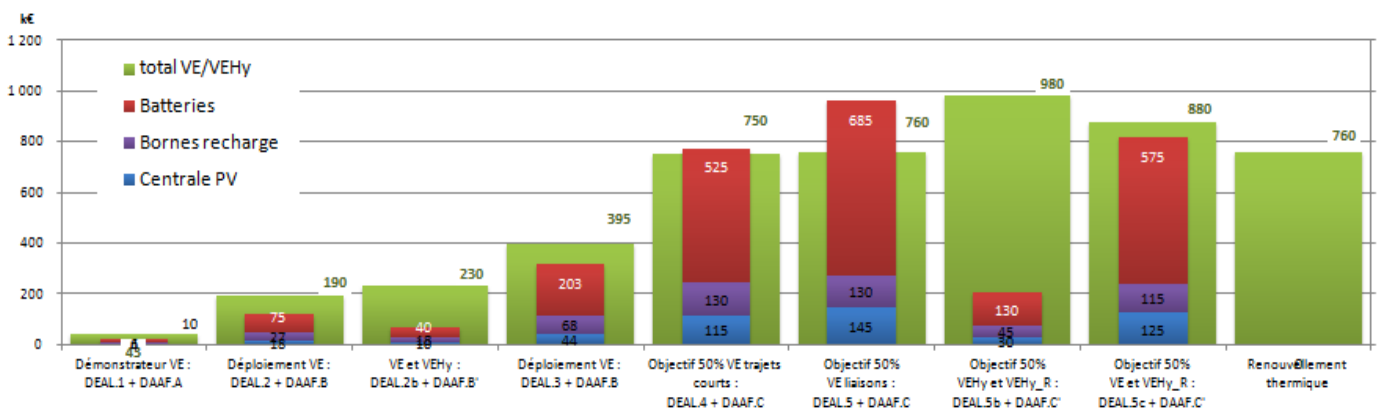


## XI.8. Graphiques complémentaires de l'analyse économique





DEAL et DAAF - Estimation des investissements pour les scénarios de mobilité



## XI.9. Résultats de l'analyse économique TEC dif

### XI.9.1. Mobilité électrique avec système de production EnR autonome

Evaluation économique de scénarios VE / VEHy par la méthode TECDIF © Bernard CHABOT						à partir de la V6 13/10/2014
						ME le 25 oct 2014
<b>Parc véhicules électriques</b>						
Solution efficace : VE et VEHy à 50% du parc et système PV autonome						
Solution conventionnelle : Parc véhicules 100% thermique						
Paramètre	Unité	Solution 1 Objectif 50% VE DEAL.4 + DAAF.C	Solution 2 Objectif 50% VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C	Solution 3 Objectif 50% VEHy et VEHy_R DEAL.5b +	Solution 4 Objectif 50% VE et VEHy_R DEAL.5c +	Solution 0 Renouvellement thermique
Production annuelle	km/an	1 008 219	1 008 219	1 008 219	1 008 219	1 008 219
Part électrique du kilométrage total	%	43%	56%	8%	45%	0%
Nombre d'années pris en compte	années	20	20	20	20	20
Taux d'actualis. réel (CMPRC)	% réel	5	5	5	5	5
Coefficient d'actualisation		0,08024	0,08024	0,08024	0,08024	0,08024
Coût d'investissement initial	€	770 000	960 000	205 000	815 000	0
Subvention à l'invest. initial	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coût d'inv. après subvention	€	770 000	960 000	205 000	815 000	0
Ecart d'invest. après subventions	€	770 000	960 000	205 000	815 000	0
Ecart relatif / solution efficace	%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Valeur résiduelle année n+1	%	0	0	0	0	0
Valeur actuelle de la val. résid.	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coûts fixes annuels moyens	€/an	206 750	224 917	178 333	220 917	147 167
entretien Veh + Syst PV	€/an	40 500	40 500	40 500	40 500	38 500
renouvellement veh	€/an	108 000	108 667	123 333	116 667	108 667
renouvellement syst PV et batteries	€/an	58 250	75 750	14 500	63 750	0
Coûts variables annuels moyens	€/an	78 794	61 960	108 232	74 122	119 589
électricité	€/an	0	0	0	0	0
carburant	€/an	78 794	61 960	108 232	74 122	119 589
Total coûts annuels moyens	€/an	285 544	286 876	286 566	295 038	266 756
Recette annuelle moyenne	€/an	0	0	0	0	0
Cash flow annuel moyen	€/an	-285 544	-286 876	-286 566	-295 038	-266 756
Différentiel de Cash-flows	€/an	-18 789	-20 120	-19 810	-28 283	
Coût Global Actualisé (sans rec.)	€	4 328 516	4 535 114	3 776 242	4 491 832	3 324 369
Coût global annualisé (sans rec. R)	€/an	347 331	363 909	303 015	360 436	266 756
Coût Global Unitaire: après subv.	€/km	0,344	0,361	0,301	0,357	0,265
Avant subventions sie et sic	€/km	0,344	0,361	0,301	0,357	0,265
Réduction par subv. sie et sic	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Coût d'investissement actualisé (après subv.)	€/km	0,061	0,076	0,016	0,065	0,000
Ventilation Coût Global Unitaire	%	17,8%	21,2%	5,4%	18,1%	0,0%
CGUs, après subventions	%	59,5%	61,8%	58,9%	61,3%	55,2%
sie et sic	%	22,7%	17,0%	35,7%	20,6%	44,8%
<b>Rentabilité découlant du choix d'investir dans la solution efficace</b>						
Valeur actuelle nette individuelle	€	-4 328 516	-4 535 114	-3 776 242	-4 491 832	-3 324 369
Valeur actuelle nette différentielle	€	-1 004 147	-1 210 745	-451 874	-1 167 463	
TEC apparent		-1,304	-1,261	-2,204	-1,432	
<b>Rentabilité de la solution</b>		Objectif 50% VE DEAL.4 + DAAF.C n'est pas rentable	Objectif 50% VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C n'est pas rentable	Objectif 50% VEHy et VEHy_R DEAL.5b + DAAF.C n'est pas rentable	Objectif 50% VE et VEHy_R DEAL.5c + DAAF.C n'est pas rentable	
TEC différentiel (uniqu. si dl > 0)	TEC dif	-1,304	-1,261	-2,204	-1,432	
Taux de rentab. interne différentiel (valeur de t annulant dVAN)	TRId (%)	non déterminé	non déterminé	non déterminé	non déterminé	% réel
Taux de rentab. interne apparent (Taux de rentabilité appliqué à le et génér.)	TRIda (%)	-5,20	-4,38	-1,453	-5,86	<=valeur cible : 0
Temps de retour actualisé (Calcul pertinent uniquement si re = rc = 0 et si dl > 0)	TRAd:	-22,85	-25,00	-8,55	-18,29	<=modifier ici
Temps de retour brut différentiel (Calcul exact unig. si re = rc = 0)	RB diff (ar années)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	ans
Temps de retour brut apparent	années	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	ans
	années	12,46	12,46	12,46	12,46	=1/(Ka si re=rc=0)
	années	12,46	12,46	12,46	12,46	=1/(Ka.SRI)
<b>Remarques et commentaires:</b>						
coûts fixes annuels :	entretien vehicules : 500€/veh, champ PV+batt : 2000€					
coûts variables :	provisions renouvellement : véhicule : 5 par an, batteries : tous les 10ans; PV tous les 20 ans					
	carburant : prix moyen sur 20 ans = 1,95€/l					
	électricité auto produite, donc pas de dépenses énergies pour les VE					

### XI.9.2. Mobilité électrique avec production EnR sans stockage

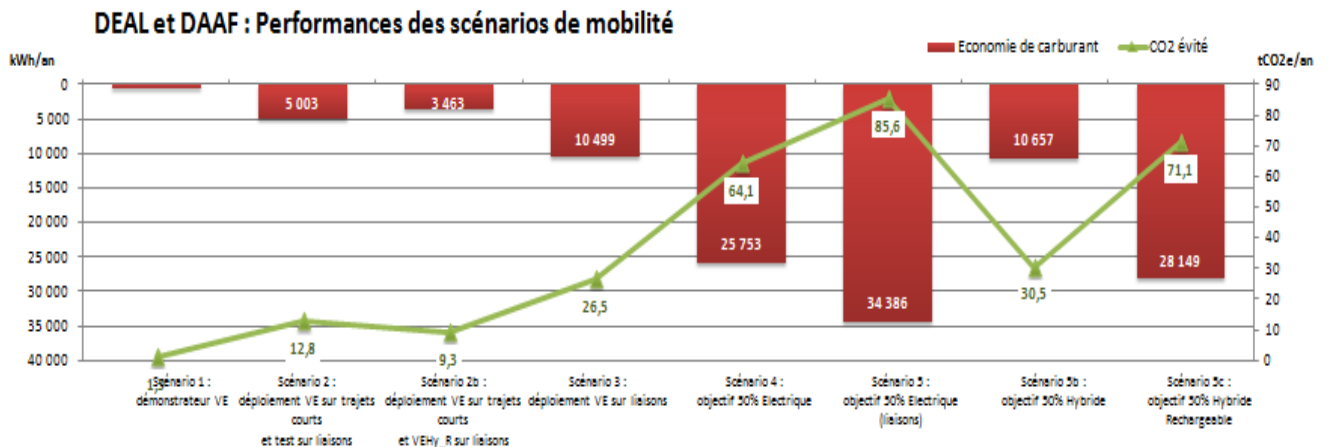
Evaluation économique de scénarios VE / VEHy par la méthode TECDIF © Bernard CHABOT						V6 13/10/2014
						ME le 31 oct 2014
<b>Parc véhicules électriques</b>						
Solution efficace : VE et VEHy à 50% du parc et système PV sans stockage						
Solution conventionnelle : Parc véhicules 100% thermique						
Paramètre	Unité	Solution 1 Objectif 50% VE DEAL.4 + DAAF.C	Solution 2 Objectif 50% VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C	Solution 3 Objectif 50% VEHy et VEHy_R DEAL.5b +	Solution 4 Objectif 50% VE et VEHy_R DEAL.5c +	Solution 0 100% thermique
Production annuelle	km/an	1 008 219	1 008 219	1 008 219	1 008 219	1 008 219
Part électrique du kilométrage total	%	43%	56%	8%	45%	0%
Nombre d'années pris en compte	années	20	20	20	20	20
Taux d'actualis. réel (CMPRC)	% réel	5	5	5	5	5
Coefficient d'actualisation		0,08024	0,08024	0,08024	0,08024	0,08024
Coût d'investissement initial	€	245 000	275 000	75 000	240 000	0
Subvention à l'invest. initial	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coût d'inv. après subvention	€	245 000	275 000	75 000	240 000	0
Ecart d'invest. après subventions	€	245 000	275 000	75 000	240 000	0
Ecart relatif / solution efficace	%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
Valeur résiduelle année n+1	€	0	0	0	0	0
Valeur actuelle de la val. résid.	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coûts fixes annuels moyens	€/an	153 250	155 417	164 333	162 417	147 167
entretien Veh + Syst PV	€/an	39 500	39 500	39 500	39 500	38 500
prov. renouvellement veh	€/an	108 000	108 667	123 333	116 667	108 667
prov. renouvellement syst PV et batteries	€/an	5 750	7 250	1 500	6 250	0
Coûts variables annuels moyens	€/an	78 794	61 960	108 232	74 122	119 589
électricité	€/an	0	0	0	0	0
carburant	€/an	78 794	61 960	108 232	74 122	119 589
Total coûts annuels moyens	€/an	232 044	217 376	272 566	236 538	266 756
Recette annuelle moyenne	€/an	0	0	0	0	0
Cash flow annuel moyen	€/an	-232 044	-217 376	-272 566	-236 538	-266 756
Différentiel de Cash-flows	€/an	34 711	49 380	-5 810	30 217	0
Coût Global Actualisé (sans rec.)	€	3 136 787	2 983 990	3 471 772	3 187 792	3 324 369
Coût global annualisé (sans rec. R)	€/an	251 704	239 443	278 584	255 797	266 756
Coût Global Unitaire: après subv.	€/km	0,250	0,237	0,276	0,254	0,265
Avant subventions sie et sic	€/km	0,250	0,237	0,276	0,254	0,265
Réduction par subv. sie et sic	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Coût d'investissement actualisé (après subv)	€/km	0,019	0,022	0,006	0,019	0,000
Ventilation Coût Global Unitaire	%	7,8%	9,2%	2,2%	7,5%	0,0%
CGUs, après subventions	%	60,9%	64,9%	59,0%	63,5%	55,2%
sie et sic	%	31,3%	25,9%	38,9%	29,0%	44,8%
<b>Rentabilité découlant du choix d'investir dans la solution efficace</b>						
Valeur actuelle nette individuelle	€	-3 136 787	-2 983 990	-3 471 772	-3 187 792	-3 324 369
Valeur actuelle nette différentielle	€	187 582	340 378	-147 403	136 576	0
TEC apparent		0,766	1,238	-1,965	0,569	0
Rentabilité de la solution		Objectif 50% VE DEAL.4 + DAAF.C est rentable	VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C est rentable	VEHy et VEHy_R DEAL.5b + DAAF.C n'est pas rentable	VE et VEHy_R DEAL.5c + DAAF.C est rentable	0
TEC différentiel (uniqu. si dl > 0)		0,766	1,238	-1,965	0,569	0
Taux de rentab. interne différentiel (valeur de t annulant dVAN)	TRId (%):	12,92	17,21	non déterminé	11,04	% réel
Taux de rentab. interne apparent (Taux de rentabilité appliqué à le et génér.)	TRIda (%):	0	0	-1,224	0	<=valeur cible : 0 <=modifier ici
Temps de retour actualisé Calcul pertinent uniquement si re = rc = 0 et si dl > 0	TRAd:	8,92	6,69	-10,21	10,37	ans
Temps de retour brut différentiel (Calcul exact uniq. si re = rc = 0)	années	7,06	5,57	non pertinent	7,94	ans
Temps de retour brut apparent	années	12,46	12,46	12,46	12,46	=1/(Ka si re=rc=0 =1/(Ka.SRI))
Remarques et commentaires:	coûts fixes annuels : entretien véhicules : 500€/veh, champ PV : 1000€ provisions renouvellement : véhicule : 5 par an, PV tous les 20 ans coûts variables : carburant : prix moyen sur 20 ans = 1,95€/l électricité auto produite, donc pas de dépenses énergies pour les VE					

### XI.9.3. Mobilité électrique sans production EnR

Evaluation économique de scénarios VE / VEHy par la méthode TECDIF © Bernard CHABOT						Y6 13/10/2014 ME le 31 oct 2014
<b>Parc véhicules électriques</b>						
Solution efficace : VE et VEHy à 50% du parc et recharge sur le réseau EDF						
Solution conventionnelle : Parc véhicules 100% thermique						
Paramètre	Unité	Solution 1 Objectif 50% VE DEAL.4 + DAAF.C	Solution 2 Objectif 50% VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C	Solution 3 Objectif 50% VEHy et VEHy_R DEAL.5b +	Solution 4 Objectif 50% VE et VEHy_R DEAL.5c +	Solution 0 100% thermique
Production annuelle	km/an	1 008 219	1 008 219	1 008 219	1 008 219	1 008 219
Part électrique du kilométrage total	%	43%	56%	8%	45%	0%
Nombre d'années pris en compte	années	20	20	20	20	20
Taux d'actualis. réel (CMPRC)	% réel	5	5	5	5	5
Coefficient d'actualisation		0,08024	0,08024	0,08024	0,08024	0,08024
Coût d'investissement initial	€	130 000	130 000	45 000	115 000	0
Subvention à l'invest. initial	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coût d'inv. après subvention	€	130 000	130 000	45 000	115 000	0
Ecart d'invest. après subventions	€	130 000	130 000	45 000	115 000	
Ecart relatif / solution efficace	%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
Valeur résiduelle année n+1	%	0	0	0	0	0
Valeur actuelle de la val. résid.	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coûts fixes annuels moyens	€/an	146 500	147 167	161 833	155 167	147 167
entretien Veh + Syst PV	€/an	38 500	38 500	38 500	38 500	38 500
prov. renouvellement veh.	€/an	108 000	108 667	123 333	116 667	108 667
prov. renouvellement syst PV et batteries	€/an	0	0	0	0	0
Coûts variables annuels moyens	€/an	96 414	84 946	112 568	93 438	119 589
électricité	€/an	17 620	22 986	4 336	19 316	
carburant	€/an	78 794	61 960	108 232	74 122	119 589
Total coûts annuels moyens	€/an	242 914	232 112	274 402	248 604	266 756
Recette annuelle moyenne	€/an	0	0	0	0	0
Cash flow annuel moyen	€/an	-242 914	-232 112	-274 402	-248 604	-266 756
Différentiel de Cash-flows	€/an	23 841	34 644	-7 646	18 151	
Coût Global Actualisé (sans rec.)	€	3 157 251	3 022 633	3 464 652	3 213 161	3 324 369
Coût global annualisé (sans rec. R)	€/an	253 346	242 544	278 013	257 832	266 756
Coût Global Unitaire: après subv.	€/km	0,251	0,241	0,276	0,256	0,265
Avant subventions sie et sic	€/km	0,251	0,241	0,276	0,256	0,265
Réduction par subv. sie et sic	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Coût d'investissement actualisé (après subv.)	€/km	0,010	0,010	0,004	0,009	0,000
Ventilation Coût Global Unitaire	%	4,1%	4,3%	1,3%	3,6%	0,0%
CGUs, après subventions	%	57,8%	60,7%	58,2%	60,2%	55,2%
sie et sic	%	38,1%	35,0%	40,5%	36,2%	44,8%
<b>Rentabilité découlant du choix d'investir dans la solution efficace</b>						
Valeur actuelle nette individuelle	€	-3 157 251	-3 022 633	-3 464 652	-3 213 161	-3 324 369
Valeur actuelle nette différentielle	€	167 117	301 735	-140 283	111 207	
TEC apparent		1,286	2,321	-3,117	0,967	
Rentabilité de la solution		Objectif 50% VE DEAL.4 + DAAF.C est rentable	VE liaisons DEAL.5 + DAAF.C est rentable	VEHy et VEHy_R DEAL.5b + DAAF.C n'est pas rentable	VE et VEHy_R DEAL.5c + DAAF.C est rentable	
TEC différentiel (unig. si dl > 0)		1,286	2,321	-3,117	0,967	
Taux de rentab. interne différentiel (valeur de t annulant dVAN)	TRId (%)	non déterminé	non déterminé	non déterminé	14,78	% réel
Taux de rentab. interne apparent (Taux de rentabilité appliqué à le et génér. TRIa (%))	sur cible :	0	0	-2,148	0	<=valeur cible : 0
Temps de retour actualisé	TRAd:	6,52	4,26	-5,29	7,81	=modifier ici
Calcul pertinent uniquement si re = rc = 0 et si dl > 0						ans
Temps de retour brut différentiel (Calcul exact unig. si re = rc = 0)	années	5,45	3,75	non pertinent	6,34	ans
Temps de retour brut apparent	années	5,45	3,75	#VALEUR!	6,34	=1/(Ka si re=rc=0
	années	12,46	12,46	12,46	12,46	=1/(Ka.SRI)
<b>Remarques et commentaires:</b>						
coûts fixes annuels : entretien véhicules : 500€/veh provisions renouvellement : véhicule : 5 par an						
coûts variables : carburant : prix moyen sur 20 ans = 1,95€/l électricité : prix moyen sur 20 ans = 0,2€/kWh						



## XI.10. Graphique complémentaire à l'analyse environnementale

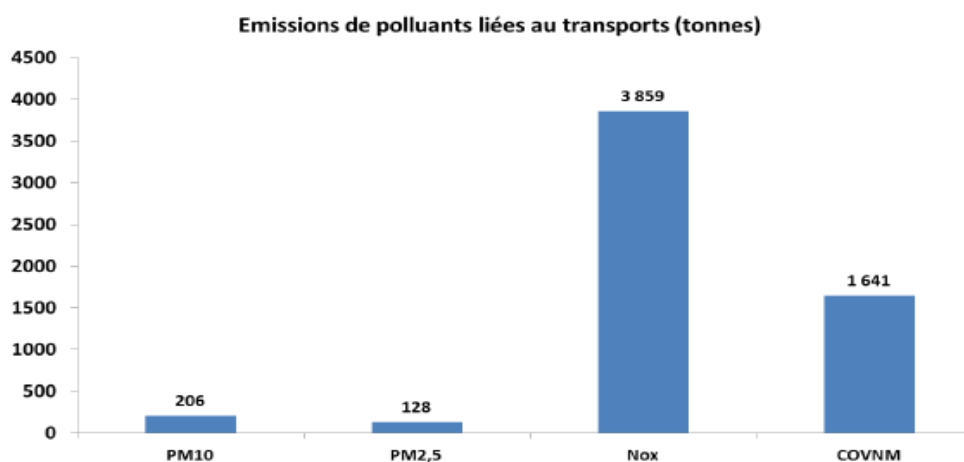


## XI.11. Niveaux de pollution liée aux transports

Extrait du SRCAE Guadeloupe - 2012

### 3.3.3 La pollution liée aux transports

Selon l'inventaire CITEPA de 2010, les polluants les plus problématiques liés aux transports en Guadeloupe sont les NOx ; SO<sub>2</sub> ; les particules ; COVNM liés notamment à la combustion de carburant.



SOURCE : INVENTAIRE CITEPA 2010

Rappelons que ces émissions très diffuses proviennent essentiellement du secteur routier (44% des émissions du territoire) notamment liées à la combustion de carburant.

Selon le PSQA de 2010, les principaux polluants rejetés dans l'atmosphère par le secteur des transports proviennent de la combustion du carburant des moteurs des poids lourds ainsi que des véhicules particuliers et utilitaires. Ces rejets se concentrent prioritairement le long des principaux axes de circulation autour de deux points noirs majeurs : l'agglomération pontoise et l'agglomération de Sud Basse-Terre.

Le secteur des transports (routiers) à l'origine de 20% des émissions particulaires de PM<sub>10</sub> et de 20% pour les PM<sub>2,5</sub>. Ces émissions sont dues à l'abrasion des pièces<sup>36</sup> en frottement dans les véhicules motorisés ainsi qu'à la forte diésélisation du parc roulant.