

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN  
MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE  
L'ENVIRONNEMENT



**Accompagnement de la société  
Alliance-Engineering pour la  
transition de son parc automobile  
vers une flotte 100% électrique**

Institution d'accueil : Alliance-Engineering  
Accompagnateur local : Thomas MENET  
Maître de stage : Prof. Patrick GERIN  
Lecteur : Prof. Hervé JEANMART

Rapport de stage présenté par  
Jaouad ENNAHNAHI  
(Diplôme antérieur : Ingénieur en environnement)  
en vue de l'obtention du grade académique  
de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Juin 2021

## REMERCIEMENT :

Je tiens tout d'abord à remercier ma mon maître du stage, le Professeur Patrick GERIN pour son soutien et son encouragement tout au long de ce travail. Sans son effort, je ne pourrais jamais présenter ce rapport. Malgré la distance, sa présence et ses conseils avisés m'ont permis de pouvoir avancer pour atteindre l'objectif recherché.

Un merci tout particulier à Monsieur Thomas MENET qui m'a accueilli, qui a eu la patience et a pris le temps de répondre à mes nombreuses questions concernant ce travail.

Je remercie mon lecteur, le Professeur Hervé JEANMART d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je remercie aussi le professeur Jean-Pascal VAN YPERSELE, pour son soutien et sa patience.

Enfin, je suis reconnaissante envers mes proches, amis et famille, de m'avoir soutenue et un grand merci à Karine pour ses conseils concernant le style de mon rapport et pour la relecture de celui-ci.

## Résumé

Afin de réduire son empreinte carbone, Alliance-Engineering, soucieuse de la préservation de l'environnement et de l'efficacité énergétique, prévoit l'électrification du parc automobile mis à la disposition de son personnel.

Mon stage visait à élaborer une démarche pour réaliser cette transition.

Sous la supervision directe du directeur de la société, j'ai été chargé de :

- Collecter et analyser les données relatives au parc actuel, le coût du leasing et du carburant.
- Proposer les équipements et les installations nécessaires pour la concrétisation de cette la transition vers un parc de véhicules électriques.
- Identifier les adaptations nécessaires aux infrastructures existantes pour accueillir les bornes de recharge.
- Evaluer les émissions de CO<sub>2</sub> de la flotte actuelle et celles de la flotte projetée.
- Faire une comparaison financière et environnementale de cette transition avec le parc automobile actuel.
- Proposer toutes autres actions pouvant aider à réussir cette transition.

Le stage s'est accentué sur les composantes clés suivantes:

- Le carburant.
- Le véhicule lui-même.

L'analyse économique révèle que le coût relativement élevé de la location de la voiture électrique par rapport à la voiture à combustion est compensé par le coût faible de sa consommation de l'électricité à l'usage, mais les investissements nécessaires dans l'infrastructure inversent la balance, et un délai d'environ 5 ans est nécessaire pour le retour sur l'investissement.

L'évaluation des émissions de CO<sub>2</sub> de la phase utilisation a démontré que l'utilisation des voitures électriques pour le déplacement des 17 collaborateurs permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 82,4%.

Au-delà des aspects traités dans ce travail, il faut admettre que même si la voiture électrique n'émet pas de CO<sub>2</sub> en « sortie du pot d'échappement », son gain environnemental sera d'autant plus important que les émissions de CO<sub>2</sub> liées à sa fabrication seront réduites, et que l'électricité utilisée pour charger et recycler sa batterie sera décarbonée.

## Summary

In order to reduce its carbon footprint, Alliance-Engineering, concerned about environmental preservation and energy efficiency, plans to electrify the fleet of cars available to its staff.

My internship aimed to develop a process to achieve this transition.

Under the direct supervision of the company director, I was responsible for:

- Collect and analyze data on current fleet, leasing costs and fuel costs.
- Identify the adaptations to existing infrastructure to accommodate charging stations.
- Provide the necessary equipment and facilities to make the transition to an electric vehicle fleet a reality.
- Evaluate the CO<sub>2</sub> emissions of the current fleet and those of the projected fleet.
- Make a financial and environmental comparison of this transition with the current fleet.
- Propose any other actions that can help to make this transition a success.

The internship focused on the following key components:

- The vehicle.
- Fuel.

The economic analysis reveals that the relatively high cost of leasing the electric car compared to the combustion car is offset by the low cost of its electricity consumption in use, but the necessary investment in infrastructure reverses the balance, and a time lag of about 5 years is required for the return on investment.

The evaluation of the CO<sub>2</sub> emissions of the use phase showed that the use of electric cars for the mobility of the 17 employees reduces the CO<sub>2</sub> emissions by 82.4%.

Beyond the aspects covered in this work, it must be admitted that even if the electric car does not emit CO<sub>2</sub> "out of the exhaust pipe", its environmental gain will be all the more important as the CO<sub>2</sub> emissions linked to its manufacture will be reduced, and as the electricity used to charge and recycle its battery will be decarbonized.

## Sommaire :

Abréviations :	1
I. Introduction	2
A. Contexte	2
B. Objectif du stage	2
C. Présentation de l'institution d'accueil	2
D. Description de la problématique environnementale étudiée	4
E. Liens avec les principales références théoriques des cours du Master	6
II. Contenu du stage	7
A. Analyse du parc actuel de véhicules	8
1. Analyse technique	8
2. Analyse économique	9
3. Analyse environnementale	9
4. Synthèse globale des données du parc actuel	10
B. Analyse du parc de véhicules projeté	12
1. Analyse technique	12
a) Choix des voitures électriques	12
b) Infrastructure de charge de batterie	13
(1) Bornes de recharges sur le parking du siège d'AE	14
c) Bornes de recharge	18

(1) Bornes sur le parking d'Alliance-Engineering .....	18
(2) Bornes de recharges individuelles installée chez le collaborateur .....	22
2. Analyse économique : .....	24
a) Frais de location des véhicules et de recharge en électricité .....	24
b) Coût financier de l'infrastructure.....	24
(1) Infrastructure au niveau du parking.....	24
(2) Infrastructure au niveau de l'habitation des collaborateurs .....	25
3. Analyse environnementale .....	25
4. Synthèse des données du parc automobile projeté.....	27
C. Comparaison économique et environnementale des 2 solutions :.....	29
1. Comparaison économique.....	29
2. Comparaison environnementale.....	30
III. Evaluation critique des choix.....	30
IV. Analyse des acquis du stage .....	31
V. Références.....	32
VI. Annexes .....	36
<b>Annexe 1 : Calendrier des activités.....</b>	<b>37</b>
<b>Annexe 2 : Calendrier des contacts avec le maître de stage UCLOUVAIN .</b>	<b>39</b>
<b>Annexe 3 : Adresses des différents contacts établis (stakeholders) .....</b>	<b>41</b>
<b>Annexe 4 : Fiches techniques des voitures électriques.....</b>	<b>43</b>

<b>Annexe 5 : Offre d'ORES .....</b>	<b>60</b>
<b>Annexe 6 : Offre de ZEborne.....</b>	<b>68</b>
<b>Annexe 7 : Offre de Q-Power .....</b>	<b>79</b>
<b>Annexe 8 : Offre pour bornes individuelle à domicile .....</b>	<b>86</b>
<b>Annexe 9 : Emission CO<sub>2</sub> des voitures à combustion Module de SPF .....</b>	<b>90</b>

## Liste des figures :

Figure 1 : Organigramme d'Alliance-Engineering .....	3
Figure 2 : Tracé du projet AleGro .....	4
Figure 3 : Émissions de GES en Belgique: part des principaux secteurs en 2019 .....	5
Figure 4 : Vue aérienne du parking d'Alliance-Engineering .....	14
Figure 5 : Schéma des travaux nécessaires pour l'installation des coffrets ORES...	17
Figure 6 : Schéma synoptique de l'installation proposée .....	19
Figure 7 : Intensité carbonée de la production d'électricité depuis 1990 tant pour la Belgique que pour ses pays voisins .....	26

## Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau de synthèse des données sur les voitures thermiques du parc actuel .....	11
Tableau 2: Besoins quotidiens du bureau en énergie électrique .....	15
Tableau 3: Calcul de la puissance nécessaire selon les scénarios possibles .....	15
Tableau 4: Ampérage correspondant aux différentes options .....	16
Tableau 5: Ampérage équivalent de la puissance choisie .....	17
Tableau 6: Offres pour les bornes de recharge .....	21
Tableau 7 : Synthèse de la voiture électrique avec le coût de l'électricité consommée .....	28
Tableau 8: Comparaison économique .....	29
Tableau 9: Emission de CO <sub>2</sub> des deux types du parc .....	30

## Abréviations :

AE	Alliance-Engineering
ALEGrO	Projet de la liaison haute tension assurant l'interconnexion de la Belgique avec l'Allemagne de 90 km
CREG	Commission de régulation de l'électricité et du gaz
DC	Courant continu
ELIA	Gestionnaire du réseau de transport d'électricité à haute tension en Belgique
ETS	Système d'échange de quotas d'émission de l'UE (Emissions Trading System)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HTV	Valeur hors taxes
HUB	Appareil permettant d'interconnecter physiquement plusieurs ordinateurs, serveurs ou leurs équipements
HVAC	Chauffage, ventilation et climatisation
Ionity	Réseau européen de bornes de recharge ultra-rapides
NEDC	Nouveau cycle européen de conduite : cycle de conduite automobile conçu pour imiter de façon reproductible les conditions rencontrées sur les routes européennes
ORES	Opérateur des réseaux gaz et électricité dans la Région Wallonne.
PM10, PM2.5 :	Particules fines. PM 2.5 particules d'un diamètre inférieur à 2.5 microns. PM10, particules d'un diamètre inférieur à 10 microns
Q8	Réseau des stations de service, une des grandes entreprises de transformation du pétrole
RC	Responsabilité civile
SAT	Borne satellite communiquant avec la borne HUB
SPF	Service public fédéral
TTC	Toutes taxes comprises
WLTP	Procédure d'essai mondiale harmonisée pour les voitures particulières et véhicules utilitaires légers

## **I. Introduction**

### **A. Contexte**

Les directeurs d'Alliance-Engineering ont décidé d'électrifier le parc automobile utilisé par leurs collaborateurs. Conscients que certaines activités humaines ont entraîné la dégradation de l'environnement, ils ont décidé d'adhérer aux stratégies de réduction des émissions des gaz à effet de serre en assurant une mobilité durable.

### **B. Objectif du stage**

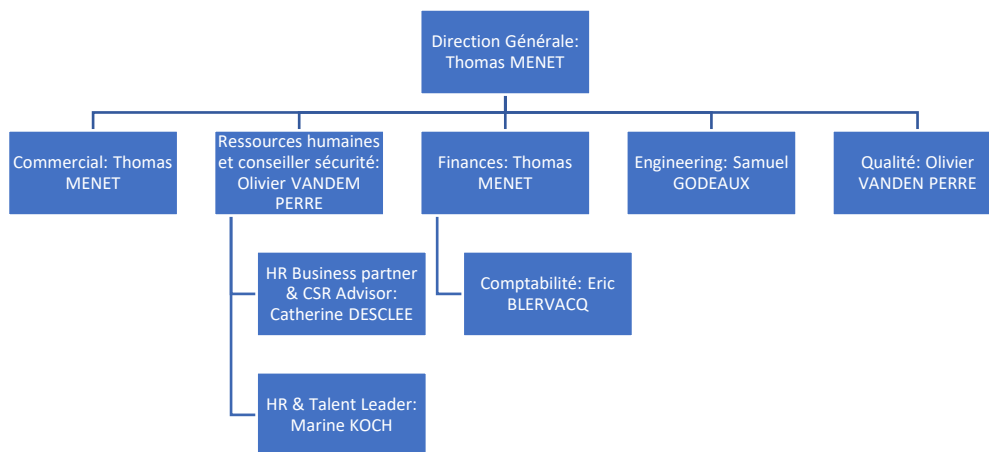
L'objectif de ce stage est de contribuer à l'étude technique de la transition du parc automobile actuel vers un parc électrique: définir le problème, contacter les fournisseurs et les hommes de métiers, compiler les données récoltées et résultats obtenus, et les analyser pour formuler des recommandations. Cette activité permet d'acquérir de l'expérience sur le terrain, de se confronter à des cas qui nécessitent des compromis pour gérer les contraintes rencontrées. Cela permet aussi à s'adapter aux exigences du monde de l'entreprise.

### **C. Présentation de l'institution d'accueil**

Alliance-Engineering est une société de consultance et engineering basée à Louvain-la-Neuve. Elle compte actuellement 35 collaborateurs, principalement des ingénieurs de différentes spécialités, en électricité, hydraulique, génie civil, mécanique, industriel et management, mais aussi de différentes origines, genres et âges. Elle travaille principalement sur deux axes :

- Activités du bureau d'études dans les secteurs de l'énergie (calcul des déperditions énergétiques, HVAC, chauffage, ventilation, etc.), du bâtiment, de l'hydraulique et du ferroviaire.
- Gestion de projet. Elle a des ingénieurs expérimentés capables de gérer des budgets, équipes et planning conséquents. Elle forme continuellement ses ingénieurs pour maintenir un niveau de compétences élevé.

L'organigramme de la société est présenté ci-après :



**Figure 1 : Organigramme d'Alliance-Engineering**

Parmi les projets clés sur lesquelles AE intervient actuellement :

- Ferroviaire : Alliance-Engineering assure la mission de la coordination du projet du tram qui reliera Sclessin et Coronmeuse à Liège.
- Energie : Alliance participe à la mission de coordinateur du projet ALEGrO pour le tronçon confié à Elia et situé sur le territoire Belge. Ce projet de 90 km consiste en une liaison électrique haute tension permettant une interconnexion entre la Belgique et l'Allemagne dont 49 km traversant la Belgique.



## Figure 2 : Tracé du projet AleGro<sup>1</sup>

Alliance intervient aussi dans le secteur tertiaire, de la santé, de l'aéronautique, de l'hydraulique et de la chimie.

### D. Description de la problématique environnementale étudiée

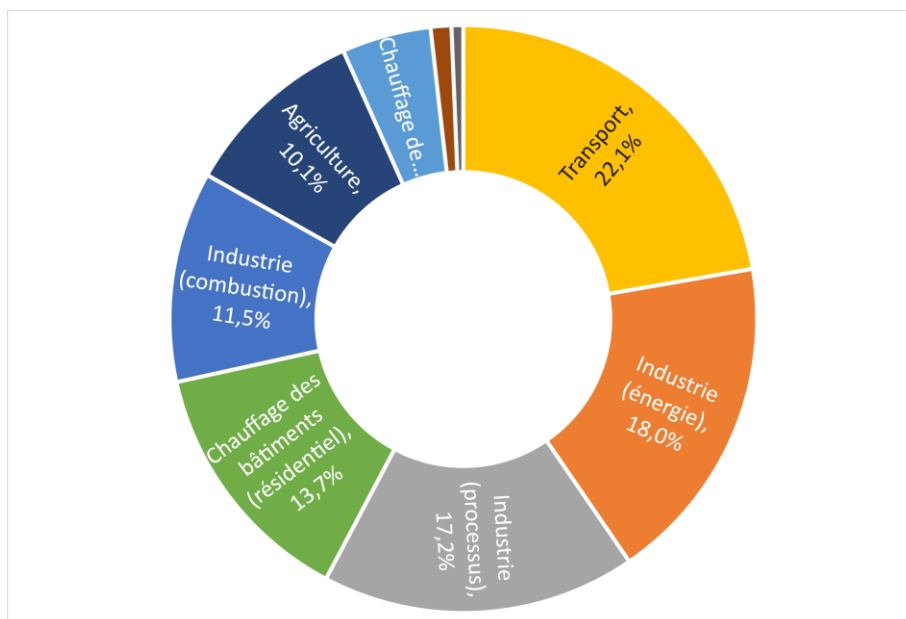
Les activités quotidiennes des êtres humains contribuent à l'émission excessive des GES qui accélèrent les changements climatiques (GIEC, 2019).

Le réchauffement de la planète pourrait atteindre jusqu'à 6°C en moyenne à la surface du globe à l'horizon 2100 en fonction des trajectoires d'émissions étudiées (GIEC, 2013). L'objectif stratégique le plus optimiste considéré par le GIEC indique qu'il est toujours possible de limiter la hausse de la température moyenne à la surface de la Terre à 2°C, voire 1,5°C (GIEC, 2019). Pour atteindre cet objectif et limiter la hausse de la température à ce niveau, chaque secteur doit fournir un effort pour réduire ses émissions. Le secteur du transport fait partie des secteurs les plus émetteurs de GES. En Belgique, depuis 1990, les émissions dues au transport ne cessent d'augmenter, alors qu'elles ont sensiblement baissé dans les secteurs des grandes entreprises concernées par les quotas de CO<sub>2</sub> (ETS). Le graphique ci-après, extrait du rapport d'inventaire des émissions des GES élaboré par la Belgique en 2020, confirme bien que le secteur du transport participe à 22,1% de ces émissions<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> [www.elia.be](http://www.elia.be)

<sup>2</sup> <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>  
(source : National Inventory Report)



**Figure 3 : Émissions de GES en Belgique: part des principaux secteurs en 2019<sup>3</sup>**

La transition vers une mobilité durable s'avère nécessaire pour que le transport puisse contribuer à la limitation de la hausse de température globale. Quatre approches peuvent être déployées pour la concrétiser <sup>4</sup> :

- *Transformer la propulsion de la thermique à l'électrique et les carburants du fossile aux carburants alternatifs.*
- *Améliorer les véhicules thermiques en optimisant l'efficacité énergétique et en réduisant les émissions polluantes des moyens de transport existants.*
- *Orienter la mobilité vers des modes de transports économes en énergie.*
- *Eviter les émissions en diminuant le besoin et/ou la distance du déplacement.*

---

<sup>3</sup> <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>  
(source : National Inventory Report)

<sup>4</sup> Emmanuelle Ostiari, Électrification des transports-Une solution de transition écologique Mirova, 2018

L'électrification du transport est l'une des solutions potentielles pour résoudre cette problématique. Alliance-Engineering a décidé d'adopter cette approche pour réduire sa contribution à ces émissions de CO<sub>2</sub>.

### **E. Liens avec les principales références théoriques des cours du Master**

Les cours du master ENVI2M/SG mobilisés pour ce stage sont :

- **LENVI2012 - Pollution de l'environnement :**

Le cours m'a permis d'acquérir une vision multidisciplinaire sur les problèmes de la pollution, la contribution du transport à la pollution atmosphérique, comprendre et utiliser l'analyse critique d'un problème environnemental, et s'habituer avec le langage et le vocabulaire utilisé dans le domaine de l'environnement. Le séminaire y afférent était un bon exercice pour traiter une problématique environnementale similaire. Aussi, j'ai eu l'occasion d'assister à la présentation d'un thème sur la comparaison entre les atouts et bénéfices de différents types de voitures qui a été préparé par mes collègues de la classe.

- **LECGE1215 – Informatique en Economie et Gestion :**

A travers ce cours, il est possible de traiter des données numériques, préparer et présenter des tableaux ainsi que comprendre et présenter des graphiques illustrant les données collectées.

C'est un outil qui m'a aidé à comparer et à tirer des conclusions à partir de valeurs quantitatives.

- **LENVI2004 - Atelier en communication et en gestion des conflits par la négociation et LENVI2101 - Sociétés, populations, environnement :**

Le travail demandé au stage nécessite une multitude d'interactions avec différents intervenants (stakeholders, responsables de la société et personnel). En ce sens, l'atelier en communication m'a été très utile pour échanger avec les parties prenantes. En cas d'impasse due entre autres à des divergences d'opinion, les outils appris lors de cet atelier m'ont permis de trouver des compromis, d'une part, à

travers la négociation, et d'autre part, à travers l'établissement d'un environnement de collaboration. Le cours LENVI2101 m'a été aussi très utile vu les informations acquises et en particulier tout ce qui concerne les émissions des GES, la missions de la GIEC, et la méthode de traiter une problématique environnementale d'une façon scientifique.

## **II. Contenu du stage**

Une grande partie du stage s'est déroulée à distance en utilisant des outils de communication tel que Skype, appels téléphoniques, Zoom ou Team.

Je me suis basé sur des recherches bibliographiques, des consultations d'entreprises spécialisées dans le domaine, le contact avec le personnel de la société, l'analyse et le traitement des données collectées.

Le travail s'est articulé sur :

- Le diagnostic de la flotte composée de 17 voitures thermiques en location longue durée utilisées par les collaborateurs.
- La proposition des voitures électriques susceptibles de substituer celles de la flotte actuelle.
- Le renforcement de la puissance du raccordement électrique du siège de l'entreprise afin de répondre aux besoins d'alimentation des bornes de recharge.
- Le choix des bornes de recharge appropriées aux voitures à recharger, aux emplacements disponibles sur le parking et à la puissance du raccordement électrique.
- L'établissement du bilan des émissions de CO<sub>2</sub> pour la phase utilisation des voitures actuellement louées et de la flotte projetée.
- L'évaluation financière de la solution d'électrification envisagée.
- L'analyse des résultats obtenus et la proposition de la configuration finale à adopter.

## **A. Analyse du parc actuel de véhicules**

### **1. Analyse technique**

Afin d'assurer la mobilité de ses collaborateurs, Alliance-Engineering dispose d'un parc automobile en location longue durée composé de 17 véhicules particuliers. Sa maintenance et son entretien sont pris en charge par l'entreprise de location. Chaque voiture dispose d'une feuille de route renseignée périodiquement par le responsable des ressources humaines avec les données communiquées par les utilisateurs. Les autres collaborateurs utilisent leur propre véhicule. Ces derniers ne font pas partie de cette étude.

Chaque voiture est en location pour une durée de 5 ans. Le tableau 1 au chapitre 4 récapitule la marque de la voiture, le carburant utilisé, sa consommation et le kilométrage annuel que chaque conducteur doit respecter.

Il se peut que le développement de l'activité ou l'éloignement du trajet puissent fausser le kilométrage prévisionnel. A cet effet, il y a possibilité de conclure un avenant avec la société de location via la présentation des justificatifs fondés.

Chaque conducteur est responsable de son véhicule. Il doit veiller sur sa propreté, sur les gestes de l'écoconduite, et doit communiquer au responsable des ressources humaines toutes les éventuelles anomalies remarquées.

La distance journalière moyenne est estimée sur la base de la distance annuelle. Cette dernière est divisée par 365 jours et multipliée par  $\frac{7}{5}$ , ce qui correspond à une utilisation de 5 jours sur 7 (le weekend n'est pas compté bien que le collaborateur peut utiliser la voiture à titre personnel sans pour autant dépasser la distance annuelle convenue).

Afin de respecter la confidentialité des contrats, aucun nom de collaborateur ne sera divulgué, et les voitures seront référencées par des numéros de référence de 1 à 17.

Il est à noter que pour les déplacements occasionnels ou urgents, Alliance-Engineering fait appel au programme de voiture partagée (Alliance possède des abonnements avec Cambio).

## **2. Analyse économique**

Alliance-Engineering a conclu un contrat de leasing avec l'opérateur DirectLease. Les contrats individuels mentionnent le coût de location mensuel et désignent le conducteur concerné. Les frais de location sont payés mensuellement.

Le leasing inclut tous les coûts tels que la taxe de mise en circulation, la taxe de circulation, les réparations, l'entretien, les pneus d'été et d'hiver, l'assurance (RC et les dommages), le dépannage et une voiture de remplacement. Pour la comptabilité, ce leasing est avantageux par rapport à un financement à crédit ou à l'achat en propre: les loyers sont inscrits en charges, ce qui préserve la trésorerie et la capacité d'investissement de l'entreprise. Il allège les préoccupations du gestionnaire interne, assure le contrôle du budget total et permet aux collaborateurs de se concentrer uniquement sur leurs activités.

Quant au carburant, Alliance-Engineering a mis à la disposition de chaque collaborateur une carte associée à la voiture utilisée. En cas d'impossibilité de s'approvisionner en carburant auprès des stations partenaires, le conducteur peut payer lui-même le plein et doit adresser une note de frais au responsable pour qu'il soit remboursé. Le gestionnaire des ressources humaines centralise l'ensemble des frais liés à l'achat du carburant.

Ces deux postes constituent les dépenses liées au déplacement des collaborateurs. Le tableau 1 du chapitre A-4 ci-dessous récapitule les frais y afférents par voiture.

## **3. Analyse environnementale**

Les voitures thermiques se déplacent grâce à la combustion du carburant (essence, diesel). L'énergie thermique de la combustion est alors convertie en énergie mécanique. Cette combustion génère plusieurs substances ayant des impacts potentiels sur la santé humaine et sur l'environnement :

- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), un gaz contribuant à l'effet de serre de l'atmosphère terrestre.

- Oxydes d'azote (NOx), un précurseur de la formation d'ozone photochimique (smog), favorisant les problèmes respiratoires, et causant entre autres l'acidification des milieux terrestres et aquatiques et l'eutrophisation du milieu marin.
- Particules fines (PM), causes potentielles des troubles respiratoires.
- Monoxyde de carbone (CO), un gaz toxique pour les humains et les animaux.
- Composés organiques volatils (COV), précurseurs de la formation d'ozone photochimique (smog) et considérés comme toxiques pour l'être humain et écotoxiques pour la faune et la flore.

Tous ces substances ont une répercussion négative sur l'environnement et sur la santé des êtres humains. De nombreuses études ont quantifié ces émissions et ont montré leur toxicité. Vu que l'objectif du présent travail n'était pas de détailler et démontrer ces effets, je me suis limité à la quantification des émissions de CO<sub>2</sub> pendant la phase utilisation des véhicules, en me basant sur les données de base des voitures concernées, du kilométrage effectué, des trajets parcourus, et les habitudes du conducteur (le type de conduite, la cadence des entretiens, le contrôle des pneus, l'utilisation de l'air conditionné, l'ouverture des fenêtres...). J'ai utilisé le module de calcul des émissions CO<sub>2</sub> élaboré par SPF<sup>5</sup> pour quantifier ces émissions. Le tableau 1 au chapitre A-4 récapitule ces émissions par voiture.

#### **4. Synthèse globale des données du parc actuel**

Le tableau de synthèse ci-après récapitule les voitures étudiées, leur coût de location, les frais du carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> de la phase utilisation :

---

<sup>5</sup> <https://www.energivores.be/infopage.aspx?lang=FR>

**Tableau 1: Tableau de synthèse des données sur les voitures thermiques du parc actuel**

Réf conducteur	Marque/type	Loyer annuel (€) (A)	Distance annuelle (km)	Distance journalière moyenne (km)	Carburant	Coût annuel carburant (€) (B)	Coût annuel (€) (A+B)	Coût spécifique (€/km)	Rejet annuel (kg_CO <sub>2</sub> )
1	SKODA OCTAVIA COMBI 1.6 CRTDI 66 kW GREENTEC AMBITION	5 602	25 000	68	diesel	1 991	7 594	0,30	3 651
2	AUDI A4 AVANT 2.0 TDI 110 kW S TRONIC	9 379	25 000	68	diesel	1 659	11 038	0,44	3 751
3	VOLKSWAGEN GOLF VII 1.6 CRTDI 81 kW BMT ALLSTAR	7 071	40 000	110	diesel	3 033	10 104	0,25	5 524
4	VOLKSWAGEN GOLF VII 1.6 CRTDI 81 kW BMT HIGHLINE	7 679	30 000	82	diesel	2 301	9 980	0,33	4 194
5	BMW 3 REEKS BERLINE 318D (100 kW)	10 580	45 000	123	diesel	3 916	14 496	0,32	7 136
6	VOLKSWAGEN GOLF VARIANT 1.6 TDI 85 kW HIGHLINE DSG	7 675	30 000	82	diesel	2 301	9 976	0,33	4 194
7	PEUGEOT 2008 1.6 BLUEHDI 55 kW ACCESS	5 051	30 000	82	diesel	2 159	7 210	0,24	3 939
8	TOYOTA C-HR 1.8 VVT I-HYBRID C-BUSINESS AUT.	7 543	30 000	82	diesel	2 133	9 676	0,32	3 326
9	PEUGEOT 2008 1.6 BLUEHDI 55 kW ACCESS	5 704	31 000	85	diesel	2 231	7 935	0,26	4 070
10	Volkswagen Golf VII 1.6 TDi 85 kW Comfortline	5 745	25 000	68	diesel	1 870	7 615	0,30	3 410
11	Volkswagen Golf VII 1.6 TDi 85 kW Join	7 020	30 000	82	diesel	2 416	9 436	0,31	4 399
12	BMW X1 (5-deurs) sDrive16d (85 kW)	7 456	25 000	68	diesel	2 154	9 610	0,38	3 922
13	Volkswagen Golf VII- 1.0 TSi 81 kW Trendline	5 395	15 000	41	essence	1 252	6 648	0,44	1 890
14	Volkswagen Golf VII - 1.6 TDi SCR 81 kW Comfortline	7 294	45 000	123	diesel	4 042	11 336	0,25	7 515
15	Skoda Octavia Combi- 1.6 CRTDI Green Tec 85 kW Ambition DSG7	6 573	45 000	123	diesel	3 538	10 111	0,22	6 445
16	VOLKSWAGEN GOLF VII 1,2 TSI	5 074	45 000	123	essence	3 319	8 392	0,19	6 762
17	VOLKSWAGEN GOLF VARIANT 1,6 TDI	5 982	45 000	123	diesel	4 042	10 024	0,22	7 366
		<b>116 823</b>	<b>561 000</b>			<b>44 358</b>	<b>161 181</b>	<b>0,29</b>	<b>81 494</b>

Il ressort du tableau que :

- Le coût global du carburant est de 44 358 €, soit 27,7% des dépenses liée à l'utilisation de ces voitures.
- Le kilomètre parcouru coûte en moyenne 0,29 €.
- Les émissions de CO<sub>2</sub> sont d'environ 81,5 tonnes/an.

## **B. Analyse du parc de véhicules projeté**

### **1. Analyse technique**

#### **a) *Choix des voitures électriques***

Le choix et l'attribution des voitures électriques doit tenir compte de certains critères :

- L'autonomie : elle doit être adaptée à la distance parcourue et au type de trajet effectué par l'utilisateur (en ville, sur autoroute, mixte). Un trajet sur l'autoroute est moins énergivore (par km) qu'un trajet en ville.
- Le chargeur embarqué : toutes les voitures électriques possèdent un chargeur embarqué standard de 3 kW. Il convertit le courant du réseau AC public en courant continu compatible. Certaines voitures possèdent des chargeurs de 7 kW voire 22 kW. Plus il sera puissant, plus le temps de charge sera court.
- Le type de voiture : compacte, berline ou SUV, le type de voiture est choisi en fonction de ses besoins, mais aussi en fonction de volume de chargement ou des possibilités pour le stationnement.
- Le budget alloué à la rubrique mobilité de chaque collaborateur.

La volonté de conserver la même société de location Directlease a exigé de choisir parmi les voitures disponibles chez cette dernière.

Nous avons essayé de respecter chacun de ces critères, en particulier l'autonomie nécessaire et le budget alloué.

Le tableau de synthèse dans le paragraphe B-4 récapitule le type, la marques et la puissance des voitures choisies.

## **b) Infrastructure de charge de batterie**

L'offre des voitures électriques s'enrichit continuellement et devrait connaître un progrès remarquable pendant les années qui viennent. Cependant, leur usage est compromis par la nécessité d'investir dans une infrastructure dédiée au rechargement des batteries.

Plusieurs scénarios peuvent répondre à cette question :

- L'utilisation des bornes de recharges publiques à travers des abonnements ou des cartes de recharge.
- L'installation de bornes de recharge individuelles au domicile des collaborateurs.
- L'installation des bornes de recharge collectives au siège de la société.

Le premier scénario exige la disponibilité d'un nombre suffisant de ces bornes avec une répartition spatiale large qui peut garantir un accès facile et rapide le long des trajets parcourus.

Le deuxième scénario répond aux besoins opérationnels mais il est confronté au statut du logement équipé par le collaborateur (propriétaire, locataire, maison, appartement...). Il nécessite un investissement dans la borne de recharge et une éventuelle mise à niveau du raccordement électrique.

Le troisième scénario nécessite des investissements dans l'infrastructure de rechargement, l'agencement du parking disponible et l'adaptation de la puissance électrique du raccordement afin qu'il réponde aux besoins des bornes de recharge. Ces agencements vont tenir compte des contraintes budgétaires, spatiales et techniques de l'entreprise.

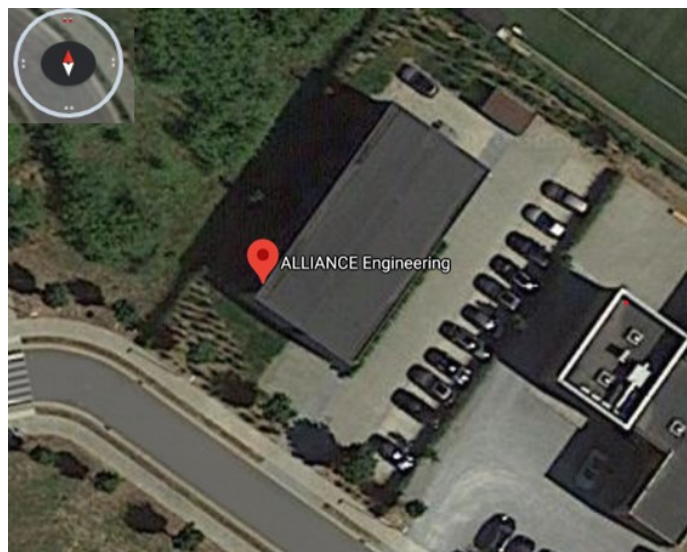
Alliance-Engineering envisage l'acquisition et l'installation des bornes de recharge sur le parking de la société afin d'assurer le rechargement des voitures pendant les heures de travail. Elle propose aussi à ses collaborateurs l'installation des bornes individuelles à domicile.

## **(1) Bornes de recharges sur le parking du siège d'AE**

### **(a) Capacité d'accueil des bornes**

Le parking annexé au bâtiment d'Alliance-Engineering permet d'accueillir 13 voitures, et l'arrière du bâtiment peut recevoir 4 voitures supplémentaires.

Il faut laisser au moins 3 places pour les visiteurs dans la partie principale du parking. Par conséquent, la capacité de voitures à prendre en considération actuellement est de 10.



**Figure 4 : Vue aérienne du parking d'Alliance-Engineering<sup>6</sup>**

### **(b) Puissance de raccordement au réseau électrique**

Afin d'assurer les besoins en électricité pour recharger simultanément plusieurs voitures, Alliance-Engineering doit adapter la puissance de son raccordement au réseau électrique. A cet effet, nous avons calculé la puissance nécessaire pour assurer les besoins quotidiens en électricité et l'alimentation de ces bornes de recharge.

---

<sup>6</sup> <https://earth.google.com/web/search/ALLIANCE+Engineering,+Ottignies-Louvain-la-Neuve>

La puissance électrique actuelle est de 56 kW (80A en 400 V triphasé).

Le tableau ci-après récapitule les besoins quotidiens du bureau :

**Tableau 2: Besoins quotidiens du bureau en énergie électrique**

Récepteur	Nombre	Puissance (W)	Total puissance (W)	Coefficient de simultanéité (ks)	Puissance à considérer (W)
Ventilation	1	1.200	1.200	0,7	840
Eclairages	30	30	900	0,7	630
Micro-onde	1	400	400	0,7	280
Machine à café	2	300	600	0,7	420
Frigo - congélateur	2	500	1.000	0,7	700
Lave-vaisselle	1	2000	2000	0,7	1.400
Boiler eau chaude	1	1.200	1.200	0,7	840
Ordinateur	20	100	2.000	0,7	1.400
Ecran	20	100	2.000	0,7	1.400
Plaques électriques	1	1.800	1.800	0,7	1.260
Pompe à chaleur	1	3.300	3.300	1	3.300
<b>Total W</b>					<b>12.470</b>

Le coefficient ks (coefficient de simultanéité) détermine les conditions d'utilisation de l'installation s'appliquant à l'ensemble de récepteurs. Il est pris égal à 0,7 pour l'ensemble des récepteurs et 1 pour la pompe à chaleur et les bornes de recharges.

Trois scénarios ont été vérifiés pour alimenter les bornes de recharge :

- Scénario 1 : 10 bornes de puissance de 7,4 kW chacune, soit 74 kW.
- Scénario 2 : 10 bornes de puissance de 11 kW chacune, soit 110 kW.
- Scénario 3 : 5 bornes de recharge nécessitant 7,4 kW et 5 bornes de recharge nécessitant 11 kW, soit 92 kW.

**Tableau 3: Calcul de la puissance nécessaire selon les scénarios possibles**

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
<b>Puissance nécessaire W</b>	86.470	122.470	104.470

Cette puissance peut être assurée à travers trois type de raccordements :

- Le raccordement monophasé : 2 x 230 V
- Le raccordement triphasé 230 V sans neutre : 3 x 230 V
- Le raccordement triphasé 400 V avec neutre : 3 x 400 V.

Afin de déterminer le raccordement le plus optimal, on procède au calcul de l'ampérage correspondant :

**Tableau 4: Ampérage correspondant aux différentes options**

Puissance (W)	Ampérage (A)		
	2x230(V)	3x230(V)	3x400(V)
86 470	376	217	125
122 470	532	307	177
104 470	452	262	150

D'après ce tableau, il faudrait un raccordement permettant un ampérage de 150 A pour assurer la puissance calculée à condition que le raccordement soit en triphasé avec neutre.

En consultant le service d'ORES, il nous a été expliqué que :

- La puissance maximale permise pour un raccordement basse tension est égale à 176 kW.
- Au-delà de 110,7 kW (soit 160 A pour un raccordement triphasé avec neutre), le compteur coûte très cher chez ORES.

Pour ces considérations, nous avons opté pour un renforcement du compteur à hauteur de 110,7 kW, qui constitue un compromis entre la puissance maximale permise +/- 176 kW, l'utilisation moyenne réelle et les coûts.

A cet effet, il a été demandé à ORES d'établir le devis correspondant à l'augmentation de la puissance à 110,7 kW.

Le tableau 5 montre l'ampérage correspondant selon le type de raccordements :

**Tableau 5: Ampérage équivalent de la puissance choisie**

Puissance (kW)	Ampérage (A)		
	2x230(V)	3x230(V)	3x400(V)
110,7	481	278	160

Vu que certains équipements fonctionnent en monophasé tandis que d'autres fonctionnent en triphasé, il a été demandé à ORES de prévoir lors de l'installation, un disjoncteur 400 V de 160 A et un disjoncteur 230 V de 278 A.

Le devis d'ORES s'élève à 22.827 €. Il comprend l'accès à la puissance 110,7 kW, la pose du branchement, la pose du module de comptage pour  $I > 80A$ , l'enlèvement et la radiation du branchement souterrain existant. ORES a exigé qu'Alliance-Engineering réalise certains travaux préparatoires mentionnés dans le devis en annexe et qui ne font pas partie des prestations à réaliser par ORES<sup>7</sup>.



**Figure 5 : Schéma des travaux nécessaires pour l'installation des coffrets ORES**

<sup>7</sup> Offre d'ORES en annexe 5

**c) Bornes de recharge**

**(1) Bornes sur le parking d'Alliance-Engineering**

Deux sociétés prestataires commercialisant les bornes électriques ont été consultées, ZEborne du groupe Proxiserve, spécialisée et dédiée à l'écomobilité et Q-Power, société qui commercialise la marque Nexxtender des bornes électriques en Belgique.

**(a) Offre de ZEborne :**

ZEborne a proposé l'installation de 5 bornes de recharge. Chaque borne peut servir simultanément deux véhicules, ce qui permet de recharger 10 véhicules en même temps.

- 1 borne EVBOX BusinessLine Double HUB 22 kW
- 4 bornes EVBOX BusinessLine Double SATT 22 kW

Ces bornes de recharge sont de type accéléré. Elles assurent une puissance de 22 kW et nécessitent une alimentation en triphasé avec neutre en courant alternatif. La borne HUB centralise les données de l'ensemble des bornes et les envoie via son modem à travers un abonnement au BackOffice (par la création d'un compte sous l'application « EVBOX CONNECT » ou « HEY EVbox »). L'application permet de traiter les données de toutes les bornes et informer sur toutes les sessions de recharges (reporting). Elle permet aussi de gérer la charge en assurant la distribution dynamique et équitable de la puissance totale disponible sur les points de charge en cours d'utilisation.

L'offre financière de ZEborne s'élève à **36 968 € TTC**, et comprend la main d'œuvre, la fourniture et l'installation des bornes, la protection électrique et la réception par un organisme agréé<sup>8</sup>.

---

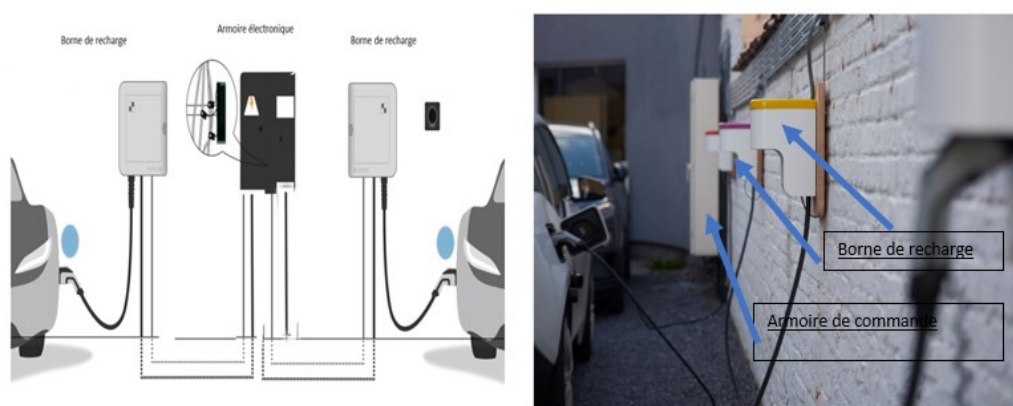
<sup>8</sup> Offre de ZEborne

## (b) Offre de Q-Power

La société Q-Power a présenté trois offres.

### (i) 1<sup>ère</sup> offre

Q-Power a proposé l'installation de 8 bornes de recharge de marque Nexxtender. Chaque borne est composée d'un connecteur et du câble de recharge. Une armoire de commande abrite les équipements électroniques et permet de contrôler les 8 départs avec équilibrage de charge (Load balancing).



**Figure 6 : Schéma synoptique de l'installation proposée<sup>9</sup>**

Ces bornes fonctionnent avec :

- Le triphasé : 16A x 3x 230 V permettent de charger 11 kW (environ 55 km d'autonomie par heure de charge).
- Le monophasé : 32A x 230 V permettent de charger 7,4 kW (environ 40 km par heure de charge).

L'offre s'élève à **30 008 € TTC**. Elle comprend la fourniture et l'installation de l'armoire de commande et des huit points de recharge, l'alimentation électrique, les plans et la certification.

---

<sup>9</sup> [www.powerdale.com](http://www.powerdale.com)

### **(ii) 2<sup>ème</sup> offre**

Q-Power propose l'installation de 10 bornes de recharge identiques à celles de la 1<sup>ère</sup> offre mais avec une armoire qui permet la commande de 16 départs. Cette solution permettra d'ajouter 6 points de charge supplémentaires par la suite.

Le montant de l'offre s'élève à **34 243 € TTC**.

### **(iii) 3<sup>ème</sup> Offre**

L'infrastructure proposée est composée de 5 bornes de recharge doubles et d'un répartiteur afin de les réguler en fonction de l'énergie disponible. Chaque borne est équipée d'un lecteur de badge pour en restreindre l'accès aux seules personnes autorisées. L'utilisateur qui se connectera sur une borne devra renseigner la durée prévue du stationnement et le nombre de kilomètres à recharger. Le répartiteur va ainsi pouvoir attribuer la puissance disponible de façon optimale.

Les bornes sont alimentées en courant alternatif 3x32 A en 400 V.

- 16A en 400V permettent de charger 11 kW (environ 55 km par heure de charge).
- 32A en 400V permettent de charger 22 kW (environ 110 km par heure de charge).

Le montant de l'offre s'élève à **42 955 € TTC**.

### **(c) Analyse des offres des bornes**

- Le tableau ci-après analyse les offres parvenues et leur compatibilité avec le besoin d'Alliance-Engineering :

**Tableau 6: Offres pour les bornes de recharge**

Offre	Puissance des bornes (kW)	Type du raccordement exigé	Nombre des voitures servies	Nombre des bornes	Gestion intelligente	Coût selon l'offre (€ TTC)
Offre ZEborne	22	Triphasé avec neutre	10	5 doubles	Oui	36 968
1 <sup>ère</sup> offre Q-Power	7,4-11	Triphasé sans neutre Monophasé	8	8 simples	Oui	30 008
2 <sup>ème</sup> offre Q-Power	7,4-11	Triphasé sans neutre Monophasé	10	10 simples	Oui	34 243
3 <sup>ème</sup> offre Q-Power	11-22	Triphasé avec neutre	10	5 doubles	Oui	42 955

- L'offre de ZEborne assure un rechargement rapide, elle exige une puissance de 22 kW pour chaque borne, cette puissance est plus élevée que celle choisie.
- La 1<sup>ère</sup> offre de Q-Power se limite à l'installation de 8 bornes de recharge, ce qui privera Alliance-Engineering de la possibilité de l'élargissement de son système de rechargement dans le futur.
- La 2<sup>ème</sup> offre de Q-Power est compatible avec la puissance étudiée et répond au besoin d' Alliance-Engineering.
- La 3<sup>ème</sup> offre de Q-Power assure un rechargement rapide, mais elle est très couteuse et nécessite une puissance de raccordement supérieure à celle étudiée.

Il ressort du tableau que la 2<sup>ème</sup> offre de Q-Power est la solution idéale en tenant compte de l'augmentation de la puissance envisagée et des emplacements disponibles au parking.

## **(2) Bornes de recharges individuelles installée chez le collaborateur**

L'installation de bornes domestiques chez les collaborateurs permet de recharger les batteries des voitures dans un délai raisonnable pendant sa présence à la maison (après les heures de travail).

Le matériel nécessaire est composé de :

- 1x Borne de 1,4 à 7,4kW
- 1x Interrupteur différentiel Type A ou Hi - 1P+N - 40A - 30mA.
- 1x Disjoncteur - 1P+N - 40A –
- 1x Compteur
- 1x Câble de recharge - Type 2 / Type 2 - 7m - 7,4kW (1 phase 32A) + housse

Pour les collaborateurs qui désirent installer une borne à domicile, Alliance-Engineering est favorable à sa prise en charge à travers l'adaptation de la convention de la mise à disposition du collaborateur de la voiture de société. A cet effet, après plusieurs séances de travail avec le directeur et le gestionnaire des ressources humaines, un article (article 14) a été ajouté à la convention classique de mise à disposition d'un véhicule :

« ARTICLE 14 » : Conditions particulières pour les véhicules électriques :

- **Recharge à domicile**

**Option 1** : L'employé est propriétaire de son logement.

Alliance installera à ses frais au domicile de l'employé une borne. Alliance-Engineering prendra un contrat avec un fournisseur d'électricité. La facturation des kWh se fera directement à Alliance-Engineering.

La valeur d'amortissement de la borne est calculée sur 6 ans. Si l'employé quitte la société avant la fin de l'amortissement, il s'engage à rembourser le solde restant de la

valeur de la borne. Par exemple : Le coût d'installation d'une borne est de 1.800 euro. L'employé quitte la société après 3 ans. Il s'engage à rembourser 900 € à Alliance-Engineering. Ce montant pourra être prélevé sur le dernier salaire. Après la période des 6 ans, l'employé devient propriétaire de la borne.

La modification, la réparation, le déplacement, le déménagement ou démantèlement de la borne sera aux frais de l'employé.

Le renforcement du compteur si nécessaire est réparti à part égale entre l'employé et l'employeur.

**Option 2** : L'employé est locataire de son logement.

L'employé utilisera une prise mise à disposition par le propriétaire de son logement pour le rechargement de son véhicule. AE remboursera la consommation électrique du véhicule. Deux possibilités s'offrent à l'employé : soit un remboursement au km basé sur la consommation moyenne du véhicule en kWh/km et sur un prix de 0.24€/kWh, soit un remboursement de la consommation électrique du véhicule sur base d'un compteur de passage fourni par Alliance-Engineering. Alliance-Engineering remboursera les kWh sur base de la consommation relevée par l'employé et sur base d'un prix de 0.24€/kWh.

- **Recharge au bureau**

L'employé disposera d'une carte permettant de charger son véhicule au bureau.

- **Recharge rapide (par exemple réseau Ionity)**

L'accès à la recharge se fait via une application. L'employé paye la recharge via son smartphone. L'employé se fait rembourser la recharge via une note de frais si la recharge a eu lieu en Belgique. Si la recharge a eu lieu à l'étranger, elle est à sa charge sauf dans le cadre d'un déplacement professionnel.

- **Véhicule pour les grands déplacements**

Si pour des raisons d'autonomie du véhicule, l'usage d'un véhicule thermique s'impose (ex : pour des longs déplacements tel que les vacances de l'employé), Alliance-Engineering étudiera les possibilités d'échanger le véhicule avec un autre véhicule le temps des vacances. Vu le nombre de bornes de recharge rapide prévues dans les prochaines années, l'autonomie ne devrait plus être un souci.

## **2. Analyse économique :**

### **a) Frais de location des véhicules et de recharge en électricité**

Le montant de la location mensuelle des véhicules est extrait du site de Directlease, partenaire d'Alliance-Engineering. Il varie selon la distance annuelle parcourue. En effet, il comprend aussi la location de la batterie, donc il dépend du nombre de charges de la voiture et de l'usure de la batterie. Directlease prend en charge l'entretien de la voiture. Lorsque la capacité de la batterie passe sous la barre des 75%, Directlease la remplace sans aucun frais.

La consommation des voitures est extraite des fiches techniques des constructeurs. Elle correspond au nouveau cycle d'homologation WLTP, exprimée en kWh/100 km parcourus.

Le calcul du coût de l'électricité dépend donc de la distance parcourue et du prix de l'électricité. Le fournisseur d'électricité d'Alliance-Engineering est Engie-Electrabel. Le prix unitaire de l'électricité considéré est 20,26 €/100 kWh.

Le tableau de synthèse dans le paragraphe B-4 récapitule les dépenses liées à la location des voitures choisies et l'électricité consommée.

### **b) Coût financier de l'infrastructure**

#### **(1) Infrastructure au niveau du parking**

Pour rappel, l'infrastructure à prévoir pour le bon fonctionnement de la recharge se compose de :

- L'acquisition et l'installation de 10 bornes de recharges, soit 34 243 € TTC.
- La modification de la puissance de raccordement au réseau électrique, soit **22 827 € TTC**.

À ces frais, il faut ajouter **2 466 € TTC** nécessaires pour les travaux préparatoires demandés par ORES (voir annexe offre Q-Power du 10-09-2020), soit un montant total de **59 537 € TTC** .

L'amortissement de cet investissement est considéré sur 5 ans, soit **11 907 €** par an.

## **(2) Infrastructure au niveau de l'habitation des collaborateurs**

Le coût de l'installation d'une borne à domicile dépend de plusieurs facteurs et nécessite des devis personnalisés et individuels. Les prix varient de 1 200 € à plusieurs milliers d'euros. Alliance-Engineering procèdera à l'évaluation économique de cette prestation au fur et à mesure de son exécution.

### **3. Analyse environnementale**

Il est certain que la voiture électrique n'est pas zéro émission. Son impact sur l'environnement dépend principalement de 2 facteurs :

- L'énergie utilisée pour les recharges.
- La production des batteries et leur élimination en fin de vie.

Plusieurs études ont contribué à l'analyse du cycle de vie des voitures électriques (phase production, utilisation et élimination) et ont démontré que la production des batteries est énergivore et polluante<sup>10</sup>, que l'élimination de ses déchets de fin de vie présentent aussi une problématique et que le mix énergie utilisé pour sa recharge influence son empreinte carbone. Le présent travail a abordé d'une façon sommaire les émissions de la phase utilisation. Les émissions de CO<sub>2</sub> de cette phase sont assimilées à celles dues à la production de l'énergie électrique consommée.

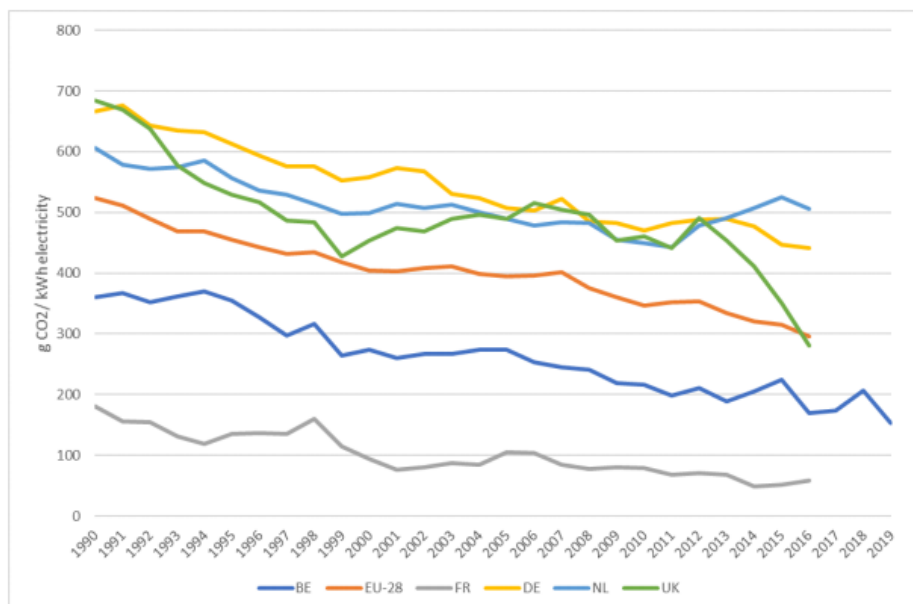
En Belgique, il existe plusieurs producteurs qui approvisionnent le marché en électricité. Ces principales sources de production de l'énergie sont :

- des sources d'énergie renouvelables ;
- des centrales électriques utilisant des combustibles fossiles comme le gaz naturel et le charbon ;
- des centrales nucléaires.

---

<sup>10</sup> Maarten Messagie- étude de la VUB (Vrije Universiteit Brussel)-2018-“Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles”

Selon la note de la CREG relative aux évolutions marquantes sur les marchés de gros de l'électricité et du gaz de 2019 en Belgique, l'intensité carbone du mix énergétique varie d'un jour à l'autre selon la quote-part des sources d'énergie. Cette intensité était de 0.16 kg CO<sub>2</sub>/kWh en 2019.



**Figure 7 : Intensité carbonée de la production d'électricité depuis 1990 tant pour la Belgique que pour ses pays voisins <sup>11</sup>**

Les hypothèses de nos calculs sont :

- La consommation kWh/100 km est celle indiquée sur les fiches techniques des voitures (selon WLTP).
- L'intensité carbonée de la Belgique en 2019.

Le tableau de synthèse dans le paragraphe B-4 récapitule les émissions de CO<sub>2</sub> correspondant pour chaque voiture choisie.

<sup>11</sup> Note relative aux évolutions marquantes sur les marchés de gros belges de l'électricité et du gaz

naturel en 2019- Janvier 2020- <https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Notes/Z2045FR.pdf>

#### **4. Synthèse des données du parc automobile projeté**

Le tableau 7 récapitule les marques de voitures choisies, leur coût de location, le coût de l'électricité nécessaire pour leur rechargement et les émissions de CO<sub>2</sub> de la phase utilisation. Le coût de l'électricité est calculé sur la base du prix actuel d'Engie Electrabel, fournisseur actuel d'Alliance-Engineering est qui est de 20,26 €/100 kWh.

**Tableau 7 : Synthèse de la voiture électrique avec le coût de l'électricité consommée**

Réf conducteur	Marque/type	Loyer annuel (€) A	Distance annuelle (km)	Autonomie annoncée (km)	Consommation (kWh/100 km)	Consommation annuelle (kWh)	Coût électricité (€) B	Coût global (€) A+B	Coût spécifique (€/km)	CO <sub>2</sub> émis (kg/an)
1	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	6 970	25 000	425	14,9	3 725	755	7 725	0,31	596
2	Renault Zoe-Intens B-buy R135	8 451	25 000	383	17,7	4 425	897	9 348	0,37	708
3	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	7 899	40 000	425	14,9	5 960	1 207	9 106	0,23	954
4	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	7 391	30 000	425	14,9	4 470	906	8 297	0,28	715
5	Renault Zoe-Intens B-buy R135	10 033	45 000	383	17,7	7 965	1 614	11 647	0,26	1 274
6	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	7 391	30 000	425	14,9	4470	906	8 297	0,28	715
7	Peugeot e-208 Active	6 752	30 000	340	16,6	4 980	1 009	7 761	0,26	797
8	Renault Zoe life	7 797	30 000	395	17,2	5 160	1 045	8 842	0,29	826
9	Peugeot e-208 Active	6 752	31 000	340	16,6	5 146	1 043	7 795	0,25	823
10	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	6 970	25 000	425	14,9	3 725	755	7 725	0,31	596
11	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	7 391	30 000	425	14,9	4 470	906	8 297	0,28	715
12	Renault Zoe life	7 608	25 000	395	17,2	4 300	871	8 479	0,34	688
13	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	6 737	15 000	425	14,9	2 235	453	7 190	0,48	358
14	Peugeot 2008 e-Active	8 828	45 000	285	17,5	7 875	1 595	10 424	0,23	1 102
15	Renault Zoe life	9 017	45 000	395	17,2	7 740	1 568	10 585	0,24	1 238
16	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	8 320	45 000	425	15,5	6 975	1 413	9 733	0,22	1 116
17	Volkswagen ID.3- 45 kWh 110kW Pure Performance	8 320	45 000	425	15,5	6 975	1 413	9 733	0,22	1 116
		<b>132 627</b>	<b>561 000</b>			<b>90 596</b>	<b>18 355</b>	<b>150 982</b>	<b>0,27</b>	<b>14 337</b>

Il ressort du tableau que :

- Le coût de recharge est de 18 355 €, soit 12% des dépenses d'utilisation de ces voitures.
- Le kilomètre parcouru coûte en moyenne 0,27 €.
- Les émissions du CO<sub>2</sub> sont d'environ 14,34 tonnes/an.

### C. Comparaison économique et environnementale des 2 solutions :

#### 1. Comparaison économique

**Tableau 8: Comparaison économique**

<b>Parc</b>	<b>Coût de location (€/an)</b>	<b>Frais carburant/électricité (€/an)</b>	<b>Infrastructure (€/an)</b>	<b>Total (€/an)</b>
Parc actuel (thermique)	116 823	44 358	-	161 181
Parc projeté (électrique)	132 627	18 355	11 907	162 889

Le coût de location des voitures électriques est légèrement supérieur à celui des voitures actuelles (environ 13,5% de plus). Toutefois, le coût global n'est que très légèrement supérieur (1,06% de plus). Cela est dû aux frais très faibles de l'électricité consommée. Ce coût peut se voir à la baisse dans le futur vu que l'offre des voitures électriques est en plein expansion.

L'investissement qu'Alliance-Engineering prévoit de réaliser pour équiper ses collaborateurs par des bornes de recharges à domicile n'a pas été chiffré pour le moment. Dès que les collaborateurs manifesteront leurs souhaits d'en installer une, Alliance étudiera la situation cas par cas.

En conclusion, l'utilisation des voitures électriques au lieu des voitures à combustion est plus coûteuse pendant les 5 premières années. Une fois l'investissement dans l'infrastructure amorti, la voiture électrique devient plus avantageuse économiquement que la voiture thermique.

## 2. Comparaison environnementale

Les émissions de CO<sub>2</sub> des voitures thermiques étudiées sont largement supérieures (5.5 fois plus) à celles des voitures électriques si on considère seulement la phase utilisation.

**Tableau 9: Emission de CO<sub>2</sub> des deux types du parc**

Type du parc	Emissions annuelles de CO <sub>2</sub> (kg)
Parc actuel (thermique)	81 494
Parc projeté (électrique)	14 337

Les voitures électriques permettent donc de diminuer énormément les émissions de CO<sub>2</sub> pour la phase usage.

### III. Evaluation critique des choix

Le long de ce travail, nous étions amenés à faire des choix :

- Des différentes voitures électriques.
- De la puissance du raccordement.
- Des bornes de recharge.

Les marchés des voitures et des bornes de recharge sont larges et diversifiés, ce qui rend la décision plus difficile.

Le premier défi confronté était la présélection des entreprises à consulter. Pour ce faire, nous avons entamé une recherche minutieuse au niveau des sites des entreprises spécialisées, puis nous nous sommes basés sur les recommandations des sociétés ayant déjà installé des bornes dans leur locaux.

La solution choisie est celle qui a pris en compte les contraintes imposées. Les emplacements disponibles dans le parking, la puissance du raccordement possible et les voitures électriques choisies ont contribué au choix des bornes de recharge.

Les bilans dressés dans ce rapport sont simples et n'ont pas pris en compte certains critères importants comme par exemple les avantages fiscaux, l'amortissement des investissements, la diversité d'offres des voitures électriques et des bornes de recharge.

Le délai consacré à ce travail et la coïncidence de sa période avec la crise de Covid19, n'a pas permis d'élargir la recherche et la consultation pour permettre de proposer une offre plus avantageuse.

#### **IV. Analyse des acquis du stage**

Tout d'abord, ce stage m'a fait sortir de ma zone de confort en m'ouvrant sur un sujet qui nécessite des consultations multiples et des recherches dans un domaine en pleine expansion. J'ai acquis des nouvelles compétences non techniques par la réalisation d'un projet réel :

- L'échange de courrier avec les différents intervenants (partenaires, fournisseurs, personnel de l'entreprise, responsables).
- L'identification de mes limites en termes de communication et l'agencement des étapes et des actions.
- L'organisation des réunions internes et externes m'a permis d'améliorer mes capacités de l'écoute, l'aptitude de négocier et de la collaborer avec différentes parties prenantes.

Ce travail a été concrétisé par la décision d'Alliance-Engineering à passer à l'acte. La modification de la puissance installées est réalisée et les bornes de recharges sont installées.

## V. Références

- RIX, Olivier. Future impact of EVs on the Belgian electricity network. Baringa. 18/11/2019, 20 p. [en ligne] disponible sur:  
[http://www.synergrid.be/download.cfm?fileid=synergrid\\_ev\\_grid\\_impact\\_externalreport\\_v3\\_0.pdf&language\\_code=FRA](http://www.synergrid.be/download.cfm?fileid=synergrid_ev_grid_impact_externalreport_v3_0.pdf&language_code=FRA). (consulté le 25/03/2020).
- RAILLARD, Nicolas. Etude comparative de l'impact carbone de l'offre des véhicules. The shift Project. Paris, 2020, 90 p. [en ligne], disponible sur :  
[https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/02/2020-02-04\\_%C3%89tude-de-limpact-carbone-de-loffre-de-v%C3%A9hicules\\_V1.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/02/2020-02-04_%C3%89tude-de-limpact-carbone-de-loffre-de-v%C3%A9hicules_V1.pdf). (consulté le 25/03/2020).
- QADIRI, Sofia. le véhicule électrique représente-t-il réellement l'avenir de l'automobile ?. l'Atelier BNP PARIBAS, 08-mars-2018. [en ligne], disponible sur :  
<https://atelier.bnpparibas/smart-city/article/vehiculeelectrique-represente-t-il-reellement-avenir-automobile>. (consulté le 27/05/2020).
- GLORIA, Elizabeth Villamil Galvis. Outils d'aide à la décision pour le renouvellement d'une flotte de véhicules. mémoire pour la maîtrise en génie mécanique. Québec, 2014, 214 p. [en ligne], disponible sur :  
<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/24846/1/29951.pdf>. (consulté le 22/04/2020).
- PAPON, Pierre. La voiture électrique : un défi technologique et industriel, Energie Choix Futur. 06-juin-2019. [en ligne], disponible sur:  
<http://pierrepapon.fr/?p=1028>. (consulté le 25/04/2020).
- ROY, Pierre-Olivier Roy. Analyse du cycle de vie comparative des impacts environnementaux potentiels du véhicule électrique et du véhicule conventionnel dans un contexte d'utilisation québécois. Rapport technique. Québec, 249 p. [en ligne] disponible sur :  
<http://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/analyse-comparaison-vehicule-electrique-vehicule-conventionnel.pdf>. (consulté le 22/04/2020).
- GUSBIN, Dominique. Le paysage énergétique belge à l'horizon 2050. Publication du Bureau fédéral du Plan, 2017, 90 p. [en ligne], disponible sur :

<https://www.plan.be/publications/publication-1728-fr-le-paysage-energetique-belge-a-l-horizon-2050-perspectives-a-politique-inchangee>. (consulté le 24/04/2020).

- POUPON, Lénaïc. L'acceptation de la voiture électrique. thèse de doctorat en psychologie, Université de Lyon, 2017, 319 p. [en ligne], disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01587732/document>. (consulté le 30/04/2020).
- Protoscar. Guide d'installation de système de recharge pour véhicule électriques. Suisse, 2020, 64 p. [en ligne], consultable sur [https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/news\\_section\\_file/file/4309/e-mobility-2017\\_guide-installation-systemes-recharge\\_fr.pdf?lm=1510069493](https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/news_section_file/file/4309/e-mobility-2017_guide-installation-systemes-recharge_fr.pdf?lm=1510069493). (consulté le 30/04/2020)
- MESSAGIE, Maarten. Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles. Etude de la VUB (Vrije Universiteit Brussel)-2018.[en ligne] disponible sur : <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/TE%20-%20draft%20report%20v04.pdf>. (consulté le 03/05/2020)
- Agence européenne pour l'environnement. Transport. [en ligne] (modifié le 05/03/2020), [en ligne], disponible sur : <https://www.eea.europa.eu/fr/themes/transport/intro> (consulté le 03/05/2020).
- CREG. Note relative aux évolutions marquantes sur les marchés de gros belges de l'électricité et du gaz naturel en 2019. Bruxelles, 2020, 27 p., [en ligne], consultable sur <https://www.creg.be/fr/publications/note-z2045#:~:text=En%202019%2C%20on%20observe%203690,6%20%E2%82%AC%2FMW%20en%202019>. (consulté 02/05/2020).
- ORES. Guide pratique de la mobilité électrique en Wallonie. Note, Wallonie, 2016. [en ligne], disponible sur : [https://netoresorchardcms.blob.core.windows.net/media/Default/Documents/Vademecum\\_ORES\\_Mobilite\\_FR\\_web.pdf](https://netoresorchardcms.blob.core.windows.net/media/Default/Documents/Vademecum_ORES_Mobilite_FR_web.pdf), (consulté le 02/05/2020).
- Engie Electrabel, Votre guide pour choisir et charger votre voiture électrique à la maison et en entreprise, [en ligne], disponible sur [https://environnement.brussels/sites/default/files/user\\_files/ebook\\_fr\\_laadoplossingen\\_engie\\_electrabel.pdf](https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/ebook_fr_laadoplossingen_engie_electrabel.pdf) (consulté 08/05/2020).

- BERLIER, Edouard. La voiture dite 'propre' l'est-elle vraiment ? Si l'on prend en compte le processus en aval et en amont nous pouvons actuellement dire que non. Mémoire de Master en sciences de gestion. Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain, 2015, 122 p. [en ligne], disponible sur : <https://dial.uclouvain.be/memoire/ucl/en/object/thesis:2734>. (consulté le 08/05/2020).
- Engie-Electrabel. Installation électrique, In : Courant alternatif, courant continu, quelles différences ? . Mise à jour le 16/12/2020 [en ligne], disponible sur : <https://particuliers.engie.fr/electricite/conseils-electricite/comprendre-electricite/courant-alternatif-continu.html>. (consulté le 13/05/2020).
- WARBURG, Niels. Elaboration selon les principes des ACV des bilans énergétiques, des émissions de gaz à effet de serre et des autres impacts environnementaux induits par l'ensemble des filières de véhicules électriques et de véhicules thermiques, VP de segment B (Citadine polyvalente) à l'horizon 2012 et 2020, PE International. Rapport technique. Angers : ADEME, 2013, 283. [en ligne], disponible sur : [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/90511\\_acv-comparative-ve-vt-rapport.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/90511_acv-comparative-ve-vt-rapport.pdf). (consulté le 13/05/2020).
- Commission wallonne pour l'Energie. Comparateur des offres de fournisseurs. (mise à jour 30/04/2020). [en ligne], disponible sur <https://www.compacwape.be>. (consulté le 03/05/2020)
- National Inventory Report Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Avril-2020. [en ligne], disponible sur: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>. (consulté le 30-05-2020).
- Pete Smith et al. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. 2019. [en ligne], disponible sur: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf>. (consulté le 03/06/2020).
- F. Stocker, Thomas et al, Rapport GIEC 2013- CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2013- Les éléments scientifiques. [en ligne], disponible sur :

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf). (consulté le 03/06/2020).

- Site d'information automobile propre [en ligne] disponible sur <https://www.automobile-propre.com/>.