

Travail de Bachelor 2016

Réduire les influences environnementales de la mobilité logistique des cars postaux, pour la région de Sierre, Vercorin et le Val d'Anniviers, par la mobilité électrique



Etudiante : Blerta Bega

Professeur : Stéphane Genoud

Déposé le : 11.07.2016 à Sierre

Résumé managérial

Transports Sierre-Anniviers et Régions Sàrl (TSAR) est le seul transporteur public à desservir le Val d'Anniviers. Il a par conséquent un rôle important tant au niveau de l'offre de transport que sur l'intégration des enjeux environnementaux de la région.

Ce travail de Bachelor a pour objectif de permettre à la société de réduire les influences environnementales liées à son exploitation, à travers l'adoption d'un moyen de propulsion alternatif pour ses cars. Par ailleurs, cette démarche est en parfaite concordance avec les objectifs de la Politique Touristique d'Anniviers et ceux de CarPostal qui est le concessionnaire de la firme.

L'analyse de l'environnement de TSAR et de ses pratiques actuelles permet de déterminer l'existence d'un potentiel d'amélioration de ces pratiques en faveur du développement durable de la région. La recherche documentaire révèle l'existence de différents moyens de propulsions alternatives ayant tous pour enjeu principal, le stockage énergétique. Cela dit, la prise en compte de l'environnement alpin de TSAR limite ces possibilités et permet de sélectionner deux des trois solutions envisagées au départ, soit la propulsion à base d'hydrogène et la propulsion 100 % électrique combinée d'une batterie au lithium.

Suite à cela, une analyse plus détaillée permet de comparer ces deux solutions au mode de propulsion actuel de la firme (diesel), sur la base d'indicateurs de performance découlant des trois sphères du développement durable. Cette analyse démontre que la motorisation électrique combinée d'une batterie au lithium est actuellement la plus appropriée en cas de transition énergétique de la société TSAR.

Finalement, l'enquête qualitative réalisée auprès des clients de TSAR permet d'apporter à la firme des recommandations basées sur les besoins des utilisateurs de ses lignes. Cette enquête démontre également que la majorité des passagers interrogés seraient intéressée par un projet de mobilité durable dans leur région.

Ce travail de Bachelor est un travail pluridisciplinaire effectué en parallèle avec Stéphane Masserey étudiant dans la filière Énergie et techniques environnementales, à la HES-SO à Sion.

Mots-clés : Transports publics, mobilité durable, transition énergétique, électricité, hydrogène.

Avant-propos et remerciements

Étudiante en économie d'entreprise, je cultive depuis de nombreuses années un intérêt particulier pour le développement durable et une volonté de concilier les enjeux durables à ceux de la sphère économique-financière. Mon objectif personnel à travers cette étude était d'identifier des solutions durables compatibles aux transports publics dans les zones montagneuses, qui à priori semble être un environnement critique pour ces nouvelles technologies. Le choix quant à l'entreprise TSAR a été motivé par le professeur Stéphane Genoud.

Les solutions de propulsions alternatives imaginées pour l'environnement de TSAR, sont basées sur une revue de littérature et des projets existants. Cette étape a par ailleurs été très délicate puisque la plupart de ces technologies sont encore en phase exploratoire et que leurs aspects techniques diffèrent souvent d'une source à l'autre. Dans le souci de rester plus objective que possible, il a fallu faire preuve de vigilance dans la récolte et l'analyse de ces données en prenant toujours en compte une certaine marge d'erreur probable. Cette difficulté a également été observée au niveau des informations financières, particulièrement en ce qui concerne le mode de propulsion à l'hydrogène étant donné qu'il s'agit d'un vecteur énergétique encore peu utilisé à ce jour.

Pour la réalisation de cette étude, je tiens premièrement à remercier mon professeur Stéphane Genoud, qui à travers son expérience et précieux conseils a su me guider dans ce domaine relativement nouveau pour moi. Aussi, je tiens à remercier Laurent Flück, la principale personne de contact au sein de TSAR, pour sa disponibilité, son énergie et les nombreuses informations mises à disposition.

Les personnes externes ayant contribué à la réalisation de ce travail étant nombreuses, il est par conséquent impossible de toutes les citer. Je tiens toutefois à remercier personnellement : les professeurs au sein de la HES SO Michel Bonvin, Serge Imboden et Joëlle Mastellic m'ayant fourni des informations précieuses dans les différentes disciplines de cette étude ; Claude Cornaz président de SwissElectricity SA pour son soutien dans la phase financière de cette étude ; Philippe Cina, Nikoletta Seraidou et Olivier Darioli, collaborateurs au sein de CarPostal ; les communes d'Anniviers et de Chalais ainsi que leur office du tourisme ; les interlocuteurs de l'OFEN, de l'OFEV et de l'OFT ; les clients de TSAR ayant participé à mon enquête qualitative et finalement les interlocuteurs des différentes sociétés actives dans la commercialisation des technologies proposées dans ce travail.

Table des matières

Liste des tableaux	v
Liste des abréviations.....	vii
Liste des annexes	viii
1. Introduction.....	9
1.1 Objectifs de l'étude	10
1.2 Motivations	11
1.3 Structure du rapport	11
1.4 Notions théoriques.....	11
2. Présentation du contexte.....	14
2.1 Présentation du projet.....	14
2.2 Le Val d'Anniviers et ses régions	15
3. Portrait de l'entreprise	19
3.1 CarPostal Suisse SA	19
3.2 Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl (TSAR)	21
4. Les solutions étudiées	28
4.1 Le mode de propulsion 100 % électrique.....	29
4.2 Le mode de propulsion « Hydrogène »	47
5. Analyse comparative.....	56
5.1 Facteurs financiers	57
5.2 Efficience énergétique	64
5.3 Facteurs d'exploitation	65
5.4 Bilan environnemental	70
5.5 Aspects sociaux.....	73
5.6 Opportunités futures	78
5.7 Analyse des résultats	81
6. Vers une transition énergétique	83
6.1 Enquête auprès des passagers	83
6.2 Recommandations.....	85
6.3 Budget prévisionnel.....	88
6.4 Proposition d'un plan d'action	89
7. Conclusion.....	91
7.1 Limites de l'étude	92
Bibliographie	94
Annexes	103
Déclaration de l'auteur.....	165

Liste des tableaux

Tableau 1 - Formulaire	13
Tableau 2 - Récapitulatif des informations de base des villages.....	16
Tableau 3 - Nombre de passagers transportés par TSAR de 2013 à 2015	18
Tableau 4 - Taux de remplissage des cars par ligne	23
Tableau 5 - Caractéristiques des trois modèles de bus actuels	25
Tableau 6 - Production solaire : Calcul du prix de revient du kWh.....	33
Tableau 7 - Comparatif entre achat et production d'électricité.....	34
Tableau 8 - Indicateurs financiers pour l'installation de PV	34
Tableau 9 - Comparatif des caractéristiques techniques des batteries LTO et LFP	39
Tableau 10 - Poids des batteries lithium	42
Tableau 11 - Caractéristiques techniques de deux batteries à flux liquides.....	45
Tableau 12 - Coût du kilogramme d'hydrogène livré par Carbagas.....	51
Tableau 13 - Formes de stockage de l'hydrogène	52
Tableau 14 - Analyse comparative : Coûts liés au véhicule	57
Tableau 15 - Analyse comparative : Prix d'achat du bus électrique avec batterie LFP.....	58
Tableau 16 - Analyse comparative : Coût de l'énergie	59
Tableau 17 - Analyse comparative : Calcul de la VAN pour les bus.....	62
Tableau 18 - Analyse comparative : Coûts des bornes de recharge	62
Tableau 19 - Analyse comparative : Efficience énergétique.....	64
Tableau 20 - Analyse comparative : Facteurs d'exploitation	65
Tableau 21 - Analyse comparative : Bilan environnemental	70
Tableau 22 - Analyse comparative : Confort des passagers	73
Tableau 23 - Analyse comparative : Réduction des places debout	74
Tableau 24 - Analyse comparative : Confort des chauffeurs.....	75
Tableau 25 - Analyse comparative : Impacts sur diverses parties prenantes	76
Tableau 26 - Analyse comparative : Opportunités futures	78
Tableau 27 - Analyse comparative : Rendements actuels et futurs des équipements.....	79
Tableau 28 - Plan d'action	89

Liste des figures

Figure 1 - Formule de la VAN	12
Figure 2 - Formule du Payback	13
Figure 3 - Évolution démographique de la commune d'Anniviers et de canton du Valais	16
Figure 4 - Évolution des nuitées d'Anniviers 2011 - 2015.....	17
Figure 5 - Interactions entre TSAR et CarPostal.....	24
Figure 6 - Champ de l'étude	28
Figure 7 - Chaîne de rendement propulsion électrique	29
Figure 8 - Surface exploitable par les PV	32
Figure 9 - Performance des différentes familles de batteries	35
Figure 10 - Évolution de la demande mondiale en lithium par secteurs	37
Figure 11 - Compatibilité de la charge lente avec l'environnement de TSAR	41
Figure 12 - Compatibilité de la charge rapide avec l'environnement de TSAR.....	43
Figure 13 - Chaîne de rendement propulsion hydrogène	47
Figure 14 - Fonctionnement d'un car H ₂	48
Figure 15 - L'électrolyse de l'eau	49
Figure 16 - Fonctionnement de la pile à combustible (simplifié)	52
Figure 17 - Évolution du prix du lithium entre 2015 et 2016.....	68
Figure 18 - Résultat de l'analyse comparative	82

Liste des abréviations

AFD	Administration fédérale des douanes
CAPEX	Coûts d'investissement. (En anglais : <i>capital expenditure</i>)
CHIC	Projet européen. <i>Clean Hydrogen In European Cities</i>
COMO	Bureau de coordination pour la mobilité durable
dB	Décibel. Unité permettant de mesurer l'intensité du son
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
H ₂	Symbole de l'hydrogène
HES-SO	Haute École spécialisée de Suisse occidentale
kWc	Kilowatt-crête
kWh	Kilowatt-heure
LApEL	Loi sur l'approvisionnement en électricité
LFO	Lithium fer phosphate
Limpmin	Loi sur l'imposition des huiles minérales
LTO	Lithium titanate oxide
LTV	Loi sur le transport de voyageurs
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFT	Office fédéral des transports
OFS	Office fédéral de la statistique
OPEX	Coûts d'exploitation. (En anglais : <i>operational expenditure</i>)
OETV	Ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers
PV	Panneaux solaires photovoltaïques
R&D	Recherche et développement
RPLP	Redevances sur le trafic des poids lourds
TRI	Taux de rendement interne
TSAR	Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl
VAN	Valeur actuelle nette

Liste des annexes

Annexe I : Informations relatives à la Commune d'Anniviers	103
Annexe II : Normes EURO - Antipollution	105
Annexe III : Calcul de l'entrepreneur CarPostal - 2015	106
Annexe IV : Comptes annuels TSAR 2014	119
Annexe V : Taux de remplissage des cars par lignes	127
Annexe VI : Tarif de l'électricité 2016 Sierre-Énergie SA	135
Annexe VII : Bornes de recharge électriques - Liste de prix	136
Annexe VIII : Électrolyseur - Offre de prix de McPhy	137
Annexe IX : Station de recharge à hydrogène - Offre de prix de McPhy	138
Annexe X : Production électrique - Scénarios	139
Annexe XI : Production d'H ₂ à travers électrolyseur - Scénarios	140
Annexe XII : Énergie électrique nécessaire à la production d'H ₂ - Scénarios	141
Annexe XIII : Calcul de la VAN pour les véhicules	143
Annexe XIV : Bilan environnemental	144
Annexe XV : Notation et résultats de l'analyse comparative	145
Annexe XVI : Budget prévisionnel	147
Annexe XVII : Retranscription des entretiens qualitatifs	148
Annexe XVIII : Sujet et mandat du travail de Bachelor	158

1. Introduction

Depuis des millions d'années, les sous-sols de notre planète ont stocké d'importantes quantités de ressources dites fossiles, telles que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel. Ces agents énergétiques qui sont le fruit de la transformation naturelle de matières organiques, sont considérés comme non renouvelables du fait de leur durée de reproduction qui nécessiterait des millions d'années supplémentaires. D'après le rapport *La disponibilité du pétrole à long terme* publié par l'Union Pétrolière suisse, l'homme aurait consommé en un siècle, l'équivalent du quart des réserves pétrolières disponibles sur la planète (Union Pétrolière suisse, 2016). De récentes études affirment cependant que ces réserves devraient pouvoir assurer les besoins énergétiques de la population au moins jusqu'en 2100. Bien que repoussée par la découverte de nouveaux gisements pétroliers, la fin de l'ère pétrolière sera toutefois une réalité d'ici quelques dizaines d'années, entraînant ainsi de nombreuses conséquences pour l'ensemble de notre société, dont la prospérité économique a évolué « grâce » à l'utilisation de ces énergies.

L'épuisement des énergies fossiles affecterait également le domaine du transport et plus précisément dans le cas qui nous intéresse, le transport routier, qui dépend des carburants fossiles à hauteur de 96 % (Secrétariat de l'État à l'économie [SECO], 2012). En 2010, notre planète a franchi le cap des un milliard de véhicules. Cette évolution, constatée depuis quelques dizaines d'années, est exceptionnelle. En effet, le nombre de véhicules supplémentaires recensés chaque année augmente de plus en plus. Cette explosion du nombre de véhicules n'est pas sans conséquence pour notre planète puisqu'elle entraîne directement la hausse de consommation de carburants fossiles et donc d'émissions de CO₂. Aussi, les déplacements touristiques ainsi que le trafic alpin ont également un rôle dans l'accroissement de la mobilité et cela n'est pas près de s'arrêter d'aussitôt. Selon l'article *Mobilité touristique et durabilité dans les Alpes suisses* (Matos-Wasem, R., 2006), les déplacements de voyageurs en suisse devraient connaître un accroissement allant de 15 à 29% jusqu'en 2030. Cette même source affirme que les déplacements touristiques et de loisirs représentent de nos jours, un peu moins de la moitié des déplacements effectués et devraient augmenter jusqu'à 46%, d'ici 2030. Ceci au même niveau que le trafic alpin, qui devrait quant à lui connaître une augmentation allant jusqu'à 45% (Matos-Wasem, R., 2006).

Selon le rapport *Mobilité et transports* la part des émissions totales de CO₂ attribuée aux transports s'élève à 37%, dont 33% concerne les transports routiers publics et privés. Ce document nous apprend aussi que la part des émissions de CO₂ attribuée aux transports a augmenté de 13% entre 1990 et 2010 (Office fédéral de la statistique [OFS], Office fédéral du développement territorial [ARE], 2012). Ceci entraîne directement des problèmes sanitaires pour la santé humaine et animale et affecte l'ensemble de notre végétation. Cette liste des externalités négatives découlant des transports actuels est non exhaustive. En effet, outre les aspects écologiques et environnementaux, la dépendance aux énergies fossiles repose également sur un enjeu financier, dans la mesure où nous sommes totalement dépendants des variations de prix du pétrole, du gaz, etc.

Pour contrer les aspects négatifs liés aux transports et aux menaces d'approvisionnement futures, la Confédération a fixé, à travers sa Stratégie 2050, des objectifs ambitieux destinés à réduire les émissions de CO₂ par des mesures d'efficacité énergétique. Pour le secteur du transport, l'incitation à la mobilité douce et mobilité électrique est de rigueur, ceci à travers l'investissement dans des infrastructures spécifiques, telles que les stations de recharge. La taxe CO₂ est un autre instrument utilisé par la Confédération dans cette Stratégie 2050 visant les véhicules de tourisme. Il est cependant tout à fait envisageable que dans un avenir proche, cette taxe s'applique aussi aux transports lourds tels que les bus et camions.

Face à ces problématiques, les constructeurs de véhicules tentent d'imaginer une nouvelle ère automobile. Cela passe entre autres par le remplacement des moteurs thermiques par la propulsion électrique, l'utilisation de diverses formes de batteries rechargeables permettant le stockage d'une énergie « verte » et l'hydrogène. Toutefois ces solutions prometteuses ont encore du mal à démarrer, ceci essentiellement pour des questions financières et d'autonomie. De plus ces technologies sont souvent destinées au transport urbain et très rarement aux zones de montagne. En d'autres termes, il existe bel et bien des solutions de substitution mais elles comportent chacune des limites pour pouvoir être adoptées à plus haut niveau. Les limites principales sont souvent le manque de maturité de la technologie ou alors les coûts d'investissement de départ trop importants. TSAR est également touchée par ces problématiques environnementales puisque qu'elle n'exploite à ce jour, que des véhicules thermiques à base de diesel. Ce mode de propulsion étant polluant et non viable sur le long terme, il est par conséquent primordial pour la firme d'envisager petit à petit une transition énergétique vers une mobilité plus durable.

1.1 Objectifs de l'étude

Ce travail destiné à la flotte de véhicules du transporteur local TSAR, a pour principal objectif d'analyser des solutions d'alimentation alternatives potentiellement compatibles à son environnement et de sélectionner celle qui semble la mieux adaptée, sur la base de plusieurs indicateurs de performance. Aussi, il convient d'évaluer les coûts et la rentabilité de ces différents moyens de propulsion. Une analyse financière est donc menée au niveau des coûts que pourraient engendrer les solutions envisagées pour la firme.

Une analyse est aussi effectuée sur le plan de l'efficacité énergétique de chaque technologie ainsi qu'au niveau de leurs impacts environnementaux. L'adoption de l'une de ces technologies, devrait permettre à la société de réduire son impact CO₂ mais aussi de devenir indépendante face aux énergies fossiles. Finalement, l'un des défis de cette étude consiste également à amener une plus-value pour l'ensemble des passagers et les institutions locales. L'adoption de l'une de ces solutions devra permettre à l'entreprise de réduire ses émissions de CO₂ sans pour autant compromettre la qualité de son service actuel vis-à-vis de ses clients. Ainsi, il convient d'apporter des recommandations au transporteur pour tenter maintenir, voire d'accroître la qualité de son service.

1.2 Motivations

Mes motivations quant au choix du sujet sont nombreuses. D'une part, il y avait la volonté que mon travail de Bachelor puisse apporter une plus-value réelle à une entreprise à travers les solutions proposées et la mise en avant des opportunités futures pour son exploitation. D'autre part, mon intérêt pour le développement durable et la gestion des énergies m'a guidé dans le choix de mon option principale de dernière année intitulée Energy Management. L'idée était donc d'appliquer les connaissances théoriques acquises à travers cette option, à un cas réel en entreprise. La pluridisciplinarité de ce projet a également été un facteur m'ayant guidé dans mon choix. En effet, j'apprécie particulièrement le fait que ce travail fasse appel à des connaissances en énergie mais également en finance, en marketing et en stratégie d'entreprise. Ce fut un travail passionnant sur l'ensemble de ces aspects. D'autre part, je pense qu'il est primordial de sensibiliser la société aux défis environnementaux futurs auxquels nous serons confrontés. J'espère donc que ce projet permettra d'interpeler les personnes qui le liront et leur fera prendre conscience qu'il existe des solutions alternatives à la mobilité actuelle qui n'est pas viable sur le long terme.

1.3 Structure du rapport

La première partie de ce travail fait l'objet d'une analyse de l'existant. À ce stade, sont présentés les différentes informations relatives à l'activité de l'entreprise, que ce soit ses pratiques d'exploitation actuelles ou l'environnement touristique dans lequel elle interagit. Deuxièmement, ce sont les solutions de propulsion alternatives qui seront développées. Le but de cette deuxième partie du rapport est de prendre connaissance des modes de propulsion alternatifs qui existent en termes de motorisation électrique et de présélectionner ceux qui d'après, une première analyse, semblent les plus pertinents pour l'environnement de TSAR.

Une fois les modes de propulsion présélectionnés, ils seront analysés de manières plus approfondies sur la base de divers critères spécifiques. Cette analyse permettra de sélectionner la solution qui semble correspondre au mieux aux besoins de la firme. La dernière partie de ce rapport a pour but d'accompagner l'entreprise dans la mise en place de ce système et l'intégration de ce dernier dans l'environnement du Val d'Anniviers. Pour ce faire, des recommandations seront apportées à la firme ainsi qu'un plan d'action.

1.4 Notions théoriques

Tout au long de ce travail, plusieurs indicateurs financiers seront utilisés, ceux-ci permettront notamment de déterminer si un investissement est rentable. Certains calculs seront également accompagnés de scénarios. Leur but étant de d'intégrer des variables pouvant influencer ces résultats. Outre les indicateurs financiers, cette étude nécessite également une certaine connaissance du domaine des énergies. Les principales notions relatives à la mesure énergétique utilisées tout au long de cette étude, sont présentées en point 1.4.4.

1.4.1 Valeur actuelle nette (VAN)

La VAN est un indicateur financier qui permet de démontrer si les flux économiques (cash flows) générés tout au long de la durée de vie de l'installation seront suffisants à couvrir l'investissement initial. Il est le résultat de la différence entre le coût de l'investissement et la valeur actuelle des flux économiques générés par ce dernier. Si les flux économiques actualisés sont plus élevés que le montant du capital investi, la VAN sera alors positive. Ce qui est synonyme d'un investissement rentable. En cas de comparaison entre plusieurs alternatives d'investissement possibles, celui ayant la VAN la plus élevée sera favorisé sur le plan de la rentabilité économique. (Leimgruber & Prochinig, 2009, p. 143). Cet indicateur sera utilisé pour l'analyse économique d'une installation photovoltaïque en chapitre 4.1.1.2 ainsi qu'à l'analyse comparative des modes de propulsion alternatifs proposés à l'entreprise, en chapitre 5.1.1.4. Voici la formule permettant de calculer la VAN.

Figure 1 - Formule de la VAN

$$\text{Valeur actuelle nette (VAN)} = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t} - C_0$$

Source : Leimgruber & Prochinig, *La comptabilité comme instrument de gestion* (2009), p. 143

N	Durée d'utilisation
CF_t	Excédent de recettes (cash flows) à l'année t
P	Taux d'intérêt en pourcent
Indice t	Nombre d'année de 1 à N
C_0	Capital investi initialement

La valeur actuelle nette peut également se calculer sur le tableur Excel qui propose une fonction VAN construite de la manière suivante : =VAN(*taux d'intérêt; plage de données* avec l'ensemble des cash flows)-investissement initial. Dans ce travail, le calcul de la VAN est effectué via cette fonction informatique.

1.4.2 Taux de rendement interne (TRI)

Selon le manuel *La comptabilité comme instrument de gestion*, le taux de rendement interne est le taux d'intérêt avec lequel les cash flows actualisés correspondent aux capitaux investis » plus précisément avec lequel le résultat de la VAN est égal à zéro (Leimgruber & Prochinig, 2009, p. 151). C'est donc un indicateur complémentaire à la VAN qui permet de mesurer le taux de rendement généré par un investissement. Pour qu'un investissement soit rentable, il faut que le TRI soit supérieur au taux d'intérêt appliqué par les banques et autres institutions financières.

Le TRI sera également calculé via le tableur Excel à l'aide de la fonction TRI dont la syntaxe est : =TRI(*plage contenant les cash-flows*)

1.4.3 Payback ou délai de récupération

Cet indicateur sert à déterminer le nombre d'années nécessaires à récupérer la somme investie dans un projet. Il faut donc que le délai de récupération soit inférieur à la durée d'utilisation du bien, pour que l'investissement soit jugé acceptable. En cas de comparaison entre plusieurs investissements, celui qui représente le délai de récupération le plus faible sera privilégié (Leimgruber & Prochinig, 2009, p. 135). La formule permettant de calculer le payback est la suivante :

Figure 2 - Formule du Payback

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Total Investment}}{\text{Cash inflow (net profit)}}$$

Source : RF Wireless World, PMP Formula for PMP Exam (2016)

Le taux de rendement interne ainsi que le délai de récupération seront uniquement utilisés au chapitre 4.1.1.2 pour la production énergétique à partir de panneaux solaires photovoltaïques.

1.4.4 Notions de base de l'énergie

Tableau 1 - Formulaire

Énergie	Joule (J)	= unité de l'énergie ou de travail.
Mesure de la puissance	Watt (W)	= unité de puissance. 1 W = 1 joule/seconde. Il s'agit de la quantité d'énergie électrique consommée par seconde.
	Kilowatt (kW)	1'000 Watts
	Mégawatt (MW)	10 ⁶ Watts
	Gigawatt (GW)	10 ⁹ Watts
	Térawatt (TW)	10 ¹² Watts
Mesure de l'énergie	Watt-heure (Wh)	= unité de l'énergie électrique totale consommée. Énergie = puissance * temps
	Kilowatt-heure (kWh)	1'000 Watts-heure

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples

- ThermExcel, Tableau conversions des unites de mesures (2016)
- Energie Environnement, Il ne faut pas confondre "watt" et "kilowattheure" (2016)

2. Présentation du contexte

Le deuxième chapitre consiste en premier lieu à présenter ce projet pluridisciplinaire ainsi que la méthodologie adoptée pour sa réalisation. Puis finalement, la région du Val d'Anniviers est présentée, ceci dans le but de mieux comprendre l'environnement dans lequel tout ce projet a été imaginé.

2.1 Présentation du projet

Dans la perspective de restituer au mandant un document complet tant sur le plan économique que technique, ce projet a été réalisé en parallèle avec Stéphane Masserey, étudiant en Énergie et techniques environnementales. Nous avons donc tous deux, dans le cadre de notre travail de Bachelor, travaillé sur la même problématique mais avec deux approches distinctes. En effet, Stéphane Masserey s'est particulièrement penché sur les questions techniques des modes de propulsion alors que moi, étudiante en économie de gestion, me suis principalement consacrée aux aspects économiques et managériaux de ces technologies. Pour atteindre cet objectif commun, il était de rigueur que nos travaux de Bachelor soient complémentaires et suivent une ligne directrice plus au moins semblable. Dans un souci de synergie maximale, la collaboration et les échanges d'idées ont été fondamentaux. Régulièrement, des entrevues et des communications téléphoniques étaient organisées afin de nous mettre d'accord sur des actions à entreprendre ou tout simplement pour échanger des informations étudiées par chacun de nous. Malgré des situations parfois délicates rencontrées lors de cette collaboration, ce fut un travail très enrichissant et je remercie particulièrement Stéphane Masserey de m'avoir épaulée avec ses connaissances dans le domaine.

« Effectuer un travail de telle ampleur à deux, a été un grand challenge pour chacun de nous. Une approche différente liée à nos formations respectives a toutefois permis de compléter ce travail sur plusieurs tableaux et par la même occasion d'enrichir nos propres connaissances »

(Stéphane Masserey, communication personnelle, 1^{er} juillet 2016)

Le développement d'une mobilité propre est durable est un sujet d'actualité qui fait de plus en plus l'objet de conférences et manifestations diverses en lien avec le développement durable et la gestion des énergies. Avec Stéphane Masserey nous avons eu la chance de participer à plusieurs de ces conférences notamment dans le cadre des *Swiss Mobility Days* à Martigny, qui nous ont apporté une approche plus concrète sur divers projets réalisés ou en cours de réalisation, dans le domaine de la mobilité et des solutions d'alimentation alternatives.

2.1.1 Méthodologie

Pour atteindre les objectifs fixés, l'étude est composée de quatre parties différentes.

Dans la première partie de ce travail, il est question de d'analyser l'environnement de TSAR. C'est-à-dire le fonctionnement de la société, son réseau d'exploitation ainsi que les parties prenantes avec lesquelles elle interagit. Ce modèle d'analyse permet de déterminer les influences que peut avoir l'environnement de TSAR dans le choix de la technologie de propulsion alternative. Pour mener à bien cette première étape, de nombreux entretiens avec Laurent Flück et les collaborateurs de CarPostal sont organisés. Une récolte d'information est également établie auprès des communes d'Anniviers et de Chalais concernant les aspects démographiques et touristiques de ces régions.

La seconde phase de ce travail fait l'objet d'une étude documentaire dont le but est d'aider à comprendre le fonctionnement des différents modes de propulsions alternatifs envisagés pour l'entreprise et d'identifier certains projets existants, en termes de motorisation électrique et de propulsion à l'hydrogène. Cette étape permet également d'écarter les technologies qui s'avèrent incompatibles à l'environnement spécifique de TSAR, du champ de l'analyse.

En troisième partie, l'analyse comparative des moyens de propulsion révélés par la recherche documentaire est établie. Cette analyse est basée sur des indicateurs de performance et une approche multicritère permettant la comparaison des différents modes de propulsion au mode diesel. La technologie la mieux appropriée aux besoins des cars postaux desservant le Val d'Anniviers, est sélectionnée grâce à un système de pondération, en fonction des indicateurs de performance.

La dernière partie de ce travail a pour but d'accompagner la firme dans une transition énergétique pour sa flotte de véhicule à travers des recommandations. Elle comprend dans un premier temps, une enquête qualitative menée auprès des passagers de TSAR. Le but de cette enquête est d'évaluer leur perception quant à la qualité du service offert par le transporteur et d'identifier des besoins supplémentaires. Cette démarche permet d'apporter des recommandations établies entre autres sur la base des besoins des clients. Les recommandations sont accompagnées d'un plan d'action et permettent de guider la société TSAR dans la transition énergétique proposée.

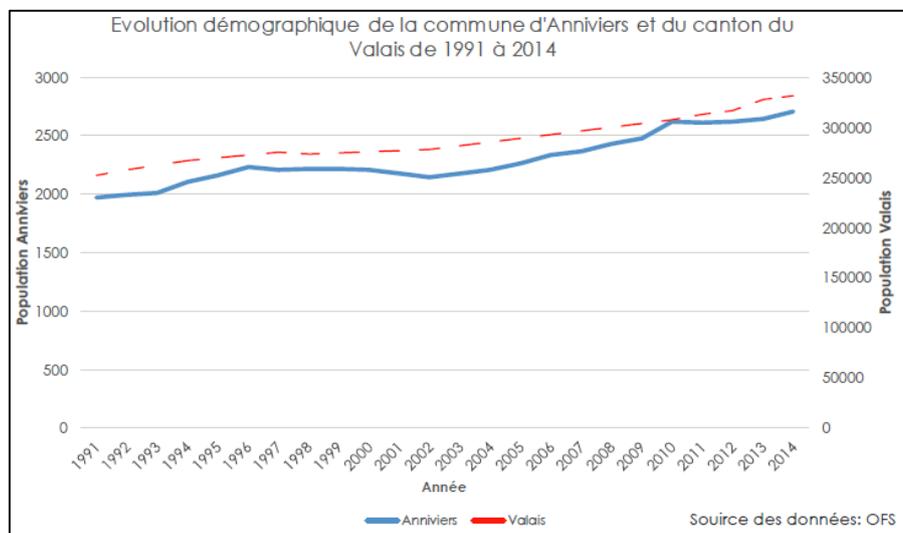
2.2 Le Val d'Anniviers et ses régions

2.2.1 Structure géographique et démographique

Le Val d'Anniviers est une région touristique située dans le district de Sierre, dans le canton du Valais. En 2009, la fusion des communes de Grimetz, Saint-Jean, Ayer, Vissoie, Saint-Luc et Chandolin a donné naissance à la commune d'Anniviers telle qu'on la connaît aujourd'hui. Cette commune comprend un total de 15 villages qui font de ce territoire le quatrième plus grand de Suisse. La population résidente à l'année dans la commune d'Anniviers, s'élève à environ 2700 habitants

(Anniviers Tourisme, 2015). Le graphique ci-dessous démontre un accroissement plus au moins régulier des habitants résidants dans cette commune au même niveau que la population valaisanne.

Figure 3 - Évolution démographique de la commune d'Anniviers et de canton du Valais



Source : Commune d'Anniviers, Politique Touristique (2015)

Rattaché à la commune de Chalais, le village de Vercorin a intégré, il y a six ans, les zones géographiques exploitées par TSAR et fera donc également partie du périmètre de cette étude. Situé à 1334 mètres d'altitude, ce village compte environ 600 habitants résidants à l'année.

Tableau 2 - Récapitulatif des informations de base des villages

	Altitude	Nombre habitant à l'année (2015)	Nombre de lits touristiques	Nombre nuitées touristiques 2015
Anniviers	1'202 m	2371	22'623	707'722
Vercorin	1'334 m	595	5'000	92'000

Source : Tableau de l'auteur provenant des communes d'Anniviers et de Chalais

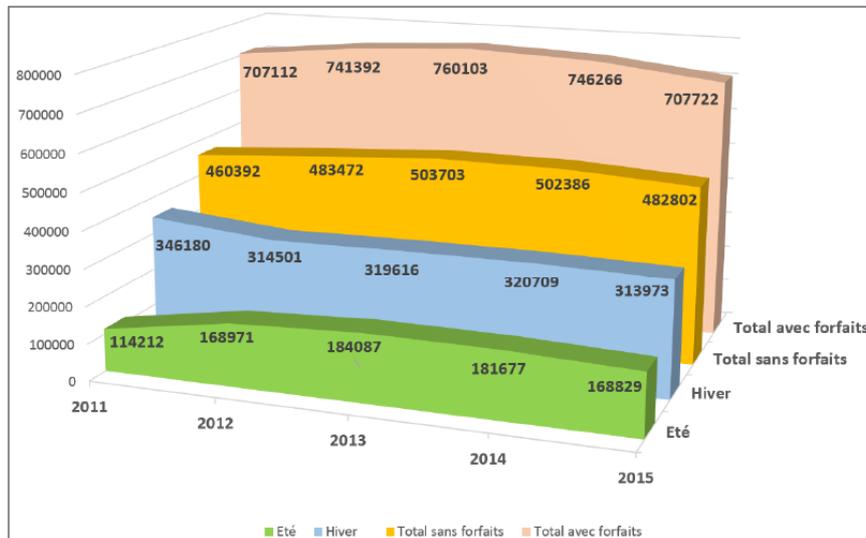
2.2.2 Le tourisme dans la région

Grâce aux flux touristiques, la commune d'Anniviers peut atteindre des pics de fréquentation allant jusqu'à 24'000 touristes par année (Anniviers tourisme, 2015). En effet, en hiver comme en été, cette région, particulièrement attractive pour les visiteurs suisses et étrangers, leur offre une large panoplie d'activités diverses et variées. Parmi elles, quatre stations de ski (Chandolin, Grimenz, St-Luc et Zinal), des nombreuses pistes de luges et de VTT, des patinoires et des centaines de kilomètres de sentiers pédestres pour les amateurs de randonnées.

Le graphique ci-dessous démontre l'évolution des nuitées touristiques dans la commune entre les années 2011 à 2015. Ce schéma peut être important pour le transporteur local dans la mesure où il

peut anticiper l'évolution des touristes dans la région et ainsi adapter son offre de transport. Ce graphique démontre qu'en 2015, les nuitées touristiques ont sensiblement baissé.

Figure 4 - Évolution des nuitées d'Anniviers 2011 - 2015



Source : Anniviers Tourisme, Fiche d'identité Anniviers (2015)

2.2.3 La mobilité dans la région

Pour répondre aux besoins des habitants en termes de transport et offrir aux touristes des moyens de déplacements adaptés à leurs besoins, la commune d'Anniviers mise principalement sur les services de Transport Sierre Anniviers et région Sàrl (TSAR), unique transporteur public à desservir cette région. En période hivernale, des offres spéciales en matière de transport sont proposées aux habitants et touristes de la région, leur offrant la gratuité dans leurs déplacements jusqu'aux stations de ski. Cette action vise entre autres à soutenir le tourisme local et l'attractivité de la Vallée. Des informations obtenues à travers CarPostal révèlent que, dans le Val d'Anniviers, la mobilité touristique ou de loisirs représente à peu près la moitié des déplacements effectués par TSAR. Ce qui démontre l'importance des services du transporteur dans la sphère touristique de la région.

D'après la Politique Touristique d'Anniviers, l'offre de transport public dans cette région serait même insuffisante par rapport au nombre d'habitants à l'année qui ne fait que s'accroître et aux fréquentations touristiques très importantes mais plus au moins stables. Si bien qu'ils ont fait de ce problème l'un de leur enjeu qui consiste à « développer les infrastructures manquantes, les aménagements et la mobilité, mais de manière rationnelle, coordonnée et planifiée ». La mesure accompagnant cet enjeu consiste à établir une planification comprenant entre autres un plan de mobilité (Anniviers Tourisme, 2015). Une propulsion plus viable et écologique pour les cars sillonnant cette région pourrait sans doute être l'un des objectifs de ce plan de mobilité. Ce travail de Bachelor pourrait aider Anniviers Tourisme dans la réalisation de ce plan de mobilité et de ce fait, atteindre cet objectif fixé.

Le rôle de TSAR

TSAR est le seul transporteur public à relier quotidiennement l'ensemble des villages du Val d'Anniviers, à la ville de Sierre. Il est par conséquent un acteur très important influençant la vie quotidienne des habitants, écoliers et touristes. L'évolution quant à l'utilisation des transports publics dans la région a été estimée grâce aux statistiques de fréquentation des lignes du Val d'Anniviers, fournies directement par Car Postal Sion. Ces statistiques démontrent le nombre de passagers ayant été transporté par les cars postaux au cours des trois dernières années.

Tableau 3 - Nombre de passagers transportés par TSAR de 2013 à 2015

N° de lignes	2013	2014	2015
12.451 Sierre - Vissoie & 12.453 Vissoie - Zinal	197 436	149 248	182 638
12.452 Vissoie - Grimentz	87 594	63 751	80 409
12.454 Vissoie - Chandolin	93 446	68 234	89 578
Totaux des passagers annuels	378 476	281 233	352 625

Source : Tableau de l'auteur provenant de CarPostal Sion

Ce tableau démontre que les fréquentations sur les lignes n'ont pas suivi une évolution régulière, ces dernières années. Nous pouvons toutefois constater la hausse du nombre de passagers transportés par TSAR durant l'année 2015. Il aurait été intéressant d'évaluer l'évolution des fréquentations sur une plus longue période, cependant les statistiques n'ont malheureusement pas été obtenues de la part de CarPostal.

2.2.4 Protection de l'environnement

L'adoption de l'une ou l'autre des solutions présentées dans cette étude, devrait permettre à l'entreprise de réduire ses émissions de CO₂ (cf. bilan carbone à l'Annexe XIV). Ceci pourrait être une valeur ajoutée pour l'ensemble de la région et ses parties prenantes. Car en plus de contribuer à la santé des habitants qui seraient moins sujets à l'émission de toutes sortes de particules toxiques, ce projet permettrait de conserver cette région en lui évitant une pollution due au gaz à effet de serre et aux impacts sonores des véhicules diesel. Un tel engagement pourrait avoir une influence sur l'attractivité touristique de cette région grâce aux visiteurs curieux et sensibles aux gestes éco-responsables. De plus, cette action entre parfaitement en adéquation avec la politique environnementale de la commune très investie dans l'efficacité énergétique.

3. Portrait de l'entreprise

Dans ce chapitre, il sera question de présenter Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl dans son ensemble, en partant de la présentation CarPostal Suisse SA, allant jusqu'à la description de son propre réseau d'exploitation. Cette partie permet d'avoir une vue d'ensemble sur les pratiques de la société ainsi que sur sa flotte de véhicules actuelle.

3.1 CarPostal Suisse SA

CarPostal SA est une entreprise Suisse dont l'activité débute en 1849 « avec la mise en place d'un réseau de diligences postales » (PostAuto, 2016). C'est en 1906 qu'a lieu le premier convoi postal entre Berne et Dettingen. Aujourd'hui, l'entreprise est présente sur l'ensemble du territoire national mais pas seulement. En effet, les véhicules jaunes circulent également dans la Principauté de Lichtenstein et dans la ville de Dole située en France voisine. D'après le Rapport d'activité 2015, Car Postal a transporté près de 145 millions de voyageurs cette même année sur plus de 877 lignes. Cela permet à la firme d'occuper une place de leader national dans son activité de base qui est le transport de voyageurs sur le réseau routier. Outre les personnes, les cars jaunes transportent également le courrier dans les villages de montagne.

CarPostal Suisse SA est une société anonyme appartenant au groupe de La Poste entièrement détenu par la Confédération. C'est ainsi que CarPostal bénéficie du soutien financier de la part des cantons et de la Confédération sous forme d'indemnités, aussi appelées subventions. « La subvention versée correspond au déficit planifié par l'entreprise de transport en début de période. L'argent est versé en avance par l'OFT, l'entreprise gardant pour elle le surplus ou la perte le cas échéant. » (OFT, 2016). Cette forme juridique offre d'une part, une certaine sécurité à CarPostal SA dans la mesure où la décision de mise en faillite de la firme appartient uniquement à la Confédération. Mais d'un autre côté, ce type d'organisation est une source de frein dans la prise des décisions importantes en rapport avec la stratégie ou le fonctionnement de l'entreprise (Postauto 2016). Comme prévu par l'article six de la Loi sur le transport de voyageurs (LTV), la Constitution Suisse accorde la concession de transport à la Poste, qui la délègue ensuite à des entrepreneurs locaux. Pour assurer sa présence sur l'ensemble du territoire et offrir aux voyageurs une proximité avec leur transporteur, CarPostal a développé un réseau de partenariat avec des transporteurs locaux dont il est devenu concessionnaire. Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl en est l'un des exemples.

3.1.1 Implication environnementale

Sensible aux impacts environnementaux causés par le transport routier, CarPostal s'est fixé un objectif à long terme, très ambitieux et parfaitement en adéquation avec ce Travail de Bachelor, qui consiste à assurer son indépendance par rapport aux combustibles fossiles de son parc de véhicules. Pour ce faire, CarPostal participe à l'un des nombreux projets soutenus par l'UE intitulé « CHIC (Clean Hydrogen in European Cities) - hydrogène propre dans les villes européennes » (Postauto, 2016). Dans

le cadre de ce projet, cinq cars jaunes munis d'une pile à combustible sillonnent, depuis 2011, les routes de plaine de la ville de Brugg dans le canton d'Argovie. Financé par CHIC et l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), ce projet permet à CarPostal d'être la première société suisse de transports publics de voyageurs à utiliser des cars munis d'une pile à combustible (Postauto, 2016). Ce projet de cinq ans, qui prendra fin en décembre 2016, s'avère jusqu'à présent très positif et tout à fait viable. En effet lors d'une conférence donnée lors des Mobility Days à Martigny, Philippe Cina, Responsable Développement & Qualité de CarPostal, a livré un constat très positif du projet. Que ce soit sur le plan technique ou du confort des passagers, ce type de propulsion semble tout à fait envisageable à l'avenir et ce, même pour les régions en altitude. Plus de détails relatifs à ce projet seront présentés au chapitre 4.2.6.

Mise à part le projet de Brugg, CarPostal s'engage de différentes manières à la protection de l'environnement. Comme par exemple via l'achat de plus en plus conséquent de véhicules hybrides pour le transport des passagers en plaine. En effet, d'après le Rapport d'activité de 2015, CarPostal compte bien tester de nouvelles propulsions alternatives pour ses cars (Rapport d'activité, 2015). La formation des chauffeurs à *l'Eco-Drive* est aussi l'un des nombreux engagements de CarPostal en termes de protection de l'environnement, dans la mesure où la conduite du véhicule peut jouer un rôle très important dans la consommation de carburant et donc directement dans l'émission de particules toxiques liées à cette combustion. Depuis 2013, des cours de conduite écologique sont donnés par des Eco-coachs spécialisés aux chauffeurs des véhicules. En plus de ces cours théoriques, les coachs accompagnent régulièrement les chauffeurs, analysent leur manière de conduire et leur transmettent des conseils permettant de réduire l'impact de leur conduite en faveur de l'environnement (Postauto, 2016)

Depuis le début des années 2000, l'ensemble des véhicules circulant en Suisse doivent répondre à la norme européenne antipollution dite « EURO ». L'enjeu d'une telle réglementation est de limiter l'émission de toutes sortes de particules toxiques des véhicules roulant à base de diesel ou d'essence. D'après la recherche documentaire, cette norme devient de plus en plus contraignante envers les constructeurs automobiles les obligeant à fabriquer des véhicules toujours moins polluants (DETEC, 2016). Actuellement et depuis janvier 2014, la dernière norme à laquelle doivent répondre les véhicules diesel circulant en Suisse est la norme EURO-6.

CarPostal est également concerné par cette norme. Peu de temps après l'implantation de la norme EURO-6, pratiquement la moitié de la flotte de CarPostal répondait aux normes EURO-5 ou EURO-6. Le reste des véhicules ne répondant pas à ces normes étaient essentiellement des véhicules de remplacement ou utilisés pour des courses spéciales (Postauto, 2016). Selon le mandant Laurent Flück, la totalité des véhicules exploités par TSAR répondent à la norme EURO-5. Toutefois, bien que cet engagement de la part de CarPostal permette de réduire les particules polluantes émises par ses véhicules, cela ne règle pas complètement le problème. En effet, l'utilisation de carburants fossiles amène automatiquement à une émission de particules polluantes, que ce soit en début de chaîne,

c'est-à-dire au moment de l'extraction et traitement de la matière, ou au niveau de la consommation finale par le véhicule. Les différentes normes antipollution EURO sont présentées à l'Annexe II.

3.2 Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl (TSAR)

Situé dans la ville de Sierre, TSAR assure les convois pour la région de Vercorin, Sierre et le Val d'Anniviers depuis 1935. Au début de sa création il s'agissait d'une entreprise familiale nommée Hilaire Epiney et Fils SA qui assurait non seulement les convois de personnes dans cette région valaisanne, mais également des convois par camions (Médiathèque Valais Martigny, 2016). À cette époque, tous les villages n'étaient desservis pas en raison de leur situation géographique difficilement accessible et ce particulièrement en hiver. Par exemple, les villages de Zinal et Chandolin étaient desservis exclusivement durant la période estivale. Aujourd'hui, grâce aux avancées mécaniques, les véhicules jaunes sillonnent régulièrement l'ensemble des zones de la région, même en hiver. Cette société de transport compte au total 21 collaborateurs, parmi lesquels trois travaillent sur les lignes de Vercorin, et 18 sur les lignes du Val d'Anniviers. Sur ces 18 derniers, sept sont employés de manière saisonnière pour assurer les lignes spéciales hivernales. Contrairement à d'autres entrepreneurs locaux, Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl travaille uniquement au service de CarPostal Suisse SA. Cette dernière a donc une certaine mainmise sur l'entrepreneur en cas de décisions importantes ou de réformes (Laurent Flück, communication personnelle, 2016).

TSAR est une société de service public essentiellement financée par CarPostal elle-même, soutenue par la Confédération et le canton. Les recettes de l'entrepreneur sont par conséquent reversées à CarPostal. C'est pour cette raison que TSAR ne dégage pas ou très peu de bénéfice lié à son activité. En effet, seules les courses extraordinaires permettent à la firme de faire des réserves de liquidité. Cette information est également reflétée à travers les comptes de pertes et profits (Annexe IV) de l'entrepreneur, d'après lesquels une perte peut même être observée en 2014.

3.2.1 Les lignes d'exploitation

Comme évoqué précédemment, TSAR est la seule société de transports publics à desservir la vallée d'Anniviers de manière régulière. Elle est donc un acteur clé pour l'ensemble de la région sur lequel les habitants, écoliers et touristes doivent pouvoir compter. Dans le but de satisfaire au mieux les besoins des utilisateurs, les horaires ont été mis en place en fonction du taux d'occupation et des correspondances des trains régionaux en gare de Sierre. Le réseau de TSAR comprend cinq lignes régulièrement exploitées entre 06h00 et 20h30 la semaine et entre 07h00 et 19h30 les samedis à raison d'une course toutes les deux heures. Les dimanches et jours fériés les cars postaux circulent entre 07h00 à 19h30 avec une fréquence moindre.

Voici un aperçu des lignes exploitées par Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl :

- Ligne 12.441 : Sierre - Chippis - Chalais - Vecorin : 13 Km ;
- Ligne 12.451 : Sierre - Vissoie : 16 km ;
- Ligne 12.452 : Vissoie - Grimentz - Moiry : 7.3 km ;
- Ligne 12.453 : Vissoie - Zinal : 28 km ;
- Ligne 12.454 : Vissoie - St-Luc - Chandolin : 10 km

Les cars sont généralement stationnés entre différents dépôts situés à Chandolin, à Ayer et Grimentz. Six véhicules sont stationnés à Sierre, dans un dépôt/garage appartenant à Post Immobilier et mis à disposition de TSAR par CarPostal. Tous les matins, les cars stationnés en altitude descendent avec les passagers, essentiellement des étudiants à cette période de la journée. Quant aux cars stationnés à Sierre, ils repartent en sens inverse à partir de la gare de Sierre.

3.2.1.1 Skibus Anniviers - Navette entre les villages

En raison de l'augmentation des fréquentations durant la période hivernale, les lignes régulières sont renforcées par des courses supplémentaires, appelées skibus, de mi-décembre à mi-avril de chaque année (Transports Sierre-Anniviers-Régions, 2016). Cela concerne la ligne entre Chandolin, Mayoux et Grimentz ou encore celle entre Zinal et Grimentz. Un contrat est passé entre CarPostal, les remontées mécaniques d'Anniviers (société de Grimentz - Zinal et de St-Luc - Chandolin) et la commune d'Anniviers en vue de soutenir le développement du tourisme local. Ces skibus sont gratuits pour tous les voyageurs qu'ils soient habitants de la région ou touristes (Val d'Anniviers, 2016).

3.2.1.2 Bus Navette à l'intérieur des villages

Cette offre concerne les villages de Chandolin, St-Luc, Grimentz et Vecorin, dans lesquels une navette gratuite circule chaque saison d'hiver (mi-décembre à mi-avril) afin d'alléger le déplacement des passagers et des touristes (Val d'Anniviers, 2016). Le but de ces courses spéciales est non seulement de soutenir le tourisme local en saison hivernale, mais également d'alléger les routes en altitude en évitant ainsi les afflux de véhicules privés dans ces zones.

3.2.1.3 Pass Anniviers Liberté

Disponible en saison estivale, le Pass Anniviers Liberté offre à ses détenteurs l'accès gratuit à diverses activités et infrastructures de loisirs ainsi qu'à l'utilisation des cars postaux sur la majorité des lignes. Le Pass est principalement destiné aux touristes et s'obtient dès la première nuit passée dans un hébergement dans la commune d'Anniviers (Val d'Anniviers, 2016). TSAR doit donc adapter son offre en période estivale pour faire face à l'évolution des fréquentations de ses lignes, due à l'utilisation du Pass Anniviers Liberté.

3.2.1.4 Courses spéciales

Outre les cinq lignes quotidiennement desservies, TSAR effectue également des courses spéciales. Ce sont des courses effectuées de manière irrégulière et dont le lieu de destination varie quasiment à chaque fois. Dans le cadre de ce travail, ces courses n'ont pas été prises en considération dans l'analyse de l'exploitation de TSAR. Premièrement car elles ne concernent qu'une faible part de l'exploitation et donc des recettes de la firme, et finalement car il était très difficile pour Stéphane Masserey de faire un modèle de trajet type et de consommations énergétiques de ces lignes spéciales en raison de leur irrégularité.

3.2.2 Taux de remplissage

Le taux de remplissage des cars a pu être déterminé grâce aux documents officiels *Courbe de remplissage journalier par ligne* fournis par CarPostal Sion. Ce sont des statistiques qui indiquent le nombre de passager moyen du véhicule par ligne, par trajet et par an. L'analyse des données a été effectuée pour les lignes de Sierre-Vissoie, Vissoie-Chandolin, Vissoie-Zinal et Vissoie Grimentz. Les taux de remplissage pour la ligne reliant Sierre à Vercorin n'ont malheureusement pas pu être fournis par la firme. La période de référence de ces données est l'année 2015.

Tableau 4 - Taux de remplissage des cars par ligne

	Du lundi au vendredi	Samedi	Dimanche
Sierre - Vissoie	19.8 %	24.8 %	24.9 %
Vissoie - Chandolin	12.2 %	12.5 %	12.4 %
Vissoie - Zinal	14.7 %	12.8 %	13 %
Vissoie - Grimentz	12.9 %	15 %	12.2 %

Source : Tableau de l'auteur provenant des rapports *Courbe de remplissage journalier (2015) par ligne* fournis par CarPostal Sion

La récolte et l'analyse de ces données démontre premièrement que c'est la ligne reliant Sierre à Vissoie qui est la plus fréquentée avec un taux de remplissage moyen à 20 %. Cette information n'est cependant pas une grande surprise, puisque c'est la ligne qui relie tous les passagers provenant de Zinal, Chandolin et Grimentz, à la ville de Sierre. Ce taux augmente pour atteindre les 25 % en week-end. Cette dernière information peut paraître comme positive pour la région, dans le sens où elle indiquerait une augmentation des fréquentations des transports publics dans le temps libre des voyageurs et donc par conséquent une attractivité de la région. Mais attention, cette information peut également être influencée par des habitants de la région qui utilisent les cars postaux pour effectuer des activités en dehors de la région. En ce qui concerne la ligne de Vissoie-Grimentz-Moiry, elle est particulièrement utilisée le samedi avec un taux de remplissage de 15%. Ceci est probablement dû aux nombreuses visites effectuées au lac de Moiry, les week-ends. L'analyse de ces

données permet au transporteur d'anticiper les fréquentations de voyageurs et d'adapter son service en fonction. Les données détaillées relatives aux fréquentations, sont présentées dans l'Annexe V.

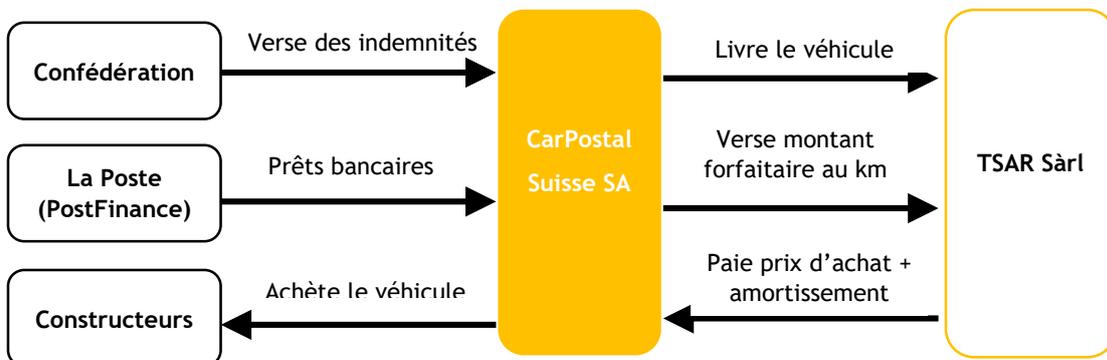
3.2.3 Les cars

3.2.3.1 Processus d'achat et de financement des véhicules

L'achat initial des cars se fait par CarPostal Suisse SA, selon un processus d'acquisition centralisé répondant aux critères sur les offres publiques d'achats de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC). Comme évoqué précédemment, CarPostal Suisse SA est concessionnaire pour les lignes du Val d'Anniviers et de Vercorin, c'est-à-dire que CarPostal Suisse SA reçoit des subventions de la part de la Confédération prévues pour le transport public de voyageurs. Elle verse ensuite aux entrepreneurs CarPostal un montant forfaitaire au kilomètre pour l'entretien des véhicules, l'achat des pneus et les frais courants.

Le financement des cars est donc assuré par CarPostal Suisse SA. Le concessionnaire facture ensuite une annuité, comprenant le prix d'achat ainsi que l'amortissement du véhicule à TSAR, qui d'un autre côté perçoit un montant forfaitaire lui permettant de payer ses courants. Durant les 12 années qui suivent son achat, le car est sous la propriété de TSAR. Après cette période de 12 ans, TSAR peut soit le revendre, soit continuer à l'exploiter pendant quelques années dans le cadre de son activité, si le car est encore en bon état (Laurent Flück, communication personnelle, 2016).

Figure 5 - Interactions entre TSAR et CarPostal



Source : Données de l'auteur

3.2.3.2 Modèle des cars actuels

Pour assurer le transport régulier sur l'ensemble de ses lignes, l'entreprise dispose d'une flotte de 12 véhicules représentés par trois modèles et constructeurs différents :

- Volvo 8700 B
- Irisbus Crossway - 10,6 m ainsi que 12 m
- SETRA Multiclass S 412 UL ainsi que S 415 H

Ce sont tous des cars interurbains 18 tonnes à deux essieux qui répondent aux normes exigées par l'Ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers (OETV), pour le transport public de voyageurs. Parfaitement adaptés aux régions alpines, ces cars sont également attractifs par leur rapport qualité-prix. Ils présentent en effet de nombreux avantages relatifs au transport de montagne comme par exemple un plancher haut, un volume des soutes ainsi qu'un confort plus important. Tout ceci avec un prix d'achat raisonnable comparé à celui d'un véhicule électrique ou hybride. Il ne faut toutefois pas négliger que malgré les nombreux avantages qu'ils apportent, ces véhicules roulent au diesel et contribuent par conséquent à une émission de CO₂ (cf. Annexe XIV). La norme antipollution EURO à laquelle doivent répondre l'ensemble des véhicules mis en circulation en Suisse, permet de réduire les émissions de particules toxiques sans toutefois les éradiquer complètement.

Tableau 5 - Caractéristiques des trois modèles de bus actuels

	Longueur (m)	Hauteur (m)	Places assises (y.c chauffeur)	Prix d'achat (CHF)	Année de construction
Volvo	10.60	3.10	47	353'089	2008
Irisbus	10.80	3.370	47	295'120	2010
Setra	12	3.175	42	348'183	2013

Sources : Tableau de l'auteur provenant des permis de circulation des cars de TSAR

Il convient de préciser que sur l'ensemble de ce travail, il a été convenu avec le mandant que la durée de vie de chaque car sera semblable à sa durée d'utilisation. Dans la pratique, il peut arriver que certains cars continuent à fonctionner même après les 12 ans d'amortissement. Cependant cet élément n'étant pas mesurable à l'avance, il est préférable de rester prudent et d'utiliser une durée de vie similaire à la durée d'amortissement du véhicule. À ce stade, il est également important de préciser, que le modèle de bus Setra 412 sera considéré comme véhicule de référence dans ce travail, étant donné que selon le mandant, ce bus est représentatif de l'ensemble de la flotte de véhicule en termes de consommation et de kilomètres parcourus.

3.2.4 Taxes liées au transport routier

Cette partie du travail consiste à détailler les taxes auxquelles est soumise la société de transports TSAR. L'objectif étant d'avoir un aperçu sur les différentes taxes imputées au transport routier et d'évaluer si l'adoption d'un mode de propulsion plus écologique permettrait de bénéficier d'une éventuelle détaxation et de réduire ainsi ses charges.

3.2.4.1 Taxes cantonales sur les véhicules automobile (taxe routière)

Un entretien avec un collaborateur de CarPostal à Sion, a révélé que les cars exploités par TSAR sont soumis à la taxe routière de circulation, tout comme l'ensemble des véhicules routiers circulant

sur le territoire helvétique. Les recettes de cette taxe régie au niveau cantonal, sont destinées à la construction et à l'entretien des routes du canton. En Valais, elle s'élève à CHF 24.- par place pour la catégorie de véhicules qui nous concerne, c'est-à-dire les « véhicules automobiles destinés au transport de personnes et comportant 10 places et plus (y compris celle du conducteur) » (Loi sur l'imposition des véhicules automobiles, 2016). Selon l'article six de cette même loi, les autocars électriques sont imposés à CHF 11.50 par place assise. L'autorité compétente pour l'application de cette taxe sur le territoire valaisan est le service de la navigation et l'automobile. Cette dernière, offrait jusqu'à l'année dernière, une possibilité de réduction de taxe pour les véhicules présentant un bon rendement énergétique. Cette réduction n'est plus valable à partir du 1^{er} janvier 2016 (OFEN, 2016). Les véhicules électriques bénéficient toutefois d'un tarif réduit de moitié comparé aux véhicules thermiques.

3.2.4.2 Impôt sur les huiles minérales (carburants)

Selon l'article un de la loi sur l'imposition des huiles minérales (Limpmin), est prélevé par la Confédération « un impôt sur les huiles minérales grevant l'huile de pétrole, les autres huiles minérales, le gaz de pétrole et les produits résultant de leur transformation ainsi que les carburants » (art. 1^{er}, lt. a, Limpmin) ainsi qu' « une surtaxe sur les huiles minérales, grevant les carburants. » (art. 1^{er}, lt. b, Limpmin). Selon une notice publiée par l'Administration fédérale des douanes, la Confédération prévoit un « remboursement de l'impôt sur les huiles minérales grevant les carburants utilisés par les entreprises de transport concessionnaires de la Confédération » (Administration fédérale des douanes AFD, 2016). CarPostal étant une entreprise entièrement détenue par la confédération bénéficie donc de cet allègement fiscal. Le changement du mode de propulsion n'amènerait donc aucun avantage supplémentaire du point de vue de cet impôt.

3.2.4.3 Redevance pour l'utilisation des routes - Vignette

Cette redevance pour l'utilisation des autoroutes et semi-autoroutes s'applique aux véhicules ayant un poids inférieur à 3,5 tonnes. Selon le site officiel de l'Administration fédérale des douanes, les véhicules excédant ce tonnage n'ont pas besoin d'acheter la vignette à condition qu'ils soient soumis par RPLP. Cette dernière condition est remplie par les bus de TSAR qui n'ont par conséquent pas besoin de payer une vignette routière de CHF 40.- par année (AFD, 2016).

3.2.4.4 Redevance sur le trafic poids lourd (RPLP)

Les cars exploités par TSAR sont également soumis à la redevance sur le trafic poids lourds étant donné qu'ils répondent aux critères suivants :

- présentent un poids total de plus de 3 500 kilogrammes,
- sont utilisés pour le transport de choses et
- sont immatriculés en Suisse ou à l'étranger et empruntent le réseau routier public en Suisse.

D'après l'article « Durabilité » Récupéré sur le site officiel de CarPostal, l'ensemble des véhicules jaunes mis en circulation dès janvier 2014 répondent au minimum à la norme Euro-6. Ces véhicules en question bénéficient d'un tarif réduit (2.05 ct./km). Cette redevance propose également un tarif allégé aux véhicules de norme EURO-2 et EURO-3 équipés d'un système à particule. Toujours d'après le site officiel de CarPostal, tous les véhicules jaunes sillonnant la Suisse respectent au moins la norme EURO-3 et sont munis d'un système de filtre à particule. La redevance sur le trafic poids lourds pour l'ensemble des cars postaux en Suisse n'excède donc par le prix de 2.42 ct./km (AFD, 2016). La loi sur la redevance sur le trafics poids lourds propose un allègement spécial pour les véhicules à propulsion électrique. Cependant cette dernière ne touche que les voitures automobiles de moins de 3500 kg. Même en changeant de mode de propulsion, les cars de TSAR ne pourraient donc ne bénéficier d'aucun allègement supplémentaire lié à la RPLP actuellement.

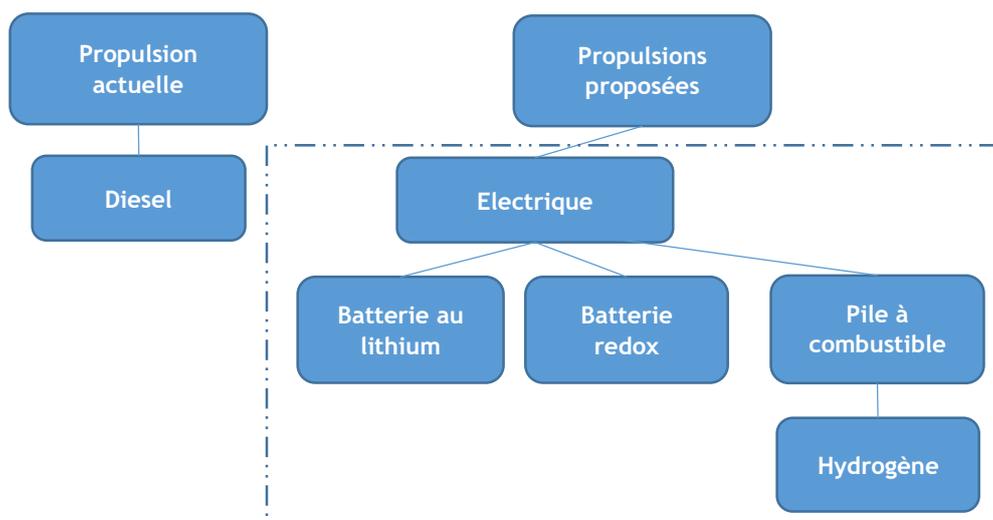
4. Les solutions étudiées

Comme évoqué précédemment, le véhicule diesel fait face à de nombreux défis énergétiques. Que ce soit à cause de l'épuisement des ressources fossiles desquelles il est dépendant ou de l'émission de gaz à effet de serre dont il est en partie responsable, le concept du bus diesel doit entièrement être réimaginé pour gagner une prospérité sur le long terme. En ce sens, il a été judicieux de proposer à TSAR plusieurs méthodes de propulsion existantes qui leur permettraient de sortir de cette dépendance au Diesel. L'objectif de cette partie consiste à décrire de manière générale ces modes de propulsion alternatifs. L'analyse comparative en chapitre cinq permettra de comparer les technologies les plus appropriées entre elles selon des critères de performance spécifiques afin de faire ressortir celle qui serait la plus favorable à l'environnement de TSAR.

Les moyens de stockage

L'énergie électrique est certainement le concurrent principal du diesel mais présente toutefois un défi considérable au niveau du stockage. Il existe aujourd'hui plusieurs technologies montantes en termes de stockage d'énergie destinées aux véhicules routiers. Notamment le stockage électrochimique, possible grâce à diverses batteries telles que les batteries au plomb et au lithium, qui sont les plus répandues de nos jours ou encore les technologies émergentes comme par exemple les batteries à flux liquide. Le stockage de l'électricité est également possible sous forme de gaz, grâce au méthane ou encore à l'hydrogène. Dans le cadre de ce travail, les techniques de stockage électrochimique seront représentées par les batteries au lithium et Redox, alors que pour le stockage sous forme gazeux, seul l'hydrogène sera pris en compte.

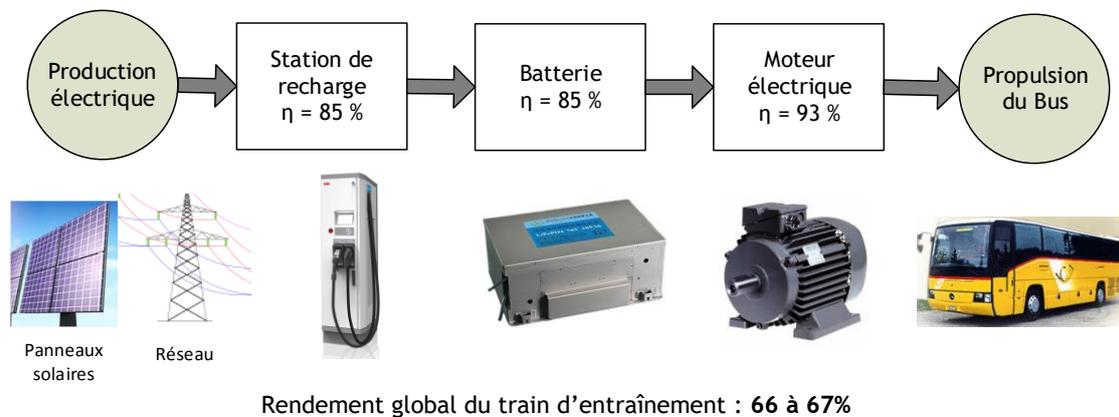
Figure 6 - Champ de l'étude



Source : Données de l'auteur

4.1 Le mode de propulsion 100 % électrique

Figure 7 - Chaîne de rendement propulsion électrique



Source : Figure de l'auteur, inspirée par la revue de littérature

4.1.1 Provenance de l'électricité

L'électricité est l'énergie centrale pour l'ensemble des solutions de propulsion proposées à la société TSAR. En effet, cette source énergétique servira à produire l'hydrogène via l'électrolyseur ainsi qu'à alimenter le moteur électrique à travers les différentes batteries. L'utilisation d'électricité comme moyen de propulsion devrait permettre à l'entreprise de réduire de manière significative ses émissions de CO₂. Toutefois, un bus muni d'un moteur électrique n'est pas nécessairement propre. Il faut pour cela que l'électricité utilisée soit issue d'une production non polluante. L'objectif de ce travail de Bachelor étant de réduire les influences environnementales des cars postaux, il est donc primordial que cette énergie soit issue de ressources renouvelables. Pour respecter cet engagement, deux pistes s'offrent à nous : l'achat de l'énergie provenant d'une production renouvelable ou l'autoproduction à partir d'une installation solaire ou éolienne.

4.1.1.1 Achat d'électricité

La première de ces options consiste à acheter directement une énergie verte auprès du fournisseur énergétique local. Dans ce cas, il s'agit de Sierre Energie SA qui propose la certification d'énergie verte pour un surplus d'environ 0.03¹ CHF/kWh venant s'ajouter aux 0.136 CHF/kWh que coûte actuellement le prix de l'électricité issue de leur mix-énergétique (Sierre-énergie, 2016). Selon nos prévisions, le chargement des batteries s'effectuera entre 14h00 et 08h00, c'est pour cette raison que nous prenons en compte le Tarif Simple. Si la totalité du chargement avait été effectuée durant la nuit, TSAR aurait pu bénéficier du tarif Heures Creuses à 0.103 CHF/kWh. Dans l'ensemble de ce

¹ Surcoût de 25 ct./kWh lié à Energie hydro-Gouggra (Sierre Energie, 2016). Il convient toutefois de rester prudent et de prendre un surcoût à 30 ct./kWh car en cas d'incapacité de production de cette installation, Sierre Energie propose d'autres certificats sensiblement plus chers.

travail, le tarif de l'électricité certifiée, sera arrondi à 0.17 CHF/kWh. La tarification détaillée de Sierre Énergie est présentée à l'Annexe VI.

En Suisse, seules les sociétés consommant plus de 100 MWh (100'000 kWh) par année sont actuellement autorisées à intégrer le marché de l'électricité et donc à choisir librement leur fournisseur de courant (Chambre Vaudoise du Commerce et de l'Industrie CVCI, 2015). Cette approche permet à ces acteurs de bénéficier de tarifs avantageux dans un marché parfaitement concurrentiel. Selon l'analyse de Stéphane Masserey, le besoin énergétique d'un car est de l'ordre de 380 kWh par jour, soit environ 140'000 kWh par an. Cependant, il faut prendre en compte que seule la moitié de cette énergie nécessaire devra être achetée à travers le réseau puisque l'autre moitié pourra être produite à via une installation solaire photovoltaïque (chapitre 4.1.1.2). À ce stade, l'entreprise ne peut donc pas bénéficier des avantages liés à l'ouverture de marché. Il faut toutefois prendre en compte que la loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEL) pourrait être modifiée d'ici quelques années, ce qui impliquerait l'ouverture du marché de l'électricité pour tous les consommateurs suisses et offrirait la possibilité à TSAR de se procurer une énergie à des prix attractifs tout en ayant une offre adaptée à ses propres besoins (Romande Energie, 2016).

La seconde option est d'avoir recours à l'autoproduction. Ce qui implique l'installation d'équipements spécifiques tels que des panneaux solaires photovoltaïques (PV) ou des éoliennes. Actuellement, la production énergétique à travers le photovoltaïque est la plus rentable, c'est donc la seule qui sera prise en considération. Dans le cadre de ce travail de Bachelor, seules les pistes de l'achat d'électricité à travers le fournisseur énergétique local ainsi que la piste de l'autoproduction via le rayonnement solaire seront donc analysées pour l'approvisionnement de l'énergie.

4.1.1.2 Production d'électricité

Le canton du Valais et plus précisément le district de Sierre, est une zone particulièrement favorable à l'installation de PV puisque le rayonnement solaire y est estimé à 1250 kWh/m² par an (Agrometeo, 2016). L'objectif de ce sous-chapitre est de démontrer si une installation de PV est financièrement intéressante pour produire l'électricité nécessaire à la propulsion des véhicules exploités par TSAR, tout en prenant compte de l'investissement initial des panneaux ainsi que de leur durée de vie.

Les panneaux photovoltaïques

La puissance d'une installation solaire photovoltaïque est généralement indiquée en kilowatts-crête (kWc). "Cette unité de mesure correspond à la production maximale avec un ensoleillement standard de 1000 W/m² par une température de 25°C" (Riolet, 2011, p. 12). Cet indicateur permet donc de mesurer la production de l'installation à des conditions optimales. En réalité, la production effective diffère de la capacité de production en fonction des conditions météorologiques. La puissance d'un panneau photovoltaïque se situe autour des 0.1 à 0.2 kWc, ce qui équivaut à un rendement de 10 à 20 % (Solstis, 2016). Quant à sa durée de vie, elle est estimée à 30 ans.

En effet d'après la société Swissolar, la plupart des PV actuels offrent une telle durée de vie, voire parfois supérieure (Swissolar, 2016).

Il existe à ce jour trois grandes technologies de PV permettant la production d'électricité. Premièrement ceux au silicium monocristallins et polycristallins qui sont certainement les plus couramment utilisés. Les deux autres catégories concernent les PV à couches minces puis enfin les PV à concentration. Cependant, seuls les PV polycristallins sont pris en compte dans cette étude étant donné qu'ils offrent le meilleur rapport qualité-prix et qu'il s'agit d'une technologie suffisamment mature (Planète Énergies, 2016).

Le raccordement

Il existe deux types d'installations solaires, les installations isolées ou celles qui sont raccordées au réseau. Dans le premier système, l'électricité produite est stockée dans des batteries pour ensuite être consommée en temps voulu. Pour une installation raccordée au réseau, l'électricité peut soit être directement consommée ou alors être injectée dans le réseau public à 50 hertz. Dans ce cas, elle serait rachetée par Swissgrid, grâce à la rétribution à prix coûtant (RPC). La RPC est une forme de subvention versée par la Confédération, visant à promouvoir les énergies renouvelables à travers une compensation de la différence entre le prix du marché de l'électricité et le coût de production. Les producteurs n'ayant pas de moyens de stockage suffisants pour leur production, auraient donc à priori intérêt à utiliser cet instrument. Cependant, la recherche documentaire révèle que la RPC pourrait disparaître d'ici quelques années pour cause d'une longue liste d'attente et de moyens d'encouragement de plus en plus réduits. D'après le Département fédéral de l'environnement des transports, de l'énergie et de la communication, « les moyens d'encouragement légalement disponibles seront épuisés au plus tard en 2018, si bien qu'aucune décision ne peut être délivrée pour la RPC » (DETEC, 2015). Il convient donc de ne pas prendre cette mesure de la Confédération en considération étant donné qu'elle pourrait être compromise à court terme. Cependant, il est tout de même judicieux pour TSAR de raccorder son installation photovoltaïque au réseau, car cela lui permettrait d'acheter de l'énergie électrique en cas de production insuffisante.

L'onduleur

À la base, une installation photovoltaïque produit du courant continu. L'onduleur a pour mission de transformer ce courant en du courant alternatif à 230 volts, compatible à celui fourni par le réseau pouvant ainsi être réinjectée. Si un onduleur est indispensable dans ce processus, il est également primordial que ce dernier soit compatible à la puissance des PV.

L'installation photovoltaïque

Selon les informations obtenues à travers Laurent Flück, l'installation des PV peut se faire sur la halle utilisée en guise de garage par TSAR. Située en ville de Sierre, cette halle dispose d'un toit en pente de 1000 m². Elle est d'autant plus intéressante qu'elle offre un horizon dégagé, ce qui veut

dire qu'il n'y a pas ou très peu de risque d'ombrage pouvant affecter la performance des panneaux. Cependant étant donné que le toit est pentu, seule la face située plein sud sera utilisée pour l'installation des PV. Ce qui réduit la surface exploitable de moitié. Il est également recommandé de tenir compte d'un coefficient d'utilisation de 80 % pour déterminer la surface exploitable. Cet élément lié à l'espace entre les panneaux. Ce qui donne finalement une surface nette exploitable de 400 m².

Figure 8 - Surface exploitable par les PV



Source : Google Earth (2016)

Le prix de revient du kWh

En partant du principe qu'un mètre carré de PV polycristallin produise 187.5 kWh par an avec un rayonnement solaire moyen de 1250 kWh/m², nous pouvons estimer une capacité de production annuelle par la surface nette exploitable à 75'000 kWh. D'après les données météorologiques récupérées sur la plateforme Agrometeo, une installation de 400 m² dans la ville de Sierre aurait produit précisément 77'014 kWh en 2015 (Agrometeo, 2016). Cette information permet de valider la production de 75'000 kWh obtenue à travers nos calculs. Pour calculer la production totale sur les 30 ans que constitue la durée de vie des panneaux, il faut prendre en considération que ces derniers sont moins performants en fin de vie. Ainsi il convient d'utiliser un coefficient de 90 % pour mesurer cette dégradation et avoir une production s'approchant le plus à la réalité. Ce qui équivaut à une capacité de production totale de 2'137'500 kWh sur 30 ans d'utilisation.

Pour évaluer le coût de l'installation, un prix de 300 CHF/m² a été utilisé. Ce montant qui comprend l'achat du PV, la pose ainsi que son raccordement, est représentatif des prix que l'on trouve actuellement sur le terrain (S. Genoud, communication personnelle, 2016). Multiplié à la surface totale, ce prix nous donne un coût total de l'installation de CHF 120'000.-. Avec une production totale de 2'025'000 kWh sur 30 ans et un coût de l'installation à CHF 120'000.-, on obtient donc un prix de revient par kWh produit à 0.059 CHF/kWh (arrondi à 0.06 CHF/kWh dans la suite du travail). Le coût du kWh produit dépend de nombreuses variables, il est par conséquent important de calculer une valeur minimale et maximale avec les prise en compte de ces facteurs variable. Ces scénarios sont présentés en Annexe X.

Tableau 6 - Production solaire : Calcul du prix de revient du kWh

Type de PV	Polycristalin	
Rendement des PV	15 %	
Puissance	Entre 130-150 Wc/m ²	
Surface nette exploitable	400 m ²	
Rayonnement annuel à Sierre	1 250 kWh/m ²	
Capacité de production		
	<i>Détails des calculs</i>	
1 m ²	187.5 kWh/an	1 250 kWh * 15 %
400 m ²	75 000 kWh/an	187.5 kWh * 400 m ²
Sur les 30 ans	2 025 000 kWh	75 000 * 30 ans * 90 % ²
Coût de production		
1 m ²	300 CHF/m ²	
400 m ²	120 000 CHF	300 CHF / m ² * 400 m ²
Prix de revient du kWh produit	0.059 CHF/kWh	120'000 CHF / 2'025'000 kWh

Source : Tableau de l'auteur

Selon l'analyse de Stéphane Masserey, les besoins énergétiques d'un car s'élèvent en moyenne à 380 kWh³ par jour ce qui équivaut à environ 140'000 kWh par an. Si la société décide de ne pas installer de PV et d'acheter toute la quantité énergétique nécessaire auprès de Sierre Énergie SA, et devra alors déboursier une somme de CHF 23'800.- par car et par an. Ce montant est calculé sur la base d'un coût du kWh à 0.17 CHF/kWh.

Si par contre l'entreprise décide d'installer des PV sur cette halle, elle devra de toute façon avoir recours au réseau puisque la surface exploitable de 400 m² de suffit pas à produire la quantité d'énergie nécessaire pour la propulsion d'un car. Dans cette situation, l'entreprise sera de toute façon gagnante puisqu'elle pourra produire et consommer quasiment la moitié (75'000 kWh) de l'électricité nécessaire grâce aux PV et que seule l'autre moitié (65'000 kWh) sera achetée auprès de Sierre Énergie SA. Cette analyse démontre que TSAR pourrait effectuer une économie d'environ CHF 8'250.- par année grâce à une installation solaire de 400 m².

Il convient toutefois de noter, que cette analyse est faite pour un car seulement. Si le transporteur décide d'alimenter l'ensemble de ces 12 bus via l'énergie électrique, il aura besoin d'une surface de PV 12 fois supérieure pour pouvoir bénéficier des avantages financiers d'une telle installation.

² Prise en compte d'une dégradation de la qualité du panneau avec le vieillissement.

³ Le car utilisé comporte le même dimensionnement le modèle de référence Setra 412

Tableau 7 - Comparatif entre achat et production d'électricité

Besoin énergétique par car		140'000 kWh/an			
	Coût du kWh	Facture énergétique avec PV		Facture énergétique sans PV	
		Quantité	Coûts	Quantité	Coûts
Autoproduction	0.06 CHF/kWh	75 000 kWh	4 500 CHF	-	-
Achat du réseau	0.17 CHF/kWh	65 000 kWh	11 050 CHF	140 000 kWh	23 800 CHF
Coût total			15 550 CHF		23 800 CHF
Gain			+ 8 250 CHF		--

Source : Données de l'auteur

Grâce à une VAN supérieure à zéro, nous pouvons affirmer que cette installation est rentable et que les cash flows générés sur la durée de vie de l'investissement permettront de rembourser ce dernier. Cet investissement est donc intéressant sur le plan financier. Le temps de retour de cet investissement est d'environ 14 ans et demi. Cela signifie que le coût d'installation des PV sera rentabilisé par le cash flow engendré bien avant la fin de la durée de la vie de ces derniers. Quant au taux de rendement interne, il s'élève à environ 5%, ce qui est plutôt avantageux pour un investissement qui de plus, ne comporte pas énormément de risques.

Tableau 8 - Indicateurs financiers pour l'installation de PV

Investissement initial	120 000 CHF	VAN	6 498 CHF
Cash flows actualisés	8 250 CHF	TRI	5%
Durée d'utilisation	30 ans	Temps de retour	~ 14.5 ans
Taux d'actualisation	5%		

Source : Données de l'auteur

Conclusion est projections futures

L'efficacité énergétique offerte par les panneaux photovoltaïques est confirmée à travers les différentes sources consultées, qui relèvent notamment la longue durée de vie de ces panneaux. Une installation photovoltaïque de type polycristallin offre aujourd'hui un rendement d'environ 15%. Selon le rapport *Electricité photovoltaïque et solaire thermique*, publié par l'Association des entreprises électriques suisses en 2015, le rendement attendu pour les PV de ce type devrait atteindre 19% d'ici 2020, notamment grâce aux avancées technologiques (Association des entreprises électriques suisses, 2015). Ce qui rendrait un tel investissement encore plus avantageux dans le cas où TSAR décide d'augmenter sa capacité de production photovoltaïque à l'avenir.

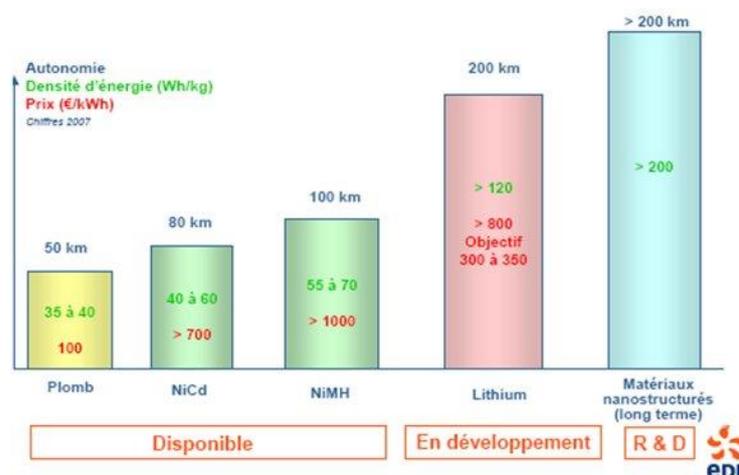
4.1.2 Stockage de l'électricité

La production d'électricité à partir d'énergies renouvelables est probablement le meilleur substitut aux ressources fossiles dans le domaine de la mobilité. Cependant s'il existe encore un frein non négligeable à cette méthode, c'est bien l'incapacité à contrôler la production d'énergie. Une énergie découlant d'une production à partir de ressources renouvelables étant intermittente, il est primordial de se munir d'un système de stockage performant pour pouvoir la stocker et l'utiliser en temps opportun. Qu'elles soient stationnaires ou mobiles, il existe aujourd'hui de nombreuses sortes de batteries, permettant ce stockage énergétique.

Dans le domaine de la mobilité électrique, on recense à ce jour, trois grandes familles de batteries : les batteries au plomb, les batteries dites alcalines et finalement celles à base de lithium. Chacune d'entre elles présente des avantages et inconvénients à différents niveaux. Par exemple, une batterie au plomb sera meilleure marché qu'une batterie au lithium mais offrira d'une performance énergétique moindre. La solution parfaite n'existant pas, il faut par conséquent faire un compromis entre le coût, l'autonomie et la durée de vie de ces batteries, souvent mesurée en nombre de cycles.

Grâce aux avancées technologiques, de nouveaux procédés très performants sont régulièrement étudiés offrant ainsi beaucoup d'espoir dans le domaine du stockage énergétique. Comme par exemple la technologie du lithium avancé ou les batteries à flux liquides. Cependant la plupart d'entre elles sont encore au stade du prototype et ne sont pas encore commercialisées à grande échelle. Le schéma ci-dessus regroupe les caractéristiques principales des trois catégories de batteries précitées ainsi que les prévisions pour les batteries encore au stade de développement.

Figure 9 - Performance des différentes familles de batteries



Source : ERH2-Bretagne-Observatoire, Batteries électriques et supercondensateurs (2016)

Dans le cadre de cette étude, deux types de batteries au lithium seront analysées. Il s'agit de la batterie lithium titanate oxide (LTO) ainsi que la technologie lithium fer phosphate (LFP). L'autre filière qui sera également étudiée dans ce travail de Bachelor est celle des batteries à flux liquides. Selon la revue de la littérature, ces accumulateurs présentent de nombreux avantages tant sur le plan technique que financier. Certaines sources les considèrent même comme révolutionnaires dans le monde de la mobilité. Le but de ce chapitre est premièrement de présenter ces différentes technologies ainsi que les avantages et inconvénients qu'elles comportent, afin de sélectionner les batteries qui semblent à priori les plus adaptées au domaine d'exploitation de la société TSAR.

4.1.2.1 Les accumulateurs au lithium

Parmi les différents accumulateurs, la technologie au lithium se démarque par sa haute densité énergétique et son autonomie. En effet, avec une masse volumique de 530 kg/m^3 , le lithium permet à la batterie de jouir d'une légèreté particulière, ce qui influence aussi le poids des véhicules électriques. À titre de comparaison, le plomb dispose d'une masse volumique de $11'350 \text{ kg/m}^3$ (Trimatic, 2016). Bien que le prix d'une batterie au lithium soit plus élevé que celui des batteries alcalines ou celles à base de plomb, les nombreuses sources consultées ventent son rapport qualité-prix. La majorité des véhicules électriques nécessitant une grande réserve d'énergie, fonctionnent aujourd'hui avec un modèle de batterie au lithium.

La famille des batteries au lithium est séparée en deux catégories principales : les batteries au lithium métal et celles à base de lithium-ion⁴. Dans les premières, l'un des électrodes est constitué de lithium métallique, ce qui rend ce type de batteries potentiellement dangereuses puisque le lithium métallique peut s'enflammer en contact de l'air (Vallverdu, 2011, p. 33). Dans l'accumulateur lithium-ion, « le lithium reste à l'état ionique ; au niveau de l'électrode négative il est généralement lié au graphite. À l'électrode positive on peut trouver différents composés tels que le dioxyde de cobalt, le manganèse, le phosphate, de fer, ... » (Éco énergie, 2016). Dans le cadre de cette analyse, la batterie au lithium métal sera écartée par souci de sécurité et seule la famille du lithium-ion sera prise en considération.

Fonctionnement d'une batterie au lithium-ion

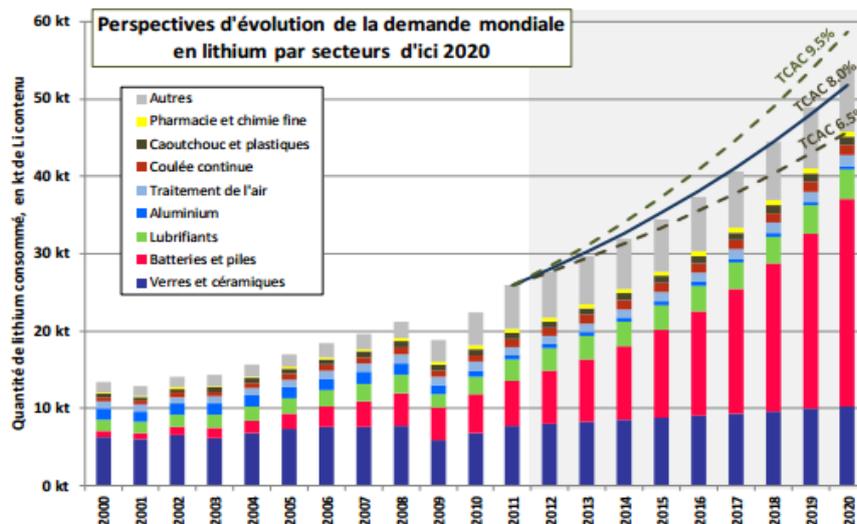
Qu'elle soit intégrée à un téléphone portable ou à un véhicule électrique, la batterie au Lithium-ion fonctionne de manière similaire. L'accumulateur au lithium est un système électrochimique, où l'énergie électrique est dégagée par une réaction chimique due à la circulation des ions lithium entre l'anode et la cathode et un mouvement des électrons. Un atome de lithium est composé de neutrons et protons. Pendant ce processus chimique un tel atome va gagner ou perdre des électrons, ce qui va le transformer en ion (Futura-science, 2016).

⁴ Ion : Particule chargée électriquement et formée d'un atome ou d'un groupe d'atomes ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons (Larousse, 2016).

Disponibilité du lithium

Comme évoqué précédemment, le lithium offre une grande capacité de stockage, ce qui entraîne un fort engouement pour ce métal, dans la conception des batteries. Le lithium peut se trouver sous forme de sel (le chlorure de lithium) dans les déserts de sel par exemple, ou alors sous forme solide, dans les roches magmatiques. D'après l'étude *Mineral Commodity Summaries 2015* publiée par US Geological Survey, les réserves mondiales de lithium se situeraient à 13.5 millions de tonnes. Au rythme de consommation actuel, il y aurait suffisamment de lithium pour au moins les trois siècles à venir (Consoglobe, 2016). Cependant l'industrie de l'automobile électrique est en pleine phase de croissance, ce qui pourrait réduire ces réserves plus rapidement que prévu. Le graphique ci-dessous, illustre les prévisions d'évolution de la demande en lithium et nous apprend que l'accroissement de la demande en lithium est essentiellement lié à l'accroissement dans le secteur des batteries et des piles. En outre, ce graphique démontre que la demande de batterie en lithium est passée d'environ 8'000 à plus de 20'000 tonnes entre 2000 et 2016. D'après les prévisions du Bureau de Recherches Géologiques et Minières français, cette demande devrait atteindre les ~40'000 tonnes d'ici 2020.

Figure 10 - Évolution de la demande mondiale en lithium par secteurs



Source : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Panorama 2011 du marché du lithium (2012)

Recyclage

Pour déterminer la disponibilité du lithium dans les années à venir il faut également prendre en compte la possibilité de recyclage de ce métal. Selon la revue de littérature, les batteries au lithium-ion seraient recyclables à hauteur de 95 % (Electron Vert, 2009). Ce processus engendrerait cependant un coût important dans la collecte et le traitement de ces batteries, qui serait bien plus élevés au coût du lithium en soi. Le recyclage des batteries au lithium n'est donc pas rentable à ce jour, mais le développement de cette filière de recyclage permettrait sans doute de réduire ces coûts dans le futur et de revoir les réserves de lithium à la hausse.

Sécurité des batteries

Outre les nombreux avantages énergétiques qu'offrent les batteries au lithium, elles peuvent également être une source de danger dans la mobilité. En effet, en cas de surchauffe ou d'incendie, une batterie au lithium mal protégée peut exploser. Il y a toutefois des types de batteries beaucoup moins dangereuses, comme par exemple celles au lithium fer phosphate qui sont également analysées dans cette étude (Victron Energy, 2016). Il existe également des moyens de prévenir ces risques notamment par la ventilation de l'entrepôt où est stationné le véhicule.

Les différents types de batteries au lithium

L'accumulateur au lithium-ion se décline en plusieurs catégories de batteries différentes qui se distinguent par leurs aspects techniques tels que leur densité énergétique, leur temps de charge ainsi que leur prix. Les batteries au lithium titanate oxide (LTO) ainsi que celles au lithium fer phosphate (LFP) font partie des batteries lithium les plus matures qui pourraient également convenir aux besoins de CarPostal dans le cadre de ce projet. Ce qui distingue principalement ces deux accumulateurs est leur temps de charge. En effet, la technologie LTO est considérée comme étant une batterie à charge rapide, alors que la LFP fait partie des accumulateurs à charge lente.

Technologie lithium titanate oxide (LTO)

Les batteries LTO sont basées sur une nanotechnologie⁵ très avancée et sont particulièrement appréciées pour les avantages supplémentaires qu'elles présentent en comparaison à d'autres types de batteries au lithium. En effet, la plupart de ces accumulateurs contiennent souvent des électrodes à base de graphite, ce qui peut causer une surchauffe de la batterie la rendant ainsi potentiellement dangereuse. Dans la technologie LTO, le graphite est remplacé par l'oxyde de titane ce qui offre une sécurité supplémentaire. La batterie LTO est également réputée pour sa charge rapide, ce qui est un avantage considérable dans le domaine de la mobilité publique. Il faut cependant prendre en compte que sa capacité de stockage est plus faible, ceci se traduit par sa densité énergétique qui est de 65 Wh/kg comparé à une densité pouvant aller jusqu'à 120 Wh/kg pour l'accumulateur LFP (Sccer Furies, 2015).

Technologie Lithium fer phosphate (LFP)

C'est un accumulateur à charge lente dont les électrodes sont basées sur le couple fer phosphate. Ce type d'accumulateur offre une plus grande capacité de stockage et par conséquent une autonomie plus élevée, ceci grâce à sa densité énergétique. Le nombre de cycle de vie est à première vue inférieur à celui de l'accumulateur LTO, cependant son autonomie plus élevée fait que la batterie LFP devra moins souvent être chargée, ce qui augmente par conséquent sa durée de vie sur le long terme. Enfin, comme évoqué précédemment cet accumulateur représente un niveau de sécurité

⁵ Domaine de la science dont la vocation est l'étude et la fabrication de structures (appelées *nano-objets*) dont les dimensions sont comprises entre 1 et 1 000 nanomètres (Larousse, 2016).

supplémentaire par rapport aux autres accumulateurs à charge lente puisqu'il a moins de risque d'incendie. Afin d'avoir une vision globale sur ces deux types de technologie, leurs caractéristiques principales sont regroupées au sein de ce tableau.

Tableau 9 - Comparatif des caractéristiques techniques des batteries LTO et LFP

	LTO Charge rapide	LFP Charge lente
Densité énergétique	65 Wh/kg	90 - 120 Wh/kg
Durée de vie	15 000 cycles	4 500 cycles
Autonomie	+	++
Temps de charge	2h pour 100 kWh	4h30 pour 100 kWh
Température	De -20 à +55 °C	0 à +45 °C
Maturité industrielle	Bonne	Bonne
Sécurité	+	++
Prix	600 CHF/kWh	800 CHF/kWh

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples

- a. Sccer Furies, Overview of electric and ageing models of electrochemical storage systems for distribution grids applications (2015).
- b. Battery University, Types of Lithium-ion (2016).
- c. Leclanché, Technology & Products (2016).
- d. Vitronenergy, Batteries au lithium fer phosphate de 12,8 V (2016).
- e. Solise, Comparaison des différentes technologies de batteries lithium, plomb (2016).

L'autonomie d'une batterie dépend de sa capacité. La batterie LFP ayant une densité énergétique supérieure dispose par conséquent d'une plus grande capacité de stockage et donc d'une plus grande autonomie. Le temps de chargement dépend de la puissance de la station de recharge. Pour la batterie LTO, la puissance de la station imaginée dans le cadre de ce projet est de 50 kW, alors que pour la batterie LFP cette puissance ne s'élève qu'à 22 kW (Alpiq E-mobility SA, 2016). Pour plus d'information relative aux bornes de recharge, veuillez consulter l'Annexe VII.

Le prix de la batterie LFP est estimé sur la base d'un coût de 900 CHF/KWh provenant de la source (Solise, 2016). Nous estimons qu'il est judicieux que ce prix soit légèrement revu à la baisse étant donné que selon la revue de littérature, le prix des batteries au lithium se situe entre 400 et 600 CHF/kWh. Cependant il faut mentionner que la batterie LFP offre une sécurité supplémentaire par rapport aux autres batteries et dispose par conséquent d'un prix plus élevé.

Application pour le cas de TSAR

Dans le cas où le mode électrique serait envisagé pour les véhicules de TSAR, il sera primordial de prendre en compte plusieurs facteurs avant de porter son choix sur l'une des batteries présentées ci-dessus. Le principal défi de l'entreprise est de choisir un accumulateur ayant un bon rapport poids/puissance, traduit par une haute densité énergétique. En effet, plus la densité énergétique de l'accumulateur est élevée, plus on intégrera d'énergie pour un poids équivalent. De plus, les facteurs suivants doivent également être pris en compte dans le choix de la batterie la plus adaptée :

- Le chargement de la batterie doit pouvoir être effectué durant le temps de pause des chauffeurs ou durant la nuit.
- La taille et le poids de la batterie de doivent respecter la charge maximale du véhicule sans pour autant compromettre le nombre de places assises du car.
- Si un système à batterie interchangeable devait être envisagé, leur changement doit pouvoir être effectué rapidement à l'aide d'un système de rail installé au sein du bus.

Batterie LFP : Mode de recharge lente

Le temps de chargement est un élément essentiel dans le choix de la batterie. En effet, le transporteur doit pouvoir intégrer ce temps de ravitaillement dans le planning quotidien des tournées, sans que cela n'empiète sur les horaires. Si la batterie à charge lente est adoptée, les véhicules auraient une capacité de stockage plus élevée de même qu'une autonomie plus importante. Il faut savoir que les batteries peuvent être fabriquées sur mesure jusqu'à une certaine limite, en fonction de la capacité de stockage nécessaire. D'après les informations obtenues auprès de Stéphane Masserey, le besoin énergétique d'un car d'une puissance de 250 kW et effectuant plus au moins le même trajet que le modèle Setra, est de l'ordre de 380 kWh par jour. Une batterie dimensionnée de manière à contenir environ 380 kWh offrirait donc une totale autonomie aux cars durant la journée entière.

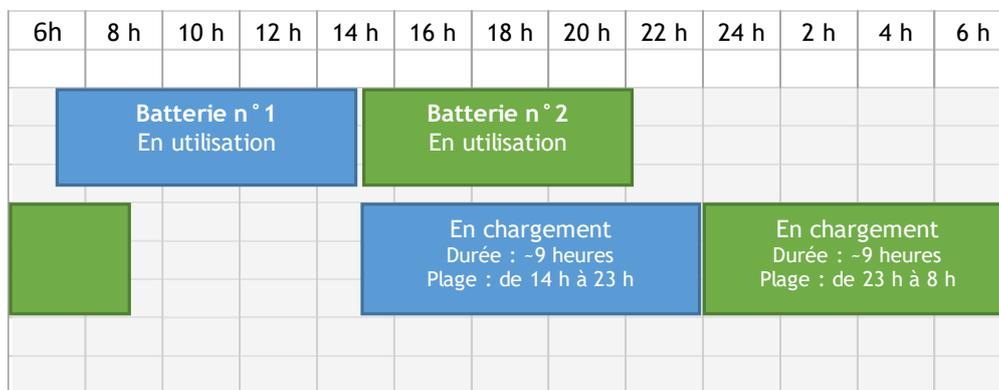
En ce qui concerne le temps de chargement d'une batterie, il dépend essentiellement de sa capacité mais également de la puissance de la borne de recharge utilisée. Suite à un contact avec la société Alpiq E-mobility SA, il s'avère que la recharge lente peut s'effectuer avec la borne de recharge « XTRA R » d'une puissance de 22 kW appartenant à leur gamme. Cette station est d'autant plus intéressante qu'elle offre la possibilité de programmer automatiquement le chargement d'une batterie à l'avance. Avec une telle station, la batterie de 380 kWh pourra être chargée en 17 heures (puisque'il faut une heure pour charger 22 kWh). Le temps de chargement d'une batterie LFP de 380 kWh est considérablement élevé. TSAR ne pourrait pas envisager un tel chargement durant la nuit puisque selon l'horaire distribué par CarPostal, certaines tournées débutent tôt le matin c'est-à-dire entre 6h30 - 7h00 pour ne finir qu'à 21h. Ce qui ne laisse qu'environ neuf heures pour le chargement.

Il existe cependant une autre possibilité permettant l'utilisation des batteries à charge lente. Cela consiste à utiliser un lot de deux batteries de plus petites capacités (185 kWh chacune). Ces batteries

seraient interchangeables et ne seraient donc pas utilisées en même temps, ce qui permet de réduire le poids des batteries ainsi que le temps nécessaire à leur chargement. Ce dernier peut s’opérer durant la nuit et même durant la journée pour la batterie qui n’est pas en fonction, pendant que l’autre, alimente le véhicule. Le caractère interchangeable de ces batteries implique toutefois l’installation d’un système de rail au sein du véhicule permettant aux chauffeurs de charger/décharger ces batteries rapidement. Ce changement ne devrait pas durer plus de 5-10 minutes et pourraient donc s’effectuer durant le temps de pause.

Selon nos prévisions, le changement de batterie devra être effectué deux fois durant une journée, premièrement avant la première course du matin et deuxièmement en milieu de journée (autour de 14h). Le schéma ci-dessous démontre que le chargement des batteries interchangeables pourrait être envisageable durant la journée et durant la nuit. Une fois la batterie n°1 complètement déchargée, en milieu de journée, elle sera mise en chargement jusqu’à environ 23h. Le système de programmation de la borne de recharge permet de régler l’heure à laquelle la batterie n°2 commencera à être rechargée. Dans ce cas, TSAR peut programmer le chargement de la batterie n°2, à 23h10 par exemple, soit quelques minutes après que la batterie n°1 ait terminé son chargement. Selon la société Alpiq ces stations programmables sont de plus en plus utilisées dans des projets de motorisation électrique à charge lente (J. Coquoz, Sales Engineer chez Alpiq E-Mobility AG, communication personnelle, 2016).

Figure 11 - Compatibilité de la charge lente avec l’environnement de TSAR



Source : Données de l’auteur

Le poids des batteries est un autre facteur devant être pris en compte. Avec une densité énergétique d’environ 0.1 kWh/kg, une batterie de 380 kWh pèsera environ 3.8 to. Le tableau ci-dessous démontre le poids des différentes alternatives de batteries envisagées pour la flotte de TSAR.

À ce stade, il convient de préciser que les bus de 18 to (2 essieux) actuellement exploités par la firme, disposent d’une charge disponible (après comptabilisation de la charge maximale pour les passagers) s’élevant entre 1’800 et 3’000 kg. Cette charge disponible peut donc être utilisée pour l’installation d’une batterie de stockage. D’après ce tableau, une seule batterie de 380 kWh de capacité n’est pas envisageable pour un bus de 18 to puisqu’elle entraînerait la réduction d’un nombre

important de place au sein du véhicule. Le système de batteries interchangeables respecte quant à lui la charge maximale de la majorité des véhicules (sauf pour le modèle Volvo 8700 dont la charge disponible est de 1'800 kg).

Tableau 10 - Poids des batteries lithium

	LFP	LTO
<i>Densité énergétique</i>	0.09 - 0.12 kWh/kg	0.065 kWh/kg
Poids batterie 380 kWh	3'800 kg	-5'850 kg
Poids batterie 185 kWh	1'850 kg	-2'850 kg

Source : Données de l'auteur

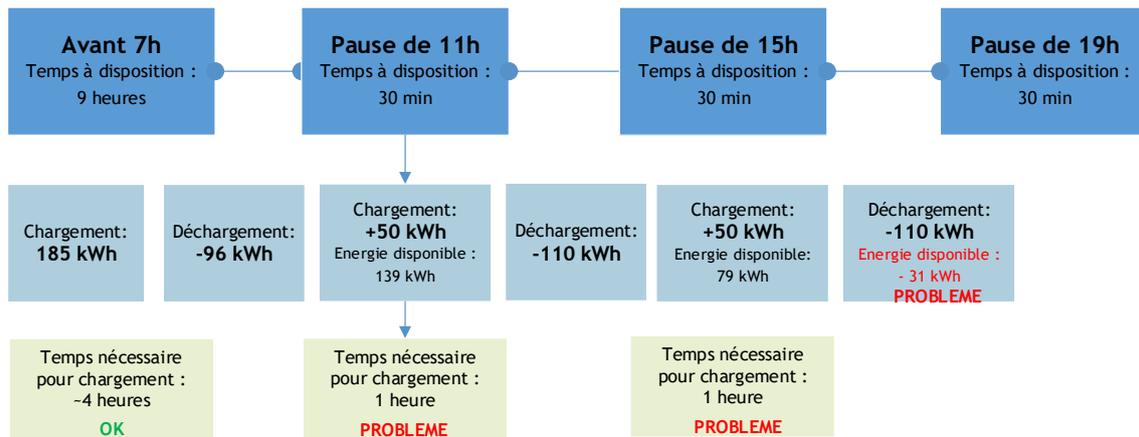
Batterie LTO : Mode de recharge rapide

Cette technologie permettrait de charger les batteries en un temps record durant la journée et pourrait donc être bénéfique à la société de transport. La densité énergétique de l'accumulateur LTO est d'environ 65 Wh, ce qui signifie que l'énergie stockée par kilogramme de batterie est inférieure que dans le modèle LFP. Cela implique par conséquent un poids de batterie plus élevé pour stocker la même quantité énergétique de 380 kWh. En effet, avec une telle capacité de stockage, la batterie LTO pèserait environ 5,8 to, charge qu'il serait complétement irréaliste de faire supporter à un car, sachant qu'elle dépasserait le poids maximum des passagers (~5 to). Avec un jeu de deux batteries, le poids d'une batterie de 185 kWh serait de l'ordre de 2.8 to. Comme pour la batterie LFP, l'utilisation de batteries interchangeables pourrait donc convenir à la charge disponible dans les bus de modèle IrisBus et Setra, mais pas au modèle Volvo 8700.

Les véhicules munis d'une batterie à charge rapide auraient une autonomie réduite. Les chauffeurs des véhicules devront alors faire le plein plusieurs fois par jour, à une station de recharge mise en place à cet effet. Ce chargement pourrait avoir lieu durant les plages creuses ou le temps de pause. Bien que le temps de chargement soit réduit par rapport à la charge lente, cela implique toutefois un changement dans les habitudes pour les employés.

Selon l'horaire détaillé par ligne et par véhicule obtenu de la part du transporteur, il a été intéressant de modéliser un trajet type afin de voir s'il existe suffisamment de plages durant la journée pendant lesquelles un chargement serait possible. Il s'agit du trajet Vissoie - Chandolin qui est un parcours constant, c'est-à-dire qu'il y a essentiellement un bus qui effectue ce trajet durant la journée.

Figure 12 - Compatibilité de la charge rapide avec l'environnement de TSAR



Source : Figure de l'auteur provenant des simulations de Stéphane Masserey

Ce schéma met en évidence que le temps des pauses quotidiennes (30 minutes par pause), ne suffit pas à faire le plein de la batterie. En effet, même s'il s'agit d'une recharge rapide, le temps nécessaire pour faire un plein de 50 kWh, est d'environ 1 heure. Ce qui est largement supérieur aux 30 minutes de pauses entre les tournées. De plus, à certaines pauses (par exemple à celle de 15 h), il faudrait un chargement supérieur à 50 kWh pour assurer l'autonomie du trajet suivant. Cette analyse permet de déduire que la charge rapide n'est pas envisageable pour l'exploitation du réseau de TSAR.

4.1.2.2 La batterie redox

La batterie redox, appelée aussi batterie à flux (flowcell en anglais), est composée de deux réservoirs contenant des électrolytes liquides, au lieu d'un seul réservoir comme on peut le trouver dans des batteries traditionnelles. La puissance de la batterie est le résultat de la circulation des électrons et protons entre les deux réservoirs. Si ces batteries sont réputées pour leur grande capacité de stockage et un temps de chargement record, elles ont par contre recours à des matériaux limités et très chers tels que la platine ou le vanadium (Amstutz, V., Toghil, K.E., Comninellis, C., Girault, H., 2012).

Fonctionnement

L'électricité stockée au sein de la batterie est générée par « une réaction d'oxydoréduction, dite réaction redox, est une réaction chimique au cours de laquelle se produit un échange d'électrons » (Ma voie scientifique, 2014). C'est ce processus qui génère l'électricité stockée au sein de la batterie. Le couplage d'une batterie à flux liquide peut se faire à partir de différents éléments chimiques tels que le vanadium, le zinc ou le chrome. Cependant à ce jour, ce sont les batteries redox au couplage vanadium-vanadium qui sont les plus matures.

Avantages de la technologie

Comparée aux batteries lithium, la flowcell présente plusieurs avantages, notamment au niveau du temps de recharge. En effet, il s'agit de remplir le réservoir d'un flux liquide, ce qui ne prend pas plus de temps que pour le remplissage d'un véhicule diesel. Elle peut aussi être rechargée par le remplacement de l'électrolyte contenant le flux. Estimé à environ 800 CHF/kWh, le prix de la flowcell est relativement proche du prix de certaines batteries au lithium (Amstutz, V., Toghil, K.E., Comninellis, C., Girault, H., 2012).

Limites de la technologie

Outre les avantages de la batterie redox, il faut prendre en compte que ce type de batterie dispose d'une densité énergétique inférieure à celle des batteries au lithium (0.04 kWh/kg contre 0.1 kWh/kg pour la batterie LFP). Ce qui engendre par conséquent un poids de batterie élevé, compromettant ainsi son utilisation dans le domaine de la mobilité. La revue de la littérature n'a par ailleurs livré aucun projet concret similaire à celui que constitue cette étude utilisant des batteries à flux liquides redox et a confirmé que ces dernières sont encore peu matures à ce jour. Une telle technologie de stockage est utilisée dans le cadre d'un projet mené par l'EPFL à Sion. Il s'agit d'une batterie redox d'une puissance de 200 kW qui fait à peu près la taille de deux à trois voitures. Les informations obtenues de la part de Véronique Amstutz, membre de ce projet, ont confirmé l'hypothèse que l'installation d'une batterie à flux liquide redox aux caractéristiques techniques actuelles, ne serait tout simplement pas envisageable pour la propulsion d'une voiture ni même de bus électrique.

L'autre limite de cette technologie réside dans la disponibilité des composants. En effet, le vanadium est considéré comme un métal rare et sa disponibilité pourrait être par conséquent compromise. Cependant selon le rapport *Mineral Commodity Summaries 2015* publié par U.S. Geological Survey, le recyclage du vanadium concernerait environ 40 % de sa distribution globale. Ce dernier facteur réduit donc le risque de pénurie à moyen terme.

La batterie à flux liquide NanoFlowcell

Le concept de batterie à double flux est très intéressant, si bien que de nombreuses batteries redox sont développées depuis des dizaines d'années. L'une d'entre elle concerne notamment la technologie nanoFlowcell. Cette batterie qui est un dérivé de la flowcell, est basée sur une nanotechnologie ayant pour particularité l'utilisation « d'un composé spécial de sels métalliques dans un électrolyte liquide haute qualité, mais dénué de métaux précieux ou rares » (Les Numériques, 2016). Bien que récemment développée dans la mobilité, cette technologie fut utilisée pour la propulsion des vaisseaux spatiaux par la NASA dans les années 70 (Éco énergie, 2016). D'après la revue de la littérature, il existe à ce jour, un seul constructeur automobile utilisant la technologie nanoFlowcell en tant que moyen de propulsion, il s'agit du constructeur Quant. D'après les données du constructeur, la nanoFlowcell offre une densité énergétique supérieure à celle des batteries couramment utilisées dans la mobilité ainsi qu'à une durée de vie d'environ 10'000 cycles. L'autre

avantage de cette technologie résiderait dans le fait que l'électrolyte liquide ne soit ni toxique, ni inflammable. À ce stade, il est intéressant de comparer les caractéristiques techniques de la nanoFlowcell à celles d'une batterie redox « standard ».

Tableau 11 - Caractéristiques techniques de deux batteries à flux liquides

	Flowcell	Nanoflowcell
Densité énergétique	0.04 kWh/kg	0.6 kWh/kg
Durée de vie	+ de 10'000 cycles	+ de 10'000 cycles
Utilisation dans la mobilité	Pas possible	Possible
Maturité industrielle	Moyenne	Faible
Prix	800 CHF/kWh	80 CHF/kWh

Sources : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples

- a) Amstutz, V., Toghil, K.E., Comninellis, C., Girault, H., Technologie stockage d'énergie, 2012
- b) Les Numériques, NanoFlowcell, l'énergie alternative du futur ?, 2016
- c) US Department of Energy, Vanadium Redox flow batteries, 2012
- d) Argonne National Laboratory, Rechargeable Nanoelectrofuels for Flow Batteries, 2016

Bien que la nanoFlowcell soit envisageable dans le domaine de la mobilité, elle est à ce jour développée sur un seul type de véhicule qui de plus est une voiture de tourisme. En outre, le seul prix trouvé à travers la revue de la littérature et de l'ordre de 80 CHF/kWh, ce qui nous semble irréaliste en comparaison au coût actuel des batteries au lithium qui est environ 10 fois plus élevé. Le manque de cas concrets et l'absence d'informations amènent des doutes quant à compatibilité d'une telle batterie avec les cars postaux roulant en montagne. Ce sont essentiellement ces facteurs qui nous amènent à écarter cette technologie dans la suite de cette étude. L'avenir de la nanoFlowcell se jouera probablement sur le plan de la R&D ainsi que la réduction des coûts d'un tel équipement, ce qui augmenterait l'intérêt des utilisateurs et constructeurs.

4.1.3 Conclusion intermédiaire I

Comme évoqué précédemment, le stockage énergétique est un défi actuel jouant un rôle prépondérant dans l'utilisation des énergies renouvelables, dans divers secteurs d'activité. Les batteries existantes offrent toutes des avantages et inconvénients à des niveaux différents. Il faut par conséquent, faire un compromis entre ces critères et choisir l'accumulateur le plus approprié. En ce qui concerne le domaine de la mobilité et plus précisément le cas de l'entreprise TSAR, l'autonomie du véhicule est un facteur primordial dans le choix de l'accumulateur. En effet, les trajets effectués par TSAR sont pour la plupart relativement longs (comparé au trafic urbain) et il serait inimaginable de pouvoir installer des bornes de recharge au bord des routes, qui pour la plupart sont très étroites. Le mode de charge lente semble par conséquent le plus adapté à l'environnement

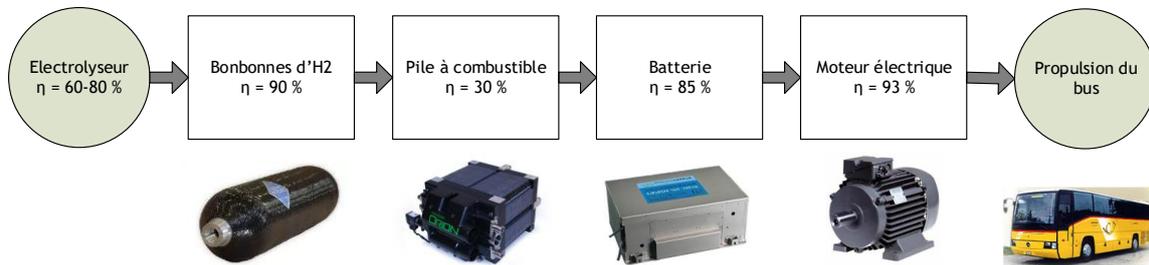
de TSAR. Quant à la batterie à charge rapide, elle pourrait être envisageable dans la mobilité urbaine, où les stations de recharges pourraient être plus fréquentes. De plus, cette analyse démontre qu'aucune des deux batteries redox ne pourraient être techniquement envisageables dans le cadre d'une motorisation électrique des bus exploités par TSAR. En effet, la batterie flowcell est généralement conçue pour des utilisations stationnaires et son poids empêche actuellement son utilisation dans la mobilité. Quant à la batterie nanoFlowcell, bien qu'elle soit spécialement conçue pour la mobilité, un manque de d'applications concrètes sur le terrain et de constructeurs entraîne de grands doutes au niveau de sa faisabilité pour l'environnement de TSAR, dans un proche avenir.

Projections futures

Il faut savoir que le secteur du stockage énergétique est en pleine mutation et devrait connaître d'importants changements dans le futur, notamment grâce aux avancées technologiques et aux investissements dans la recherche et développement. Une amélioration de performance de ces batteries devrait notamment être possible grâce à l'utilisation du graphène. Ce matériau découlant tout droit du graphite, pourrait en effet révolutionner le monde des batteries d'ici quelques années, en augmentant leur capacité de stockage (Futura Sciences, 2016).

4.2 Le mode de propulsion « Hydrogène »

Figure 13 - Chaîne de rendement propulsion hydrogène



Rendement global du train d'entraînement : 20 à 22%

Source : Figure de l'auteur, inspirée de la revue de littérature

En pleine transition énergétique, notre société et l'ensemble de ses acteurs semblent de plus en plus intéressés par la technologie combinant l'hydrogène et la pile à combustible, du fait des nombreux avantages qu'elle présente. Il faut savoir que cette méthode ne date pas d'hier, c'est en effet en 1839 que ce vecteur énergétique produit par l'électrolyse de l'eau a été imaginé par le Britannique William Robert Grove (Ngô, 2009, p.202). À cette époque, le développement de ce procédé avait été freiné par la découverte des énergies fossiles qui présentaient bien plus d'avantages sur le plan financier. La propulsion à l'hydrogène est une technologie pas totalement mature et difficilement accessible de nos jours, essentiellement pour des raisons économiques. Elle présente cependant de grands avantages notamment sur le plan de l'efficacité énergétique et de l'abondance de la matière première. Dans la nature, on ne trouvera pas de l'hydrogène sous forme isolée mais combiné à d'autres atomes, il en existe à profusion. Comme par exemple l'eau dont la molécule est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène et qui occupe le 71 % de la surface de notre planète. L'hydrogène est aussi une composante des énergies fossiles ou des matières organiques (Ngô, 2009, p.196). L'autre avantage offert par cette technologie est qu'elle peut s'avérer totalement propre à condition que l'hydrogène ait été produit par des énergies vertes.

L'hydrogène en tant que vecteur énergétique est particulièrement utilisé dans le domaine de l'industrie et devient de plus en plus intéressant pour l'industrie automobile. De nombreux prototypes de véhicules ou de bus à hydrogène ont été développés ces dernières années, mais la plupart d'entre eux sont imaginés pour rouler en milieu urbain. Il faut dire qu'une telle technologie nécessite un équipement supplémentaire encombrant ce qui réduit l'autonomie du véhicule, particulièrement en montagne où les déplacements demandent plus d'énergie. Les simulations de M. Masserey permettront de déterminer si oui ou non une telle solution est techniquement envisageable en montagne. Elles prendront en compte les principaux éléments influençant la performance d'un bus muni d'une pile combustible, roulant en haute altitude.

Il existe deux types de véhicules roulant à base d'hydrogène :

- Le véhicule muni d'un moteur à combustion dont le fonctionnement est proche du moteur thermique, sauf que l'essence est remplacée par de l'hydrogène.
- Le véhicule muni d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible. En se combinant, l'hydrogène et l'oxygène produisent de l'électricité qui fera tourner le moteur.

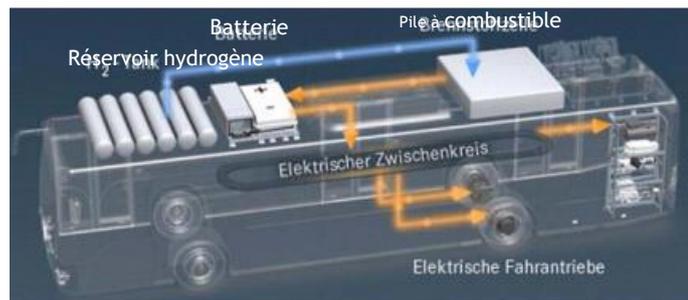
Ces deux types de véhicules ont l'avantage de ne rejeter que de la vapeur d'eau et d'être par conséquent non polluantes. Le deuxième est cependant plus intéressant car le rendement du moteur électrique (~93 %)⁶ est nettement supérieur à celui au moteur thermique (~35 %)⁷. L'utilisation de la pile à combustible permettra également de réduire l'impact sonore ainsi que les vibrations du véhicule, ce qui rend ce mode de propulsion d'autant plus intéressant. Dans le cadre de ce projet, seule la deuxième technologie sera considérée et développée.

4.2.1 Fonctionnement d'un car à l'hydrogène

1) La différence entre un simple bus électrique et un bus à hydrogène est que ce dernier dispose d'une pile à combustible. L'hydrogène stocké dans des réservoirs à haute pression est injecté en tant que combustible dans la pile à combustible.

2) Grâce à une réaction chimique, ce processus produira de l'électricité et de la vapeur d'eau. L'électricité alimentera directement le moteur. L'eau parfaitement propre, pourra être récupérée et utilisée pour le refroidissement de la pile à combustible ou sera tout simplement rejetée par le pot d'échappement. La plupart des véhicules à hydrogène sont équipés d'une batterie permettant une récupération d'énergie générée en cas de freinage et en descente (CHIC project, 2016).

Figure 14 - Fonctionnement d'un car H₂



Source : adapté de Mercedes-benz, CITARO FuelCELL Hybrid (2010)

⁶ D'après la revue de la littérature, le rendement d'un moteur électrique en régime optimum est d'environ 95 % (Brusa, 2016). Cependant, il convient de rester prudent car le moteur n'est pas toujours en plage optimale.

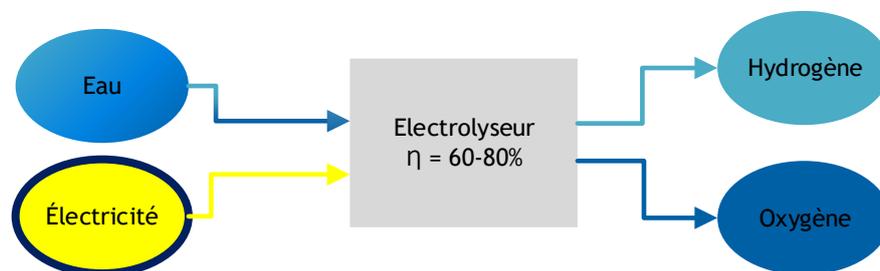
⁷ Rendement moyen de moteurs thermiques des bus utilisés par TSAR actuellement (Travail de Bachelor, Stéphane Masserey, 2016).

4.2.2 Provenance de l'hydrogène

Comme évoqué précédemment, la production de l'hydrogène alimentant la pile à combustible découle principalement de deux méthodes de production différentes qui sont l'électrolyse de l'eau ou le reformage des hydrocarbures. Aujourd'hui, la part d'hydrogène produite à partir des énergies fossiles telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon représente près de 96 % de la production globale. Cette opération contribue à l'émission de CO₂ et n'est donc pas respectueuse de l'environnement. Seul 4 % de l'hydrogène est produit aujourd'hui grâce à l'électrolyse de l'eau (Ngô, 2009, p.198).

La raison qui explique le faible intérêt pour ce procédé est une problématique économique. En effet, on estime ce type de production environ quatre fois plus cher que la production de l'hydrogène à base des hydrocarbures (Ngô, 2009, p.197). Cependant, les nombreuses études visant à réduire les coûts de production de l'hydrogène par l'électrolyse de l'eau sont très encourageantes. L'une d'entre elles concerne notamment l'électrolyse à haute température (Usine Nouvelle, 2008). Il existe donc différents moyens de produire de l'hydrogène, mais le but de ce travail de Bachelor étant de réduire les influences environnementales du transporteur local, seule la méthode de production d'hydrogène par l'électrolyse de l'eau sera prise en considération.

Figure 15 - L'électrolyse de l'eau



Source : Figure de l'auteur inspirée de la revue de littérature

L'électrolyse de l'eau est un procédé qui permet d'obtenir de l'hydrogène pur grâce à la décomposition de la molécule d'eau déminéralisée en atome de dioxygène et dihydrogène par un apport électrique. L'appareil permettant cette décomposition est l'électrolyseur. Très encombrant, cet appareil peut être installé au sein de la station de pompage d'hydrogène. La production de l'hydrogène à travers l'électrolyse de l'eau peut s'avérer très propre à condition que l'électricité nécessaire ait été produite via des ressources renouvelables. Il existe différents types d'électrolyseurs tels que « l'électrolyseur alcalin, l'électrolyseur PEM (Proton Exchange Membrane) ainsi que l'électrolyseur haute température, cependant, seule la technologie de l'électrolyse alcaline est mature aujourd'hui et amène une compétitivité économique » (McPhy, 2016). Une fois l'hydrogène obtenu il sera stocké sous forme gazeuse dans un réservoir à haute pression pour être ensuite stocké à l'intérieur du car.

4.2.2.1 Production d'hydrogène via un électrolyseur

L'alternative de la production d'hydrogène directement par TSAR a été analysée. Ce moyen permet de s'assurer que l'hydrogène soit produit à partir d'une énergie parfaitement verte. Les informations techniques et financières sur les divers équipements, ont été obtenues à travers la société française McPhy, active entre autres dans la commercialisation d'électrolyseurs. Le prix de revient pour un kilogramme d'hydrogène produit à partir du processus d'électrolyse, a pu être déterminé sur la base d'une offre de prix obtenue à travers ce fournisseur (cf. Annexe VIII). L'équipement en question dispose d'une capacité de production de 30 kg d'hydrogène par jour, soit le besoin journalier d'un car.

Quant à l'énergie électrique nécessaire à faire fonctionner l'électrolyseur, elle s'élève à environ 75 kWh par kilogramme d'hydrogène produit. Cette information provient d'une communication de la société McPhy et a également pu être confirmée à travers une communication personnelle de Claude Cornaz connaisseur du domaine de l'hydrogène. Pour assurer une chaîne de production 100 % verte, cette énergie électrique sera également produite via une installation solaire photovoltaïque. Ce qui revient à prendre en compte les prix calculés au chapitre 4.1.1.2, soit 0.06 CHF/kWh pour la part énergétique produite via l'installation solaire et 0.17 CHF/kWh pour la part provenant du réseau.

En cas de production de l'hydrogène via un électrolyseur, le prix de revient du kilo d'hydrogène sera d'environ 19,80 CHF. Les calculs détaillés concernant ce résultat, se trouvent à l'Annexe XI. Il faut toutefois garder une certaine réserve par rapport à ce prix calculé étant donné que durant les 20 ans de durée de vie, plusieurs facteurs peuvent apparaître et influencer ce coût. Notamment une réduction de la capacité de production due à l'ancienneté de l'électrolyseur. Avec la prise en compte de ces variables, le prix de revient calculé se situe entre CHF 15.- et 28.- par kilogramme d'H₂.

Il convient de préciser que ce prix concerne une installation d'une capacité de production de 30 kg par jour, soit le besoin d'un seul bus. Les prix de l'équipement diffèrent en fonction de la capacité de production nécessaire et ce, de manière non linéaire. Cela veut dire que le coût d'achat d'un électrolyseur permettant de produire 12 fois la capacité d'un bus, soit environ 400 kg par jour, ne sera pas nécessairement 12 fois plus cher. Le prix de revient sera par conséquent plus bas pour une plus grande capacité de production. Cependant dans ce travail, il a été convenu de se limiter au prix de revient pour un seul bus, étant donné qu'il serait très peu probable que CarPostal décide de changer les 12 cars en même temps.

4.2.2.2 Achat de l'hydrogène auprès d'un fournisseur

L'hydrogène peut également être produit et livré par des sociétés spécialisées, parmi elles Carbagas à travers laquelle un prix indicatif a pu être obtenu. Ce prix dépend principalement des

besoins énergétiques annuels ainsi que du transport. Dans notre cas, les besoins d'un car s'élèveraient à 11 tonnes par année, soit ~140 000 m³.

D'après le fournisseur, une telle quantité est généralement livrée via des trailers qui sont des remorques conteneurs d'hydrogène. Le prix d'un kg d'hydrogène a été obtenu à partir d'un prix au m³ transmis par Julien Wicki, collaborateur de Carbagas :

Tableau 12 - Coût du kilogramme d'hydrogène livré par Carbagas

			Détail des calculs
Coûts en fonction du volume	1 m ³	1.30 CHF	
	140 000 m ³	182 000 CHF	$140\,000\text{ m}^3 * 1.30\text{ CHF}$
Coûts en fonction du poids	11 000 kg	182 000 CHF	$140\,000\text{ m}^3 * 0.075\text{ m}^3/\text{kg}$
	1 kg	16.5 CHF	$182\,000\text{ CHF} / 11\,000\text{ kg}$

Source : Tableau de l'auteur provenant de la société Carbagas (2016)

Il convient de préciser que ces prix indicatifs concernent une quantité de 140'000 m³ d'hydrogène par année et que plus la quantité livrée annuellement est faible, plus le prix du kg d'hydrogène sera élevé. Selon la société Carbagas le prix de l'hydrogène peut se situer entre 10 et 50 CHF/kg (J. Wicki, société Carbagas, communication personnelle, 1^{er} juin 2016).

4.2.3 Le stockage de l'hydrogène

Le stockage de l'hydrogène sous forme gazeuse représente un défi supplémentaire par rapport au pétrole, bien que sa densité énergétique soit plus élevée (cf. Tableau 18). En effet, sous la forme gazeuse qui est son état naturel, l'hydrogène peut prendre beaucoup de place ce qui explique les coûts importants lors du transport. Pour parvenir à un stockage de l'hydrogène plus efficace, de nombreuses technologies sont en phase de développement. À ce jour, on recense principalement trois méthodes de stockage de l'hydrogène :

- À l'état gazeux. C'est son état naturel. En sortant de l'électrolyseur, l'hydrogène est à pression de 10 à 30 bars. Il sera ensuite comprimé jusqu'à 300⁹ bars pour être stocké. Cette technologie est la plus utilisée actuellement.
- À l'état liquide. Consiste à refroidir l'hydrogène (jusqu'à -250°) pour le liquéfier. C'est une technologie essentiellement destinée à certains domaines spécifiques tels que la propulsion spatiale (Planète hydrogène, 2016).

⁸ Conversion d'après la masse volumique de l'hydrogène à l'état gazeux 0.075 kg/m³ (Encyclopedia Airliquide, 2016). À titre comparatif, la masse volumique du diesel s'élève à 830 kg/m³ (TCS & OFEN, 2016).

⁹ Dans la mobilité, l'hydrogène est généralement utilisé à compression entre 300 bars ou 350 bars (Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible [AFHYPAC], 2016).

- À l'état solide. Absorption de l'hydrogène par du métal pour former un hydrure métallique. (McPhy, 2016).

Le stockage de l'hydrogène à l'état gazeux est la forme de stockage la plus mûre actuellement, c'est pour cette raison que seule cette option sera analysée dans le cadre de cette étude.

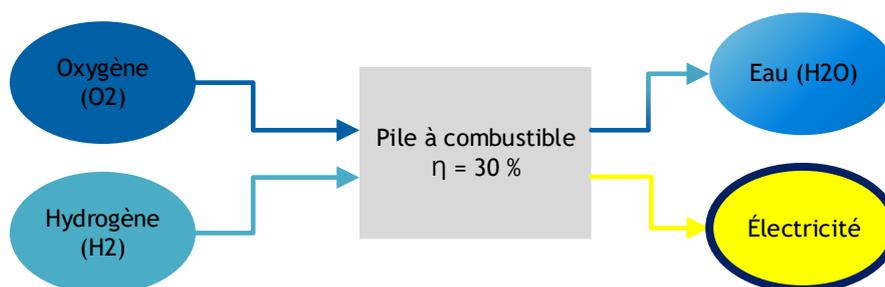
Tableau 13 - Formes de stockage de l'hydrogène

Stockage de l'hydrogène par	Compression	Liquéfaction	Absorption
Etat	Gazeux	Liquide	Solide
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie mûre, la plus répandue. • La moins coûteuse • Peu d'équipement nécessaire (seulement un compresseur) 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie mûre • Stockage de volumes importants 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité maîtrisée ; quasiment pas inflammable. • Stockage de volumes importants.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Volume conséquent • Risque d'explosion : limite d'explosivité élevée. • Pertes au stockage (~10%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de fuite • Importante quantité d'énergie utilisée pour le stockage 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie pas mûre (un seul producteur en Europe) • Technologie complexe et coûteuse.

Source : Tableau de l'auteur provenant de Planète hydrogène, Air liquide (2016)

4.2.4 Utilisation de l'hydrogène - La pile à combustible

Figure 16 - Fonctionnement de la pile à combustible (simplifié)



Source : Figure de l'auteur inspirée de la revue de littérature

Une fois l'hydrogène produit puis stocké, il alimentera la pile à combustible. Il s'agit d'un générateur qui convertit directement et en continu l'énergie d'un combustible, dans notre cas l'hydrogène, en électricité par des réactions électrochimiques (Ngô, 2009, p. 202). La pile à combustible est une électrolyse inverse étant donné que les inputs de l'électrolyseurs sont les outputs de la pile à combustible et vice-versa. En effet, l'électricité qui était l'input dans l'électrolyse est

un output de la pile à combustible. Et l'hydrogène et l'oxygène, qui sont le résultat d'une décomposition de la molécule de l'eau à travers l'électrolyse, servent d'input à la pile à combustible. Outre le fait qu'elle ne rejette que de l'eau et de la chaleur pouvant être récupérée comme chaleur de confort dans le véhicule, la pile à combustible apporte un autre avantage sur le plan environnemental : elle n'a pas ou très peu d'impact sonore. Selon plusieurs sources, le rendement électrique d'une pile à combustible se situe généralement entre 30% et 60% et dépend en partie de la pureté de l'hydrogène. Cependant nous estimons qu'un rendement de 60 % concerne probablement une pile fonctionnant en des conditions optimales, ce qui n'est pas toujours le cas en réalité. Ainsi il convient de rester prudent et d'utiliser un rendement de 30 % dans l'ensemble de cette étude. Il y a également une faible quantité d'eau qui est émise. Cette dernière peut être utilisée pour l'humidification de la pile, bien que la température du moteur d'un véhicule alimenté par une pile à combustible ne dépasse pas les 80°C. À titre indicatif, dans un moteur au diesel, la combustion excède les 1000°C (Pile à Combustible, 2016). Concernant l'oxygène utilisé pour la réaction chimique, ce dernier proviendra directement de l'air ambiant étant donné que la molécule de l'air est constituée à 78 % d'oxygène et 21% d'azote (Futura Science, 2016).

On recense à ce jour plusieurs types de piles à combustible telles que les piles alcalines (AFC), les piles à membranes échangeuses de protons (PEMFC) ainsi que les piles à oxyde solide (SOFC). La plupart d'entre elles sont encore en phase de développement (AFHYPAC, 2014). La pile alcaline étant toutefois déjà commercialisée et régulièrement utilisée dans les applications mobiles, elle sera donc la seule à être prise en considération dans la suite de ce travail. L'un des principaux inconvénients de cette pile est sa durée de vie limitée et un prix d'acquisition encore élevé. La durée de vie d'une pile à combustible actuelle est mesurée en nombre d'heures de fonction et se situe généralement entre 2'000 et 5'000 heures. À titre indicatif, un véhicule roulant pendant 2'000 heures à 60 km/h effectue 120'000 km. Il faut donc tenir compte du prix de remplacement de la batterie dans le coût d'achat et d'amortissement du véhicule.

4.2.5 Les risques liés à l'hydrogène

Bien que l'hydrogène soit réputé pour être un vecteur énergétique propre, la nature explosive du gaz fait de lui un vecteur encore quelque peu controversé et TSAR ne peut pas prendre la décision d'alimenter une flotte de véhicule à l'hydrogène sans être informé des risques potentiels que peut comporter cette technologie. Il faut savoir que « L'hydrogène est le plus inflammable et le plus explosif des gaz et à cause du faible rayon de sa molécule, il fuit ou diffuse très facilement. » (Université de Genève, 2005, p.27).

La mesure du risque d'exposition d'un gaz peut se faire grâce à la limite d'explosivité de ce dernier. Mélangé à l'air, chaque gaz dispose d'une limite inférieure et une limite supérieure d'explosivité qui traduit la plage de concentration d'air en pourcent, dans laquelle le gaz est susceptible d'exploser. Selon Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), la plage d'explosivité de l'hydrogène se situe entre 4 % et 75 % (ADEME, 2016, p.17). À titre comparatif,

la limite d'explosivité du gaz naturel se situe entre 5 % et 15 % (Institut National de Recherche et de Sécurité, 2004).

Toutefois l'hydrogène est également le gaz le plus volatil, ce qui lui permet de s'échapper rapidement dans les airs diminuant ainsi le risque d'accumulation ou de formation de nappe d'hydrogène potentiellement inflammable. Mais dans les cas où le véhicule se trouve dans un environnement fermé tel qu'un tunnel ou un garage, l'hydrogène s'accumule au plafond, ce qui peut déclencher une violente explosion en cas de présence d'une flamme ou d'une étincelle. Cette technologie comporte donc un réel défi à l'étape du stockage qu'il est primordial de maîtriser et d'assurer via des équipements ultra sécurisés. Le véhicule doit également être équipé d'un système de refroidissement - ventilation permettant de refroidir le moteur et ainsi éviter tout risque de surchauffe et d'explosion. L'acheteur d'un véhicule muni d'une pile à combustible peut également se référer aux normes et réglementations mises en place par le Parlement européen visant à définir « les exigences applicables aux véhicules fonctionnant à l'hydrogène » (Eur-Lex, 2009). Pour résumer, la formation d'une nappe d'hydrogène en contact de l'air peut s'avérer extrêmement dangereuse. Bien que le risque de fuite de l'hydrogène soit très élevé, le risque d'accumulation à l'air libre est faible, puisque la molécule d'hydrogène peut facilement se disperser.

4.2.6 Retours du projet de Brügg

Comme évoqué en début de dossier, ce projet pilote est le premier en Suisse à faire fonctionner des cars d'une société de transports publics grâce à la combinaison de pile à combustible et hydrogène. Les nombreux retours positifs de ce projet nous ont permis d'envisager la piste à l'hydrogène et d'en faire l'une de nos solutions de propulsions proposées dans ce dossier. Une discussion et un échange de mail avec Philippe Cina ont été très fructueux puisqu'ils nous ont permis d'obtenir beaucoup d'informations techniques sur ces bus ainsi que les appréciations des passagers. Parmi elles, voici les informations les plus importantes :

- Modèle des cars :** Les cinq cars appartiennent au modèle CITARO FuelCELL Hybrid construit sur mesure par Mercedes-Benz.
- Batterie :** Ils sont combinés d'une batterie lithium-ion qui permet de stocker l'énergie récupérée par le car en situation de freinage et de recharger la batterie.
- Coûts :** Le prix approximatif pour ces bus est de l'ordre de 2 millions de francs suisses, ce qui est environ six fois plus élevé que le prix du bus diesel de référence Setra 412.
- Consommation :** Le véhicule consomme environ 8 kg/100 km et dispose d'un réservoir de 35 kg d'hydrogène. Ce qui est l'équivalent d'environ 30 litres de diesel.

- Autonomie :** L'autonomie en service commercial de ces bus est d'environ 400 km.
- Ravitaillement :** Le temps de ravitaillement est très faible puisque seules cinq à dix minutes sont nécessaires pour faire le plein, comme pour un bus diesel.
- Conduite en altitude :** Un des cinq cars à pile à combustible a effectué un trajet jusqu'à Davos.
- Retours des utilisateurs :** Finalement, les retours des clients et conducteurs ayant utilisé ces cars sont très positifs. En effet, les clients relèvent l'absence de bruit et les conducteurs l'absence de vibrations. Ce qui rend la conduite moins fatigante pour eux.
- Économie de CO₂ :** Ce projet de cinq ans aura permis à CarPostal d'économiser l'équivalent deux millions de tonnes de CO₂.

(Ph. Cina, CarPostal, communication personnelle, 22 avril 2016)

4.2.7 Conclusion intermédiaire II

L'engouement actuel pour la filière de l'hydrogène dans le domaine de la mobilité nous a amené à étudier cette technologie dans le cadre de ce travail, afin de voir dans quelle mesure une transition énergétique à travers cette méthode pourrait être envisageable pour les cars postaux exploités par TSAR. Cette analyse a révélé que techniquement parlant, l'hydrogène est un vecteur énergétique envisageable pour l'exploitation de TSAR. De plus, les retours du projet de Brugg sont très positifs et affirment qu'une conduite à l'hydrogène ne pose vraisemblablement pas de problème même en haute altitude. Les simulations de Stéphane Masserey vont aussi dans ce sens et confirment que la piste à hydrogène peut convenir à la mobilité en haute altitude. De plus la fabrication de l'hydrogène via l'électrolyse de l'eau permet d'obtenir un hydrogène totalement décarboné contrairement à une production à travers le reformage d'hydrocarbures, ce qui permettrait à la société de transport de rouler de manière parfaitement propre tout en étant indépendante face aux énergies fossiles. En outre, les risques d'explosion de l'hydrogène sous forme gazeuse, peuvent être contrôlés grâce à un équipement spécialisé et permettent de réduire nettement la dangerosité au niveau du stockage.

Cependant l'hydrogène en tant que vecteur énergétique doit encore faire face à de nombreux défis. Notamment sur le plan économique ; étant donné que la production d'hydrogène nécessite des investissements de départ encore très importants et que les constructeurs de véhicules sont encore peu nombreux. Ainsi que sur le plan technologique ; le rendement sur l'ensemble de la chaîne étant très faible on peut dire que cette technologie n'est pas encore parfaitement mature.

Malgré ces aspects, l'utilisation de l'hydrogène dans la mobilité reste une piste envisageable techniquement parlant et sera donc analysée de manière plus détaillée dans l'analyse comparative du chapitre suivant.

5. Analyse comparative

Le chapitre quatre a révélé les deux solutions d'alimentation alternative techniquement envisageables dans le cas d'un remplacement de la propulsion actuelle utilisée par les cars postaux.

À ce stade du travail, il convient de comparer ces deux solutions à la propulsion diesel dans le but de faire ressortir le mode de propulsion le plus approprié pour l'environnement de TSAR. Afin d'évaluer l'impact de ces trois modes sur les trois sphères du développement durable, des critères financiers, écologiques et sociaux ont été choisis, en plus des critères de performance sur le plan technique. Cet élément permet d'avoir une vision globale des impacts de chaque technologie, rendant ainsi le choix final plus pertinent. Cette comparaison est faite sur la base de critères quantitatifs et qualitatifs. Ces critères sont accompagnés d'un texte explicatif permettant d'avoir une compréhension plus détaillée des valeurs inscrites dans le tableau

Les informations faisant l'objet de cette analyse proviennent de sources diverses. Notamment d'une revue de littérature spécialisée ainsi que de nombreux échanges avec des fournisseurs potentiels d'équipements tels que Alpiq, McPhy ou encore Leclanché. Concernant le mode hydrogène, beaucoup d'information sont basées sur le projet de CarPostal à Brügg, car la revue de littérature n'a révélé que peu d'autres cas similaires, en Suisse. Enfin, les informations liées à la performance technique des cars, telles que leur consommation pratique d'énergie ou les rendements des trois filières (thermique, électrique et hydrogène), ont été obtenues grâce au travail de Stéphane Masserey. À préciser que le bus diesel faisant l'objet de cette analyse correspond au modèle de référence Setra 412. Toutes les caractéristiques énergétiques et financières de ce bus ont été fournies par TSAR et CarPostal.

Concernant l'outil d'aide à la décision ainsi que les critères utilisés dans cette analyse, ils sont inspirés du rapport technique *Étude comparative trolleybus - bus hybrides*, publié en 2013 par le cabinet TRANSITEC Ingénieurs-Conseil SA. Une fois les trois technologies analysées sur la base des critères de performance, il conviendra de leur attribuer un certain nombre de points en fonction de leur performance respective. Le mode de propulsion ayant récolté le maximum de points sera par conséquent considéré comme étant le plus approprié à l'environnement de TSAR.

5.1 Facteurs financiers

5.1.1 Coûts liés au véhicule

Tableau 14 - Analyse comparative : Coûts liés au véhicule

(Arrondis au millier)	Diesel	Lithium	Hydrogène
Coûts d'achat bus	350 000 CHF	750 000 CHF	1 500 000 CHF
Coût de l'énergie	0.625 CHF/km	0.178 CHF/km	-2 CHF/km
Coût de maintenance	0.50 CHF/km	0.35 CHF/km	2.50 CHF/km
Durée de vie et d'utilisation	12 ans	12 ans	12 ans
Amortissement	10 %	10 %	10 %
VAN	-698 000 CHF	-884 000 CHF	-2 853 000 CHF

Source : Tableau de l'auteur provenant de la revue de la littérature

5.1.1.1 Coût d'achat bus (CAPEX)

Bus diesel

Le prix du véhicule diesel correspond au modèle Setra 412 exploité actuellement par TSAR. Ce prix a été récupéré sur le document *Calculation d'entrepreneur CarPostal 2015* (Annexe III), qui est le contrat reliant TSAR à CarPostal. Ce coût d'achat est également représentatif des autres modèles de bus exploités par la firme actuellement.

Bus 100% électrique

Dans l'ensemble de ce travail, nous sommes partis du principe que le coût d'un bus équipé d'un moteur électrique, ne diffère que peu de celui d'un bus à moteur thermique. En effet, d'après la revue de la littérature, c'est le coût des batteries et des composants électroniques qui fait augmenter le prix final d'un véhicule électrique. Dans ce cas, le coût du jeu composé de deux batteries de type lithium fer phosphate a été déterminé sur la base de leur capacité totale de 185 kWh multipliée par un prix de batterie de 800 CHF/kWh estimé à travers la revue de littérature. La durée de vie des batteries LFP est inférieure à celle du car qui est de 12 ans. Avec un nombre de cycles s'élevant à 4'500, ces batteries peuvent fonctionner jusqu'à 12 ans sachant qu'elles ne sont chargées qu'une fois par jour. Cependant, leur puissance diminuant fortement en fin de vie, il convient de rester prudent et de prévoir une durée de vie de 10 ans. Les deux batteries seront donc remplacées au bout de la 10^{ème} année de leur installation. Les deux nouvelles batteries seront utilisées par le même bus pendant les deux ans qui suivent leur remplacement. Il convient donc d'attribuer une part de 10% du prix de ces nouvelles batteries, au bus de départ. Une fois le véhicule complètement amorti, ces batteries seront installées dans un nouveau car. Le coût du rail permettant le changement rapide des batteries a été estimé à CHF 10'000.- avec accord de Stéphane Genoud étant donné qu'aucune information relative

à ce prix n'ait été trouvé à travers la recherche documentaire. Un véhicule électrique est également équipé de diverses installations électroniques, telles que des convertisseurs et câbles. Suite à une information transmise par la société Brusa, le prix de ces équipements se situe autour des 10% du prix total du véhicule. Le prix du bus 100% électrique, a donc été évalué en partant du prix du bus diesel et en y ajoutant les différents équipements spécifiques de la manière suivante :

Tableau 15 - Analyse comparative : Prix d'achat du bus électrique avec batterie LFP

Équipement du bus	Coûts (arrondis au millier)	Détails des calculs
Prix bus (sans batterie)	350'000 CHF	
Jeu de batteries	296'000 CHF	$2 * 185 \text{ kWh} * 800 \text{ CHF/kWh}$
Batteries de remplacement	29'000 CHF	$296'000 * 10\%$
Rail	10'000 CHF	
Sous-total	= 685'000 CHF	
Électroniques	68'000 CHF	$685'000 * 10 \%$
Prix total du véhicule	= 753'000 CHF	<i>Arrondi à CHF 750'000 dans le reste de l'analyse.</i>

Source : Tableau de l'auteur provenant de la revue de la littérature

Bus hydrogène

Le mode hydrogène nécessite quant à lui plus d'équipements qu'un simple véhicule électrique, ce qui rend l'estimation d'un prix global difficile d'autant plus qu'il n'existe que très peu de constructeurs automobiles pour ce genre de véhicule, en Europe. À ce stade, il a donc été judicieux de se baser sur le car utilisé lors du projet de Brugg. D'après un document officiel fourni par CarPostal, il s'agit d'un véhicule de type Mercedes-Benz Citaro FuelCELL Hybrid construit sur mesure pour ce projet et dont le prix s'élevait à CHF 2'100'000.- (Mercedes-Benz, Citaro FuelCELL Hybrid, 2010). Cependant, un entretien avec M. Cina nous permet de dire que ce prix datant de 2011 ne reflète pas la réalité actuelle puisque d'après lui, le coût d'achat d'un car à hydrogène a probablement baissé depuis 2011. La récolte d'informations via un rapport scientifique plus actuel *Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets : Current Status 2014*, permet de confirmer cette hypothèse et d'estimer le prix d'un bus à hydrogène à environ CHF 1'500'000.- (National Renewable Energy Laboratory, 2014, p. 7). Ce prix comprend l'ensemble de l'équipement interne au car, c'est-à-dire la pile à combustible, le moteur électrique, la batterie au lithium permettant le stockage de l'énergie récupérée en descentes, ainsi que les bonbonnes de stockage de l'hydrogène. Il a malheureusement été impossible de déterminer le coût de chaque équipement de manière précise. Grâce au rapport précité ci-dessus, nous pouvons toutefois noter que la pile à combustible ainsi que la batterie au lithium nécessaire à la récupération d'énergie, représentent un peu moins du tiers du prix total du véhicule, soit une

somme d'environ CHF 430'000.- Le reste des coûts correspondent à la carcasse du véhicule, au moteur électrique ainsi qu'au système de stockage de l'hydrogène (National Renewable Energy Laboratory, 2014, p. 7).

Suite à cette récolte d'information, il s'avère que le car roulant à l'hydrogène représente le coût d'investissement le plus élevé en comparaison au mode électrique.

5.1.1.2 Coût de l'énergie (OPEX)

L'unité de mesure permettant la comparaison des coûts de chaque énergie correspond à des CHF/km. Ce facteur est déterminé selon la consommation pratique de chaque véhicule par km, multipliée au coût de l'énergie. Le tableau ci-dessus offre un aperçu des calculs de conversion :

Tableau 16 - Analyse comparative : Coût de l'énergie

	Consommation/ 100 km	Consommation/ km	Coût de l'énergie	Coût au km
Diesel	45 lt/100 km	0.45 lt/km	1.45 CHF/lt	0.652 CHF/km
Electricité	152 kWh/100 km	1.52 kWh/km	Coût autoproduction = 0.06 CHF/kWh * 0.5 Coût du réseau = 0.17 CHF/kWh * 0.5 → Soit un prix moyen de 0.115 CHF/kWh	0.178 CHF/km
Hydrogène	12 kg/100 km	0.12 kg/km	~16.5 CHF/kg	~2 CHF/km

Source : Tableau de l'auteur. Consommations provenant du travail de Bachelor de Stéphane Masserey.

Diesel

Une quantité de 45 litres aux 100 km est consommée en moyenne par le car Setra 412 effectuant environ 40'000 km par année. Le prix de CHF 1.45 par litre de diesel correspond au prix d'achat du carburant consommé par TSAR en 2015. Ce prix étant fixé plusieurs mois à l'avance entre CarPostal et son fournisseur de carburant Pétrole-Carbona SA, dans un but de se protéger d'une évolution soudaine du prix du diesel qui pourrait fortement influencer les coûts d'exploitation du transporteur. À titre indicatif, le prix moyen du litre de diesel à la pompe s'élevait à CHF 1.55 en 2015 (Shell, 2016).

Électricité

L'énergie nécessaire à la propulsion des bus au lithium est l'énergie électrique. Comme évoqué au chapitre 4.1.1, la production énergétique via une installation solaire photovoltaïque serait financièrement plus rentable par rapport à l'achat d'énergie auprès du fournisseur. Il convient donc de produire sa propre électricité et de la stocker dans les batteries interchangeables. Étant donné que la surface de l'installation de PV ne suffit pas à produire la totalité de l'énergie nécessaire à un car sur toute l'année, l'entreprise TSAR devra acheter l'énergie manquante au fournisseur local Sierre Énergie SA. Le transporteur consommera donc en théorie la moitié de l'énergie nécessaire grâce à

son autoproduction, au prix de 0.06 CHF/kWh et achètera l'autre moitié à un prix de 0.17 CHF/kWh. Ce qui revient à un prix moyen global durant l'année de 0.12 CHF/kWh. Attention, TSAR ne pourra bénéficier de ce prix moyen que pour un seul véhicule, étant donné que l'installation de PV de 400 m² ne permet pas de produire plus d'énergie. Si TSAR décide d'équiper plusieurs cars avec une telle batterie, il ne pourra bénéficier de cette moyenne de prix qu'à condition d'installer des PV supplémentaires. La quantité d'énergie électrique de 152 kWh nécessaire à parcourir 100 km, est une moyenne calculée sur la base des consommations actuelles des véhicules diesel exploités par TSAR (Masserey, S., Travail de Bachelor, 2016).

Hydrogène

La quantité d'hydrogène nécessaire à la propulsion du car muni d'une pile à combustible, est basée sur le projet de Brügg où une consommation de 8 kg au 100 km avait été observée. Il faut cependant prendre en compte qu'il s'agit d'un projet de plaine et qu'en cas de circulation en haute altitude, le bus a besoin d'une force supplémentaire pour sa propulsion. La consommation estimée pour un car postal roulant dans le Val d'Anniviers est de 12 kg/km (Masserey, S., Travail de Bachelor, 2016). Comme démontré au chapitre quatre, la production de l'hydrogène via un électrolyseur acheté par TSAR ne serait pas rentable, étant donné que ce procédé engendrerait des coûts d'investissement trop élevés pour n'être supportés que par un seul acteur. L'entreprise a donc meilleur temps d'acheter de l'hydrogène auprès d'un fournisseur déjà équipé. Le coût de 16.5 CHF/kg est estimé via des informations obtenues de la société Carbagas. Si l'hydrogène avait été produit à partir du reformage d'hydrocarbures, son prix au kg aurait été divisé par quatre.

Cette analyse démontre que le coût de l'énergie électrique consommée au km est significativement moins cher que celui du diesel ou de l'hydrogène. Cela est directement lié au rendement du train d'entraînement qui s'élève à 36 % pour le véhicule thermique, -20 % pour le mode hydrogène et à 66% pour le mode électrique. La perte de rendement du mode hydrogène intervient essentiellement à travers la pile à combustible dont le rendement ne s'élève pas à plus de 30% (cf. chapitre 4.2).

5.1.1.3 Coûts de maintenance (OPEX)

Les frais de maintenance comprennent tous les coûts supplémentaires liés à l'entretien et la réparation du véhicule. Les OPEX du bus diesel de référence, ont été récupérés sur le document *Calculation d'entrepreneur CarPostal 2015*, qui est le contrat reliant TSAR à CarPostal. Ce document nous indique que pour l'année 2015, le coût moyen de maintenance des véhicules sur la totalité des kilomètres parcourus, s'élevait à 0.50 CHF/km.

Les coûts de maintenance des véhicules électriques sont inférieurs à ceux des véhicules thermiques. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'un véhicule électrique ne requiert que peu de remplacements de pièces et que le moteur électrique ne soit composé que de peu d'éléments mobiles contrairement à un moteur thermique. D'après la recherche documentaire ces coûts seraient entre

25 à 35 % inférieurs à ceux des véhicules thermiques (Association nationale pour le développement de la mobilité électrique, 2014). Cette information a donc permis d'estimer un coût d'entretien des véhicules munis de batterie au lithium à 0.35 CHF/km (0.50 CHF/km de coût de maintenance pour véhicule diesel - 30%). De cette analyse, il en résulte que le bus électrique a le coût de maintenance au kilomètre le plus bas.

L'évaluation précise des coûts de maintenance des bus à l'hydrogène n'a pas été facile étant donné leur faible nombre sur le marché. Le montant de 2.50 CHF/km correspond au coût de maintenance des véhicules utilisés dans le cadre du projet de Brugg. Ce prix comprend également le changement de la pile à combustible au bout de quatre ans de fonction. Après réflexion, le remplacement de la pile à combustible ne devrait pas faire partie du coût de maintenance, mais plutôt du CAPEX puisqu'elle fait partie intégrante de l'équipement du car. Mais il n'a malheureusement pas été possible d'obtenir la part des coûts de maintenance attribuée à la pile à combustible uniquement. Ce qui nous mène à utiliser ce chiffre indicatif qui comprend toutefois son remplacement après la durée de vie de quatre ans, résultat d'un nombre de cycles situé entre 2'000 et 5'000.

Comme pour les bus diesel, la durée de vie des bus à propulsion alternative sera identique à leur durée d'utilisation de 12 ans inscrite dans la comptabilité de TSAR. Même si la revue de la littérature dévoile que les véhicules électriques sont plus résistants que les thermiques, il y a encore des incertitudes au niveau de l'équipement du stockage énergétique et il est donc difficile d'évaluer la valeur résiduelle concrète d'un car électrique. Actuellement l'entreprise, amorti ses cars à hauteur de 10 % par année. Afin de rester prudent, cet aspect ne changera pas pour les modes alternatifs.

5.1.1.4 Valeur actuelle nette (VAN)

Présentée au premier chapitre, La VAN doit permettre de démontrer lequel de ces investissements est le plus rentable. Dans cet indicateur, le cash flow représente en règle générale l'excédent des recettes annuelles. Cependant la société TSAR ne dégage pas d'excédents puisque les recettes sont versées à CarPostal, ce qui rend par conséquent l'évaluation du cash flow de la firme impossible. À ce stade, il aurait fallu analyser les excédents de liquidité effectués par CarPostal sur ces lignes, cependant ces données sont strictement confidentielles et n'ont pas été communiquées de la part de CarPostal. Le calcul de la valeur nette actuelle a donc été établi sur la base des coûts fixes et annuels des différents modes de propulsion, ce qui permet de faire une comparaison entre les coûts supportés par chacun d'entre eux, sur leur durée d'utilisation. À ce stade, il n'est pas pertinent de calculer le TRI ou le temps de retour étant donné que sans cash flow, un retour sur investissement n'est pas envisageable.

Le nombre de kilomètres utilisés pour le calcul du coût de l'énergie ainsi que des frais de maintenance, correspond aux 40'000 km parcourus en 2015 par le bus de référence Setra 412. Il faut toutefois préciser qu'il s'agit d'un chiffre indicatif, puisque le nombre de kilomètres parcourus diffère

d'un bus à l'autre. En général, les bus les plus récents sont très utilisés durant leurs premières années d'achat, afin de bénéficier un maximum de la garantie offerte par les constructeurs. Le taux d'actualisation utilisé correspond au taux généralement utilisé pour l'actualisation des actifs dans le domaine de l'énergie (C. Cornaz, Swisselectricity, communication personnelle, 2016).

Tableau 17 - Analyse comparative : Calcul de la VAN pour les bus

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Investissement initial	350 000 CHF	750 000 CHF	1 500 000 CHF
Coûts énergie consommée 2015	26 100 CHF	7 130 CHF	80 000 CHF
Coûts de maintenance	20 000 CHF	14 000 CHF	100 000 CHF
Durée d'utilisation	12 ans	12 ans	12 ans
Taux d'intérêt	5 %	5 %	5 %
VAN	-698 024 CHF	-881 442 CHF	-2 852 528 CHF

Source : Tableau de l'auteur provenant de la revue de la littérature

Étant donné que la VAN a été calculée sur la base de coûts, il est normal d'obtenir des résultats négatifs. Ces résultats démontrent l'importance des coûts du mode hydrogène, qui seraient à la charge du transporteur (dans ce cas de CarPostal) sur les 12 ans d'utilisation. Quant à la VAN du bus 100 % électrique, elle est expliquée par un coût d'investissement relativement important bien que les coûts de l'énergie et de maintenance soient inférieurs au mode diesel. Cela dit, il est important de prendre en considération que les modes de propulsion alternatifs requièrent l'installation de bornes de recharge et que ces coûts pourraient également être à la charge du transporteur, si aucun partenariat n'est établi avec d'autres acteurs intéressés par de telles installations.

5.1.2 Coûts des bornes de recharge

Tableau 18 - Analyse comparative : Coûts des bornes de recharge

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Bornes de recharge	10 000 CHF	5 500 CHF	270 000 ¹⁰ CHF
Durée de vie et d'utilisation	15 ans	20 ans	20 ans
Amortissement des bornes	6%	5%	5%
Coûts d'entretien de la borne	1 850 CHF/an	Compris	13 500 CHF/an

Source : Tableau de l'auteur provenant des sociétés Alpiq et McPhy

¹⁰ Correspond à 250'000 €. Cours de change utilisé : 1 EUR / 1.0782 CHF (BCV, 2016)

Station Diesel

Actuellement, pour faire le plein des cars TSAR est équipé de plusieurs petites stations de recharge diesel. Le prix exact de ces stations n'a pas pu être fourni de la part de TSAR, cependant avec la revue de la littérature, nous pouvons estimer un tel coût à environ CHF 10'000.- (sans carburant). La durée de vie exacte de ces stations n'est pas non plus connue, mais pour rester prudent, nous prendrons une estimation à 15 ans. En ce qui concerne le coût d'entretien de ces bornes, il a été fourni par le document *Calculation d'entrepreneur CarPostal - 2015*.

Borne de recharge électrique

Le coût d'investissement des bornes de recharge pour le bus muni d'un accumulateur au lithium a été communiqué par la société Alpiq E-Mobility SA qui est une filiale du groupe Alpiq. Rencontrée lors des Swiss Mobility Days, cette société est déjà très active dans la commercialisation de bornes de recharge en Suisse et fourni entre autres La Poste et la Confédération. Intéressée par ce projet, la société nous a conseillé de nous baser sur une borne à recharge normale de modèle XTRA R et d'une puissance de 22 kWh. Cette borne permettrait au bus de faire le plein la nuit et avoir une plus grande autonomie durant la journée. Le coût de la borne s'élève à CHF 5'500.- et comprend l'équipement nécessaire, l'installation ainsi que les frais de maintenance. La durée de vie de cette installation est estimée à 20 ans. Il convient donc de procéder à un amortissement linéaire sur la durée de vie s'élevant à 5% par année. L'offre indicative ainsi que les données techniques de cette borne se trouvent à l'Annexe VII.

Station de recharge à hydrogène

Comme pour l'approvisionnement de l'hydrogène, la station de recharge est dimensionnée en fonction des besoins d'un seul car qui équivaut à une capacité journalière de 30 kg d'hydrogène. Le prix de cette station de 350 bars a été communiqué par McPhy à travers une offre de prix pouvant être consultée à l'Annexe IX. Sa durée de vie est identique à celle de la station électrique. Quant au coût de maintenance annuel, il s'élève à environ 5% du montant du CAPEX, ce qui revient à un montant de CHF 13'500.-. Les stations de recharge proposées par la société McPhy semblent très intéressantes de par le fait qu'elles soient modulables. C'est-à-dire qu'une station peut être agrandie ou réduite en fonction de l'évolution des besoins de l'utilisateur. Il convient donc de garder un certain recul par rapport à ces prix, car McPhy se déplace généralement sur le lieu de l'installation avant d'effectuer une offre parfaitement adaptée à l'environnement de son client. Il convient de préciser que cette borne ne comprend pas d'électrolyseur mais seulement les bonbonnes nécessaires au stockage de l'hydrogène. Pour une station équipée d'un électrolyseur, le coût serait multiplié par deux. Ce coût indicatif fourni par la société McPhy est également disponible à l'Annexe VIX.

Cette analyse révèle que les coûts de la station de recharge d'hydrogène sont considérablement plus élevés que ceux de la borne électrique. En effet, on peut considérer un facteur 50 entre ces deux installations, ce qui rend le mode hydrogène particulièrement défavorable.

5.2 Efficience énergétique

Tableau 19 - Analyse comparative : Efficience énergétique

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Consommation	45 lt/100 km	152 kWh/100 km	12 kg/100 km
Consommation en équivalent kWh	6.18 kWh/km	1.52 kWh/km	4.93 kWh/km
Efficacité énergétique	36%	66%	20%
Densité énergétique	11.6 kWh/kg	0.12 kWh/kg	33.3 kWh/kg
Capacité de récupération d'énergie	0%	-35%	-10%

Source : Tableau de l'auteur provenant du travail de Bachelor de Stéphane Masserey

5.2.1.1 Consommation énergétique

La consommation énergétique des différents modes de propulsion dépend particulièrement de la topographie des routes utilisées par les bus de TSAR. Pour pouvoir comparer la consommation énergétique des trois types de véhicules, l'unité de consommation en équivalent kWh a été utilisée. Cet indicateur démontre que le bus roulant à base de diesel consomme le plus d'énergie au km. Ceci peut s'expliquer par le faible rendement énergétique de la chaîne de la motorisation thermique, ainsi que par l'incapacité de récupération énergétique pour la propulsion thermique, qui est prise en compte pour le mode au lithium et à l'hydrogène.

5.2.1.2 Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est basée sur le rendement de la chaîne de chaque véhicule, sans inclure l'approvisionnement ou la production de l'énergie. Ce taux indique la proportion de l'énergie effectivement utilisée pour la propulsion du véhicule en comparaison à l'énergie incorporée au départ, dans le réservoir du véhicule. À ce niveau, la motorisation électrique est la plus efficiente. Le véhicule hydrogène subit d'importantes pertes de rendement, notamment à cause du faible rendement de la pile à combustible (30%).

5.2.1.3 Densité énergétique

La densité énergétique, dit aussi pouvoir calorifique « de la batterie, est la quantité d'énergie stockée par unité de masse ou de volume. Elle s'exprime en Wh/kg ou en Wh/L. » (Lycée Ferry Versailles, 2016). Plus le pouvoir calorifique d'un agent énergétique est élevé plus cela aura tendance à réduire le poids de la batterie et donc celui du véhicule également.

L'hydrogène offre la densité énergétique la plus élevée, ce qui veut dire qu'on intégrera plus d'hydrogène dans une batterie pour un poids équivalent. Le poids des bonbonnes d'hydrogène contenues dans un véhicule n'est donc pas très élevé. Quant à la densité énergétique offerte par les batteries au lithium, elle est très basse. Cela veut dire qu'un bus équipé d'une batterie au lithium

aura un poids très élevé. Dans notre cas le jeu de batterie a été imaginé pour séparer en deux la charge énergétique que devrait normalement contenir une seule batterie. Ce qui aurait pu fortement compromettre cette possibilité. Toutefois avec cette solution de batteries interchangeables, ce critère devient moins impactant.

5.2.1.4 La capacité de récupération d'énergie

La récupération d'énergie est possible pour les véhicules électriques y compris les véhicules roulant à l'hydrogène, à condition que ceux-ci soient munis d'une batterie de stockage. Une telle récupération est possible dans les descentes et en cas de freinage. Cet aspect peut être un grand avantage au niveau du transport alpin, où les descentes et situations de freinage sont quasiment omniprésentes. La récupération énergétique permettra ainsi au car de récupérer une certaine quantité d'énergie en descente, de la stocker dans la batterie puis de l'utiliser dans le chemin inverse. Selon les calculs de Stéphane Masserey, la récupération d'énergie d'un véhicule équipé d'un moteur électrique se situe entre 55 et 59%. Toutefois, en prenant en compte le rendement du train d'entraînement qui s'élève à 66% pour mode électrique et à 20% pour le mode à l'hydrogène, la capacité effective de récupération en descente et freinage ne se situe plus qu'à 35% pour le bus équipé de la batterie au lithium et 10% pour celui à l'hydrogène. Ces valeurs représentent donc l'énergie pouvant effectivement être récupérée sur un trajet (montée + descente).

De plus, cette récupération n'intervient qu'à condition que la batterie ne soit pas pleine. Cela signifie que dans la première course de la journée, même si elle est effectuée en descente, la récupération sera moindre voire nulle car la batterie est déjà pleine. Il convient de préciser que la capacité de récupération énergétique a déjà été intégrée dans les calculs des besoins énergétiques d'un car et donc dans le dimensionnement des batteries (Masserey, S., Travail de Bachelor, 2016).

5.3 Facteurs d'exploitation

Tableau 20 - Analyse comparative : Facteurs d'exploitation

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Temps de recharge	5-10 min.	9 heures	5-10 min.
Impacts climatiques sur la performance	Aucun	Faible	Moyen
Impacts des températures sur la performance	Aucun	Moyen	Moyen
Nombre de constructeurs	Très élevé	Moyen	Faible
Disponibilité de la matière 1 ^e	Moyen terme	Moyen terme	Élevée
Dépendance en la matière 1 ^e	Très forte	Très forte	Forte
Maturité de la technologie	Très élevé	Elevée	Très faible
Filière de recyclage	Développée	Peu développée	Peu développée

Tableau de l'auteur provenant de la revue de la littérature

5.3.1 Le temps de recharge

Le temps de recharge correspond au temps nécessaire pour faire le plein énergétique du réservoir. Selon Laurent Flück, il faut compter 5 à 10 minutes pour faire le plein d'un bus thermique.

Comme évoqué au chapitre 4.1.2.1, le jeu de deux batteries au lithium a été modélisé selon les besoins énergétiques quotidiens d'un bus. Avec une batterie de 185 kWh, le car peut rouler une demi-journée. Il suffit de changer la batterie vide contre la pleine pour lui permettre d'assurer une autonomie pour le reste de la journée. Le temps d'attente pour ce changement de la batterie ne devrait pas excéder plus de 5 à 10 minutes grâce au système de rails dont sera équipé le véhicule. Quant au temps nécessaire pour le chargement des batteries, il s'élève à environ 9 heures par batteries. Cependant ceci n'est pas contraignant puisque selon la figure 12, ce temps de chargement peut être intégré dans le planning quotidien des tournées.

Le temps de recharge des véhicules à hydrogène varie peu par rapport au temps nécessaire au ravitaillement d'un véhicule à base de diesel, puisqu'il s'agit d'un simple transfert de pression d'une station de pompage à un réservoir.

5.3.2 Les impacts climatiques sur la performance

Ce critère permet d'évaluer les influences que pourraient avoir différents facteurs climatiques sur le fonctionnement du véhicule, comme par exemple l'humidité. Alors que le mode de propulsion électrique ne subit que très peu ces influences, celui à l'hydrogène peut quant à lui être affecté par ces aspects et notamment par l'humidité qui peut causer des pertes de rendement à la pile à combustible. En effet, bien que la pile à combustible produise de l'humidité en sortie, un rapport scientifique démontre « que plus l'humidité augmente, plus la résistance individuelle de la cellule diminue » (El-Hassane, 2009). Il existe toutefois la possibilité de protéger la pile à combustible avec un équipement spécialisé afin de contrer cet aspect négatif. De plus, la chaleur de la pile à combustible permet également de réduire ce risque. En finalité, cet impact n'est donc pas tellement contraignant dans la mesure où il peut être contrôlé. Le mode thermique n'est pas influencé pas les impacts climatiques ni ceux liés à la température, par le simple fait qu'il ne requière aucune batterie.

5.3.3 Les impacts des températures sur la performance

Les températures peuvent influencer la performance de batterie au lithium tout comme celle de la pile à combustible. En effet il faut que ces batteries soient suffisamment tempérées pour fonctionner en toute puissance. Cela peut donc prendre plus de temps de bien démarrer un véhicule muni d'une batterie ou d'une pile à combustible. Toutefois, en maintenant le local de stationnement du véhicule à une température suffisamment tempérée pendant la nuit ou en le chauffant quelques minutes avant la première course du matin, ce risque peut fortement être réduit (Masserey, S., communication personnelle, 2016).

5.3.4 Nombre de constructeurs

La concurrence entre les constructeurs des cars thermiques est très élevée, on peut aller jusqu'à dire qu'aujourd'hui ce marché est saturé. D'autre part, les véhicules munis de batteries électrochimiques sont aujourd'hui essentiellement à base de lithium-ion ou de plomb, bien que le nombre de constructeurs de bus électriques reste limité. La technologie reliant hydrogène et pile à combustible a déjà séduit quelques constructeurs automobiles tels que Mercedes, Hyundai ou encore Toyota. Cependant il s'agit encore de petites séries de production qui de plus concernent des voitures de tourisme. Selon une revue de la littérature, la production à grande échelle de tels véhicules ne devrait pas débiter avant 2020. En ce qui concerne les bus à hydrogène, il s'agit aujourd'hui d'une production de bus à petite échelle qui sont essentiellement des prototypes destinés à des projets environnementaux, tels que le projet de Brügg. Il existe donc actuellement que très peu de constructeurs de bus à l'hydrogène, parmi eux nous pouvons toutefois soulever les marques telles que Mercedes ou Solaris (Solaris Bus, 2016).

5.3.5 Disponibilité de la matière première

Les réserves de pétrole sont souvent sujettes à des pronostics erronés puisque régulièrement des gisements nouveaux voient le jour, malgré la consommation effrénée. D'après le rapport *La disponibilité du pétrole à long terme*, les réserves actuelles de pétrole devraient suffire à couvrir les besoins de la population mondiale pendant au moins les quatre décennies suivantes, sans compter l'apparition de nouveaux gisements qui pourrait intervenir entre temps (Union pétrolière suisse, 2016). Toutefois la réalité est telle que le pétrole est une ressource non renouvelable sur laquelle les générations futures ne pourront probablement pas compter.

En ce qui concerne le lithium, les ressources naturelles révélées par l'US Geological Survey prouvent qu'au rythme des consommations actuelles, il y a suffisamment de lithium pour plusieurs siècles à venir (Consoglobe, 2016). Cependant l'évolution de la demande en lithium dans la conception de batterie a fortement évolué ces dernières années, ce qui pourrait réduire ces réserves plus rapidement que prévu. Toutefois, il faut également prendre en compte le fait qu'aujourd'hui les batteries à base de lithium sont certainement les plus matures et que d'ici quelques années l'utilisation d'autres métaux pourraient réduire la part du lithium contenue dans les batteries électriques, qui actuellement se situe à environ 400 g par kWh de capacité de batterie (Éco Énergie Montréal, 2016).

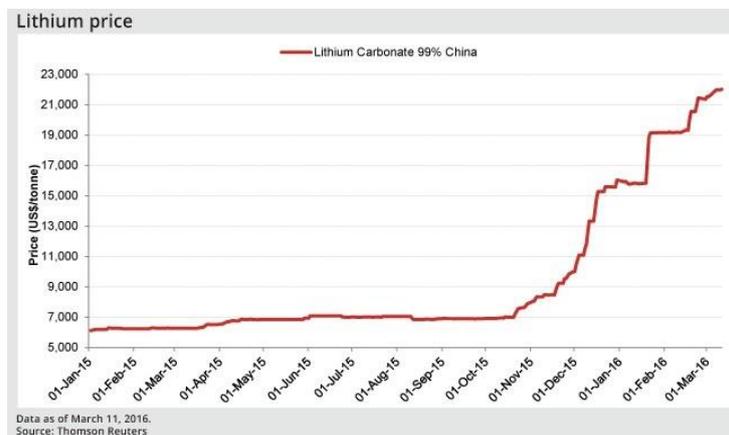
Concernant la filière hydrogène, l'eau et l'électricité sont les principaux éléments utilisés dans sa production. En ne considérant que cette information, le vecteur hydrogène s'avère inépuisable. Cependant, il faut prendre en compte que la pile à combustible permettant de faire rouler le car à l'hydrogène, est composée de terres rares comme par exemple la platine dont le prix devient de plus en plus élevé à cause d'une disponibilité de plus en plus restreinte (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche, 2016).

Cependant, la quantité de platine par pile à combustible si monte en environ 0.0015 kg pour une pile de 16 kg (Ecoinvent, 2016). Ce qui représente moins 0.01% du poids d'une pile à combustible. On peut donc considérer que cette quantité est dérisoire et qu'elle ne rend pas ce facteur très limitant.

5.3.6 Dépendance par rapport au prix de la matière première

L'évolution du prix de la matière première est un facteur qui pourrait fortement influencer le mode de propulsion au diesel ainsi que celui des batteries lithium. En effet, si le prix du lithium venait à s'accroître, notamment dû à une disponibilité limitée dans la nature, le prix des batteries qui dépend entre autres du prix de la matière première, pourrait alors être affecté. Selon la recherche documentaire le prix du lithium est sujet d'une importante évolution ces dernières années. Le graphique suivant démontre l'évolution du prix d'une tonne de lithium entre 2015 et 2016, et révèle que ce prix a triplé en un peu plus d'un an.

Figure 17 - Évolution du prix du lithium entre 2015 et 2016



Source : Eco-énergie-Montréal, L'explosion récente du prix du lithium (2016)

D'après *The Economist*, cette évolution de prix serait due à un fort accroissement de la demande en lithium intervenue ces dernières années, notamment dans le domaine de la mobilité (Economist, 2016). Paradoxalement à cet accroissement, la recherche documentaire nous faire comprendre que le prix des batteries aux lithium-ion a sensiblement baissé ces dernières années et que cette diminution devrait se maintenir pour les prochaines années à venir. D'après Energy Storage Update le prix d'une batterie au lithium pourrait se diviser par deux d'ici cinq ans (Energy Storage Update, 2015). Cette relation opposée entre le prix de la matière et celui de la batterie peut être expliqué par l'avancée technologique et l'amélioration des performances de la batterie.

Quant à l'hydrogène, ce travail a révélé que l'atome d'hydrogène n'existait pas seul dans la nature mais qu'il pouvait s'obtenir à travers le reformage d'hydrocarbures ou l'électrolyse de l'eau. Le prix de la matière première H₂ dépend donc des différents facteurs engagés pour sa production, comme par exemple du prix de l'électricité ou de l'achat de l'électrolyseur. Avec l'avancée technologique,

un rendement plus performant des équipements pourrait avoir une influence positive sur l'ensemble de la chaîne de production et par conséquent réduire le coût de production de l'hydrogène.

5.3.7 Maturité de la technologie

Le niveau de maturité de la propulsion au diesel est naturellement plus élevé que celui des solutions alternatives puisque ce type de motorisation existe depuis le début des années 90 (Histoire pour tous, 2016).

Les batteries au lithium-ion ainsi que les batteries au plomb sont les plus utilisées dans le domaine de la mobilité, c'est pour cette raison que cette technologie est considérée comme étant mature. Cependant les nombreuses sources consultées affirment que les batteries au lithium n'ont pas encore atteint un niveau de maturité maximal (Targray, 2016).

Les recherches quant à l'utilisation de l'hydrogène dans la mobilité alpine, n'ont révélé aucune existence de projet concrets dans un environnement similaire. Cependant le niveau de maturité technologique de l'utilisation de l'hydrogène dans la mobilité urbaine, peut toutefois être jugé de satisfaisant puisqu'une telle technologie a déjà fait ses preuves à travers les différents projets de CHIC et autres institutions dans le monde.

5.3.8 Filière de recyclage

L'existence d'une filière de recyclage pour les véhicules arrivés en fin de vie est un élément important et fait également partie des critères utilisés dans cette analyse comparative. Selon la Fondation Auto Recycling Suisse, il existe environ 70 sociétés de recyclage de voitures entre la Suisse et la Principauté de Liechtenstein (Fondation Auto Recycling Suisse, 2016). Toutefois cette fondation n'a pas pu nous affirmer que la totalité de ces entreprises effectuent également le recyclage de véhicules lourds, tels que les bus ou les camions. Actuellement, les cars postaux arrivés en fin de vie et dont l'entreprise désire se séparer, sont régulièrement exportés vers des pays défavorisés, tels que certains pays de l'est ou du Moyen-Orient. Selon Laurent Flück, la majorité de ces cars finissent leurs jours dans ces pays qui n'ont vraisemblablement pas ou peu de moyens mis à disposition pour le recyclage des véhicules.

Le lithium contenu dans les accumulateurs peut être recyclé grâce à des systèmes de recyclage spécialisés. Cependant la filière du recyclage des batteries au lithium est encore très peu développée et compte seulement quelques acteurs dans ce domaine à l'échelle mondiale. Ceci est essentiellement dû à un manque de rentabilité engendré par des coûts d'extraction et de traitement très élevés. De plus, le prix du lithium est encore trop bas pour permettre aux industriels de créer un modèle d'affaire rentable autour du recyclage de ce matériau. D'autre part, la propulsion électrique étant encore récente, il n'existe que peu de batteries au lithium arrivées en fin de vie et prêtes à être recyclées. Ceci est une autre raison expliquant le faible développement de la filière du recyclage pour les accumulateurs au lithium (Les Echos, 2016).

Le recyclage des piles à combustible permet de récupérer les métaux rares et chers présents dans ces piles. Cependant le peu d'information fournie par la revue de la littérature à ce sujet, nous fait comprendre que c'est une filière encore peu développée à ce jour, étant donné le faible nombre de piles à combustible utilisées actuellement ou arrivées en fin de vie.

5.4 Bilan environnemental

Tableau 21 - Analyse comparative : Bilan environnemental

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Bilan CO ₂	1,4 kg/km	0.08 kg/km	0.07 kg/km
Bilan énergétique	7,46 kWh/km	1.97 kWh/km	5.33 kWh/km
Impacts sonores	Moyen	Faible	Faible

Source : Tableau de l'auteur provenant de Mobitool et Ecoinvent

Les émissions de CO₂ et l'énergie grise découlant des trois types de véhicules ont été déterminés sur la base d'une analyse de leur cycle de vie (ACV) respectif. Le but recherché par cette démarche est de quantifier les impacts écologiques et les ressources nécessaires à l'exploitation d'un véhicule. Cette analyse a pu être effectuée grâce aux bases de données Ecoinvent et Mobitool. La première est une plateforme contenant « des inventaires de cycle de vie pour l'énergie, les matériaux, le traitement des déchets, les trafics, les produits et processus agricoles... » (ESU-Services, 2016). Alors que l'outil Mobitool permet de comparer les différents moyens de transports sur la base de divers facteurs d'émission. L'ACV d'une technologie ou d'un bien repose généralement sur les phases de : l'extraction de la matière, la fabrication du bien, l'utilisation, l'entretien ainsi que sa destruction.

Dans cette étude, les bilan carbone et énergétique ont été établis au niveau des étapes suivantes :

- Production + recyclage
- Utilisation indirecte ¹¹
- Utilisation directe
- Entretien du véhicule

L'ACV des différents véhicules prend en compte la carcasse d'un bus de 12 mètres à laquelle ont été ajoutés les différents équipements spécifiques en fonction du mode de propulsion. Pour le véhicule diesel, les émissions relatives à la production d'un moteur thermique ont été additionnées à celles de la carcasse. Concernant le mode 100% électrique, il comprend en plus de la carcasse, une batterie LFP ainsi que tout l'équipement électronique. Le véhicule à hydrogène comprend quant à lui une pile

¹¹ Cette étape comprend les phases de l'approvisionnement de l'énergie, c'est-à-dire l'extraction du pétrole, la production des panneaux solaires ainsi que la production de l'électrolyseur. L'utilisation directe, représente l'énergie directement utilisée par le véhicule ainsi que les émissions rejetées par la traction du moteur.

à combustible, une batterie au lithium, des réservoirs à hydrogène ainsi qu'un moteur électrique. Le dimensionnement de ces équipements correspond aux caractéristiques d'un bus Setra 412.

5.4.1 Bilan CO₂

Le véhicule muni d'un accumulateur au lithium s'avère être le plus polluant à l'étape de la production. Ceci est essentiellement dû à la production des batteries au lithium qui est passablement polluante. En effet, l'extraction et le transport du lithium causent à ce jour de nombreux dégâts sur l'environnement, comme par exemple en Bolivie et au Chili où la nappe phréatique ainsi que l'eau potable sont empoisonnées par l'exploitation de ce métal (Association Transports et Environnement, 2016). Le recyclage des batteries au lithium peut également s'avérer très polluant dans la mesure où le traitement du lithium passe par de nombreuses étapes pouvant générer des dioxines et autres particules polluantes (Usine Nouvelle, 2016). Le véhicule à l'hydrogène est également plus polluant que le véhicule thermique. Cela s'explique par le fait que ce véhicule utilise un équipement supplémentaire par rapport à un bus roulant au diesel.

Ce bilan démontre que le bus diesel contribue le plus aux émissions de CO₂ et ceci notamment à l'étape de l'utilisation, c'est-à-dire lors de la consommation du diesel. Le bilan CO₂ des deux modes de propulsion alternatifs est passablement allégé grâce à une émission nulle à l'étape de l'utilisation directe. En effet, l'utilisation de l'électricité et de l'hydrogène dans un moteur, n'émet aucune particule polluante mais simplement des rejets thermiques (des rejets d'eau pour la propulsion à hydrogène).

En ce qui concerne l'utilisation indirecte d'un véhicule thermique, elle comprend la phase de l'extraction et du transport du pétrole. Pour le mode électrique, elle représente les émissions de CO₂ intervenues lors de la production des panneaux solaires photovoltaïques. En plus de ces panneaux, le mode à l'hydrogène comprend également la production d'un électrolyseur. Attention, il est important de préciser que dans la base de données Ecoinvent, nous n'avons pas réussi à obtenir les émissions d'un électrolyseur directement. Cependant il a été convenu de se baser sur les émissions d'une pile à combustible étant donné que cette dernière fonctionne de la manière inverse de l'électrolyseur.

D'après la base de données Ecoinvent, l'entretien d'un véhicule rejette environ 21.38 grammes de CO₂ par kilomètre. Ce chiffre doit être revu à la baisse pour le mode 100% électrique étant donné que ce type de véhicule nécessite une maintenance moindre (cf. chapitre 5.1.1.3).

Pour conclure, le bilan carbone des modes de propulsion alternatifs est relativement allégé par rapport à la motorisation thermique. D'après le bilan carbone global (Annexe XIV) les émissions de CO₂ d'un véhicule à motorisation alternative, devraient être réduites d'environ 90% par rapport à un véhicule diesel.

5.4.2 Bilan énergétique

Outre les émissions de CO₂, il était également de rigueur de prendre en compte l'énergie utilisée aux différentes étapes du cycle de vie de ces trois véhicules. L'énergie nécessaire à la production et destruction de l'équipement est communément appelée « énergie grise ». À ce stade, les données quant à l'énergie grise découlant des différents véhicules, varient très peu d'un véhicule à l'autre. Cela dit, le bus propulsé à l'hydrogène reste le plus énergivore étant donné qu'il est équipé d'une infrastructure supplémentaire par rapport au mode thermique et électrique. En effet, dans ce calcul nous prenons en compte, en plus d'une batterie au lithium, une pile à combustible ainsi que les bonbonnes d'hydrogène.

Le point « utilisation directe » représente l'énergie en équivalent kWh, consommée au km par les différents modes de propulsion. Pour plus de détail autour de cette valeur, veuillez-vous référer au Tableau 18. Concernant l'énergie consommée pour la production des panneaux solaires photovoltaïques ainsi que la production de l'électrolyseur, il faut prendre ces valeurs avec une certaine réserve. En effet, la base de données (version gratuite) d'Ecoinvent ne fournit que peu de détails sur ces valeurs. Nous pouvons donc imaginer que le transport des panneaux solaires produits probablement dans un pays étranger, n'est pas pris en compte. Contrairement à l'extraction du pétrole dont la valeur proposée par Ecoinvent prend en compte : l'extraction, le raffinage ainsi que le transport. En ce qui concerne l'entretien des véhicules, le commentaire effectué pour le bilan carbone prévaut également pour le bilan énergétique. Il faut en effet revoir la valeur de 0.23 kWh/km à la baisse pour le véhicule 100% électrique. Finalement, l'analyse du bilan énergétique nous fait comprendre que le bus diesel est également le moins bon élève sur le plan énergétique. Notamment à cause d'une consommation de diesel (en équivalent kWh) particulièrement élevée.

5.4.3 Émissions sonores

Les émissions sonores d'un bus thermique dépendent de plusieurs facteurs, tels que le nombre de tours moteur, la vitesse de déplacement ainsi que le revêtement de la chaussée. Ces émissions font l'objet d'une réglementation européenne qui, à partir du premier juillet 2016, impose une valeur limite à 80 dB aux véhicules diesel ayant une puissance nominale du moteur à plus de 250 kW (EUR-Lex, 2014). Les bus diesel utilisés par TSAR doivent donc répondre à cette norme.

Les émissions sonores d'un véhicule à motorisation électrique sont nettement inférieures à celles produites par un bus thermique. En effet, d'après la recherche documentaire sur les différents cas de bus utilisés dans la mobilité électrique, un tel véhicule n'émettrait pas plus de 65 dB (WeDemain, 2014). Cependant, cette réduction du bruit des véhicules électriques peut également être source de problème dans la mesure cela supprime le signal audible pour les piétons, cyclistes et autres véhicules (EUR-Lex, 2014). Quant au bus alimenté à l'hydrogène, ses impacts sonores seraient encore réduits grâce à l'utilisation de la pile à combustible qui d'après la revue de littérature émettrait un bruit allant de 50 à 56 dB (Horizon Hydrogène Énergie, 2016).

5.5 Aspects sociaux

5.5.1 Confort des passagers

Tableau 22 - Analyse comparative : Confort des passagers

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Nombre de place assises	42	42	42
Nombre de place debout	28	15	17
Bruit à l'intérieur du véhicule	Moyen	Faible	Très faible

Source : Données de l'auteur

5.5.1.1 Nombre de places assises et debout

Bus diesel

Le nombre de places à l'intérieur du bus est un critère fondamental dans le choix d'une propulsion alternative. En effet, selon les informations de Laurent Flück, il est important que le nombre de places assises à l'intérieur d'un nouveau modèle de bus, diffère le moins possible par rapport à celui des véhicules exploités actuellement par la société. D'autre part, le nombre de places debout peut quant à lui être réduit étant donné que sur ces lignes en altitude, rares sont les passagers qui effectuent le trajet en étant debout. Il faut savoir qu'un bus de 18 to comporte une limitation de places assises et debout. Le modèle de bus de référence utilisé pour cette analyse dispose de 70 places au total, dont 42 sont des places assises et 28 debout.

Bus électrique

Dans le cas du mode de propulsion 100% électrique, le poids de la batterie au lithium dimensionnée pour avoir une capacité de 185 kWh par jour, additionné aux nombres de passagers maximum du véhicule, surpasserait la limitation de la charge totale du véhicule. Il faut par conséquent faire un compromis en réduisant le nombre de places disponibles dans le véhicule. Il convient alors de prendre en compte la volonté du mandant et de maintenir le nombre de places assises au détriment des places debout.

En cas d'adoption du mode électrique muni de la batterie au lithium fer phosphate, les cars auront une quantité de places debout inférieure à celle des véhicules thermiques. Il convient de préciser que ces prévisions sont effectuées pour le modèle de bus Setra 412 et que les autres bus disposent d'une disponibilité de charge plus élevée. L'estimation de la quantité de places à réduire a été calculée de la manière suivante :

Tableau 23 - Analyse comparative : Réduction des places debout

	Poids (kg)	Remarques
Poids total du véhicule	18'000	Modèle : Setra 412
Poids du bus à vide	12'130	
Poids max des passagers sans batterie	5'870	On estime qu'il y a une proportion ¹² de : <ul style="list-style-type: none"> • 49.6% d'homme de 80 kg chacun (bagages y.c.) • 50.4% de femme de 68 kg chacune (bagages y.c.) • 20% d'enfant de 50 kg chacun (bagages y.c.) → Soit un poids moyen de 69.2 kg
Poids de la batterie	1'900	Batterie lithium fer phosphate (185 kWh)
Poids max des passagers avec batterie	3'970	Poids disponible pour les passagers, dans un bus équipé d'une batterie LFP (tout confondu assis, debout)

→ Nombre de places à réduire dans une bus équipé d'une batterie LFP	3970 kg / 69.2 kg = 57 passagers. → Maintien des 42 places assises → Réduction de 13 places debout
---	---

Source : Données de l'auteur provenant d'une réflexion commune avec Stéphane Masserey

Bus hydrogène

En cas de propulsion à l'hydrogène, ce nombre de places assises serait à priori moins restreint étant donné que le poids de l'équipement serait légèrement moins élevé. En effet, selon une analyse de Stéphane Masserey, le bus devra être équipé d'une pile à combustible d'une puissance de 260 kW pour un poids de 750 kg, de 5 à 6 bonbonnes d'hydrogène d'environ 6 kg chacune, de deux batteries au lithium d'une capacité de 40 kWh soit un poids de 400 kg chacune ainsi que du matériel électronique (170 kg). Le poids total de l'équipement s'élèverait à ~1'750 kg au total (Masserey, S., Travail de Bachelor, 2016). Dans le car roulant à l'hydrogène il a été imaginé que les bonbonnes d'hydrogène soient stockées sur le toit du véhicule, comme il était le cas à Brügg. Ainsi, la hauteur du bus surpassera quelque peu celle des bus actuels, mais cela évitera de prendre de la place à l'intérieur du véhicule, ce qui est un réel avantage.

→ Nombre de place à réduire avec mode hydrogène	5'870 - 1'750 kg = 4'120 kg (poids maximum des passagers) 4120 / 69.2 = 59 passagers → Maintien des 42 places assises → Réduction de 11 places debout
---	---

¹² Parité hommes et femmes selon la structure de la population suisse (Statistique de la population et des ménages (STATPOP), 2015).

5.5.1.2 Le bruit à l'intérieur des véhicules

Ce critère est en forte corrélation avec celui des *impacts sonores* analysé en chapitre 5.4.3. En effet les trois types de motorisation émettent des impacts sonores à des degrés différents ce qui affecte également le bruit à l'intérieur du véhicule et par conséquent le confort des passagers. Selon Laurent Flück, les bus exploités par TSAR ne se sont pas très bruyants et les passagers s'habituent rapidement aux mouvements mécaniques du véhicule. Il faut toutefois prendre en compte que le mode électrique et à hydrogène pourraient encore réduire ce « dérangement » aussi faible soit-il. En effet, selon Philippe Cina, passagers des bus de Brugg ont souvent remarqué la réduction du bruit à l'intérieur des véhicules.

Outre les normes légales en termes de confort des passagers que doivent impérativement respecter les bus destinés au transport public, les véhicules à propulsion alternative amèneraient donc une réduction du bruit supplémentaire.

En ce qui concerne le niveau de sécurité du véhicule, nous avons jugé que ce critère n'était pas pertinent dans le sens où l'ensemble des trois véhicules comportent un degré de risque sensiblement similaire. En effet, le bus à hydrogène comporte des risques d'explosion en cas d'incident et ce, particulièrement en espaces mal aérés. Cependant les technologies actuelles offrent des systèmes et équipements de stockage appropriés à ces situations à risques. Comme démontré au chapitre quatre, le mode au lithium peut également être dangereux et ceci au même titre qu'un véhicule au diesel. Il existe donc des risques pour ces trois technologies mais également des moyens de contrôle qui réduisent leur fréquence et probabilité.

5.5.2 Confort des chauffeurs

Tableau 24 - Analyse comparative : Confort des chauffeurs

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Confort dans la conduite	Bon	Bon	Très bon
Changement dans les habitudes des chauffeurs	-	Probable	Peu probable

Source : Données de l'auteur

En ce qui concerne la conduite des chauffeurs, le choix du mode de propulsion pourrait avoir une influence sur cet aspect. Selon les informations obtenues à travers Laurent Flück, le niveau de confort dans la conduite des bus diesel, n'est pas réellement perçu puisque d'après lui : « on s'y habitue ». Cependant les retours qualitatifs du projet de Brugg ont révélé que la conduite d'un bus à hydrogène offrait aux chauffeurs un confort supplémentaire par rapport aux véhicules thermiques dans la mesure où la pile à combustible réduit fortement les vibrations que peuvent advenir d'une motorisation au diesel rendant ainsi la conduite plus agréable et moins fatigante. Quant au niveau de confort offert

par un véhicule muni d'une batterie au lithium, il a été évalué sur la base de différentes sources automobiles qui nous indiquent que la motorisation électrique d'un véhicule lui offre un confort considérable à la conduite grâce à des vibrations quasiment nulles (Bombardier, 2016).

Le changement du mode de motorisation pourrait avoir une influence sur les habitudes des chauffeurs et changer leurs pratiques quotidiennes, notamment au niveau du ravitaillement du véhicule. Le chargement du véhicule 100% électrique, s'effectuera en changeant la batterie de 185 kWh vide contre la pleine. Comme le démontre la Figure 12 la batterie devra être chargée en milieu de journée. De plus, selon notre analyse le changement du mode de propulsion ne nécessiterait à priori pas de changement au niveau des horaires des tournées, car la pause de 14 h suffirait à changer la batterie au lithium.

Quant au mode à hydrogène, le système de chargement ne diffère que très peu du chargement d'un véhicule diesel. En effet, cela consiste à pomper de l'hydrogène à travers une station contenant de l'hydrogène sous forme de gaz. Ce procédé requiert toutefois une vigilance supplémentaire et des normes de sécurité à respecter par rapport à un chargement diesel traditionnel.

5.5.3 Impacts sur diverses parties prenantes

Tableau 25 - Analyse comparative : Impacts sur diverses parties prenantes

	Diesel	Lithium	Hydrogène
CarPostal	Neutre	Très positif	Très positif
Commune	Neutre	Positif	Positif
Acceptation sociale	Bonne	Bonne	À vérifier
Acceptation politique	Bonne	Bonne	Bonne

Source : Données de l'auteur

5.5.3.1 Impact envers CarPostal

La transition énergétique de TSAR peut avoir une influence sur l'ensemble de ses parties prenantes. Premièrement, c'est la société CarPostal qui pourrait retirer un bénéfice de cette transition notamment car elle s'inscrit parfaitement dans les engagements actuels de la firme ainsi que dans sa vision à long terme qui consiste à développer un parc de véhicules, indépendant des carburants fossiles (PostAuto, 2016). Ce projet pourrait constituer une étape supplémentaire à l'atteinte de cet objectif et serait également un bon moyen de communiquer sur ses nombreux engagements en termes de développement durable et montrer l'exemple de sa place de leader du transport public national par bus.

5.5.3.2 Impact envers la commune

Une propulsion alternative de TSAR, qui est un acteur servant l'intérêt général de la région, peut aussi avoir un impact positif sur la commune du Val d'Anniviers, dans la mesure où l'ensemble du transport public desservant cette région serait particulièrement propre. Cela peut constituer une plus-value notamment à travers une amélioration de l'image de la commune, qui grâce à ce projet mené à la base par CarPostal, pourrait connaître une évolution des entrées touristiques. En effet, cette transition pourrait probablement avoir pour conséquence l'éveil d'une curiosité et de l'intérêt que ce soit pour les connaisseurs du domaine ou ceux qui désirent découvrir cette alternative au diesel. Mais attention, cela reste une hypothèse car il est difficile de prédire l'apparition ou l'importance de cette évolution touristique ni même sa capacité à perdurer dans le temps. En outre, cette transition énergétique vers une mobilité durable pourrait permettre à la commune ainsi qu'à l'office du tourisme du Val d'Anniviers de respecter l'objectif en termes de mobilité fixé à travers La Politique Touristique d'Anniviers, qui consiste à « Développer les infrastructures manquantes, les aménagements et la mobilité, mais de manière rationnelle, coordonnée et planifiée. » (Commune d'Anniviers, 2015). Il convient aussi de préciser que même si le mode au diesel est polluant et non viable sur le long terme, cela n'a réellement pas d'impact négatif sur l'image de la commune ou de la région. Car la première chose qui intéresse les clients selon Laurent Flück est une offre de transport suffisamment importante et une flexibilité de la société. Ils ne perçoivent donc à priori pas de problème avec le mode de propulsion actuel.

La transition énergétique de TSAR serait également en accord avec la Stratégie Énergétique 2050 de la Confédération, qui prévoit de nombreux défis pour le domaine du transport public et notamment :

- L'efficacité énergétique,
- L'abandon du nucléaire¹³
- La diminution des émissions de CO₂,
- La production d'énergie verte.

(OFT, 2016)

5.5.3.3 Acceptation sociale et politique

Dans le cadre de cette étude, il était également judicieux de s'interroger sur un éventuel risque d'acceptation de ces nouvelles technologies de la part de parties prenantes internes ou externes à TSAR. En effet, étant donné que l'hydrogène est souvent associé à un danger, cela peut être un frein au niveau de l'acceptation de ces technologies. Cependant, il est à ce stade impossible de déterminer si les passagers utiliseraient moins les transports publics à cause de ce risque, qui de plus n'est que

¹³ « Cela implique que le courant utilisé pour la traction et les infrastructures (éclairage, alimentation électrique de la signalisation, des aiguillages, des bâtiments etc.) provienne de sources renouvelables, produites par les entreprises de transport elles-mêmes ou achetées. » (OFT, 2016)

peu probable. Pour pouvoir évaluer une telle hypothèse, il faudrait tout d'abord informer les passagers en amont sur les opportunités et risques de ces technologies pour pouvoir ensuite récolter leurs avis et perceptions. Nous estimons toutefois, que le mode hydrogène peut être sujet à des contraintes un peu plus élevées que le mode 100% électrique étant donné qu'il n'existe que très peu de cas de mobilité à l'hydrogène ayant fait leurs preuves, surtout dans le transport public. Quant à l'acceptation politique, nous estimons que cet aspect ne poserait pas de problème particulier, à conditions que les bus respectent les normes et réglementations de l'OFT.

5.6 Opportunités futures

Tableau 26 - Analyse comparative : Opportunités futures

	Diesel	Lithium	Hydrogène
Amélioration des rendements	Peu probable	Probable à moyen terme	Probable à court terme
Réduction du prix de l'équipement	Peu probable	Probable à court terme	Probable à moyen terme
Apparition de taxe ou subvention	Peu probable	Probable à moyen terme	Probable à moyen terme

Source : Tableau de l'auteur provenant de la revue de la littérature

Le chapitre quatre a démontré que les deux modes de propulsion proposés à l'entreprise ne sont pas encore parfaitement matures à ce jour, ce qui explique les pertes de rendement sur l'ensemble de la chaîne ainsi que des prix d'équipement encore élevés. Par ailleurs, la revue de littérature révèle que de nombreux projets R&D sont en cours au niveau des deux technologies alternatives et qu'il faut s'attendre à des améliorations de la performance des divers équipements.

5.6.1 Amélioration des rendements

En ce qui concerne le stockage énergétique par le biais de l'hydrogène, les prévisions sur le rendement des différents équipements sont diverses et variées. Selon l'institut Paul Scherrer, l'efficacité des électrolyseurs peut encore être améliorée, notamment grâce l'utilisation de « meilleurs catalyseurs permettent d'augmenter encore l'efficacité des réactions chimiques aux électrodes, et donc le rendement des produits désirés. » (Paul Scherrer, 2015). L'électrolyseur ainsi que la pile à combustible sont les équipements qui devraient connaître la plus grande amélioration dans la filière de l'hydrogène. Quant aux bonbonnes permettant son stockage sous forme gazeuse, la plupart d'entre-elles offrent aujourd'hui un rendement d'environ 90%, ce qui est relativement élevé. On ne s'attend donc pas à une amélioration du rendement de ces bonbonnes à moyen terme. Outre le rendement de la pile à combustible, c'est aussi sa durée de vie qui sera probablement améliorée d'ici 2020. Aujourd'hui, la durée de vie d'une telle cellule est située entre 2'000 et 5'000 heures. Celle-ci devrait surpasser les 5'000 heures d'ici 2020.

En ce qui concerne la filière électrique combinée d'une batterie lithium fer phosphate, les équipements qui devraient connaître des améliorations majeures au niveau des rendements sont principalement les panneaux solaires photovoltaïques (Association des entreprises électriques suisses, 2015). Concernant les batteries LFP, la revue de littérature livre un rendement situé entre 85% et 95% et ne prévoit pas d'amélioration majeure pour les années à venir. En effet, la batterie ne pourra jamais atteindre un rendement de 100% à cause de la résistance interne intervenant à l'étape du chargement (Solise, 2016).

Tableau 27 - Analyse comparative : Rendements actuels et futurs des équipements

	2016	2020-2035	2035-2050
Électrolyseur	60 - 80%	80%	
Pile à combustible	30%	-40%	60%
Panneaux photovoltaïques polycristallins	15%	19%	21%

Source : Tableau de l'auteur, provenant de sources multiples

- a) Institut Paul Scherrer (2015).
- b) Association des entreprises électriques suisses (2015).

5.6.2 Réduction du prix de l'équipement

La revue de la littérature nous confronte à diverses versions très différentes les unes des autres en ce qui concerne l'évolution du prix de l'équipement nécessaire aux deux modes de propulsion. Il est donc très difficile de déterminer des prix futurs exacts, sur la base de ces informations. Toutefois, nous pouvons affirmer qu'à part le mode thermique dont les prix sont globalement stables depuis plusieurs années, les prix des véhicules à propulsion alternative ainsi que ceux de l'équipement nécessaire à la production énergétique, devraient connaître des réductions dans les années à venir. Ceci notamment grâce à la R&D sur les différentes technologies ainsi qu'à une augmentation de la demande. La filière 100% électrique devrait connaître des réductions de prix à plus court terme étant donné que cette technologie est plus mature que la filière hydrogène, et beaucoup plus utilisée dans le domaine de la mobilité.

5.6.3 Apparition de taxe ou subvention

Ce critère implique la possibilité de l'apparition d'une nouvelle taxe en en faveur ou défaveur des différents moyens de propulsion présentés à travers cette analyse comparative, de même que l'octroi d'une subvention en faveur de la mobilité durable. Il est évident que TSAR ne serait que peu affecté par une charge fiscale supplémentaire, puisqu'il s'agit d'une entreprise de transport public, soutenue par la Confédération à travers le concessionnaire CarPostal. Cependant, ce facteur peut être un élément important pour les sociétés de transports privées dont les charges routières constituent véritablement des sorties de fonds.

Actuellement la recherche documentaire n'a relevé aucune possibilité de détaxation en faveur de TSAR, dans le cas où elle décidait d'adopter un mode de propulsion alternatif proposé dans ce travail (cf. chapitre 3.2.4). Cependant, au lieu de payer une taxe routière de CHF 24.- par place assise, TSAR pourra en cas de motorisation électrique de ses bus, voir cette taxe se réduire à CHF 11.50 par place assise (sachant que deux places debout sont comptées comme une place assise) (Loi sur l'imposition des véhicules automobiles, 2016).

Cependant, il est possible qu'à l'avenir, la Confédération soutienne la mobilité durable par le biais de taxes ou de subventions supplémentaires. En effet la Confédération et autres institutions pourraient par exemple contraindre les utilisateurs de véhicules thermiques à intégrer une vision énergétique à long terme, dans leur politique interne. Les recherches n'ont révélé l'existence d'aucune taxe CO₂ prélevées sur les bus au diesel actuellement. Cependant il est envisageable que la Confédération décide, dans le cadre de sa Stratégie énergétique 2050, d'imposer une telle taxe pour l'ensemble des véhicules roulant sur le territoire suisse. Des discussions téléphoniques avec des interlocuteurs des Offices fédérales de l'environnement et du transport n'ont pas pu confirmer une telle hypothèse, qui n'a toutefois jamais été écartée de leur part.

Pour continuer dans les aides et incitations financières, la Confédération prévoit à travers le Bureau de coordination pour la mobilité durable (COMO), un budget destiné à l'encouragement des projets favorisant la mobilité durable. Ce bureau a déjà soutenu un certain nombre de projets que ce soit au niveau de la mobilité douce et au niveau du car sharing. Il pourrait donc être intéressé par le soutien d'un projet innovant tel que le développement de la mobilité à hydrogène ou électrique dans une région alpine. Selon l'Office fédéral de la santé publique :

« COMO mise sur le développement durable. Ce dernier comprend aussi le développement d'idées nouvelles pour des formes et des offres de mobilité porteuses d'avenir. Les activités du bureau se focalisent sur les projets intermodaux novateurs et sur les interfaces entre les différents modes de transport. Les projets doivent contribuer à améliorer l'efficacité et la durabilité de l'ensemble du système des transports » (Office fédéral de la santé publique, 2016).

5.7 Analyse des résultats

5.7.1 Méthode de sélection

L'analyse comparative a permis d'exposer les différents facteurs qui pourraient avoir une influence sur le choix final du moyen de propulsion. La volonté d'approcher cette problématique conjointement sur les trois facettes qui constituent le développement durable (économique, écologique et sociale) implique la corrélation de multiples critères prédéfinis ce qui rend l'analyse et l'interprétation des résultats très difficile. Le choix de l'une ou l'autre des solutions d'alimentation précédemment développées, est donc effectué sur la base d'une comparaison des performances de chacune d'entre elle. La sélection finale s'est fait par le biais de deux étapes :

- 1) Attribution d'une note de 1 à 3 à chaque critère, en guise d'appréciation. L'échelle utilisée pour l'attribution de ces notes est la suivante :
 - 0 : Défavorable
 - 1 : Sans effet ou moyennement favorable
 - 2 : Particulièrement favorable
- 2) Attribution d'une pondération à chaque critère en fonction de leur degré d'importance dans le choix de la solution finale. L'échelle de pondération s'élève de 1 à 10 où la note de 10 est attribuée au critère ayant le plus d'importance dans la décision finale pour l'entreprise.

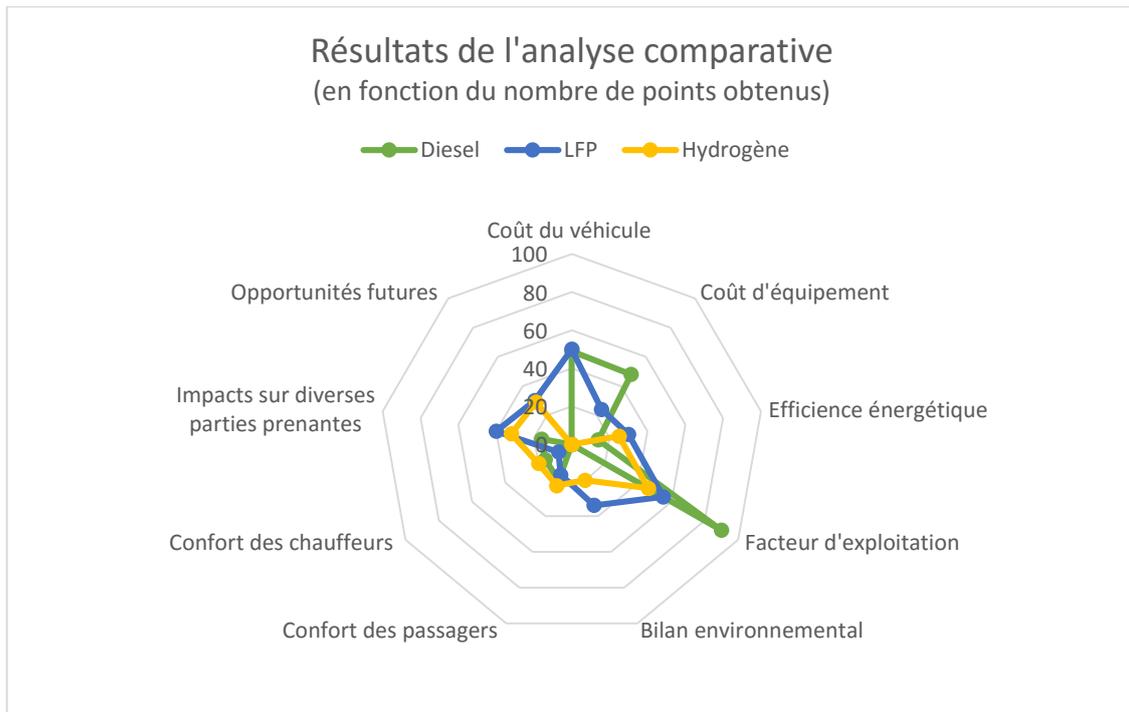
Dans l'optique d'effectuer un travail répondant un maximum aux besoins de la société, la pondération de chaque sous-catégorie a été réfléchi est mise en place en collaboration avec Laurent Flück. L'outil de sélection utilisé a permis de faire ressortir le mode de propulsion le plus approprié pour TSAR.

5.7.2 Mode de propulsion sélectionné

La méthode de sélection utilisée dans cette analyse, révèle que s'est en l'occurrence le mode 100% électrique combiné d'une batterie au lithium qui semble le mieux adapté à l'environnement de TSAR, en cas de transition énergétique dans un proche avenir. Les résultats détaillés, comprenant la note et la pondération attribuée à chaque critère sont présentés à l'Annexe XV.

Quant aux résultats par catégorie, ils sont reportés ci-dessus, ce qui permet de voir les aspects sur lesquels chaque mode de propulsion est le plus favorable.

Figure 18 - Résultat de l'analyse comparative



Source : Données de l'auteur provenant de l'analyse comparative

L'analyse comparative révèle que sur le plan financier, le bus équipé d'une batterie lithium LFP ainsi que le bus thermique sont pratiquement sur le même piédestal. Car même si le bus électrique représente un coût d'investissement plus élevé, son coût de l'énergie est plus favorable par rapport au diesel, ce qui allège son bilan financier. Le bus équipé d'une pile à combustible représente quant à lui les coûts d'investissement les plus élevés, tant au niveau du bus, de la station de recharge et du coût de l'énergie. Au niveau de la performance énergétique, le mode électrique est le plus avantageux notamment grâce au rendement du moteur électrique. Le véhicule à hydrogène supporte des plus amples pertes à cause de la pile à combustible.

Au niveau de l'exploitation et utilisation du véhicule, le bus thermique offre des avantages considérables notamment grâce à de faibles impacts climatiques sur la performance de la technologie et à des filières d'approvisionnement et de recyclage plus développées. Sur le plan environnemental, c'est le bus électrique qui est le moins impactant. Ceci est dû au fait que la consommation d'énergie électrique produite à partir de ressources renouvelables soit très peu voire pas du tout polluante.

Le véhicule à hydrogène est cependant le plus confortable pour les passagers et les chauffeurs. De plus, les différentes sources spécialisées consultées à travers cette étude, ont révélé que l'hydrogène est un vecteur énergétique qui grâce à la R&D, pourrait connaître d'importantes améliorations de rendement et des réductions de coûts. Ce qui rendrait cette piste envisageable dans divers domaines d'utilisation, comme par exemple dans la mobilité publique.

6. Vers une transition énergétique

Sur la base des résultats obtenus à travers l'analyse comparative, nous pouvons affirmer que le mode de propulsion 100% électrique combiné par une batterie au lithium de type lithium fer phosphate, serait actuellement le mieux adapté pour l'exploitation de la société TSAR en prenant en compte les trois sphères du développement durable. Grâce à cette technologie, le potentiel d'amélioration du bilan CO₂ est non négligeable puisqu'elle permettrait aux cars postaux de rouler de manière particulièrement propre. Ceci à condition que l'énergie électrique nécessaire soit issue d'une production renouvelable.

La mise en place de véhicules 100% électriques et un projet qui s'effectue en plusieurs étapes et qui nécessite la prise en compte de nombreux facteurs. Par conséquent, il est important d'accompagner ce travail de Bachelor par des recommandations et d'un plan de mise en œuvre que la société pourra utiliser dans le cadre d'une transition énergétique. Les recommandations faites à la société seront également basées sur une enquête qualitative effectuée auprès des utilisateurs des transports publics du Val d'Anniviers.

6.1 Enquête auprès des passagers

L'un des objectifs de cette étude cité en début de rapport, consistait à « maintenir la qualité du service actuel proposé par TSAR, voire à l'améliorer ». Ceci étant, il est nécessaire d'évaluer la qualité du service actuel tel qu'il est perçu par les passagers, par le biais d'une enquête qualitative. La récolte de ces données permet d'apporter à la société des recommandations qui se rapprochent un maximum des besoins de ses clients. Avant la réalisation de cette enquête, les hypothèses de départ étaient les suivantes :

1. Les passagers perçoivent la qualité du service actuel de TSAR et l'apprécient.
2. Les passagers ne perçoivent pas la valeur énergétique du service.
3. Un changement au niveau des horaires et des plans de tournées, n'est pas nécessaire.
4. Les passagers sont intéressés par un plan de mobilité à 100% verte pour les transports publics Anniviards.

L'enquête a été menée auprès d'un échantillon de 10 personnes de tranches d'âge différentes. Cet échantillon est représentatif de la clientèle de TSAR qui selon Laurent Flück, est plutôt hétérogène. L'enquête a été réalisée à une heure de pointe, sur la ligne de Sierre-Vissoie qui est la ligne la plus fréquentée. La plupart des personnes interrogées sont des utilisateurs réguliers de cette ligne. La prise de note a été effectuée de manière manuscrite sur un formulaire et les entretiens ont ensuite été retranscrits informatiquement. Les 10 entretiens retranscrits peuvent être consultés à l'annexe XVII.

La récolte de données auprès des passagers a permis d'établir les constats suivants :

Question n° 1 : « Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ? »

Il s'avère que les 10 personnes interrogées sont globalement satisfaites de ce service. Les aspects tels que l'accueil et la ponctualité sont très souvent relevés par les clients. La flexibilité des chauffeurs intervient plusieurs fois également. En effet, les clients apprécient le fait que les chauffeurs s'adaptent aux autres correspondances en cas de retard (des trains par exemple). Ils apprécient également le fait d'avoir accès aux horaires et autres informations en ligne ainsi que sur l'application des CFF. Les passagers non réguliers de ces lignes relèvent le contact humain et chaleureux lors de ces voyages.

Cette question nous permet d'affirmer que malgré le choix restreint au niveau du transport public dans le Val d'Anniviers, les passagers sont globalement satisfaits du service proposé par TSAR. On remarquera aussi, que la valeur du service énergétique n'est pas perçue par ces clients. C'est-à-dire que le fait que le car roule au diesel ou de manière totalement propre, cela n'affecte à priori pas leur perception de la qualité du service. Les deux premières hypothèses peuvent donc être affirmées.

Question n° 2 : « D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ? »

La moitié des personnes interrogées affirment que le service actuel proposé par TSAR leur convient parfaitement et qu'il n'y a rien besoin de changer pour l'améliorer. Plusieurs passagers souhaiteraient qu'il y ait plus de cadences durant la journée et particulièrement durant le week-end. Une faible minorité affirme qu'il serait judicieux de ne plus devoir changer de bus à Vissoie comme c'est le cas à présent pour rejoindre certains villages.

Cette deuxième question permet de confirmer la satisfaction générale de la clientèle. Le manque de fréquence est toutefois relevé à travers cette enquête. La troisième hypothèse est par conséquent infirmée.

Question n° 3 : « Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ? »

Outre le souhait d'avoir une cadence de transport plus étendue, les passagers ont souvent évoqué certains aspects de la mobilité actuelle qu'il ne faudrait surtout pas changer. Le Liberty Pass et la flexibilité de TSAR en sont les exemples principaux. Deux personnes ont évoqué leur intérêt pour un système de transport par câble qui d'après elles, serait tout à fait adapté à certains villages et n'encombrerait pas les routes. Une faible minorité a affirmé souhaiter moins de pollution à travers le transport public à l'avenir.

Question n° 4 : « Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ? »

Sur les 10 personnes interrogées, la grande majorité d'entre elles affirment que ce projet pourrait être bénéfique pour la région, principalement sur le plan écologique. Certaines personnes avouent trouver le projet intéressant mais émettent des réserves quant à la rapidité et au temps de charge de ces nouveaux bus. Une personne affirme qu'un bus électrique permettrait d'améliorer le niveau de confort des passagers, ce qui pour elle est une plus-value.

Finalement, cette dernière question permet d'affirmer que l'ensemble des personnes interrogées semblent très intéressées par une motorisation électrique, à condition que cela n'affecte pas la rapidité du car ni l'attente entre les courses. La dernière hypothèse peut donc être affirmée grâce à la récolte des données sur le terrain. Malgré les réponses très positives à cette dernière question, il est impossible de prédire si un changement de motorisation pourrait inciter les habitants de la région à utiliser les transports publics davantage.

6.2 Recommandations

La motorisation électrique d'une flotte de véhicule est un long processus qui s'effectue étape par étape. C'est ainsi qu'il est conseillé au transporteur public de commencer par le remplacement d'un seul véhicule au départ. Cette première étape constituerait une période de probation pendant laquelle le transporteur peut évaluer de lui-même l'adéquation de ce type de véhicule avec son environnement. Sur la base de ce modèle, le transporteur pourra ensuite imaginer la mise en place ainsi qu'une organisation adéquate pour la motorisation complète de sa flotte de véhicule. De plus, nous recommandons au transporteur de commencer par remplacer le véhicule effectuant la ligne Vissoie-Sierre. Ainsi la société pourrait évaluer la performance d'un véhicule électrique sur une ligne très fréquentée. Toutefois, ce véhicule pourrait également effectuer de temps à autre des tournées différentes. Cela permettrait de contrôler la compatibilité d'une telle motorisation sur l'ensemble du réseau d'exploitation. Un véhicule de remplacement devrait également pouvoir prendre le relais en cas de problème intervenant du bus électrique.

L'emplacement des bornes de recharge est un élément fondamental dans ce processus et qui comporte de nombreux défis. En effet, les stations doivent pouvoir être rapidement atteignables par les véhicules, tout en étant situées dans un espace ouvert et aéré. En ce sens, nous recommandons à la firme d'installer la première station de recharge à Sierre, à proximité du local où sont situés les panneaux solaires. Ce terrain constitue un bon emplacement puisqu'il se situe sur le trajet de la ligne Sierre-Vissoie et qu'il dispose d'un espace suffisant permettant le changement de la batterie ou pour une intervention des pompiers en cas d'accident. Toutefois, en ce qui concerne le processus de mise en place de ces bornes de recharge, les fournisseurs de bornes électriques contactés à travers cette étude nous ont assuré qu'en général, une analyse de l'environnement est effectuée avant le dimensionnement, la livraison et l'installation de la borne de recharge. En cas de motorisation électrique des 12 véhicules, il sera nécessaire d'installer une borne à proximité des locaux ou parkings où sont stationnés les bus durant la nuit. Les panneaux solaires supplémentaires pourraient également être installés à ces endroits.

Pour continuer dans les bornes de recharge, la société Green Motion a pu nous affirmer qu'ils allaient procéder à l'installation d'environ 1'600 bornes de recharges publiques en Suisse, d'ici 2020. Nous pouvons donc imaginer qu'un tel équipement pourrait être installé dans la nouvelle gare de Sierre que la commune prévoit de rénover d'ici 2020, dans le cadre du projet « Sierre se transforme » (Ville de Sierre, 2016). Cette hypothèse n'a pas pu être confirmée par M. Schmidt, collaborateur de Green Motion, mais il a toutefois pu nous affirmer que cela pourrait être tout à fait envisageable et qu'il faudrait : « discuter avec CarPostal pour connaître la puissance et capacité nécessaire pour leurs cars » (C. Schmidt, chef des ventes de Green Motion, communication personnelle, 2016). Un partenariat avec Green Motion serait très bénéfique à TSAR et à CarPostal dans la mesure où ça leur éviterait les coûts d'investissement et de maintenance de la borne de recharge. Il est donc recommandé à TSAR et CarPostal de se renseigner sur ce projet auprès de la commune de Sierre et de Green Motion afin de voir si une borne électrique pourrait être installée pour alimenter des bus électriques.

L'enquête qualitative a révélé que les clients étaient majoritairement satisfaits du service actuel proposé par TSAR, le tiers des personnes interrogées souhaiteraient toutefois avoir plus de fréquences durant la journée. De plus, l'analyse démographique et de la fréquentation des transports publics Anniviards (respectivement aux chapitres 2.3.1 et 2.3.3) reflètent une tendance d'évolution vers le haut. Sur la base de ses indicateurs, il convient de proposer à TSAR d'envisager une augmentation des fréquences sur son réseau, dans un proche avenir. Cela pourrait donc accroître la qualité du service de TSAR aux yeux des utilisateurs. Étant donné que l'enquête a été effectuée sur la ligne principale reliant Sierre à Vissoie, il est par conséquent impossible de déterminer si ce besoin concerne l'ensemble des villages desservis par TSAR. Afin de se rapprocher au mieux des besoins de ses clients sur l'ensemble des cinq lignes, l'entreprise pourrait par exemple récolter les idées et réactions de ses utilisateurs à travers une plateforme d'innovation ouverte. Cette démarche qui consiste à prendre en compte les avis et besoins des utilisateurs, pourrait avoir impact positif sur les fréquentations dans le sens où les besoins des passagers seraient majoritairement satisfaits et que ces derniers se sentiraient impliqués dans ce nouveau projet. Cette idée est inspirée de l'article *L'utilisateur au centre de la réflexion* publié par le professeur et chercheur HES-SO Joëlle Mastelic dont la recherche « se concentre sur l'innovation ouverte, le comportement du consommateur et les modèles d'affaire dans le domaine de l'énergie » (Mastelic, J., 2016).

Cette enquête a également révélé que les passagers ne perçoivent pas forcément la valeur énergétique du service du transport dans le sens où pour eux, la qualité du service est représentée par la fréquence des tournées, le confort, l'accueil et la flexibilité des chauffeurs. Le fait de rouler au diesel, ne leur importe peu voire pas du tout. Cela permet d'évoquer l'hypothèse qu'une motorisation électrique ne fera pas nécessairement augmenter le nombre de passagers. Toujours d'après Joëlle Mastelic, l'une des possibilités permettant d'augmenter la perception de la valeur énergétique d'un service, consiste à tangibiliser cette valeur par le biais d'une communication spécifique (J. Mastelic, communication personnelle, 2016). Plutôt que de mener une campagne de communication à travers les canaux traditionnels (télévision, radio, internet) engendrant des coûts

financiers importants, la société peut avoir recours au « guérilla marketing » qui consiste à « réaliser plusieurs petites actions marketing ciblées plutôt qu'une grande campagne » (Définition Marketing, 2016). L'une de ces actions pourrait être de créer un recueil d'informations utiles et permettant de susciter la curiosité, qui seraient communiquées directement sur les écrans d'affichage des cars.

TSAR doit utiliser le car comme vecteur de communication pour tenter de toucher l'aspect émotionnel des passagers et leur faire prendre conscience de la valeur de l'énergie, dans le service du transport.

D'après les informations obtenues des passagers à travers l'enquête qualitative, la plupart d'entre eux seraient intéressés par un projet de motorisation électrique des bus. Une communication ouverte et transparente serait donc à privilégier aux différentes étapes dans le processus de mise en place afin de tenir les passagers au courant et surtout de les intégrer dans ce projet. Pour ce faire, TSAR peut communiquer à travers divers canaux, comme par exemple sur les écrans d'affichage des bus, à travers leur site internet ou celui de la commune.

Pour assurer cette transition énergétique, TSAR va devoir trouver des partenaires qui pourraient la soutenir sur différents aspects et notamment sur le plan financier. Comme évoqué précédemment dans ce travail, les coûts actuels de l'entreprise découlant de son exploitation ainsi que l'investissement initial des cars sont couverts par CarPostal. Dans le cas d'une transition énergétique pour la société TSAR, les coûts des véhicules seraient également pris en charge par CarPostal. Mais avant de prendre une telle décision, CarPostal doit faire la demande auprès du canton du Valais et de la Confédération qui décideront si oui ou non ils sont en mesure de financer un tel projet. À travers une discussion téléphonique, un collaborateur de CarPostal Sion a révélé que : « Par les temps qui courent, je ne pense pas que le canton du Valais soit d'accord de financer un projet dont le coût est deux à trois fois supérieur à celui d'un bus traditionnel. » (M. Varone, collaborateur de CarPostal Sion, communication personnelle, 2016). En effet selon la Chambre valaisanne de commerce et de l'industrie, la conjoncture valaisanne connaît une détérioration par rapport à l'année 2015 (Chambre valaisanne de commerce et d'industrie, 2016). Nous pouvons toutefois imaginer que la part du montant généralement versée par la Confédération (64% par la Confédération et 36% par le canton) pour le financement des cars thermiques actuels, soit plus importante étant donné qu'il s'agit un projet de mobilité durable parfaitement en adéquation avec la Stratégie énergétique 2050. Ce soutien financier pourrait également intervenir à travers le Bureau de coordination pour la mobilité durable (COMO) comme démontré en chapitre 5.6.3.

Bien que cela ne fasse pas partie de la politique de CarPostal, nous pouvons aussi imaginer que ce projet soit financé par des fonds provenant d'autres institutions, publiques ou privées, présentes dans la région d'Anniviers. En contrepartie, TSAR pourrait afficher leur logo sur la carrosserie des cars, ce qui serait un moyen pour ses sociétés de se faire de la publicité à travers un projet parfaitement éthique et durable. Il faudrait néanmoins que ces sociétés partagent également ces valeurs, afin que ce projet soit en total cohérence sur le plan de la durabilité et de l'éthique qui sont ses fondements.

6.3 Budget prévisionnel

À ce stade de l'étude, il convient d'établir un Budget prévisionnel que TSAR, à travers CarPostal, pourra soumettre au Service Cantonal et à la Confédération. Ce document présenté à l'Annexe XVI comprend les coûts d'investissement initiaux pour un bus ainsi que les coûts annuels relatifs à son exploitation. Rapportés au kilomètre, ces coûts correspondent au financement demandé à la Confédération et au Canton, par kilomètre parcouru et par année.

Suite à l'élaboration de ce budget prévisionnel, nous pouvons nous rendre compte que l'ensemble des coûts engendrés par l'exploitation d'un bus électrique en une année, s'élèvent à CHF 113'600.-, soit CHF 6.03 par kilomètre parcouru. Nous estimons que le véhicule électrique effectuera environ de 40'000 km par année, ce qui correspond à la distance moyenne effectuée par les cars actuels. Nous pouvons également observer que ce coût ne diffère pas énormément par rapport à l'indemnité versée à ce jour par CarPostal qui s'élève à 5.56 CHF/km. En effet, le coût supplémentaire devant être financé par CarPostal s'élève à 0.47 CHF/km soit à un total de CHF 18'800.- par année. Comme évoqués dans le chapitre 6.2, nous pouvons imaginer que le financement de ce projet se fasse par le biais d'autres acteurs, ce qui réduirait cette charge pour CarPostal.

Concernant le calcul de cette indemnité, il est en partie basé sur le document *Calculation de l'entrepreneur CarPostal* présenté (Annexe III). En effet, nous estimons que les coûts relatifs à l'impôt sur l'immatriculation, la location du garage et les coûts liés au personnel, ne changeront pas en cas de motorisation électrique. Quant à la taxe routière, elle a été calculée sur la base de l'information obtenue à travers la Loi sur l'imposition des véhicules automobiles qui prévoit une taxe de CHF 11.50 par place assise. Quant aux coûts de maintenance et de l'énergie, ils sont calculés sur la base des données présentées au Tableau 14.

6.4 Proposition d'un plan d'action

La question qui se pose à présent dans ce travail est la suivante : et maintenant, par où commencer ? Pour répondre à cette question, nous proposons à la société un plan d'action qui lui permet d'entreprendre les démarches initiales qui sont certainement les plus importantes dans la réalisation de ce projet. Le transporteur est libre de commencer sa transition énergétique quand il le souhaite, c'est pour cette raison qu'aucune date n'a été mentionnée. Néanmoins, les appels d'offres sont des étapes qui demandent beaucoup de temps, nous conseillons par conséquent à l'entreprise de prendre en compte ce temps nécessaire et de commencer les démarches dès que possible.

Tableau 28 - Plan d'action

Étape n° 1	Soumission du projet à CarPostal
Description	<p>Selon la procédure d'acquisition actuelle de véhicules, TSAR communique ses besoins en termes de bus à CarPostal, qui par la suite prend la décision finale de l'acquisition et du modèle spécifique. Il convient donc de présenter ce projet à CarPostal à travers une séance et sur la base d'un document regroupant les principaux enjeux et plus-values d'une motorisation électrique.</p> <p>La présentation du budget prévisionnel et du bilan carbone interviendra également à cette étape. Ainsi, CarPostal détiendra toutes les informations nécessaires pour la soumission du projet aux institutions fédérales. Ces dernières pourront prendre une décision sur la base de critères : financiers, environnementaux et sociaux.</p>
Durée	5 mois

Étape n° 2	Appels d'offre auprès des constructeurs automobiles
Description	<p>Si le Canton et la Confédération acceptent de soutenir ce projet de mobilité durable, il convient de passer à la deuxième étape qui consiste faire des appels d'offre auprès des constructeurs automobiles. Il serait judicieux de contacter premièrement les fournisseurs avec lesquels la société a déjà des partenariats, tels que Mercedes et Volvo. Ces constructeurs étant également actifs dans la motorisation électrique. La société peut naturellement contacter d'autres fournisseurs pour avoir des offres variées. Il est possible que cette étape soit effectuée par CarPostal directement.</p>
Durée	6 mois

Étape n° 3	Appels d'offre auprès des fournisseurs de bornes électriques
Description	<p>L'installation de bornes de recharge est une étape essentielle en cas de motorisation électrique des véhicules. Il est donc nécessaire de contacter divers acteurs pour le dimensionnement et la fourniture de bornes adaptées aux besoins de TSAR. Le fournisseur Alpiq a déjà été contacté dans le cadre de cette étude et nous a proposé une borne de leur gamme (Annexe VII). Toutefois le transporteur doit d'abord s'assurer auprès de Green Motion et de la commune de Sierre en ce qui concerne le projet de rénovation de la gare sierroise et l'installation éventuelle d'une borne de recharge à cet endroit.</p> <p>Cette démarche peut être effectuée en parallèle à l'étape n°2.</p>
Durée	6 mois

Étape n° 4	Appels d'offres auprès des fournisseurs de panneaux solaires
Description	<p>Il existe en Suisse beaucoup de fournisseurs actifs dans la commercialisation de panneaux solaires, comme par exemple Solstis SA et Soleol SA, qui sont des fournisseurs romands. TSAR devrait également se tourner vers des start-up qui sont de plus en plus nombreuses dans ce milieu. Ceci lui permettrait peut-être d'avoir des prix plus compétitifs et des conseils plus personnalisés.</p>
Durée	3 mois

Étape n° 5	Organiser une séance d'information pour les parties prenantes
Description	<p>Comme l'a révélé l'enquête qualitative, les clients de TSAR seraient majoritairement intéressés par ce projet. Il serait donc judicieux d'organiser une séance d'informations en y conviant l'ensemble des parties prenantes touchées par ce projet.</p>
Durée	<p>1 mois pour l'organisation de la séance (y compris l'invitation des participants)</p> <p>1 soirée pour le déroulement de la séance</p>

Source : Données de l'auteur

7. Conclusion

Cette étude a permis de constater que les véhicules thermiques faisaient face à des défis de taille et notamment sur le plan environnemental. En effet, outre les diverses particules polluantes rejetées par une telle motorisation, l'épuisement des ressources pétrolières sera également une réalité dans les prochaines dizaines d'années. Il faut par conséquent adopter une vision à long terme et trouver des solutions alternatives pour la mobilité.

Cette étude a permis de découvrir qu'il existait différents moyens de propulsion alternative, envisageables pour les bus exploités par un transporteur public et ceci également en montagne. L'analyse comparative des moyens envisagés, a révélé qu'une motorisation 100% électrique combinée d'une batterie au lithium pourrait être la meilleure alternative dans le cas d'une transition énergétique de la société TSAR, à court terme. La recharge lente devrait également être privilégiée. Bien qu'un tel système engendre des coûts d'investissement supplémentaires par rapport à un bus thermique, le frais de maintenance et le coût de l'énergie consommée seraient inférieurs à ceux du véhicule thermique. De plus, la recherche documentaire et une analyse personnelle révèlent l'existence de différents biais par lesquels ce projet pourrait être financé.

L'adoption d'un tel système de véhicule, permettrait également à TSAR ainsi qu'à ses parties prenantes d'être en accord avec leurs valeurs éthiques et des objectifs durables fixés préalablement. Cela serait donc une plus-value non seulement pour la firme, mais également pour les acteurs avec lesquels elle interagit directement ou indirectement, tels que CarPostal, les communes d'Anniviers et de Vercorin, le Canton du Valais ainsi que la Confédération. De plus, l'enquête qualitative effectuée auprès des passagers de TSAR dévoile que la majorité des utilisateurs de ces lignes seraient intéressés par ce projet qui d'après certains d'entre eux permettrait de réduire les influences environnementales dans cette région. En effet, bien que la construction d'un bus équipé de batteries au lithium s'avère plus polluante que la construction d'un bus diesel, le bilan carbone global est davantage favorable en cas de motorisation électrique. Cela s'explique par le fait qu'un tel véhicule n'émette peu voire pas de particules polluantes au moment de son utilisation, à condition que l'énergie électrique consommée soit issue d'une production renouvelable.

De l'autre côté, le mode de propulsion à base d'hydrogène fait face à de nombreux défis pour pouvoir être adopté par TSAR dans un proche avenir. En effet, outre des défis technologiques liés au faible rendement des équipements et notamment des piles à combustible, la faiblesse de ce vecteur énergétique réside principalement sur le plan financier. Bien que la production d'hydrogène à base d'hydrocarbures pourrait être très avantageuse sur le plan financier, ce système n'a pas été pris en considération puisqu'il ne respecte pas l'objectif principal de cette étude, soit la réduction des influences environnementales. L'alternative non polluante à ce système peut être de produire de l'hydrogène à travers l'électrolyse de l'eau. À ce niveau, les pistes de l'autoproduction ainsi que de la livraison d'hydrogène produit à partir du système d'électrolyse par une société spécialisée, ont été analysées. Il s'avère que le coût de l'installation permettant l'autoproduction est encore trop élevé

pour n'être supporté que par un seul acteur tel que TSAR. Cependant, même si le coût de l'hydrogène livré par une société spécialisée est meilleur marché (16.50 CHF/kg contre 19.80 CHF/kg pour l'autoproduction), il est encore trois fois plus élevé que le coût du diesel consommé par kilomètre et pratiquement 11 fois plus élevé par rapport au coût de l'énergie électrique. Cet enjeu touche également les stations de recharge qui sont à ce jour, beaucoup trop coûteuses par rapport aux bornes électriques.

Malgré le fait que l'utilisation de l'hydrogène dans la mobilité ne soit pas rentable à ce jour, les nombreuses informations obtenues à travers la recherche documentaire et les personnes contactées pour la réalisation de ce travail, nous permettent de dire que l'hydrogène peut être un vecteur important pour l'avenir. En effet, avec l'amélioration des équipements grâce à la R&D, les coûts pourraient directement être revus à la baisse. Premièrement car qui dit amélioration des rendements, dit également réduction des pertes énergétiques, cela signifie qu'il faudra moins d'énergie électrique au départ pour produire un kg d'hydrogène. Deuxièmement, car ces améliorations technologiques pourraient inciter de plus en plus d'acteurs à commercialiser ou consommer de l'hydrogène. La logique de loi sur l'offre et la demande, pourrait entraîner la réduction des prix. En effet, les améliorations technologiques des équipements pourraient inciter plus d'acteurs à entrer dans le marché de la commercialisation d'électrolyseurs ou de bus à base d'hydrogène. Cela engendrerait par conséquent une augmentation de l'intérêt pour une telle technologie et donc une augmentation de la demande.

L'hydrogène pourrait être utilisé pour le stockage des surplus d'électricité engendrés par des énergies renouvelables intermittentes, comme il est parfois le cas en Allemagne ou France actuellement. En effet, ces pays étant de grands producteurs d'énergie verte de par leur géolocalisation et d'importantes surfaces disponibles, sont parfois contraints à vendre leur électricité à des prix négatifs. La solution serait de relier des électrolyseurs à leurs installations photovoltaïques ou éoliennes, ce qui produirait de l'hydrogène avec des coûts d'électricité très bas (EDF pulse, 2016).

7.1 Limites de l'étude

Malgré la volonté d'effectuer l'étude la plus complète possible sur l'ensemble des disciplines, certaines options ont dû être écartées du champ de l'analyse pour plusieurs raisons différentes.

Premièrement, la ligne de Vercorin n'a pas été prise en considération pour le dimensionnement de la batterie ainsi que pour la réalisation du bilan énergétique. La raison principale à cela, est que CarPostal n'a pas pu nous fournir les documents nécessaires comprenant les détails des lignes, les taux de fréquentation ainsi que les types de bus effectuant ces trajets durant l'année. Ainsi la simulation de ce trajet a été impossible dans le travail de Stéphane Masserey. Toutefois, d'après des informations obtenues à travers Laurent Flück, il est probable que ce village ne soit plus desservi par les cars postaux d'ici 2017. En effet, seule la ligne du transport par câble pourrait être subventionnée

par le Canton et la Confédération dans ce village. Ainsi le dimensionnement des batteries correspondrait mieux à la réalité des trajets effectués par TSAR, sans le village de Vercorin.

Une autre limite de ce travail réside dans sa partie financière. Bien que plusieurs fournisseurs de batteries et d'équipements de stockage et production d'hydrogène aient été contactés, il aurait fallu en réalité effectuer davantage de demandes de prix auprès d'un plus grand nombre de fournisseurs. Ceci dans le but d'obtenir des prix plus représentatifs de la réalité et parfaitement conformes aux besoins réels de l'exploitation de TSAR.

En ce qui concerne le mode hydrogène, nous avons été confrontés à un défi de taille, qui est le manque d'informations techniques. En effet, comme évoqué préalablement dans ce travail, l'utilisation de l'hydrogène dans la mobilité séduit de plus en plus d'acteurs mais la revue de la littérature n'a révélé aucun cas similaire existant en montagne. Nous avons donc dû nous baser sur le cas de Brügg pour les aspects techniques mais également financiers. Les simulations de Stéphane Masserey prennent toutefois en compte le facteur de l'altitude dans les consommations d'hydrogène prévues.

Pour le bilan carbone, il est important de préciser que l'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation du véhicule n'a pas été prise en considération dans le cadre de cette étude. Toutefois nous pouvons affirmer que ce facteur ne changerait que peu les valeurs énergétiques des véhicules au diesel et à l'hydrogène puisque ces derniers sont sujets à des rejets thermiques, respectivement par le moteur thermique et la pile à combustible. Quant au véhicule 100% électrique, il a été très difficile d'estimer la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation de ce dernier. Toutefois, il est conseillé à la société de s'équiper d'un système de moteur d'appoint qui lui permettrait de fournir cette énergie.

Concernant la méthode de sélection adoptée pour le choix final du mode de propulsion, il est évident qu'en temps réel, la prise de la décision finale aurait été effectuée par un plus grand comité comptant parmi lui des membres de CarPostal. Cette pondération ne reflète donc pas parfaitement la réalité où le choix qui aurait pu être fait par ce plus grand comité. Il faut également préciser que la méthode de sélection adoptée n'est pas très optimale, car malgré le système de pondération, les points attribués à chaque critère se compensent entre eux. L'utilisation d'une méthode d'aide à la décision évitant ces effets de compensation, aurait été plus adéquate. La méthode d'aide multicritère à la décision ELECTRE en est l'un des exemples (Genoud, S., 2012).

Bibliographie

- ADEME. (2016). *Guide d'information sur la sécurité des véhicules à hydrogène et des stations-service de distribution d'hydrogène*. Récupéré sur http://www.afhypac.org/documents/publications/colloques/JourneeH2territoires2015/ade-me_guide_securite_h2_ok_juin_2015.pdf
- AFD. (2016). *Notice, Remboursement de l'impôt sur les huiles minérales grevant les carburants utilisés par les entreprises de transport concessionnaires de la Confédération*. Récupéré sur http://www.ezv.admin.ch/pdf_linker.php?doc=M_KTU&lang=fr
- AFD. (2016). *RPLP - Généralités / Tarifs*. Récupéré sur http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/04020/04204/04208/04744/index.html?lang=fr
- AFD. (2016). *Vignette (redevance pour l'utilisation des autoroutes)*. Récupéré sur http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_privat/04338/04340/index.html?lang=fr
- AFHYPAC. (2014). *La pile AFC*. Récupéré sur http://www.afhypac.org/documents/tout-savoir/fiche_5.2.3_afc_rev.oct2014_ta.pdf
- Agrométéo. (2016). *Données météorologiques*. Récupéré sur <http://www.agrometeo.ch/fr/meteorology/datas>
- Amstutz, V., Toghill, K.E., Comninellis, C., Girault, H. (2012). *Les batteries redox pour le stockage d'énergie*. Récupéré sur http://www.bulletin-online.ch/uploads/media/1210_Seite_035-039.pdf
- Anniviers Tourisme. (2015). *Fiche d'identité Anniviers*. (Document de type PDF)
- Association des entreprise électriques suisse. (2015). *Electricité photovoltaïque et solaire thermique*. Récupéré sur http://www.strom.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente_Bilder_neu/010_Downloads/Basiswissen-Dokumente/13_Photovotaique_et_solaire_thermique_fr.pdf
- Association des entreprises électriques suisses. (2015). *Electricité photovoltaïque et solaire thermique*. Récupéré sur http://www.strom.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente_Bilder_neu/010_Downloads/Basiswissen-Dokumente/13_Photovotaique_et_solaire_thermique_fr.pdf
- Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible (AFHYPAC). (2016). *La distribution de l'hydrogène pour les véhicules automobiles*. Récupéré sur http://www.afhypac.org/documents/tout-savoir/Fiche%204.5.1-distribution%20H2%20automobile_rev.fev2016ThA.pdf

Association nationale pour le développement de la mobilité électrique. (2014). *Maintenance et entretien du véhicule électrique*. Récupéré sur http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=5888

Association Transports et Environnement. (2016). *Mobilité électrique Chances et risques pour une mobilité respectueuse de l'environnement et des personnes*. Récupéré sur http://www.ate.ch/fileadmin/user_upload/Deutsch/Position/2011_0224_e-mobilitaet_fr.pdf

Battery University. (2016). *Types of Lithium-ion*. Récupéré sur http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion

BCV. (2016). *Devises et billets*. Récupéré sur <https://www.bcv.ch/Informations-Financieres/Devises-et-billets>

Bombardier. (2016). *PRIMOVE pour les bus électriques*. Récupéré sur <http://primove.bombardier.com/fr/applications/bus-electriques.html>

Bureau de Recherches Géologiques et Minières. (2012). *Panorama 2011 du marché du lithium*. Récupéré sur https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/809298/filename/Panorama_2011_du_marchA_du_Li.pdf

CarPostal Sion. (2015). *Calculation de l'entrepreneur CarPostal Transports Sierre-Anniviers-Régions*. (Document de type PDF).

CarPostal Sion. (2015). *Courbe de remplissage journalier par ligne*. (Document de type PDF)

CarPostal Suisse SA. (2012). *Le car postal à pile à combustible - Un système de propulsion sans émission* [Vidéo]. Récupéré sur <https://www.youtube.com/watch?v=wlb9ihvzLE>

Commune d'Anniviers. (2015). *Politique touristique*. (Document de type PDF)

Consoglobe. (2016). *La fin du lithium*. Récupéré sur <http://www.consoglobe.com/fin-du-lithium-cg>

CVCI. (2015). *L'ouverture complète du marché de l'électricité profitera aux PME*. Récupéré sur <http://www.cvci.ch/fr/politique/themes/energie/details/article/louverture-complete-du-marche-de-lelectricite-profitera-aux-pme.html>

Chambre valaisanne du commerce et de l'industrie. (2016). *Information économique. La conjoncture valaisanne en mars 2016*. Récupéré sur <https://cci-valais.ch/la-conjoncture-valaisanne-en-mars-2016/>

CHIC project. (2016). *Fuel cells and fuel cell buses*. Récupéré sur <http://chic-project.eu/technology/fuel-cell-buses>

- Définitions Marketing. (2016). *Définition : Guerilla marketing*. Récupéré sur <http://www.definitions-marketing.com/definition/guerilla-marketing/>
- DETEC. (2013). *Evolution de la législation suisse relative aux gaz d'échappement des véhicules à moteur et des machines*. Récupéré sur <http://goo.gl/smH6Na>
- DETEC. (2015). *Fiche d'information RPC pour installations photovoltaïques*. Récupéré sur : <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/41682.pdf>
- Éco Énergie Montréal. (2016). *Les batteries extrêmes, attention !* Récupéré sur <http://eco-energie-montreal.com/post/batteries-voitures-reserves-lithium/>
- Éco énergie. (2016). *Batterie à flux (ou pile d'oxydoréduction)*. Récupéré sur <http://www.eco-energie.ch/cms2/index.php/batteries/174-batterie-a-flux-ou-pile-d-oxydoreduction>
- Éco énergie. (2016). *La famille des accumulateurs au lithium*. Récupéré sur <http://www.eco-energie.ch/cms2/index.php/batteries/55-la-famille-des-accumulateurs-au-lithium>
- Ecoinvent. (2016). *The ecoinvent Database*. Récupéré sur <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- Economist. (2016). *An increasingly precious metal*. Récupéré sur <http://www.economist.com/news/business/21688386-amid-surge-demand-rechargeable-batteries-companies-are-scrambling-supplies>
- El-Hassane, A. (2009). *Caractérisation par spectroscopie d'impédance de l'impédance complexe d'une pile à combustible en charge*. Récupéré sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD_T_2009_0103_AGLZIM.pdf
- Encyclopédia Airliquide. (2016). *L'encyclopédie des gaz*. Récupéré sur <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?LanguageID=2&GasID=36>
- Énergie Environnement. (2016). *Il ne faut pas confondre "watt" et "kilowattheure"*. Récupéré sur <http://www.energie-environnement.ch/electricite/425>
- Energy Storage Update. (2015). *Lithium-ion costs to fall by up to 50% within five years*. Récupéré sur <http://analysis.energystorageupdate.com/lithium-ion-costs-fall-50-within-five-years>
- ERH2-Bretagne-Observatoire. (2016). *Batteries électriques et supercondensateurs*. Récupéré sur <http://erh2-bretagne.over-blog.com/page-1256110.html>
- ESU-Services. (2016). *La base de données Ecoinvent*. Récupéré sur <http://esu-services.ch/fr/banque-de-donnees/ecoinvent/>

EUR-Lex. (2009). *Règles relatives à la réception par type des véhicules fonctionnant à l'hydrogène*.
Récupéré sur <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=URISERV:mi0043&from=FR>

EUR-Lex. (2014). *Règlement (UE) n° 540/2014 du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014 concernant le niveau sonore des véhicules à moteur et des systèmes de silencieux*.
Récupéré sur <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0540&from=FR>

Fondation Auto Recycling Suisse. (2016). *Recycleurs automobiles. Dépollution et vente de pièces détachées* Récupéré sur <http://www.stiftung-autorecycling.ch/fr/auto-recycling/autoverwerter>

Futura Sciences. (2015). *Du graphène pour améliorer les batteries lithium-ion*. Récupéré sur <http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/actu/d/graphene-graphene-ameliorer-batteries-lithium-ion-58920/>

Futura sciences. (2016). *Batterie lithium-ion*. Récupéré sur <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-batterie-lithium-ion-7303/>

Futura sciences. (2016). *Quelle est la composition de l'air ?* Récupéré sur <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/environnement-composition-air-57/>

Genoud, S. (2012). *La dimension énergétique du développement durable : le cas de la production d'électricité*. Faculté des Sciences Economiques de l'Université de Neuchâtel, Neuchâtel.

Histoire pour tous. (2016). *L'invention de la voiture diesel (1897)*. Récupéré sur <http://www.histoire-pour-tous.fr/inventions/279-invention-de-la-voiture-diesel.html>

Horizon Hydrogène Énergie. (2016). *Technologie Axane*. Récupéré sur <http://www.horizonhydrogeneenergie.com/pile-a-combustible.html>

Institut national de recherche et de sécurité. (2004). *Les mélanges explosifs Gaz et Vapeurs*.
(Document de type PDF)

Ion. (2016). In *Larousse*. Récupéré sur <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ion/44184>

Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche. (2016). *Les piles à combustible sont-elles écologiques ? Pas toujours !* Récupéré sur <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-58126.html>

Blerta Bega

Le Grand Conseil du canton du Valais. (2016). *Loi sur l'imposition des véhicules automobiles*
(Document de type PDF)

Leclanché. (2016). *Technology & Products*. Récupéré sur <http://www.leclanche.com/technology-products/>

Leimgruber, J., & Prochinig, U. (2009). *La comptabilité comme instrument de gestion*. Zurich: Verlag SKV.

Les Echos. (2016). *Du neuf pour le recyclage du lithium*. Récupéré sur http://www.lesechos.fr/01/12/2010/LesEchos/20816-509-ECH_du-neuf-pour-le-recyclage-du-lithium.htm

Les éléments chimiques. (2016). *Tableau périodique classique*. Récupéré sur <http://www.elementschimiques.fr/?fr/proprietes/chimiques/masse-volumique>

Les Numériques. (2016). *NanoFlowcell, l'énergie alternative du futur ?* Récupéré sur <http://www.lesnumeriques.com/voiture/nanoflowcell-l-energie-alternative-futur-a2651.html>

Limpmin. (2016). *Loi sur l'imposition des huiles minérales*. Récupéré sur <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19960320/201201010000/641.61.pdf>

LTV. (2016). *Loi sur le transport de voyageurs*. Récupéré sur <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20061345/index.html>

Lycée Ferry Versailles. (2016). *Stockage de l'énergie*. Récupéré sur http://www.lycee-ferry-versailles.fr/si-new/2_4_stockage/cours_stockage_energie_v5.pdf

Ma voie scientifique. (2014). *Une nouvelle batterie économique pour le stockage de grandes quantités d'électricité*. Récupéré sur <http://mavoiescientifique.onisep.fr/une-nouvelle-batterie-economique-pour-le-stockage-de-grandes-quantites-deelectricite/>

Masserey, S. (2016). *Travail de Bachelor : Mobilité à influences environnementales réduites*
(Document de type PDF)

Mastelic, J. (2015). *L'utilisateur au centre de la réflexion*. Récupéré sur http://www.hevs.ch/media/document/1/16-19_1502_mastelic.pdf

Matos-Wasem, R. (2006). *Données évolution mobilité suisse*. Récupéré sur https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/mobility_topic_section_file/file/385/forum_mobalpen_fr.pdf?lm=1421333483

McPhy. (2016). *L'électrolyse de l'eau*. Récupéré sur <http://www.mcphy.com/fr/technologies/electrolyse-eau/>

Blerta Bega

McPhy. (2016). *Stockage d'hydrogène solide*. Récupéré sur

<http://www.mcphy.com/fr/produits/stockage-hydrogene-solide/>

Médiathèque Valais Martigny. (2016). *Rencontre avec Hilaire Epiney, 20 décembre 1989*.

Récupéré sur <http://xml.memovs.ch/s012a104pf001.xml>

Mercedes-benz. (2010). *CITARO FuelCELL Hybrid*. (Document de type PDF)

Mobitool. (2016). *Pour une mobilité durable des entreprises*. Récupéré sur

http://www.mobitool.ch/typo_static/index0865.html?id=60&L=2

Nanotechnologie. (2016). In *Larousse*. Récupéré sur

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/nanotechnologie/53751>

National Renewable Energy Laboratory. (2014). *Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2014*. Récupéré sur

http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/fc_buses_2014_status.pdf

Ngô, Ch. (2009). *Demain, l'énergie*. Paris : Dunod.

OETV. (2016). *Ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers*.

Récupéré sur <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19950165/index.html>

OFEN. (2016). *Taxes cantonales sur les véhicules à moteurs : Réductions pour les véhicules présentant un bon rendement énergétique*. Récupéré sur

http://www.e-mobile.ch/pdf/2016/Mfzg-steuern_04-04-2016.pdf

Office fédéral de la santé publique [OFSP]. (2016). *Bureau de coordination pour la mobilité durable COMO*. Récupéré sur

http://www.bag.admin.ch/themen/ernaehrung_bewegung/11660/11725/11727/11732/index.html?lang=fr

Office fédéral de la statistique [OFS], Office fédéral du développement territorial [ARE]. (2012). *La mobilité en Suisse. Résultats du microrecensement mobilité et transports 2010*. Récupéré

sur <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/11/22/publ.html?publicationID=4773>

OFT. (2016). *Le système de transport suisse à la veille d'importants changements*. Récupéré sur

<https://www.bav.admin.ch/bav/fr/home/actualites/interviews/archive/le-systeme-de-transport-suisse.html>

OFT. (2016). *Les TP doivent être des acteurs de la Stratégie énergétique 2050*. Récupéré sur

<https://goo.gl/K9nRoH>

Blerta Bega

Paul Scherrer Institut. (2015). *Energie et environnement Recherche à l'Institut Paul Scherrer*.

Récupéré sur https://www.psi.ch/info/MediaBoard/Energie_und_Umwelt_f.pdf

Pile à combustible. (2016). *Avantages liés à cette technologie*. Récupéré sur

<http://pileacombustible.free.fr/avantages.htm>

Planète Énergies. (2016). *Les différents types de technologies photovoltaïques*. Récupéré sur

<http://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/les-differents-types-de-technologies-photovoltaïques>

PostAuto. (2015). *Rapport d'activité 2015 CarPostal*. Récupéré sur

https://www.postauto.ch/sites/default/files/content/leistungsberichte/leistungsbericht-postauto-2015_fr.pdf

PostAuto. (2016). *Cours EcoDrive selon Quality Alliance*. Récupéré sur

https://www.postauto.ch/sites/default/files/content/jobs_und_karriere/eco_drive_neu_f.pdf

PostAuto. (2016). *De l'exploitation et des véhicules*. Récupéré sur [https://www.postauto.ch/fr/de-](https://www.postauto.ch/fr/de-%E2%80%99exploitation-et-des-v%C3%A9hicules)

[l%E2%80%99exploitation-et-des-v%C3%A9hicules](https://www.postauto.ch/fr/de-%E2%80%99exploitation-et-des-v%C3%A9hicules)

PostAuto. (2016). *Durabilité*. Récupéré sur <https://www.postauto.ch/fr/durabilit%C3%A9>

PostAuto. (2016). *L'histoire de CarPostal*. Récupéré sur [https://www.postauto.ch/fr/lhistoire-de-](https://www.postauto.ch/fr/lhistoire-de-carpostal)

[carpostal](https://www.postauto.ch/fr/lhistoire-de-carpostal)

RF Wireless World. (2016). *PMP Formula for PMP Exam*. Récupéré sur [http://www.rfwireless-](http://www.rfwireless-world.com/Terminology/PMP-formula.html)

[world.com/Terminology/PMP-formula.html](http://www.rfwireless-world.com/Terminology/PMP-formula.html)

Riolet, E. (2011). *L'énergie solaire et photovoltaïque pour le particulier*. Paris : Eyrolles.

Romande Énergie. (2016). *Qu'est-ce que le marché libre de l'électricité ?* Récupéré sur

[https://www.romande-energie.ch/communes/electricite/qu-est-ce-que-le-marche-libre-de-](https://www.romande-energie.ch/communes/electricite/qu-est-ce-que-le-marche-libre-de-l-electricite)
[l-electricite](https://www.romande-energie.ch/communes/electricite/qu-est-ce-que-le-marche-libre-de-l-electricite)

Sccer Furies. (2015). Overview of electric and ageing models of electrochemical storage systems for distribution grids applications. Récupéré sur :

[http://sccer-furies.epfl.ch/files/content/sites/sccerfuries/files/Document/22_Torregrossa\(EPFL\)-Marzolini\(Leclanche\)_SCCER-FURIES_20151125.pdf](http://sccer-furies.epfl.ch/files/content/sites/sccerfuries/files/Document/22_Torregrossa(EPFL)-Marzolini(Leclanche)_SCCER-FURIES_20151125.pdf)

Secrétariat de l'État à l'économie. (2012). *Rapport explicatif concernant la Stratégie énergétique 2050 (Projet soumis à la consultation)*. Récupéré sur

https://www.admin.ch/ch/f/gg/pc/documents/2210/Strategie-energetique-2050_Rapport-expl_fr.pdf

- Shell. (2016). *Prix des carburants 2015*. Récupéré sur <http://www.shell.ch/fr/products-services/on-the-road/fuels/fuel-pricing.html>
- Sierre Énergie. (2016). *Soutien des énergies renouvelables*. Récupéré sur <http://www.sierre-energie.ch/services-industriels/soutien-energies-renouvelables-159.html>
- Sierre Énergie. (2016). *Tarifs*. Récupéré sur http://www.sierre-energie.ch/data/documents/electricite/tarifs_electricite_2016_menages.pdf
- Sierre. (2016). *Sierre se transforme*. Récupéré sur <http://www.sierre.ch/fr/vivre/deplacer/>
- Solaris Bus. (2016). *Urbino electric*. Récupéré sur https://www.solaribus.com/vehicules_group/urbino-electric
- Solise. (2016). *Comparaison des différentes technologies de batterie lithium, plomb*. Récupéré sur <http://www.masolise.com/comparatif-technologie-batterie>
- Solstis. (2016). *Comment ça marche ? - Les panneaux solaires*. Récupéré sur <http://www.solstis.ch/fr/votre-projet-solaire/comment-ca-marche/les-panneaux-solaires>
- Statpop. (2015). *Etat et structure de la population - Indicateurs. Hommes et femmes*. Récupéré sur http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/02/blank/key/frauen_und_maenner.html
- Swissolar. (2016). *Fiche d'information : Electricité solaire*. Récupéré sur http://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Solarenergie/Fakten-und-Zahlen/Branchen-Faktenblatt_PV_CH_f.pdf
- Targray. (2016). *Matériaux de cathode. Types de batterie et de pile au lithium-ion*. Récupéré sur <http://www.targray.com/fr/li-ion-battery/cathode-materials/>
- ThermExcel. (2016). *Tableau conversion des unités de mesures*. Récupéré sur <http://www.thermexcel.com/french/tables/unitnext.htm>
- TRANSITEC Ingénieurs-Conseil SA. (2013). *Étude comparative trolleybus - bus hybrides*. Récupéré sur <http://docplayer.fr/2120259-Etude-comparative-trolleybus-bus-hybrides.html>
- Tri-matic. (2016). *Tables des masses volumiques de diverses substances*. Récupéré sur http://cfppah.free.fr/docs/Table_des_masses_volumiques.pdf
- TSAR. (2016). *Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl*. Récupéré sur <http://www.ts-ar.ch/>
- Union Pétrolière suisse. (2016). *La disponibilité du pétrole à long terme*. Récupéré sur [http://www.sappro.ch/images/pdf_doc_divers_infos_petrole/La%20disponibilite%CC%81%20du%20pe%CC%81trole%20a%CC%80%20long%20terme%20\(EV-UP\).pdf](http://www.sappro.ch/images/pdf_doc_divers_infos_petrole/La%20disponibilite%CC%81%20du%20pe%CC%81trole%20a%CC%80%20long%20terme%20(EV-UP).pdf)

Université de Genève. (2005). *L'hydrogène, futur vecteur énergétique ?* Récupéré sur https://www.unige.ch/energie/index.php/download_file/view/200/220/

US Department of Energy. (2012). *Vanadium Redox Flow Batteries*. Récupéré sur <http://energy.gov/sites/prod/files/VRB.pdf>

US Geological Survey. (2015). *Mineral Commodity Summaries 2015*. Récupéré sur <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2015/mcs2015.pdf>

Usine Nouvelle. (2008). *Un pilote pour l'électrolyse à haute température*. Récupéré sur <http://www.usinenouvelle.com/article/un-pilote-pour-l-electrolyse-a-haute-temperature.N63261>

Usine Nouvelle. (2016). *Le recyclage des batteries au lithium gagne en spécificité*. Récupéré sur CLAGE <http://www.usinenouvelle.com/article/le-recyclage-des-batteries-au-lithium-gagne-en-specificite.N45126>

Val d'Anniviers. (2016). *Accès, transports*. Récupéré sur <http://www.valdanniviers.ch/tourisme/acces-transports.html>

Val d'Anniviers. (2016). *Pass Anniviers Liberté*. Récupéré sur <http://www.valdanniviers.ch/tourisme/pass-anniviers-liberte-804.html>

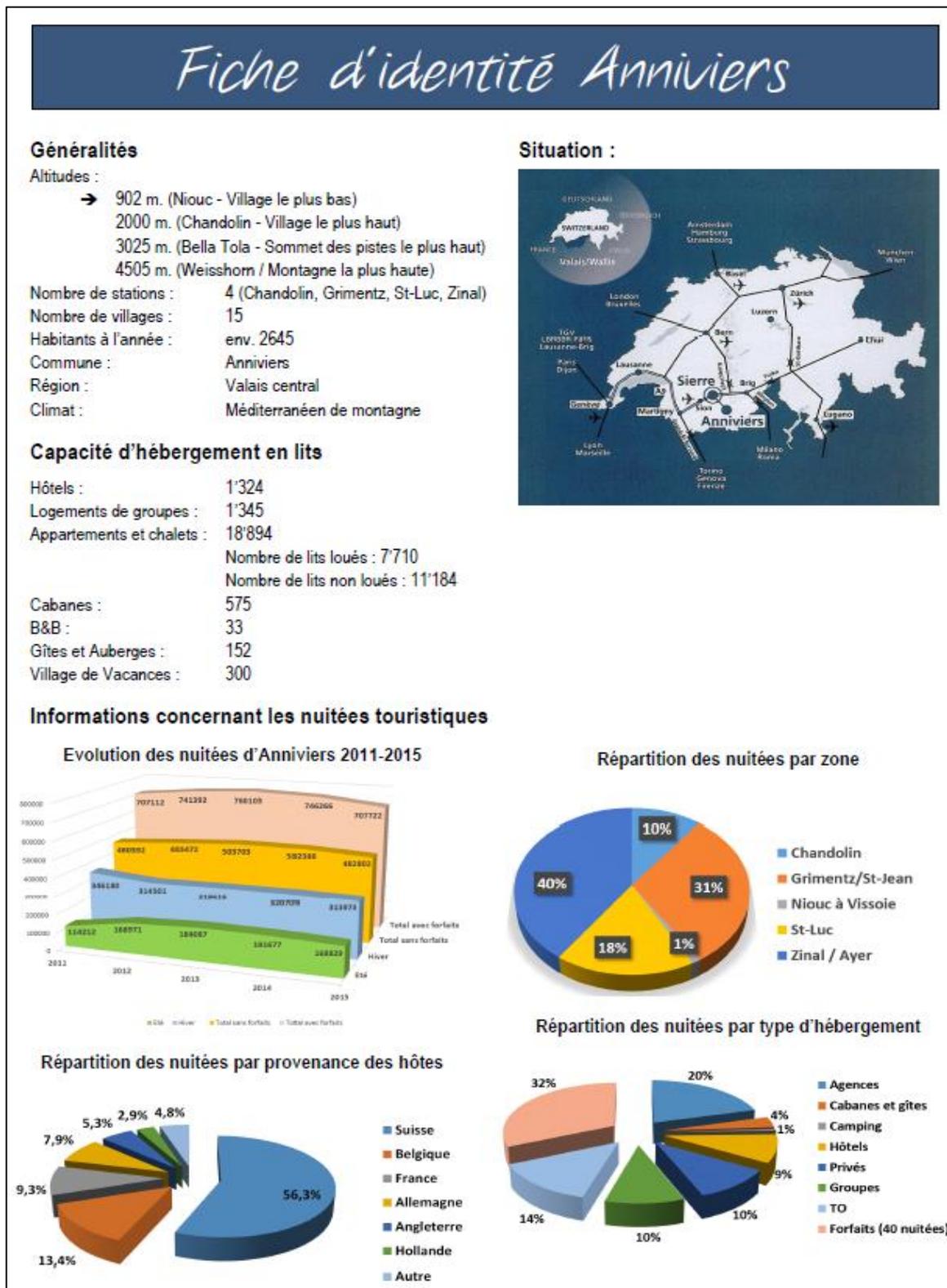
Vallverdu, G. (2011). *Principe de fonctionnement des batteries au lithium*. Récupéré sur <http://gvallver.perso.univ-pau.fr/doc/BatterieLiion.pdf>

Victron Energy. (2016). *Batteries au phosphate de lithium-fer de 12,8 V*. Récupéré sur <https://goo.gl/njUY9b>

WeDemain. (2014). *Des bus électriques dans nos villes, c'est pour bientôt*. Récupéré sur http://www.wedemain.fr/Des-bus-electriques-dans-nos-villes-c-est-pour-bientot_a640.html

Annexes

Annexe I : Informations relatives à la Commune d'Anniviers



<p style="text-align: center;">Activités hivernales</p> <p>2 Sociétés de Remontées Mécaniques</p> <p>→ Remontées Mécaniques de Grimentz-Zinal SA → Funiculaire St-Luc-Chandolin SA</p> <p>Télécabine : 1 Téléphérique : 2 Funiculaire : 1 Télesiège : 7 Télésiège : 20 (assiette et arbalète)</p> <p>Pistes : 220 km (dont 32 km enneigées artificiellement)</p> <p>Jardin des neiges : 5 (+ minigliss) Snow Park : 2 (Grimentz / St-Luc) Domaine Freeride : 1 (Zinal) Avalanche Training Center : 1 (Zinal)</p> <p style="text-align: center;">Pistes de descente</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>St-Luc/Chandolin</th> <th>Grimentz</th> <th>Zinal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>45% bleues</td> <td>30% bleues</td> <td>14% bleues</td> </tr> <tr> <td>48% rouges</td> <td>40% rouges</td> <td>64% rouges</td> </tr> <tr> <td>7% noires</td> <td>30% noires</td> <td>22% noires</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Pistes de ski de fond</p> <p>Pistes de ski de fond : 27 km (Zinal – Grimentz) Pistes de skating : 7 km (Zinal)</p> <p style="text-align: center;">Pistes de Luges</p> <p>Pistes de luge : 11.7 km (Zinal – St-Luc – Chandolin – Grimentz)</p> <p style="text-align: center;">Itinéraires</p> <p>Randonnées en raquettes / pédestres : 179.4 km</p> <p style="text-align: center;"><i>En hiver, bus navette gratuit dans tout le Val d'Anniviers</i></p>	St-Luc/Chandolin	Grimentz	Zinal	45% bleues	30% bleues	14% bleues	48% rouges	40% rouges	64% rouges	7% noires	30% noires	22% noires	<p style="text-align: center;">Activités estivales</p> <p>Sentiers pédestres : 486 km Itinéraires VTT cross country : 150 km 1 Bike Park : 3 pistes de VTT de descente Sentier didactique : 21 Court de tennis : 5 Mini-golf : 2 Site de parapente : 2 Via Ferrata : 1</p> <p style="text-align: center;">Pass Anniviers Liberté</p> <p style="text-align: center;"><i>De juin à octobre, plus de 20 activités et transports offerts au paiement de la taxe de séjour</i></p> <p>Zinal : Téléphérique Piscine couverte (spa non compris) Courts de tennis / mini-golf / patinoire synthétique Visite de la mine de cuivre</p> <p>Mottec : Visite de l'usine hydroélectrique</p> <p>St-Luc : Funiculaire Courts de tennis Visite guidée des Moulins Observatoire FXB</p> <p>Grimentz : Télécabine Grimentz-Bendolla Téléphérique Grimentz-Sorebois Courts de tennis / mini-golf Visite guidée du barrage de Moiry</p> <p>Vissoie : Piscine extérieure Visite de la Tour de Vissoie Expositions à la Chapelle du Château</p> <p>Chandolin : Télesiège</p> <p style="text-align: center;">Musées et Visites guidées</p> <p>Ancienne maison d'habitation paysanne / Zinal / été Visites guidées des villages du Val d'Anniviers Parcours historiques des villages du Val d'Anniviers Visite guidée de la Maison Bourgeoise / Grimentz Espace Ella Maillart / Chandolin Musée de la Faune / Chandolin Musée des Patoisants / Vissoie Musée Madeleine / Ayer Maison des Nouritures Paysannes / Ayer Cordonnerie Daniel / Ayer</p>												
St-Luc/Chandolin	Grimentz	Zinal																							
45% bleues	30% bleues	14% bleues																							
48% rouges	40% rouges	64% rouges																							
7% noires	30% noires	22% noires																							
<p style="text-align: center;">Pratiques / Infrastructures</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>33 restaurants été</td> <td>34 restaurants hiver</td> </tr> <tr> <td>15 restaurants d'altitude</td> <td>24 magasins</td> </tr> <tr> <td>19 magasins d'alimentation</td> <td>4 bars</td> </tr> <tr> <td>11 bars à vin</td> <td>3 tea-rooms</td> </tr> <tr> <td>7 après-ski</td> <td>voies d'escalade</td> </tr> <tr> <td>1 mur d'escalade intérieur</td> <td>1 mur d'escalade extérieur (été)</td> </tr> <tr> <td>1 piscine couverte</td> <td>1 piscine extérieure (été)</td> </tr> <tr> <td>3 fitness</td> <td>5 patinoires</td> </tr> <tr> <td>4 salles multisport</td> <td>2 terrains de foot</td> </tr> </tbody> </table> <p>Anniviers Tourisme www.anniviers.ch info@anniviers.ch +41 27 476 16 00</p> <p style="text-align: center;"></p>	33 restaurants été	34 restaurants hiver	15 restaurants d'altitude	24 magasins	19 magasins d'alimentation	4 bars	11 bars à vin	3 tea-rooms	7 après-ski	voies d'escalade	1 mur d'escalade intérieur	1 mur d'escalade extérieur (été)	1 piscine couverte	1 piscine extérieure (été)	3 fitness	5 patinoires	4 salles multisport	2 terrains de foot	<p style="text-align: center;">Accès</p> <p>Liaison en bus entre la gare de Sierre et le Val d'Anniviers</p> <p>Aéroport de Genève et Zurich, liaison en train jusqu'à Sierre</p> <p>Lignes nationales et internationales (TGV Lyria jusqu'à Sierre)</p> <p>Autoroute A9 jusqu'à Sierre ou A6 jusqu'au tunnel du Lötschberg</p> <p style="text-align: center;">Distances (calculées depuis Vissoie)</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Sierre : 17 km</td> <td>Genève : 192 km</td> </tr> <tr> <td>Zurich : 200 km</td> <td>Milan : 240 km</td> </tr> <tr> <td>Paris : 626 km</td> <td>Stuttgart : 391 km</td> </tr> </tbody> </table>	Sierre : 17 km	Genève : 192 km	Zurich : 200 km	Milan : 240 km	Paris : 626 km	Stuttgart : 391 km
33 restaurants été	34 restaurants hiver																								
15 restaurants d'altitude	24 magasins																								
19 magasins d'alimentation	4 bars																								
11 bars à vin	3 tea-rooms																								
7 après-ski	voies d'escalade																								
1 mur d'escalade intérieur	1 mur d'escalade extérieur (été)																								
1 piscine couverte	1 piscine extérieure (été)																								
3 fitness	5 patinoires																								
4 salles multisport	2 terrains de foot																								
Sierre : 17 km	Genève : 192 km																								
Zurich : 200 km	Milan : 240 km																								
Paris : 626 km	Stuttgart : 391 km																								

Source : Anniviers Tourisme. (2015). Fiche d'identité Anniviers

Annexe II : Normes EURO - Antipollution

1.6 Véhicules utilitaires lourds

Tab. 5: Véhicules utilitaires lourds: évolution des valeurs limites

Norme/ Etape	Entrée en vigueur ¹	Cycle de mesures	Valeurs limites							
			CO [g/kWh]	THC [g/kWh]	NMHC [g/kWh]	CH ₄ [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	NH ₃ [ppm]	PM [g/kWh]	PN [#/kWh]
OEV 2										
OEV 2-1	10.1987	ECE 49	8,40	2,10	-	-	14,4	-	-	-
OEV 2-2	10.1991	ECE 49	4,90	1,23	-	-	9,0	-	0,70	-
OEV 2-3	10.1992/93	ECE 49	4,90	1,23	-	-	9,0	-	0,40	-
OETV 1										
EURO II	10.1995/96	ECE 49	4,00	1,10	-	-	7,0	-	0,15	-
Moteurs à auto-allumage (moteurs diesel):										
EURO III	10.2000/01	ESC/ETC ²	2,1/5,45	0,66 / -	- / 0,78	- / -	5,0 / 5,0	- / -	0,10/0,16	- / -
EURO IV	10.2005/06	ESC/ETC	1,5/4,00	0,46 / -	- / 0,55	- / -	3,5 / 3,5	- / -	0,02/0,03	- / -
EURO V	10.2008/09	ESC/ETC	1,5/4,00	0,46 / -	- / 0,55	- / -	2,0 / 2,0	- / -	0,02/0,03	- / -
EEV ⁴	-	ESC/ETC	1,5/3,00	0,25 / -	- / 0,40	- / -	2,0 / 2,0	- / -	0,02/0,02	- / -
EURO VI ⁴	1.2013/2014	WHSC/ WHTC	1,5/4,00	0,13/0,16	- / -	- / -	0,4 / 0,46	10/10	0,01/0,01	8x10 ¹¹ / 6x10 ¹¹
Moteurs à allumage commandé (moteurs à gaz):										
EURO III	10.2000/01	ETC	5,45	-	0,78	1,60	5,0	-	-	-
EURO IV	10.2005/06	ETC	4,00	-	0,55	1,10	3,5	-	-	-
EURO V	10.2008/09	ETC	4,00	-	0,55	1,10	2,0	-	-	-
EEV ³	-	ETC	3,00	-	0,40	0,65	2,0	-	0,02	-
EURO VI	1.2013/2014	WHTC	4,00	-	0,16	0,50	0,46	10	0,01	⁵

¹ 1^{re} date: valable pour les nouveaux types de véhicules. 2^e date: pour la première mise en circulation de véhicules neufs.
² Uniquement pour les moteurs à auto-allumage équipés de filtre à particules et/ou de catalyseur DeNO_x
³ Environmental Enhanced Vehicle (véhicules particulièrement peu polluants)
⁴ Une valeur limite pour le nombre de particules des moteurs à gaz sera fixée ultérieurement.

Source : DETEC. (2013). Evolution de la législation suisse relative aux gaz d'échappement des véhicules à moteur et des machines.

Annexe III : Calcul de l'entrepreneur CarPostal - 2015

Région Valais		Calcul de l'entrepreneur CarPostal	
8013205			
Transports Sierre-Anniviers-Régions			
Rue de l'Hôpital 4			
CH-3960 SIERRE			
N° TVA	CHE-115.248.204		
Contrat SAP N°	4600000107		
Contrat valable dès:	14.12.2014		
Contrat valable jusqu'au:	12.12.2015		
Date création:			
Dernière mutation:			
KM par année:	397,347.828	Région Valais	
Total des prestations KM:	397,347.828	1951 Sion	
Total des prestations en heures	22,658.958		
17.09.2015 11:18:10		Page: 1 de 14	

Région Valais Composition		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107 Transports Sierre-Anniviers-Régions		
<i>POS. / Lignes / Descriptions</i>	<i>Equipement (ID-PA) / Attributs</i>	<i>Fr. p/année</i>	<i>Fr. p/mois</i>	<i>cts/km</i>
270	Impôt cantonal d'immatriculation	5048 / VS 132779 / Maxi	1,608.00	
280	Impôt cantonal d'immatriculation	4497 / VS 26459 / Midi	1,344.00	
290	Impôt cantonal d'immatriculation	4498 / VS 93571 / Midi	1,344.00	
300	Impôt cantonal d'immatriculation	4501 / VS 1554 / Midi	1,344.00	
310	Impôt cantonal d'immatriculation	5724 / VS 64315 / Maxi	1,320.00	
320	Impôt cantonal d'immatriculation	5723 / VS 127372 / Maxi	1,320.00	
330	Impôt cantonal d'immatriculation	5725 / VS 162366 / Maxi	1,320.00	
340	Impôt cantonal d'immatriculation	4500 / VS 16092 / Midi	1,344.00	
350	Impôt cantonal d'immatriculation	4429 / VS 45635 / Maxi	1,548.00	
360	Impôt cantonal d'immatriculation	4430 / VS 75035 / Maxi	1,548.00	
370	Impôt cantonal d'immatriculation	5242 / VS 76245 / Midi	1,380.00	
380	Impôt cantonal d'immatriculation	4431 / VS 77278 / Maxi	1,548.00	
390	Impôt cantonal d'immatriculation	5497 / VS 396506 / Mini	696.00	
400	Impôt cantonal d'immatriculation	5515 / VS 205405 / Midi	1,176.00	
410	Impôt cantonal d'immatriculation	4949 / VS 358045 / Midi	1,152.00	
Total	431100 EP: Frais de véhicules fixes		19,992.00	1,666.00 0.00
10	Amortissements	4429 / VS 45635 / Maxi	35,308.94	
20	Amortissements	4430 / VS 75035 / Maxi	35,308.94	
30	Amortissements	4431 / VS 77278 / Maxi	35,308.94	
40	Amortissements	4497 / VS 26459 / Midi	34,818.29	
50	Amortissements	4498 / VS 93571 / Midi	34,818.29	
60	Amortissements	4500 / VS 16092 / Midi	34,545.41	
70	Amortissements	4501 / VS 1554 / Midi	34,545.41	
80	Amortissements	5048 / VS 132779 / Maxi	25,759.05	
90	Amortissements	5242 / VS 76245 / Midi	24,593.33	
100	Amortissements	5497 / VS 396506 / Mini	17,368.56	
110	Amortissements	5723 / VS 127372 / Maxi	27,493.34	
120	Amortissements	5724 / VS 64315 / Maxi	27,493.34	
130	Amortissements	5725 / VS 162366 / Maxi	27,493.34	

Région Valais Composition		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107 Transports Sierre-Anniviers-Régions		
<i>POS. / Lignes / Descriptions</i>	<i>Equipement (ID-PA) / Attributs</i>	<i>Fr. p/année</i>	<i>Fr. p/mois</i>	<i>cts/km</i>
Total 431110 EP: Amortissements		394,855.18	32,904.57	1.00
140 Intérêts sur le financement véhicules	4429 / VS 45635 / Maxi	9,631.78		
150 Intérêts sur le financement véhicules	4430 / VS 75035 / Maxi	9,631.78		
160 Intérêts sur le financement véhicules	4431 / VS 77278 / Maxi	9,631.78		
170 Intérêts sur le financement véhicules	4497 / VS 26459 / Midi	9,497.95		
180 Intérêts sur le financement véhicules	4498 / VS 93571 / Midi	9,497.95		
190 Intérêts sur le financement véhicules	4500 / VS 16092 / Midi	9,423.56		
200 Intérêts sur le financement véhicules	4501 / VS 1554 / Midi	9,423.56		
210 Intérêts sur le financement véhicules	5048 / VS 132779 / Maxi	6,610.95		
220 Intérêts sur le financement véhicules	5242 / VS 76245 / Midi	4,722.67		
230 Intérêts sur le financement véhicules	5497 / VS 396506 / Mini	1,420.44		
240 Intérêts sur le financement véhicules	5723 / VS 127372 / Maxi	4,358.66		
250 Intérêts sur le financement véhicules	5724 / VS 64315 / Maxi	4,358.66		
260 Intérêts sur le financement véhicules	5725 / VS 162366 / Maxi	4,358.66		
Total 431120 EP: Intérêts		92,568.40	7,714.05	0.20
430 Location du garage	Maxi	16,800.00		
Total 431130 EP: Loyer		16,800.00	1,400.00	0.04
440 Indemnité nettoyage des véhicules	Maxi	24,725.00		
450 Indemnité nettoyage des véhicules	Mini	270.00		
Total 431220 EP: Entretien et réparations		24,995.00	2,082.92	0.06
460 RPLF	5497 / VS 396506 / Mini	2,200.00		
Total 436300 Taxes routières		2,200.00	183.33	0.01
Total 10 Frais fixes des véhicules		551,410.58	45,950.87	1.31
100 Contrôle de véhicule	Maxi	1,680.00		
110 Contrôle de véhicule	Midi	280.00		
120 Contrôle de véhicule	Mini	140.00		

Région Valais Composition		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107 Transports Sierre-Anniviers-Régions		
POS. / Lignes / Descriptions	Equipement (ID-PA) / Attributs	Fr. p/année	Fr. p/mois	cts/km
Total 431100 EP: Frais de véhicules fixes		2,100.00	175.00	0.00
10 Carburant	Maxi	254,511.72		
20 Carburant	Mini	1,822.82		
Total 431210 EP: Carburant		256,334.54	21,361.21	0.64
30 Réparation / entretien	Maxi	156,022.52		
40 Pneus / chaînes à neige	Maxi	39,005.63		
50 Réparation / entretien	Mini	2,095.20		
60 Pneus / chaînes à neige	Mini	628.56		
Total 431220 EP: Entretien et réparations		197,751.91	16,479.33	0.50
Total 20 Coûts variables des véhicules		456,186.45	38,015.54	1.14
430 Remplacements Anniviers		23,077.00		
Total 431300 EP: Frais de personnel		23,077.00	1,923.08	0.06
10 Salaire du chauffeur		994,155.00		
260 Coûts de remplacement		65,520.00-		
Total 431310 EP: Salaires		928,635.00	77,386.25	2.34
130 Service de nuit		11,776.00		
Total 431321 EP: Service de nuit		11,776.00	981.33	0.03
70 Service dominical		21,120.00		
Total 431322 EP: Service dominical		21,120.00	1,760.00	0.05
190 Indemnité de repas		20,636.00		
Total 431323 EP: Indemnités de repas		20,636.00	1,719.67	0.05
650 Prestations sociales pour salaire		116,912.63		
670 Prestations sociales pour FVP		5,306.33		
680 Prestations sociales pr. service de nuit		1,384.98		

Région Valais Composition		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107 Transports Sierre-Anniviers-Régions		
<i>POS. / Lignes / Descriptions</i>	<i>Equipement (ID-PA) / Attributs</i>	<i>Fr. p/année</i>	<i>Fr. p/mois</i>	<i>cts/km</i>
690 Prestations sociales pr. serv. dominical		2,483.92		
Total 431330 EP: Charges sociales		126,087.86	10,507.32	0.31
Total 30 Coût du personnel		1,131,331.86	94,277.65	2.84
10 Indemnité pompe à essence	Maxi	1,850.00		
Total 431220 EP: Entretien et réparations		1,850.00	154.17	0.00
20 Inérêts découlant d'une avance caisse		34.00		
30 Part des frais d'exploitation		109,000.00		
Total 431400 EP: Frais divers		109,034.00	9,086.16	0.27
Total 40 Frais divers		110,884.00	9,240.33	0.27
Coûts totaux		2,249,812.89	187,484.39	5.56

Région Valais Frais des véhicules fixes		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107 Transports Sierre-Anniviers-Régions					
Marque Type							
ID-PA (Equipment)	Plaque	Amort. durée	capital	Taux d'intérêt			
Désignation des prestations					Prix unitaire	Quantité	Valeur nette
Maxi							
4429	VS 45635	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 353,089.00 / 5.00 %					
	Amortissements				35,308.94	1.000 UP	35,308.94
	Intérêts sur le financement véhicules				9,631.78	1.000 UP	9,631.78
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,548.00	1.000 UP	1,548.00
4430	VS 75035	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 353,089.00 / 5.00 %					
	Amortissements				35,308.94	1.000 UP	35,308.94
	Intérêts sur le financement véhicules				9,631.78	1.000 UP	9,631.78
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,548.00	1.000 UP	1,548.00
4431	VS 77278	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 353,089.00 / 5.00 %					
	Amortissements				35,308.94	1.000 UP	35,308.94
	Intérêts sur le financement véhicules				9,631.78	1.000 UP	9,631.78
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,548.00	1.000 UP	1,548.00
5048	VS 132779	/ 01.01.2012 - 30.06.2022 / 270,470.00 / 4.50 %					
	Amortissements				25,759.05	1.000 UP	25,759.05
	Intérêts sur le financement véhicules				6,610.95	1.000 UP	6,610.95
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,608.00	1.000 UP	1,608.00
5723	VS 127372	/ 01.01.2014 - 31.10.2025 / 0.00 / 2.50 %					
	Amortissements				27,493.34	1.000 UP	27,493.34
	Intérêts sur le financement véhicules				4,358.66	1.000 UP	4,358.66
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,320.00	1.000 UP	1,320.00
5724	VS 64315	/ 01.01.2014 - 31.10.2025 / 0.00 / 2.50 %					
	Amortissements				27,493.34	1.000 UP	27,493.34
	Intérêts sur le financement véhicules				4,358.66	1.000 UP	4,358.66

Région Valais		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107							
Frais des véhicules fixes		Transports Sierre-Anniviers-Régions							
Marque Type									
ID-PA (Equipement)	Plaque	Amort. durée	capital	Taux d'intérêt	Prix unitaire	Quantité	Valeur nette		
Désignation des prestations									
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,320.00	1.000 UP	1,320.00		
5725	VS 162366	/ 01.01.2014 - 31.10.2025 / 0.00 / 2.50 %							
		Amortissements			27,493.34	1.000 UP	27,493.34		
		Intérêts sur le financement véhicules			4,358.66	1.000 UP	4,358.66		
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,320.00	1.000 UP	1,320.00		
Midi									
		4497 VS 26459	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 348,183.00 / 5.00 %						
		Amortissements			34,818.29	1.000 UP	34,818.29		
		Intérêts sur le financement véhicules			9,497.95	1.000 UP	9,497.95		
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,344.00	1.000 UP	1,344.00		
		4498 VS 93571	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 348,183.00 / 5.00 %						
		Amortissements			34,818.29	1.000 UP	34,818.29		
		Intérêts sur le financement véhicules			9,497.95	1.000 UP	9,497.95		
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,344.00	1.000 UP	1,344.00		
		4500 VS 16092	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 345,454.00 / 5.00 %						
		Amortissements			34,545.41	1.000 UP	34,545.41		
		Intérêts sur le financement véhicules			9,423.56	1.000 UP	9,423.56		
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,344.00	1.000 UP	1,344.00		
		4501 VS 1554	/ 01.01.2010 - 31.12.2019 / 345,454.00 / 5.00 %						
		Amortissements			34,545.41	1.000 UP	34,545.41		
		Intérêts sur le financement véhicules			9,423.56	1.000 UP	9,423.56		
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,344.00	1.000 UP	1,344.00		
		4949 VS 358045	/ 01.03.2010 - 31.07.2014 / 155,000.00 / 5.00 %						
		Impôt cantonal d'immatriculation			1,152.00	1.000 UP	1,152.00		

Région Valais		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107					
Frais des véhicules fixes		Transports Sierre-Anniviers-Régions					
Marque Type							
ID-PA (Equipement)	Plaque	Amort. durée	capital	Taux d'intérêt			
Désignation des prestations					Prix unitaire	Quantité	Valeur nette
5242	VS 76245	/ 01.07.2011 - 30.06.2023 / 295,120.00 / 3.00 %					
	Amortissements				24,593.33	1.000 UP	24,593.33
	Intérêts sur le financement véhicules				4,722.67	1.000 UP	4,722.67
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,380.00	1.000 UP	1,380.00
5515	VS 205405	/ - / 0.00 / 0.00 %					
	Impôt cantonal d'immatriculation				1,176.00	1.000 UP	1,176.00
Mini							
5497	VS 396506	/ 01.11.2012 - 31.10.2019 / 121,580.00 / 2.25 %					
	Amortissements				17,368.56	1.000 UP	17,368.56
	Intérêts sur le financement véhicules				1,420.44	1.000 UP	1,420.44
	Impôt cantonal d'immatriculation				696.00	1.000 UP	696.00
	RPLF				2,200.00	1.000 UP	2,200.00
Total: Impôt cantonal d'immatriculation							19,992.00
Total: Amortissements							394,855.18
Total: Intérêts sur le financement véhicules							92,568.40
Total: RPLF							2,200.00

Région Valais Coûts variables		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107 Transports Sierre-Anniviers-Régions		
Marque / type				
Désignation des prestations	Prix unitaire	Quantité		Valeur nette
Maxi				
Carburant	1.45	175,525	L	254,511.72
Contrôle de véhicule	140.00	12	PCE	1,680.00
Indemnité nettoyage des véhicules	24,725.00	1	UP	24,725.00
Indemnité pompe à essence	1,850.00	1	UP	1,850.00
Location du garage	16,800.00	1	UP	16,800.00
Pneus / chaînes à neige	0.10	390,056	KM	39,005.63
Réparation / entretien	0.40	390,056	KM	156,022.52
Midi				
Contrôle de véhicule	140.00	2	PCE	280.00
Mini				
Carburant	1.45	1,257	L	1,822.82
Contrôle de véhicule	140.00	1	PCE	140.00
Indemnité nettoyage des véhicules	270.00	1	UP	270.00
Pneus / chaînes à neige	0.09	6,984	KM	628.56
Réparation / entretien	0.30	6,984	KM	2,095.20
Total: Carburant				256,334.54
Total: Contrôle de véhicule				2,100.00
Total: Indemnité nettoyage des véhicules				24,995.00
Total: Indemnité pompe à essence				1,850.00
Total: Location du garage				16,800.00
Total: Pneus / chaînes à neige				39,634.19
17.09.2015 11:18:10				Page: 9 de 14

Région Valais		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107	
Coûts du personnel & calcul du temps		Transports Sierre-Anniviers-Régions	
Coûts du personnel			
Désignation des prestations	Prix unitaire	Quantité	Valeur nette
Salaire du chauffeur	994,155.00	1 UP	994,155.00
Service dominical	33.00	640 PCE	21,120.00
Service de nuit	6.40	1,840 H.	11,776.00
Indemnité de repas	11.00	1,876 PCE	20,636.00
Coûts de remplacement	280.00	234- J	65,520.00-
Formule pour les prestations			
COÛTS JOURS DE REMPLACEMENT AVEC 1 GCHF			
A + F - WG1			
A	=	3,237 J	(JOURNÉES DE TRAVAIL)
F	=	390 J	(CONGÉS PAYÉS)
WG1	=	3,861 J	(JT GP CHAUFFEURS GP1)
Remplacements Anniviers	23,077.00	1 UP	23,077.00
Prestations sociales pour salaire	1.00	1 UP	116,912.63
Détail des conditions		EnrgCond	Unité
Prix		994,155.00	CHF
Prix %		11.76	%
Détail des conditions		EnrgCond	Unité
Prix		45,118.00	CHF
Prix %		11.76	%
Prestations sociales pour FVP	1.00	1 UP	5,306.33
Détail des conditions		EnrgCond	Unité
Prix		45,118.00	CHF
Prix %		11.76	%

Région Valais		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107		
Coûts du personnel & calcul du temps		Transports Sierre-Anniviers-Régions		
Coûts du personnel				
Désignation des prestations	Prix unitaire	Quantité		Valeur nette
Prestations sociales pr. service de nuit	1.00	1,840 H.		1,384.98
Détail des conditions	EnrgCond	Unité		Prix unitaire
Prix	6.40	CHF		1 H.
Prix %	11.76	%		1 ***
Prestations sociales pr. serv. dominical	1.00	640 PCE		2,483.92
Détail des conditions	EnrgCond	Unité		Prix unitaire
Prix	33.00	CHF		1 PCE
Prix %	11.76	%		1 ***
Total: Coûts du personnel				1,131,331.86

Région Valais		8013205 / Contrat SAP N° 4600000107	
Frais divers		Transports Sierre-Anniviers-Régions	
Frais divers			
Désignation des prestations	Prix unitaire	Quantité	Valeur nette
Inérêts découlant d'une avance caisse	34.00	1 PCE	34.00
Part des frais d'exploitation	109,000.00	1 UP	109,000.00
Total: Inérêts découlant d'une avance caisse			34.00
Total: Part des frais d'exploitation			109,000.00
Total: Total général			109,034.00

17.09.2015 11:18:10 Page: 13 de 14

Source : CarPostal. (2016). Calculation d'entrepreneur CarPostal. Transport Sierre Anniviers et Régions Sàrl

**RAPPORT DE L'ORGANE DE REVISION
SUR LE CONTROLE RESTREINT**

avec comptes annuels au

31 décembre 2014 de

**TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS
SARL
SIERRE**

 **Fiduciaire Ametys SA**



Guy Rudaz
Comptable fiscaliste

Stéphane Tavernier
Expert en finance et controlling

Av. de Tourbillon 100
Case postale
CH-1951 Sion

Téléphone +41 27 329 25 55
Téléfax: +41 27 329 25 56
info@ametys.ch

**Rapport de l'organe de révision sur le contrôle restreint
à l'assemblée générale de**

Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl, Sierre

En notre qualité d'organe de révision, nous avons contrôlé les comptes annuels (bilan, compte de profits et pertes et annexe) de Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl pour l'exercice arrêté au 31.12.2014.

La responsabilité de l'établissement des comptes annuels incombe aux associés gérants alors que notre mission consiste à contrôler ces comptes. Nous attestons que nous remplissons les exigences légales d'agrément et d'indépendance. Un collaborateur de notre société a participé à la tenue de la comptabilité durant l'exercice sous revue. En revanche, il n'a pas pris part au contrôle restreint.

Notre contrôle a été effectué selon la Norme suisse relative au contrôle restreint. Cette norme requiert de planifier et de réaliser le contrôle de manière telle que des anomalies significatives dans les comptes annuels puissent être constatées. Un contrôle restreint englobe principalement des auditions, des opérations de contrôle analytiques ainsi que des vérifications détaillées appropriées des documents disponibles dans l'entreprise contrôlée. En revanche, des vérifications des flux d'exploitation et du système de contrôle interne ainsi que des auditions et d'autres opérations de contrôle destinées à détecter des fraudes ne font pas partie de ce contrôle.

Lors de notre contrôle, nous n'avons pas rencontré d'élément nous permettant de conclure que les comptes annuels ainsi que la proposition concernant l'emploi du bénéfice ne sont pas conformes à la loi et aux statuts.

Nous attirons votre attention sur le fait que la moitié du capital-actions et des réserves légales n'est plus couverte (art. 725. Al. 1 CO).

Enfin, nous rappelons encore que selon l'art. 699 al. 2 CC. les comptes annuels doivent être approuvés par l'assemblée générale dans les six mois qui suivent la date de clôture des comptes.

Sion, le 30 novembre 2015

Fiduciaire Ametys SA


Stéphane Tavernier
(Expert-réviseur agréé ASR 102844)
(Responsable du mandat)


Fernando Caneda
(Réviseur agréé ASR 102846)

Annexes :
Comptes annuels (bilan, compte de profits et pertes et annexe)
Proposition relative à l'emploi du bénéfice au bilan

TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS SARL - TRANSPORTS - SIERRE

BILAN AU 31 DECEMBRE 2014

	<u>31.12.2014</u>	<u>31.12.2013</u>
	Fr.	Fr.
<u>ACTIF</u>		
Caisse	1'755.90	1'764.60
Banques	177'818.93	142'974.36
	<hr/>	<hr/>
<i>Actif disponible</i>	<u>179'574.83</u>	<u>144'738.96</u>
Débiteurs	69'426.25	63'888.20
Actifs transitoires	25'174.15	33'901.40
Stocks	42'000.00	81'000.00
	<hr/>	<hr/>
<i>Actif réalisable</i>	<u>136'600.40</u>	<u>178'789.60</u>
Total actif circulant	<u>316'175.23</u>	<u>323'528.56</u>
Titres	10'050.00	10'050.00
Garage	120'000.00	120'000.00
Machines, outillage	30'000.00	36'500.00
Véhicules	2'897'850.38	2'193'969.89
	<hr/>	<hr/>
Total actif immobilisé	<u>3'057'900.38</u>	<u>2'360'519.89</u>
TOTAL DU BILAN	<u>3'374'075.61</u>	<u>2'684'048.45</u>

TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS SARL - TRANSPORTS - SIERRE

BILAN AU 31 DECEMBRE 2014

	<u>31.12.2014</u>	<u>31.12.2013</u>
	Fr.	Fr.
<u>PASSIF</u>		
Créanciers	196'941.20	160'551.65
Prêt H. Epiney SA	93'295.80	48'199.30
Prêt hoirie Epiney	0.00	20'000.00
Provision pour réserves réparations, travaux garanties	46'800.00	50'697.83
Total fonds étrangers à court terme	<u>337'037.00</u>	<u>279'448.78</u>
Raiffeisen 229318.90/1	92'000.00	100'000.00
Emprunts PTT	2'897'850.38	2'193'969.89
Total fonds étrangers à long terme	<u>2'989'850.38</u>	<u>2'293'969.89</u>
Total fonds étrangers	<u>3'326'887.38</u>	<u>2'573'418.67</u>
Capital social	100'000.00	100'000.00
Réserve générale	4'100.00	2'000.00
Résultat au bilan :		
Résultat reporté	6'529.78	-31'939.47
Perte / bénéfice de l'exercice	-63'441.55	40'569.25
	<u>-56'911.77</u>	<u>8'629.78</u>
Total fonds propres	<u>47'188.23</u>	<u>110'629.78</u>
TOTAL DU BILAN	<u>3'374'075.61</u>	<u>2'684'048.45</u>

TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS SARL - TRANSPORTS - SIERRE

COMPTE DE PROFITS ET PERTES DE L'EXERCICE 2014

	<u>2014</u>	<u>2013</u>
	Fr.	Fr.
Chiffre d'affaires transports	557'025.54	429'048.84
Chiffre d'affaires transports (forfaits)	2'258'377.80	2'211'599.50
Provision pour réparations/travaux garanties	3'897.83	35'800.00
Travaux pour propre compte	56'080.00	64'480.00
Chiffre d'affaires	2'875'381.17	2'740'728.34
Frais du personnel	1'668'257.97	1'544'570.76
Frais d'exploitation	513'027.07	504'854.03
Frais d'entretien	199'155.18	203'996.49
Frais d'administration	24'388.35	24'736.65
Résultat d'exploitation	470'552.60	462'570.41
Produits financiers	-40.30	-72.85
Charges financières	95'272.50	112'892.03
Résultat d'exploitation avant amortissements	375'320.40	349'751.23
Amortissements	443'656.25	336'575.88
Résultat d'exploitation avant produits extraordinaires	-68'335.85	13'175.35
Produits extraordinaires (ventes d'actifs, divers)	-5'002.60	-28'021.05
Résultat d'exploitation avant impôts	-63'243.25	41'197.30
Impôts	198.30	628.05
Perte / bénéfice de l'exercice	-63'441.55	40'569.25

TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS SARL - TRANSPORTS - SIERRE

DETAIL DES CHARGES DE L'EXERCICE 2014

	<u>2014</u>	<u>2013</u>
	Fr.	Fr.
Salaires et traitements	1'406'279.22	1'275'137.61
Charges sociales	415'905.30	410'157.15
Retenues sur salaires	-225'051.25	-206'742.10
Déplacements chauffeurs	71'124.70	66'018.10
Frais du personnel	1'668'257.97	1'544'570.76
Loyer garages	9'500.00	3'500.00
Location véhicules	31'525.75	36'624.59
Electricité garages	5'230.85	4'906.85
Produits de nettoyage	3'395.50	3'936.57
Petit outillage	10'683.75	5'016.75
Carburants	386'335.07	402'851.87
Huiles et lubrifiants	3'000.00	3'028.20
Pneus et chaînes à neige	38'104.00	22'964.55
Permis de circulation	22'067.30	19'000.35
Assurances commerciales	3'184.85	3'024.30
Frais d'exploitation	513'027.07	504'854.03
Entretien et réparation générale	6'621.00	10'011.32
Entretien et réparation véhicules	185'631.88	189'926.81
Entretien garages et colonnes	6'902.30	4'058.36
Frais d'entretien et réparation	199'155.18	203'996.49

TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS SARL - TRANSPORTS - SIERRE

DETAIL DES CHARGES DE L'EXERCICE 2014

	<u>2014</u>	<u>2013</u>
	Fr.	Fr.
Loyer de bureau	4'500.00	4'500.00
Fournitures de bureau	4'626.55	6'179.80
Téléphones	2'000.00	2'000.00
Déplacements	78.00	462.00
Honoraires	5'600.00	5'600.00
Cotisations, dons, journaux	2'325.00	2'350.00
Publicité et insertions	2'689.00	1'150.00
Frais de représentation	2'569.80	2'494.85
	<hr/>	<hr/>
Frais d'administration	24'388.35	24'736.65
	<hr/>	<hr/>
Intérêts des emprunts PTT	91'494.25	109'032.58
Intérêts, frais de banque	3'778.25	3'859.45
	<hr/>	<hr/>
Frais financiers	95'272.50	112'892.03
	<hr/>	<hr/>

TRANSPORTS SIERRE-ANNIVIERS-REGIONS SARL - TRANSPORTS - SIERRE

ANNEXE AU 31 DECEMBRE 2014

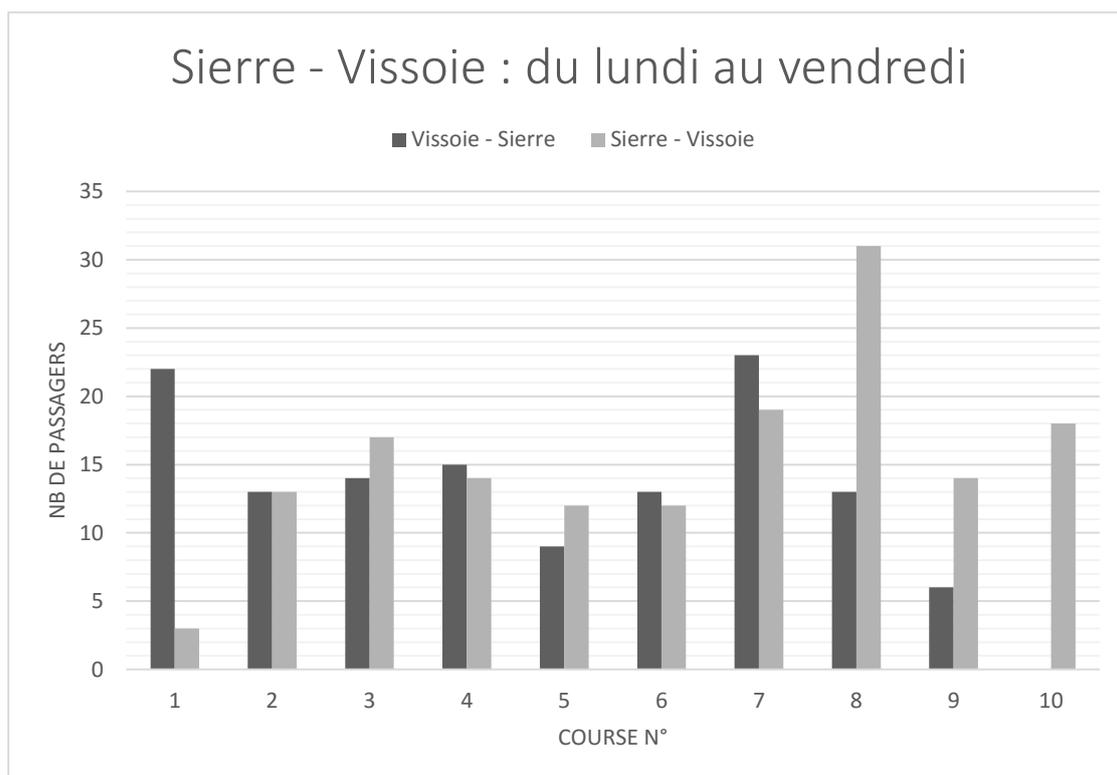
	<u>31.12.2014</u>	<u>31.12.2013</u>
	Fr.	Fr.
<u>Actifs mis en gage pour engagements propres</u>		
Immobilisations - valeur comptable des terrains et immeubles	<u>120'000.00</u>	<u>120'000.00</u>
<u>Actifs sous réserve de propriété</u>		
Les véhicules restent sous réserve de propriété de la Poste jusqu'au paiement intégral du prix de vente	<u>2'897'850.38</u>	<u>2'193'969.89</u>
<u>Valeurs d'assurance incendie</u>		
Les véhicules sont assurés directement par la Poste		
<u>Dissolution de réserves latentes</u>	<u>0.00</u>	<u>28'500.00</u>
<u>Evaluation du risque</u>		
Les gérants de Transports Sierre-Anniviers-Régions Sarl reconnaissent que la gestion des risques fait partie intégrante de leurs activités. une analyse des risques auxquels doit faire face la société a été effectuée de manière informelle. Cette analyse traite des principaux risques auxquels la société est exposée et leurs conséquences sur les comptes annuels.		

Source : Transport Sierre-Anniviers et Régions Sarl. (2015). Rapport de l'organe de révision sur le contrôle restreint.

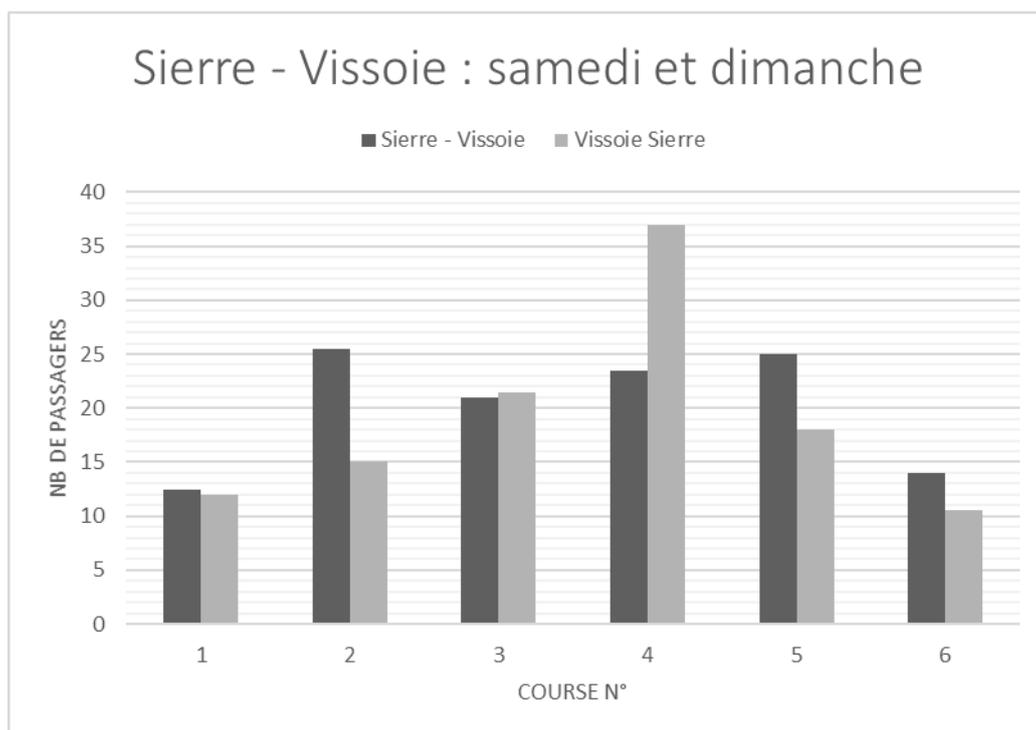
Annexe V : Taux de remplissage des cars par lignes

Ligne : Sierre - Vissoie

Ligne 405 Sierre - Vissoie								
Du lundi au Vendredi								
Aller					Retour			
Course n°	Sierre	Vissoie	Nb de passager		Course n°	Vissoie	Sierre	Nb de passager
1	06:35	07:05	3		1	06:45	07:17	22
2	07:45	08:15	13		2	08:10	08:42	13
3	09:45	10:15	17		3	10:15	10:47	14
4	11:25	11:55	14		4	11:55	12:27	15
5	12:45	13:15	12		5	12:55	13:27	9
6	13:45	14:15	12		6	14:15	17:47	13
7	15:45	16:15	19		7	16:15	16:47	23
8	17:45	18:15	31		8	18:15	18:47	13
9	19:10	19:40	14		9	19:15	19:47	6
10	20:10	20:40	18					



Ligne 405 Sierre - Vissoie							
Samedis et dimanches							
Aller				Retour			
Course n°	Sierre	Vissoie	Nb de passager	Course n°	Vissoie	Sierre	Nb de passager
1	07:45	08:15	13	1	08:10	08:42	12
2	09:45	10:15	26	2	10:15	10:47	15
3	11:25	11:55	21	3	11:55	12:27	22
4	15:45	16:15	24	4	16:15	16:47	37
5	17:45	18:15	25	5	18:15	18:47	18
6	19:10	19:40	14	6	19:15	19:47	11



Sierre-Vissoie - Résultats généraux

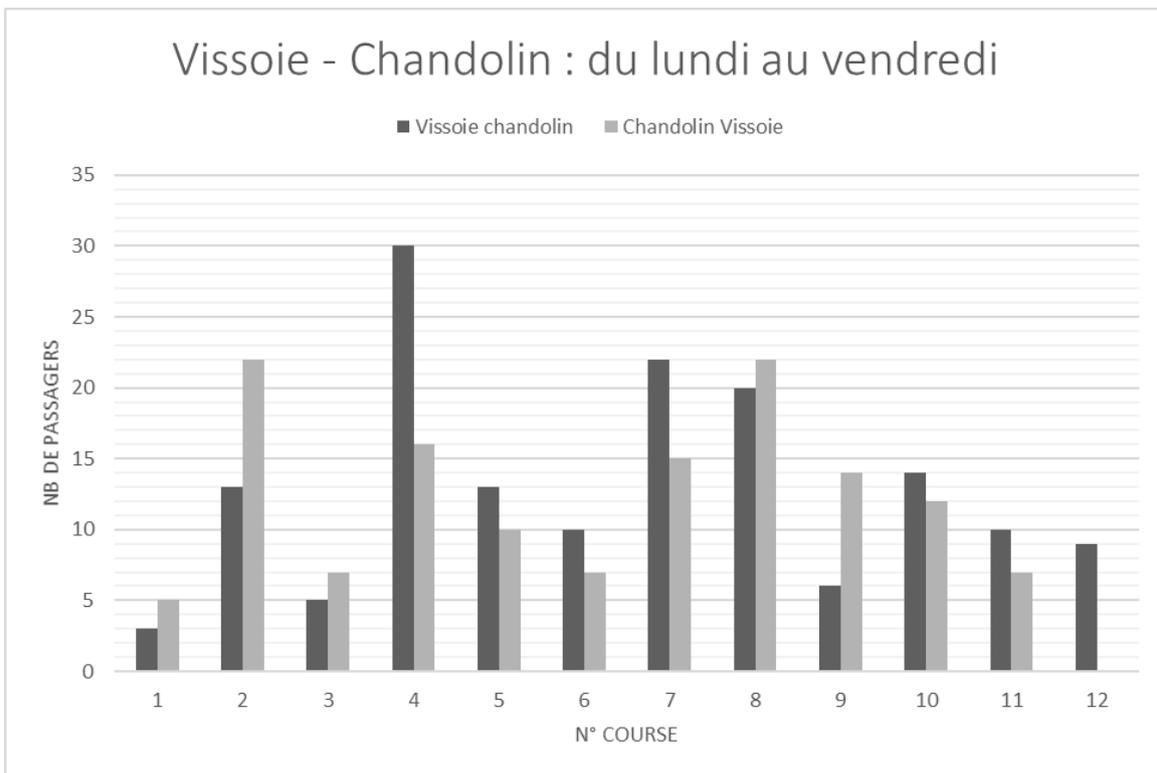
Taux d'utilisation des véhicules : **Du lundi au vendredi**
19,8%

Taux d'utilisation des véhicules : **Samedi**
24,8%

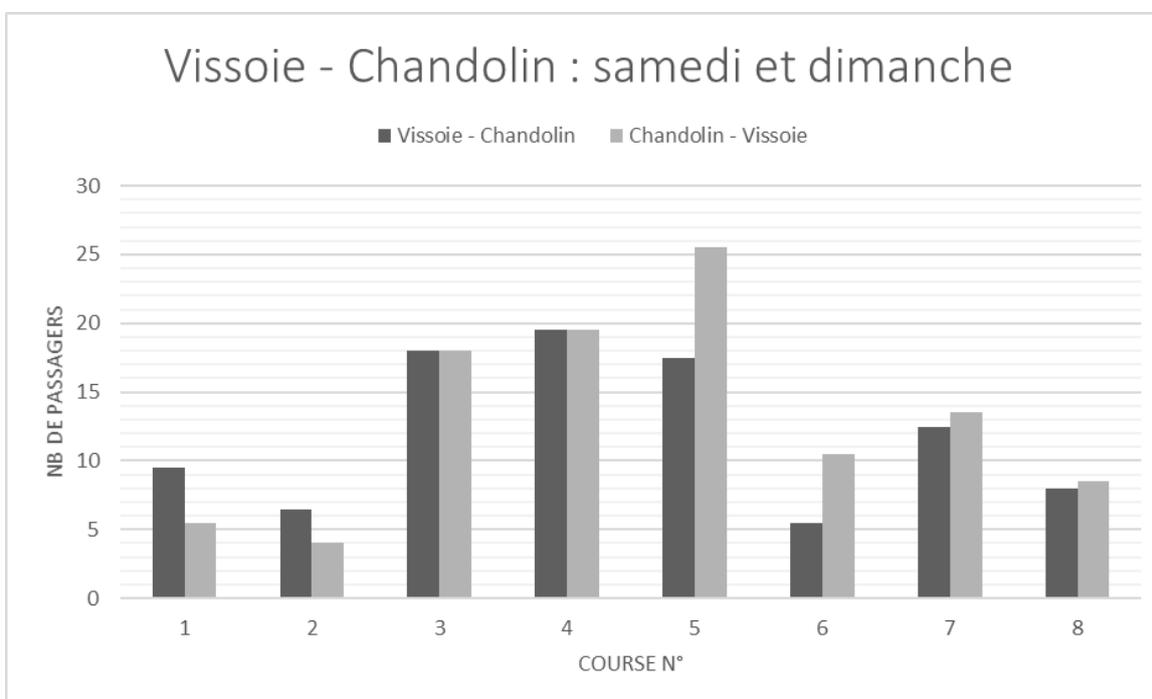
Taux d'utilisation des véhicules : **Dimanche**
24,9%

Ligne : Vissoie - Chandolin

Ligne 406 Vissoie - Chandolin							
Du lundi au vendredi							
Aller				Retour			
Course n°	Vissoie	Chandolin	Nb de passager	Course n°	Chandolin	Vissoie	Nb de passager
1	07:07	07:34	3	1	06:14	06:41	5
2	08:18	08:45	13	2	07:36	08:03	22
3	09:08	09:35	5	3	08:50	09:17	7
4	10:18	10:45	30	4	09:45	10:12	16
5	11:58	12:25	13	5	11:25	11:52	10
6	13:18	13:45	10	6	12:25	12:52	7
7	14:35	15:02	22	7	13:45	14:12	15
8	16:18	16:45	20	8	15:45	16:12	22
9	17:08	17:35	6	9	16:50	17:17	14
10	18:18	18:45	14	10	17:45	18:12	12
11	19:43	20:10	10	11	18:45	19:12	7
12	20:43	21:10	9				



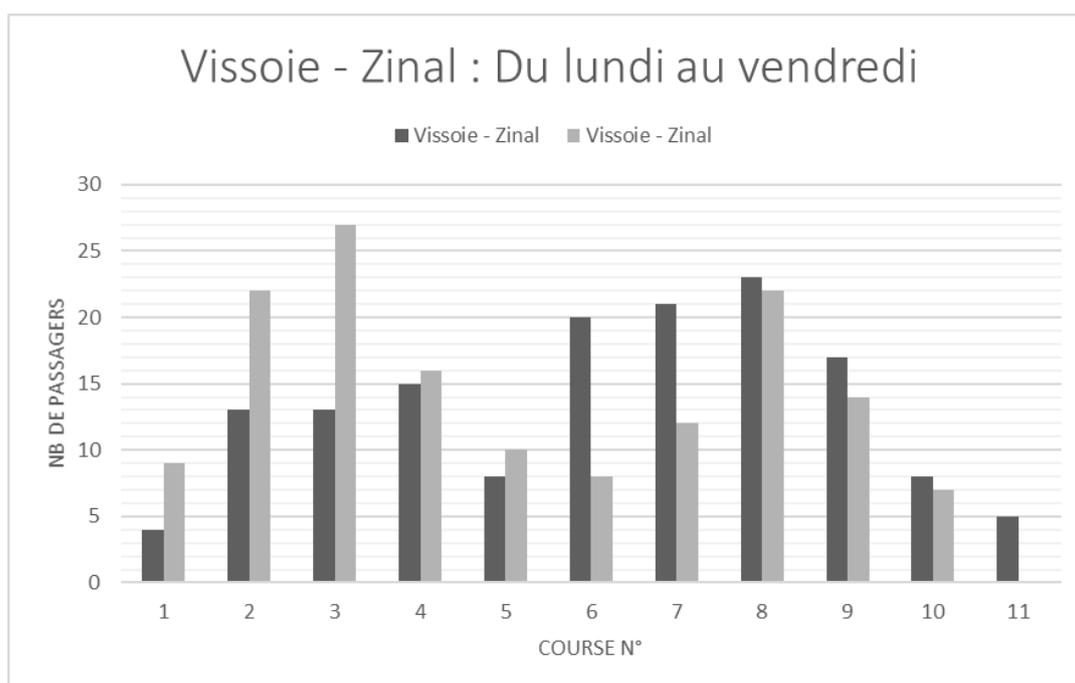
Ligne 406 Vissoie - Chandolin							
Samedis et dimanches							
Aller				Retour			
Course n°	Vissoie	Chandolin	Nb de passager	Course n°	Chandolin	Vissoie	Nb de passager
1	08:18	08:45	10	1	07:36	08:03	6
2	09:08	09:35	7	2	08:50	09:17	4
3	10:18	10:45	18	3	09:45	10:12	18
4	11:58	12:25	20	4	11:25	11:52	20
5	16:18	16:45	18	5	15:45	16:12	26
6	17:08	17:35	6	6	16:50	17:17	11
7	18:18	18:45	13	7	17:45	18:12	14
8	19:43	20:10	8	8	18:45	19:12	9



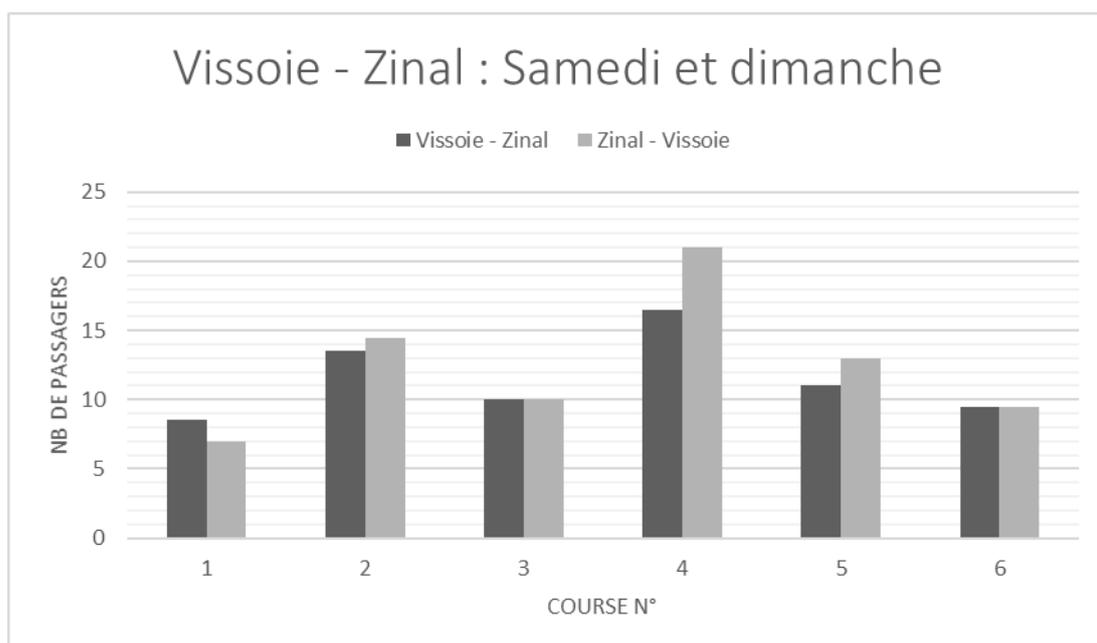
Vissoie-Chandolin - Résultats généraux
Taux d'utilisation des véhicules : Du lundi au vendredi 12,2%
Taux d'utilisation des véhicules : Samedi 12,5%
Taux d'utilisation des véhicules : Dimanche 12,4%

Ligne : Vissoie - Zinal

Ligne 407 Vissoie - Zinal							
Du lundi au vendredi							
Aller				Retour			
Course n°	Vissoie	Zinal	Nb de passager	Course n°	Vissoie	Zinal	Nb de passager
1	07:07	07:30	4	1	06:19	06:41	9
2	08:18	08:41	13	2	07:41	08:03	22
3	10:18	10:41	13	3	07:53	08:03	27
4	11:58	12:21	15	4	09:49	10:11	16
5	13:18	13:41	8	5	11:29	11:51	10
6	14:35	14:58	20	6	12:29	12:51	8
7	14:35	14:45	21	7	13:49	14:11	12
8	16:18	16:41	23	8	15:49	16:11	22
9	18:18	18:41	17	9	17:49	18:11	14
10	19:43	20:06	8	10	18:49	19:11	7
11	20:43	21:06	5				



Ligne 407 Vissoie - Zinal							
Samedi et dimanche							
Aller				Retour			
Course n°	Vissoie	Zinal	Nb de passager	Course n°	Zinal	Vissoie	Nb de passager
1	08:18	08:41	8,5	1	07:41	08:03	7
2	10:18	10:41	13,5	2	09:49	10:11	14,5
3	11:58	12:21	10	3	11:29	11:51	10
4	16:18	16:41	16,5	4	15:49	16:11	21
5	18:18	18:41	11	5	17:49	18:11	13
6	19:43	20:06	9,5	6	18:49	19:11	9,5



Vissoie-Zinal - Résultats généraux

Taux d'utilisation des véhicules : **Du lundi au vendredi**

14,7%

Taux d'utilisation des véhicules : **Samedi**

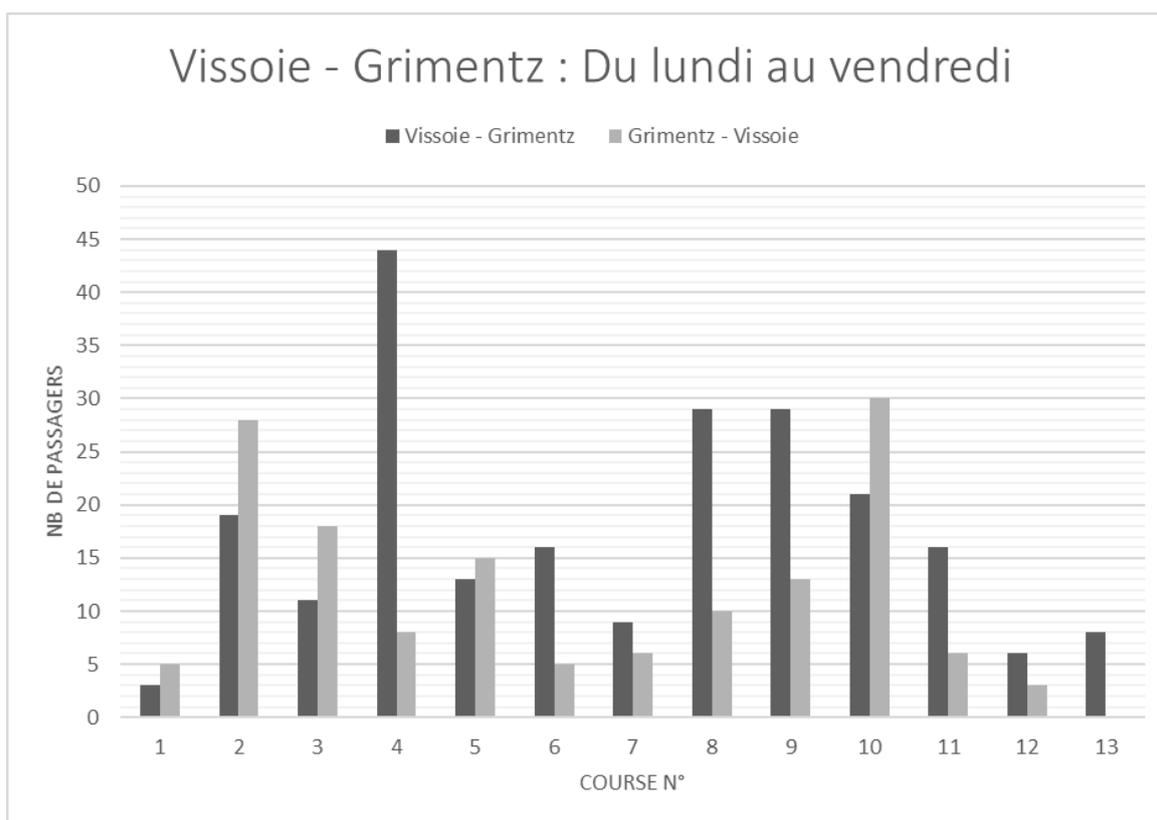
12,8%

Taux d'utilisation des véhicules : **Dimanche**

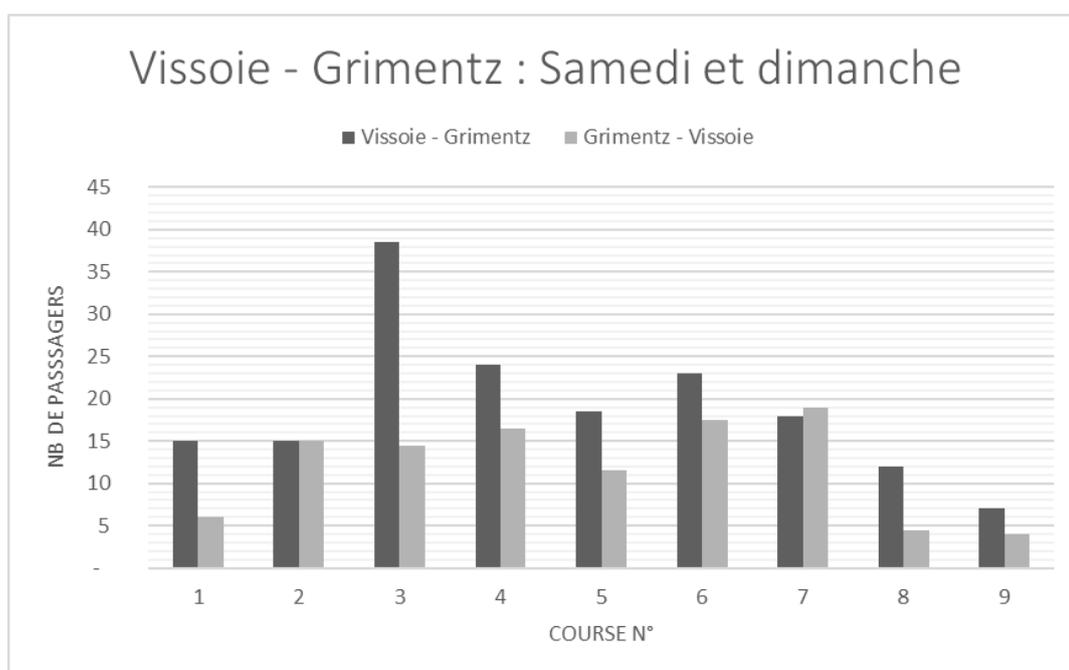
13,0%

Ligne : Vissoie - Grimentz

Ligne 408 Vissoie - Grimentz							
Du lundi au vendredi							
Aller				Retour			
Course n°	Vissoie	Grimentz	Nb de passager	Course n°	Grimentz	Vissoie	Nb de passager
1	07:07	07:30	3	1	06:18	06:41	5
2	08:18	09:09	19	2	07:40	08:03	28
3	08:18	08:41	11	3	09:29	10:11	18
4	10:18	11:02	44	4	09:48	10:11	8
5	10:18	10:41	13	5	11:05	11:51	15
6	11:58	12:21	16	6	11:28	11:51	5
7	13:18	13:41	9	7	12:28	12:51	6
8	14:35	14:58	29	8	13:48	14:11	10
9	16:18	17:02	29	9	15:48	16:11	13
10	16:18	16:41	21	10	17:22	18:11	30
11	18:18	18:41	16	11	17:48	18:11	6
12	19:43	20:06	6	12	18:48	19:11	3
13	20:43	21:06	8				



Ligne 408 Vissoie - Grimentz							
Samedi et dimanche							
Aller				Retour			
Course n°	Vissoie	Grimentz	Nb de passager	Course n°	Grimentz	Vissoie	Nb de passager
1	08:18	09:09	15	1	07:40	08:03	6
2	08:18	08:41	15	2	09:29	10:11	15
3	10:18	11:02	39	3	09:48	10:11	15
4	10:18	10:41	24	4	11:05	11:51	17
5	11:58	12:21	19	5	11:28	11:51	12
6	16:18	17:02	23	6	15:48	16:11	18
7	16:18	16:41	18	7	17:22	18:11	19
8	18:18	18:41	12	8	17:48	18:11	5
9	19:43	20:06	7	9	18:48	19:11	4



Vissoie-Grimentz - Résultats généraux	
Taux d'utilisation du véhicule : Du lundi au vendredi	12,9%
Taux d'utilisation du véhicule : Samedi	15,0%
Taux d'utilisation du véhicule : Dimanche	12,2%

Source : CarPostal. (2016). Courbe de remplissage journalier de la ligne (Moyenne par course).

Tableaux et graphiques créés par l'auteur

Annexe VI : Tarif de l'électricité 2016 Sierre-Énergie SA

- 6 %
en moyenne

En 2016, les prix de l'électricité diminuent en moyenne de 6 %.

Fourniture (énergie électrique)

Le prix suisse de l'électricité enregistre une nouvelle baisse principalement de par l'effet du taux de change Euro/CHF. Nos tarifs de fourniture diminuent en moyenne de 13 % par rapport à 2015. Bien que les prix restent bas depuis plusieurs années, nous conseillons à notre clientèle de maintenir ses efforts de réduction de consommation afin notamment de se prémunir d'une hausse des prix à venir.

Acheminement (transport)

Le prix pour le transport (acheminement) marque une légère baisse moyenne de 0,3 ct./kWh.

Redevances

La Confédération a décidé d'augmenter son soutien aux énergies renouvelables. Ainsi, la part des redevances fédérales augmente à 1,3 ct./kWh hors TVA (1,1 ct./kWh en 2015).

Le taux de perception de la redevance aux Communes (PCP) demeure stable à 12 % de l'acheminement.

Pour les ménages et les petites entreprises (installations de moins de 100 ampères), les prix sont affichés ci-dessous.

Pour les grandes entreprises et les cas particuliers, nous vous prions de vous référer aux tarifs détaillés disponibles sur notre site internet www.sierre-energie.ch.

Les nouveaux tarifs s'appliquent à partir du 1^{er} janvier 2016.

Prix total au kWh
13.6 ct
Taxe de base en sus TVA 8% comprise

Prix total au kWh
HP 14.3 ct
HC 10.3 ct
Taxe de base en sus TVA 8% comprise

Heures pleines (HP) 6h à 22h / Heures creuses (HC) 22h à 6h	Tarif Simple	Tarif Double
Prix de la fourniture (énergie électrique)		
Taxe de base (fr./mois)	3.24	3.24
Prix de consommation HP (ct./kWh)	5.29	5.62
Prix de consommation HC (ct./kWh)		4.10
Prix de l'acheminement (transport)		
Taxe de base 25 ampères (fr./mois)	7.56	11.88
Taxe de base 40 ampères (fr./mois)	23.76	28.08
Taxe de base 60 ampères (fr./mois)	45.36	49.68
Taxe de base 80 ampères (fr./mois)	60.48	64.80
Prix de consommation HP (ct./kWh)	6.16	6.48
Prix de consommation HC (ct./kWh)		4.32
Redevances		
PCP, redevance communale	12% du prix de l'acheminement	
Redevances fédérales (ct./kWh)	1.40	1.40

Les prix, arrondis, s'entendent TVA comprise (8%).

Source : Sierre Énergie SA. (2016). Tarifs de l'électricité 2016. Ménages et entreprises < 100 Ampères

Annexe VII : Bornes de recharge électriques - Liste de prix



Alimentation: 16A ou 32A/ 400V Puissance de charge: T2 à 11kW, C2 à 22kW C2 avec câble de charge de 7.5m intégré										Transport et livraison 20 CHF par borne			
START E		LIGHT		BASIC E		BASIC R		XTRA E		XTRA R		PREMIUM R	
C2	T2 **	C2	T2 **	C2	T2 *	C2	T2 **	C2	T2 *	C2	T2 **	C2	T2 **
1350202	1350401	1359202	1359401	1353202	1353401	1353252	1353451	1354202	1354401	1354252	1354451	1355202	1355401
													Liste blanche RFID
									Charge App par LAN/WLAN		Charge App par LAN/WLAN		Charge App par LAN/WLAN
					interrupteur à clé		interrupteur à clé						
					Compteur d'énergie digital		Compteur d'énergie digital		Compteur d'énergie digital lisible par APP		Compteur d'énergie digital lisible par APP		Compteur d'énergie digital lisible par APP
			Dijoncteur différentiel de protection des personnes type B				Protection des personnes type B				Protection des personnes type B		Protection des personnes type B
	Recharge mode 3 Affichage LED du statut		Recharge mode 3 Affichage LED du statut		Recharge mode 3 Affichage LED du statut		Recharge mode 3 Affichage LED du statut		Recharge mode 3 Affichage LED du statut		Recharge mode 3 Affichage LED du statut		Recharge mode 3 Affichage LED du statut
	Touche stop		Touche stop		Commutateur multifonctions		Commutateur multifonctions		Commutateur multifonctions		Commutateur multifonctions		Commutateur multifonctions
1'295.00	1'135.00	1'945.00	1'785.00	1'805.00	1'665.00	2'280.00	2'120.00	2'050.00	1'905.00	2'500.00	2'210.00	3'190.00	2'915.00
START E		LIGHT		BASIC E		BASIC R		XTRA E		XTRA R		PREMIUM R	
T2 Pas de commutation automatique disponible. Si la station est commutée de 16A à 32A, est un câble mode 3 de 32A est indispensable													
T2 AMTRON avec Fi et l'AMTRON Start, max. 11kw possible													
Délai de livraison: 1-2 semaines										APP pour XTRA et PREMIUM L'application Mennekes Charge APP est disponible gratuitement sur l'Apple App Store, Google Play et sur BlackBerry World.			

Source : Alpiq E-Mobility AG. (2016). Liste de prix bornes de recharge (Document PDF reçu par J. Coquoz)

Annexe VIII : Électrolyseur - Offre de prix de McPhy

----- Message original -----

Objet : RE: Station de recharge H2

De : Pierre LOMBARD

À : Blerta Bega

Cc :

Bonjour Madame Bega,

Mes retours,

Le prix d'un électrolyseur avec une capacité de production de 30 kg/jour. (Prendre 2 x MCLyser 10-30 : 2x150 K€ + accessoires (Conteneurisation ; pilotage double ; ...), soit autour de 400 K€

Le nom du modèle et la puissance. 2 x MCLyser 10-30

Est-ce que dans ce prix sont compris les bonbonnes de stockage (internes à l'électrolyseur) ? Le stockage se fait directement par les stockages haute pression incorporés à la station de recharge Hydrogène (possibilité en option de doubler ce stockage, afin de pouvoir recharger 2 fois plus de véhicules par heure)

Pourriez-vous encore me confirmer la quantité de kWh nécessaire approximative à la production d'un kilo d'hydrogène (s'agit-il de 5 kWh ou de 80 ?) à 4,9 kWh/Nm³

Qu'advient-il de l'électrolyseur passé leur durée de vie de 20 ans ? (existe-il un système de recyclage ?)

- Les stacks (cœur de l'électrolyseur), peuvent être changé (ou Retrofit de certains éléments est également possible)
- Les matériaux des électrolyseurs de technologie alcaline, sont entièrement recyclables.

Source : E-mail de Lombard, P., pour la société McPhy. (2016). Offre de prix électrolyseur

Annexe IX : Station de recharge à hydrogène - Offre de prix de McPhy

De : Pierre LOMBARD <pierre.lombard@mcphy.com>

Envoyé : jeudi 23 juin 2016 08:28

À : Blerta Bega

Objet : RE: Station de recharge H2

Bonjour Madame Bega,

Je vous fais suivre les enveloppes budgétaires avec des solutions McPhy pour les 2 scénarii demandés :

- **Scenario 1**

1 station 350 bar pour recharger

1 Bus Mercedes qui consomme 8 Kg H2 / 100 km (en montagne estimé 12 Kg/100 km).

Pour une tournée journalière de 230 km de montagne soit une consommation estimée de 27,6 kg jour.

1 HRS 350 / de 30 Kg/jour	Prix 250 K€ht
---------------------------	---------------

- **Scenario 2**

Idem pour une flotte de **12 BUS**

1 Station de recharge dont l'hydrogène serait produit à partir d'un électrolyseur.

1 HRS 350 / 400 Kg/jour	Prix : 1500 K€ht
Electrolyseur : Mclyser 200-30	Prix : 1800 K€ht

NB : Le % de cout de maintenance annuel pour la HRS 400 Kg/jour serait de 4 à 5 % et pour l'électrolyseur 1 à 2 % des montants CAPEX.

NB2 : Nos électrolyseurs ont une grande durée de vie 80 000 heures et les éléments stacks peuvent être facilement « rétrofités » pour repartir comme neuf.

En vous remerciant de m'associer à votre synthèse d'étude.

Et vous souhaitant une bonne journée.

Cordialement,

Pierre LOMBARD

Directeur Commercial | Sales Manager France, Belgium, Swiss, Luxembourg

Mob. +33 (0)6 88 17 62 20

pierre.lombard@mcphy.com

Source : E-mail de Lombard, P., pour la société McPhy. (2016). Offre de prix Station H₂

Annexe X : Production électrique - Scénarios

	Probable	Minimum	Maximum
Rendement PV	15%	21%	15%
Surface totale	400 m ²	IDEM	IDEM
Besoins énerg. TSAR	140 kWh		
Rayonnement Sierre	1250 kWh/m ² /an		
Capacité de production			
1 m ²	187,5 kWh/an	262,5 kWh/an	187,5 kWh/an
400 m ²	75 000 kWh/an	105 000 kWh/an	75 000 kWh/an
sur 30 ans	2 025 000 kWh	3 307 500 kWh	1 350 000 kWh
Coûts			
Coût PV	300 CHF/m ²	300 CHF/m ²	500 CHF/m ²
Investissement PV	120 000 CHF	120 000 CHF	200 000 CHF
Durée de vie PV	30 ans	35 ans	20 ans
Puissance après 30 ans	90%	90%	90%
Coûts de revient	0,06	0,036	0,148

Source : Tableau de l'auteur provenant de la recherche documentaire

Scénario probable : cf. chapitre 4.1.1.2

Scénario minimum : Ce scénario reflète des conditions particulièrement favorables et peu réalistes à ce jour. Il s'agirait plutôt d'une situation observée entre 2035 à 2050. En effet, comme évoqué en chapitre 5.6.1, l'Association des entreprises électriques suisses prévoit un rendement du PV polycristallin à 21 % à cette période. Il ne faut donc pas se baser sur ces indications puisqu'ils ne sont que des prévisions. Dans cette situation, nous estimons également que la durée de vie du PV aura sensiblement augmenté.

Scénario maximum : À travers ce scénario, nous imaginons un coût de l'installation à 500 CHF/m². Durant la réalisation de ce travail, il a été difficile d'obtenir un prix fixe pour l'installation du PV, étant donné que ce prix dépend de plusieurs facteurs comme ; du fournisseur, la situation de l'installation, le raccordement, etc. Stéphane Genoud d'après son expérience a pu nous livrer un coût de 300 CHF/m². Dans ce scénario « maximum » nous restons donc très prudents en prenant un coût à 500 CHF/m².

Annexe XI : Production d'H₂ à travers électrolyseur - Scénarios

Données électrolyseur	Détails calculs	Probable	Minimum	Maximum
Type d'électrolyseur		2* McLyser 10-30 (puissance 100 kW)	IDEM	IDEM
Achat électrolyseur		430 000 CHF	300 000 CHF	430 000 CHF
Durée de vie		20 ans	20 ans	20 ans
Capacité de production H ₂				
Journalière		30 kg	30 kg	30 kg
Annuelle	30 kg * 365 jours * 90 %	9 900 kg	10 950 kg	9 300 kg
Coûts annuels				
Amortissement	430 000 CHF / 20 ans	21 500 CHF/an	15 000 CHF/an	21 500 CHF/an
Maintenance	430 000 CHF * 10 %	43 000 CHF/an	15 000 CHF/an	64 500 CHF/an
Énergie électrique	cf. Annexe XI	131 362 CHF/an	122 100 CHF/an	175 275 CHF/an
Total coûts annuels		195 862 CHF/an	152 100 CHF/an	261 275 CHF/an
Prix de revient	195 862 CHF/an / 9'900 kg/an	19,8 CHF/kg	13,9 CHF/kg	28,1 CHF/kg

Source : Tableau de l'auteur provenant de la recherche documentaire

Annexe XII : Énergie électrique nécessaire à la production d'H₂ - Scénarios

Besoin en H ₂	Détail des calculs	Probable	Minimum	Maximum
Jour		30 kg	IDEM	IDEM
Année	30 kg * 365 jours	10 950 kg		
Besoin en énergie électrique				
Pour produire 1 kg d'H ₂		75 kWh	IDEM	IDEM
Pour 30 kg d'H ₂	30 kg * 75 kWh	2 250 kWh		
Pour 10 950 kg d'H ₂	10 950 kg * 75 kWh	821 250 kWh		
Coût de l'électricité				
Par kWh	<i>Si < 75 000 kWh</i>	0.06 CHF/kWh	0,036 CHF/kWh	0,148 CHF/kWh
Par kWh	<i>Si > 75 000 kWh</i>	0.17 CHF/kWh	0.16 CHF/kWh	0.22 CHF/kWh
75 000 kWh	<i>75 000 kWh * 0.06 CHF/kWh</i>	4 500 CHF	2 700 CHF	11 100 CHF
746 250 kWh	<i>(821 250 kWh - 75 000) * 0.17 CHF/kWh</i>	126 862 CHF	119 400 CHF	164 175 CHF
Total coût annuel d'énergie	<i>4 500 CHF + 126 862 CHF</i>	131 362 CHF	122 100 CHF	175 275 CHF

Source : Tableau de l'auteur provenant de la recherche documentaire

Scénarios pour la production d'hydrogène

Scénario probable : Ce scénario reflète les données actuelles observées sur le terrain. Ces données ont été fournies par la société McPhy à travers une offre de prix (cf. Annexe XIII). Dans cette situation, nous estimons une incapacité de production de l'électrolyseur de -10 % par année, due à des pannes ou une maintenance. En ce qui concerne le coût de l'énergie produite à travers le PV, elle provient des trois scénarios analysés en Annexe IX. Quant au prix du kWh fourni par Sierre-Energie, il a été déterminé à 0.17 CHF/kWh pour l'année 2016 (cf. Chapitre 4.1.1.1).

Scénario minimum : Dans ce cas, il s'agit des caractéristiques d'un électrolyseur en fonctionnement optimal c'est-à-dire avec une production sur 365 jours. Ce qui est très peu probablement en réalité. Dans cette situation, nous estimons également une réduction du prix de l'installation. Réduction qui devrait probablement être observée d'ici quelques années. Les coûts de maintenance et de l'énergie dans cette situation sont également sous-estimés. Il est probable qu'à l'avenir, le marché de l'ouverture du marché de l'électricité soit une réalité ce qui permettra à l'entreprise de bénéficier d'un coût inférieur à 0.17 CHF/kWh.

Scénario maximum : Ce scénario reflète les situations les moins favorables. C'est-à-dire un coût de l'installation inchangé, une incapacité de production de -15 % par année et des coûts de maintenance plus élevés. Concernant le coût de l'énergie, il reflète le coût moyen du kWh dans certains cantons suisses. Car il faut savoir que le Valais est l'un des cantons où le coût du kWh électrique est le moins cher (Commission fédérale de l'électricité ElCom, 2016).

Annexe XIII : Calcul de la VAN pour les véhicules

Valeur actuelle nette (pour les bus)			
	Diesel	Electrique	H2
Investissement	CHF 350 000,00	CHF 750 000,00	CHF 1 500 000,00
Coût énergie	CHF 26 100,000	CHF 7 130,00	CHF 80 000,000
Coût maintenance	CHF 20 000,00	CHF 14 000,000	CHF 100 000,000
Taux (taux d'actualisation des actifs)	5%	5%	5%
Année :			
1	- 350 000,00	- 750 000,00	- 1 500 000,00
2	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
3	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
4	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
5	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
6	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
7	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
8	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
9	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
10	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
11	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
12	- 46 100,00	- 21 130,00	- 180 000,00
VAN	- 698 024,47 CHF	- 881 442,41 CHF	- 2 852 528,15 CHF
Coût énergie	0,6525 CHF/km	0,093 CHF/km 0,2635 CHF/km	2 CHF/km
Coût maintenance	0,5 CHF/km	0,35 CHF/km	2,5 CHF/km
Nb de km parcourus 2015	40000		

Source : Données de l'auteur

Annexe XIV : Bilan environnemental

		Bus au diesel	Bus avec batterie au lithium	Bus à hydrogène
Bilan carbone	Production + recyclage	0,0389 kg/km	0,0514 kg/km	0,0438 kg/km
	Utilisation directe	1,18 kg/km	0 kg/km	0 kg/km
	Utilisation indirecte	0,15666 kg/km	0,00699 kg/km	0,00962 kg/km
	Entretien du véhicule	0,02138 kg/km	0,02138 kg/km	0,02138 kg/km
Total CO2	Par km	1,4 kg	0,08 kg	0,07 kg
	Par bus par an	56000 kg	3200 kg	2800 kg
	Par bus sur durée de vie	672000 kg	38400 kg	33600 kg
Bilan énergétique	Production + recyclage (énergie grise)	0,17 kWh/km	0,173 kWh/km	0,176 kWh/km
	Utilisation directe	6,18 kWh/km	1,55 kWh/km	4,93 kWh/km
	Utilisation indirecte	0,88 kWh/km	0,01 kWh/km	0 kWh/km
	Entretien	0,23 kWh/km	0,23 kWh/km	0,23 kWh/km
Total énergie	Par km	7,46 kWh	1,97 kWh	5,33 kWh
	Par bus par an	298400 kWh	78800 kWh	213200 kWh
	Par bus sur durée de vie	3580800 kWh	945600 kWh	2558400 kWh
	Nombre de km parcourus par bus Setra 412 (2015)	40000 km		
	Durée de vie d'un véhicule	12 ans		

Source : Tableau établi en commun avec Stéphane Masserey. Données provenant des bases de données Ecoinvent et Mobitool.

Annexe XV : Notation et résultats de l'analyse comparative

	Appréiation			Pondération	Notes		
	Diesel	LFP	H2		Diesel	LFP	H2
FINANCE							
Coût du véhicule							
Coûts d'achat	2	1	0	8	16	8	0
Coûts d'énergie	1	2	0	8	8	16	0
Coûts de maintenance	1	2	0	9	9	18	0
Durée de vie et d'utilisation	0	0	0	7	0	0	0
Amortissement	0	0	0	7	0	0	0
VAN	2	1	0	8	16	8	0
					49	50	0
Coût des bornes de recharge							
Bornes de recharge	1	2	0	8	8	16	0
Amortissement	1	2	0	8	8	16	0
Coût d'entretien	1	2	0	8	8	16	0
					24	48	0
EFFICIENCE ENERGETIQUE							
Bilan énergétique							
Consommation équiv. kWh	1	2	0	5	5	10	0
Efficacité énergétique	1	2	0	1	1	2	0
Densité énergétique	1	0	2	8	8	0	16
Capacité de récupération	0	2	1	9	0	18	9
					14	30	25
FACTEUR D'EXPLOITATION							
Facteur d'exploitation							
Temps de recharge	2	2	2	6	12	12	12
Impacts des temp. sur la performance	2	1	0	10	20	10	0
Impacts climatiques sur la performance	2	1	1	10	20	10	10
Nombres de constructeurs	2	1	0	5	10	5	0
Disponibilité de la matière 1e	0	1	2	8	0	8	16
Dépendance par rapport à la matière 1e	0	0	1	8	0	0	8
Maturité de la technologie	2	1	0	10	20	10	0
Filière de recyclage	1	0	0	8	8	0	0
					90	55	46
BILAN ENVIRONNEMENTAL							
Bilan environnemental							
Bilan CO2	0	2	1	7	0	14	7
Bilan énergétique	0	2	1	7	0	14	7
Impacts sonores	0	1	1	6	0	6	6
					0	34	20

ASPECTS SOCIAUX							
Confort des passagers							
Nombres de places assises	2	2	2	7	14	14	14
Nombres de place debout	2	0	1	3	6	0	3
Bruit à l'intérieur du véhicule	0	1	2	3	0	3	6
					20	17	23
Confort des chauffeurs							
Confort dans la conduite	1	1	2	8	8	8	16
Changement des habitudes	2	0	1	4	8	0	4
					16	8	20
Impacts sur diverses parties prenantes							
CarPostal	0	2	2	8	0	16	16
Commune	0	1	1	8	0	8	8
Acceptation sociale	1	1	0	8	8	8	0
Acceptation politique	1	1	1	8	8	8	8
					16	40	32
OPPORTUNITES FUTURES							
Opportunités futures							
Amélioration des rendements	0	1	2	4	0	4	8
Réduction du prix de l'équipement	0	2	1	5	0	10	5
Apparition de taxe subvention	0	2	2	8	0	16	16
					0	30	29

	Résultats finaux		
	Diesel	LFP	Hydrogène
Coût du véhicule	49	50	0
Coût d'équipement	24	48	0
Efficiencé énergétique	14	30	25
Facteur d'exploitation	90	55	46
Bilan environnemental	0	34	20
Confort des passagers	20	17	23
Confort des chauffeurs	16	8	20
Impacts sur diverses parties prenantes	16	40	32
Opportunités futures	0	30	29
Total	229	312	195

Source : Donnée de l'auteur provenant de l'Analyse comparative

Annexe XVI : Budget prévisionnel

Budget prévisionnel - pour un véhicule (Valable jusqu'à 2020)			
Centres de coût	Coût généraux	Coût au km	Financement demandé
Coûts d'investissement	759 100,00 CHF		
Bus	753 600,00 CHF		
Carcasse + moteur	350 000,00 CHF		
Jeu de 2 batteries LFP	296 000,00 CHF		
Batterie de remplacement	29 600,00 CHF		
Rail	10 000,00 CHF		
Convertisseurs + électroniques	68 000,00 CHF		
Borne de recharge	5 500,00 CHF		
Coûts annuels	241 033,77 CHF	6,03 CHF/km	6,03 CHF/km
Frais fixes	106 303,77 CHF	2,66 CHF/km	2,66 CHF/km
Amortissement bus	75 360,00 CHF	1,89 CHF/km	1,89 CHF/km
Intérêts sur le financement du véhicule	20 557,27 CHF	0,52 CHF/km	0,52 CHF/km
Impôt cantonal d'immatriculation	1 548,00 CHF	0,04 CHF/km	0,04 CHF/km
Taxe routière	563,50 CHF	0,02 CHF/km	0,02 CHF/km
Amortissement borne de recharge	275,00 CHF	0,01 CHF/km	0,01 CHF/km
Location du garage	8 000,00 CHF	0,2 CHF/km	0,2 CHF/km
Frais variables	21 130,00 CHF	0,53 CHF/km	0,53 CHF/km
Coût de l'énergie	7 130,00 CHF	0,18 CHF/km	0,18 CHF/km
Coût de maintenance	14 000,00 CHF	0,35 CHF/km	0,35 CHF/km
Coût du personnel	113 600,00 CHF	2,84 CHF/km	2,84 CHF/km
		Au km	Total
Financement demandé		6,03 CHF/km	241200 CHF/an
Indemnité versée en 2015		5,56 CHF/km	222400 CHF/an
Supplément par rapport à l'indemnité versée en 2015		0,47 CHF/km	18800 CHF/an
Valeurs utilisées			
Nombre de km prévus	40000 km		
Coût de l'énergie	0,17825 CHF/km		
Coût de maintenance	0,35 CHF/km		

Source : Données de l'auteur

Annexe XVII : Retranscription des entretiens qualitatifs

Entretien n° 1 :

Passager interrogé : Femme - entre 40 et 50 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Oui très satisfaite, je prends le bus au moins une fois par semaine pour faire Sierre-Zinal. Le service est super, les chauffeurs accueillants. Les correspondances me conviennent parfaitement étant donné que j'habite à côté de l'arrêt de bus à Zinal.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

- Non, vraiment tout me convient parfaitement.

- ~~○ Si oui, quoi ?~~

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- J'aimerais bien que en tout cas la ponctualité et l'accueil des chauffeur soient toujours là. Après en ce qui concerne le service il faut voir, mais tout me convient actuellement.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Je ne connais pas très bien comment cela fonctionne, mais j'imagine que c'est un système non polluant. Dans ce cas oui c'est une très bonne idée, notre belle région le mérite.

Entretien n° 2 :

Passager interrogé : Femme - entre 30 et 40 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Assez satisfaite étant donné que je n'ai pas de voiture, les bus me dépannent bien.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

Si oui, quoi ?

- J'aurais aimé qu'il y ait plus de correspondance. Mais je sais aussi qu'il s'agit d'un trafic de montagne et que cela n'est peut-être pas possible.

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- J'aimerais bien qu'il y ait un système de transport par câble en plus des bus. Je trouve que cela pourrait être très avantageux surtout que la Suisse est un acteur important dans la construction de téléphériques.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Je serais particulièrement intéressée. Il m'est souvent arrivé de me situer entre plusieurs bus à la gare de Sierre, et je peux vous dire que l'odeur est particulièrement désagréable. J'espère que votre travail aura du succès et qu'on pourra rapidement rouler avec des véhicules 100 % électriques, comme il se fait beaucoup dans les villes.

Entretien n° 3

Passager interrogé : Femme - entre 50 et 60 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Oui plutôt satisfaite, les cars sont très souvent à l'heure et toujours propres. J'utilise souvent les bus pour faire des cours en ville ou durant le weekend pour les visites. Je trouve que les chauffeurs sont très serviables, c'est agréable.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

Si oui, quoi ?

- J'aurais aimé qu'il y ait plus de correspondances surtout le week-end étant donné que je prends souvent le bus durant mon temps libre. Mais je sais aussi qu'il s'agit d'un trafic de montagne et que cela n'est peut-être pas possible. Il faut savoir s'adapter.

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Je pense que si CarPostal augmente le nombre de tournée, plus de gens seraient intéressés à utiliser les bus. Autrement j'espère que le transporteur va continuer à rouler sur les routes de la région, car c'est pour nous un élément important, surtout pour les personnes qui n'ont pas leur propre véhicule.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- C'est une bonne idée, à condition que les bus ne soient pas en retard avec un tel système car j'ai entendu dire que le chargement prenait pas mal de temps et j'imagine que pour un bus ça serait encore plus long. Donc oui mais il ne faut pas que cela retarde trop les bus.

Entretien n° 4

Passager interrogé : Homme - entre 50 et 60 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects
- Oui, ces cars circulent bien et dépannent beaucoup les habitants. On peut trouver les informations sur les horaires grâce à internet, c'est quelque chose que j'ai commencé à utiliser récemment et je trouve ça très bien.

~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

- Non, tout me va.

~~○ Si oui, quoi ?~~

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- J'ai vu que parfois le bus effectue certain trajet à vide. Je pense qu'ils pourraient optimiser cet aspect un peu plus surtout que je pense qu'il y a assez de bus. Je suis assez sensible aux questions de la pollution. Dans la région, nous connaissons bien le transport par câble de Vercorin, je me demande si cela pourrait être envisageable pour d'autres villages à l'avenir.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Je doute que cela soit possible pour un bus de montagne, mais si c'est le cas alors ça pourrait être très intéressant oui. Il est fondamental de cesser de surexploiter la nature comme on l'a fait jusqu'à présent.

Entretien n° 5 :

Passager interrogé : Homme - entre 40 et 50 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Personnellement, je ne prends pas régulièrement les TP dans cette région puisque je viens de Genève. Par contre toutes les fois où il m'est arrivé de les utiliser, j'ai eu une bonne expérience. Je suis surpris à chaque fois par le contact humain que l'on a sur ces lignes. Premièrement par le fait que l'on doit retirer le billet auprès du chauffeur, ça change passablement de Genève.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

Si oui, quoi ?

- Comparé à Genève où on a des bus toutes les 10 minutes, je trouve l'offre un peu restreinte. Quoique ce mode de fonctionnement a également son charme. Cela s'accorde avec l'environnement dépaysant de cette région.

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Je ne sais pas vraiment quoi vous dire étant donné que je ne viens pas de la région. Mais je peux toutefois de leur conseiller de rester flexible et accueillant face aux touristes. Cet accueil chaleureux met tout de suite à l'aise.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Je pense qu'il est nécessaire que CarPostal en général s'investisse davantage dans de tels projets durables, c'est à mon avis la clé de la réussite pour les années à venir.

Entretien n° 6 :

Passager interrogé : Homme - entre 20 et 25 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Plutôt oui, le personnel est très sérieux et ils attendent régulièrement en fonction des correspondances avec les bus ou les trains. Je suis étudiant et la ponctualité est essentielle dans mon planning. En hiver, il arrive parfois que les cars soient en retard mais cela n'est pas régulier pour autant. J'apprécie aussi le fait que les bus attendent la correspondance du train en cas de retard. Ça m'arrange énormément car sinon je dois attendre au moins une heure avant le prochain bus.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

Si oui, quoi ?

- Peut-être devraient-ils mettre en place un plan de mobilité qui évite de devoir changer de bus à Vissoie, bien que moi personnellement cela ne me dérange pas. Sinon à part cela, je ne vois rien d'autre.

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Que ce soit CarPostal, ou un autre bus, qui desservent la Val d'Anniviers le système du Liberty Pass doit rester. À mon avis c'est une bonne pub pour les touristes et je suis sûr que pas toutes les communes alpines ne proposent cela.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Pour moi cela ne changerait rien. L'important c'est qu'il ait toujours suffisamment de cars pour pouvoir se déplacer. Sinon l'idée est plutôt sympa.

Entretien n°7 :

Passager interrogé : Homme - entre 15 et 18 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Oui, ça va. Je prends le bus tous les jours pour me rendre à ma place d'apprentissage. Il n'y a pratiquement jamais de problème, à part parfois des attentes supplémentaires en hiver, mais ça on n'y peut rien.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

- Non, à part mettre de la musique, je ne vois pas.
- ~~Si oui, quoi ?~~

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Pourquoi pas une ligne de chemin de fer, je suis sûr qu'on pourrait faire les trajets plus rapidement. Après je ne sais pas si cela est possible dans notre région.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Ça peut être bien sur le plan écologique, mais cela ne changerait sûrement rien au niveau de la rapidité des trajets je pense.

Entretien n° 8 :

Passager interrogé : Femme - entre 40 et 50 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Je prends ce bus quotidiennement pour me rendre à mon travail à Vissoie, j'habite à Sierre. Les chauffeurs sont très serviables, on se connaît pratiquement tous ici.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

- Les horaires sont coordonnés avec mon temps de travail. C'est un avantage. Donc non je ne vois pas ce qu'ils pourraient modifier.
- ~~Si oui, quoi ?~~

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Il faut absolument que le transport routier soit toujours présent dans notre région. Déjà qu'il n'y a pas beaucoup de possibilité pour se déplacer autrement, le transporteur de CarPostal est important pour l'ensemble de la région.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- J'ai beaucoup entendu parlé de ce genre de véhicule ces derniers temps. Je pense aussi que ces véhicules font beaucoup moins de bruit et de mouvements. Cela peut être un réel avantage, étant donné qu'il arrive que le bruit des véhicules actuel me dérange, même si avec le temps on d'y habitue. Je vous souhaite beaucoup de succès pour ce beau projet.

Entretien n°9 :

Passager interrogé : Femme - entre 30 et 40 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

En général, j'effectue les trajets en voiture mais parfois le bus me dépanne bien. J'ai toujours eu une bonne expérience avec CarPostal et les chauffeurs sont très ponctuels. J'apprécie les informations qu'ils nous transmettent.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

- Si oui, quoi ?
- Peut-être qu'il n'y a pas besoin de rouler avec des cars aussi grands sur ces lignes, qui sont je le pense pas trop fréquentées, du moins entre les heures de pointe.

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Je n'utilise que peu les bus car je trouve qu'il y en a pas assez. Je pense que s'il y avait plus de fréquences, je serais plus à même d'être une utilisatrice régulière.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- C'est à peu près le même système qu'à Sion. Je trouve l'idée originale mais cela peut engendrer du chômage pour les chauffeurs. Mais je pense que dans le cas du Val d'Anniviers il serait toute façon obligatoire d'y avoir des chauffeurs.

Entretien n° 10 :

Passager interrogé : Femme - entre 15 à 18 ans

1. Êtes-vous satisfait du service actuel proposé par TSAR (CarPostal) ?

- Si oui, par quels aspects ?

Oui j'utilise les bus tous les jours pour me rendre à l'école à Sierre. C'est bien qu'il y ait des bus tôt le matin et jusqu'à tard la soirée. Ça m'arrange beaucoup et mes parents aussi de ne pas devoir venir me prendre en voiture à Sierre.

- ~~○ Si non, pourquoi ?~~

2. D'après vous y aurait-il quelque chose à modifier dans ce service actuel ?

- Non, pour moi tout va bien car je n'ai jamais eu de problème.
- ~~Si oui, quoi ?~~

3. Quelles sont vos attentes par rapport au transport public Anniviard, à l'avenir ?

- Il faudrait qu'il y ait toujours autant de bus, voire plus. Il ne faut surtout pas réduire le nombre de trajets par jour. Ensuite que l'on effectue ces trajets par des bus un peu plus petits, ça ne me dérangerait pas non plus.

4. Que pensez-vous d'un projet futur qui ferait rouler les cars à l'énergie électrique ?

- Je ne connais pas vraiment le fonctionnement mais j'ai déjà utilisé le bus électrique à Sion et j'ai bien apprécié. Si cela est possible pour le trafic de montagne, alors pourquoi pas.

Source : Données récoltées par l'auteur (2016).

Annexe XVIII : Sujet et mandat du travail de Bachelor

HES-SO Valais			Sujet et Mandat du travail de bachelor		FO.2.2.02.27.EF mob/11/08/2014
EE	IG	TO			
X					
Filière: Economie d'entreprise, plein temps					
Année 2015/2016					
Confidentiel <input type="checkbox"/> Non confidentiel <input checked="" type="checkbox"/>					
La directive sur les travaux de bachelor DI2.2.02.01 décrit précisément l'engagement de la HES-SO Valais et celle du mandant selon que le sujet est confidentiel ou non					
Etudiant-e			Professeur		
NOM Prénom Bega Blerta			NOM Prénom Genoud Stéphane		
Tél. 079 129 99 53					
Mandant-e			Personne de contact :		
NOM (raison sociale) Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl			NOM Prénom Flück Laurent		
Adresse complète Route du Bois de Finges 19			Fonction Responsable, secteur Anniviers		
3960 Sierre			Tél. 078 820 05 88		
Tél. 078 820 05 88					
Titre du travail de bachelor Réduire les influences environnementales de la mobilité logistique des cars postaux, pour la région de Sierre, Vercorin et le Val d'Anniviers, par la mobilité électrique					
Echéancier des travaux de bachelor					
➤ Formation à plein temps		<input checked="" type="checkbox"/>	Variante 1	février – juillet	
		<input type="checkbox"/>	Variante 2	septembre – novembre	
➤ Formation en emploi		<input type="checkbox"/>	Variante 1	février – août	
		<input type="checkbox"/>	Variante 2	septembre – janvier	
D'autre part le-la mandant-e confirme avoir pris bonne note :					
<input checked="" type="checkbox"/> - de la directive du système qualité relatives au travail de bachelor					
<input checked="" type="checkbox"/> - que le travail sera réalisé selon la variante choisie ci-dessus					
<input checked="" type="checkbox"/> - que la recherche d'un sujet de travail de bachelor incombe à l'étudiant-e; ses contacts avec les entreprises susceptibles de fournir un mandat n'engagent pas la responsabilité de l'école.					
<input checked="" type="checkbox"/> - que le travail reste propriété de la HES-SO Valais et que l'exemplaire qui est remis à l'entreprise par l'étudiant-e est destiné exclusivement à ses propres besoins					
<input checked="" type="checkbox"/> - que la HES-SO Valais se réserve le droit de publier sur le site Internet de l'école, le nom de l'entreprise, de l'étudiant-e, le titre du travail de bachelor ainsi qu'un résumé (sauf travaux confidentiels)					
<input checked="" type="checkbox"/> - que les travaux confidentiels ne sont pas publiés. Le nom de l'étudiant, accompagné de l'information "Confidentiel" est publié avec un résumé du travail de bachelor, ne contenant ni les chiffres, ni les données sensibles. Le nom de l'entreprise n'est pas publié.					
<input checked="" type="checkbox"/> - que la défense orale n'est pas publique (assistent à la défense, le professeur, l'expert et un représentant de la filière)					
<input checked="" type="checkbox"/> - que l'étudiant et le professeur planifient avec le représentant du mandant / de la mandante, une présentation du travail de bachelor à l'entreprise					

HES-SO Valais			Sujet et Mandat du travail de bachelor		FO.2.2.02:27.EF mob/11/08/2014
EE	JG	TO			
X					
Attestation d'originalité (à l'attention de l'entreprise mandante)					
<input checked="" type="checkbox"/> - Le/la mandant-e atteste qu'aucune étude similaire n'a déjà été effectuée.					
<input checked="" type="checkbox"/> - Lorsque des éléments relatifs au travail préexistent, ils doivent être mentionnés d'une manière explicite ci-après.					
A la suite de ce formulaire, chaque étudiant-e doit fournir un rapport de 3 pages, comprenant les éléments suivants :					
1. Titre du travail	Indiquez - un titre pertinent qui fait référence au contexte, à l'objectif principal et éventuellement au nom de l'organisation / du projet.				
2. Domaine	Indiquez le lien entre votre travail et les cours que : - d'une part vous avez suivi dans votre bachelor jusqu'ici (par exp. ressources humaines, comptabilité/finances, communication, marketing, ...) - d'autre part l'option principale et les options secondaires que vous allez suivre.				
3. Le contexte (max. 10 lignes)	Indiquez : 3.1. Votre problématique, en indiquant au moins trois mots-clés / tags associées à votre thématique 3.2. La question de recherche associée à votre problématique (point Erreur ! Source du renvoi introuvable.), à laquelle vous allez répondre à la fin de votre travail 3.3. La délimitation de votre travail c.à.d. ce que vous n'allez pas faire après discussion avec votre mandant.				
4. Les objectifs du travail (max. 3 - 5 objectifs)	Indiquez sous la forme d'objectifs spécifiques, mesurables et réalistes : 4.1. Les objectifs principaux du travail ainsi que les résultats/délivrables que vous allez présenter à votre mandant à la fin de votre travail ? 4.2. Quel sera la plus-value et l'impact de votre travail sur l'évolution et /ou la performance de l'organisation pour laquelle vous réalisez le travail ?				
5. L'état de l'art (15 - 20 lignes)	Indiquez 5.1. Les travaux scientifiques existants sur cette thématique et comment chaque article/livre va vous aider dans votre travail. 5.2. Si le travail est une suite d'un autre effectué pendant les études, un autre travail de bachelor ou un travail déjà effectué dans une entreprise / organisation.				
6. La structure du travail	Indiquez quels sont les principaux chapitres que vous envisagez dans votre rapport final.				
7. La méthodologie (max. 10 lignes)	Indiquez 7.1. Quelle méthode de recherche va être appliquée (quantitative, qualitative) ? 7.2. Comment vous allez collecter les données nécessaires à votre travail et comment vous aller les analyser ? 7.3. Comment vous allez développer votre solution à la problématique indiquée au point 3.2 ? 7.4. Comment vous allez valider les résultats de votre travail ?				
8. La planification	Indiquez : 8.1. Comment vous allez répartir les 360 heures de votre travail en tenant compte de l'effort nécessaire pour implémenter la méthodologie (7.) et atteindre les objectifs (4.) ? 8.2. Quelles sont les principales dates / milestones dans le déroulement de votre travail ?				
9. La bibliographie	La référence complète des sources que seront en priorité utilisés dans votre travail.				
ATTENTION avant restitution, le descriptif du mandat doit être daté et signé, par: l'entreprise mandante, le professeur et l'étudiant-e					

EE	IQ	TO
X		

1. Titre :

Réduire les influences environnementales de la mobilité logistique des cars postaux, pour la région de Sierre, Vercorin et le Val d'Anniviers, par la mobilité électrique.

2. Domaine :

L'étude que je vais mener en partenariat avec la société Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl nécessite des connaissances techniques dans le domaine de l'énergie. Grâce à l'option Energy Management, je compte acquérir ce savoir tout au long de cette dernière année.

De plus, mon travail de bachelors est une étude pluridisciplinaire qui sera effectuée en collaboration avec Stéphane Masserey, étudiant en ingénierie à la HES de Sion. M. Masserey accomplira, également dans le cadre de son travail de bachelors, une analyse technique sur ce même projet. Une collaboration entre nos recherches respectives sera donc une valeur ajoutée au projet final et le rendra complet d'un point de vue économique et technique.

L'option Manager 21 ainsi que les cours de marketing me seront également utiles à développer un modèle d'affaire autour des nouvelles méthodes d'alimentation énergétique que je développerai tout au long de mon dossier. Aussi, les branches financières suivies durant mon cursus me permettront de définir et d'analyser les coûts engendrés par ces nouveaux concepts et le rendement apporté à l'entreprise sur le long terme.

3. Contexte :

3.1 Contexte général : La mobilité est l'un des enjeux majeur du développement durable, tant sur le plan écologique que social. Outre les aspects environnementaux (pollution de l'air, émission de CO₂), la mobilité doit prochainement faire face à une pénurie de pétrole, qui affectera l'ensemble du secteur. Les Cars Postaux qui roulent actuellement au diesel seront donc prochainement affectés par l'épuisement des énergies fossiles. En ce sens, il est primordial d'anticiper ce phénomène en identifiant des moyens alternatifs d'alimentation de ces cars de montagne.

3.1.1 Mots clés : Mobilité, développement durable, énergie électrique, hydrogène, transports publics, stockage.

3.2 Problématique : Comment s'assurer que, dans une transition énergétique, l'impact des transports publics sur l'environnement soit le plus faible possible ? Est-ce que la mobilité électrique est une solution pour les transports publics ? L'hydrogène serait-il une solution pour la mobilité publique ? L'enjeu de ce travail est justement de répondre à ces questions en élargissant la problématique à d'autres sources énergétiques.

3.3 Question de recherche : Quelle est la solution d'alimentation énergétique que cette société devrait adopter pour ses cars, dans l'optique de réduire ses impacts écologiques, augmenter sa rentabilité à long terme et garantir à ses clients des prestations de qualité ?

4. Objectifs :**4.1 Objectifs principaux :**

- Présenter au moins trois solutions de substitution des moteurs à base de mazout en des moteurs respectant l'équilibre des 3 sphères du développement durable, tout en garantissant un service équivalent voire supérieur. Délivrable : Description des trois solutions d'alimentation.
- Faire une analyse coûts/bénéfices des différents modes de motorisation. Délivrable : Bilan financier
- Proposer une série d'indicateurs de performance énergétique pour le suivi des consommations des véhicules. Délivrable : Liste des indicateurs de performance.
- Permettre à l'entreprise de réduire ses émissions de CO₂ d'environ 20%. Délivrable : Bilan énergétique.
- Mettre en place un modèle d'affaire en vue de maintenir la qualité du service, voir l'augmenter. Délivrable : Modèle d'affaire.

4.2 Plus-value du travail pour la société : Une fois terminé, ce travail servira à l'entreprise de business model qui lui permettra d'avoir une vue d'ensemble et de faciliter sa prise de décision quant à l'adoption ou non des solutions proposées.

DE	IG	TO
X		

4.3 Modèle théorique : L'enjeu de ce travail est de proposer des solutions d'énergies alternatives pour les cars d'une société de transports publics et d'identifier les coûts qu'elles engendreront, dans le but de permettre à l'entreprise d'avoir une vue d'ensemble du projet et de pouvoir prendre une décision sur la base de ce document.

4.4 Délimitation : En accord avec le mandant, ce travail de recherche se concentrera uniquement sur les transports publics de la région d'Anniviers.

5. Revue de littérature :

Pour réaliser cette étude, il sera primordial de faire une recherche documentaire afin d'avoir une vue d'ensemble sur ce qui a déjà été fait dans le domaine de la mobilité électrique des transports publics. Voici un aperçu des sources qui seront citées dans mon travail :

- Le présent ouvrage *"Demain, l'énergie : Moteur de l'humanité"* de Christian Ngô permettra de mieux comprendre le contexte énergétique actuel ainsi que les défis futurs. De plus, certains chapitres sont entièrement consacrés au stockage de l'énergie ainsi qu'à l'utilisation de cette dernière dans le domaine des transports,
- Les articles suivants *"La ville dans les Alpes : zone grise ou laboratoire pour les transports de demain ?"* de G.P. Torricelli et *"Le problème des transports en montagne : le cas du chemin de fer Aigle-Le Sépey-Les Diablerets"* de Bernard Huber et Antoine Bailly, me permettront de comprendre quels sont les défis des transports publics dans les régions de montagne, ce qui est faisable et ce à quoi il faut faire attention dans de telles zones.

Ainsi que l'article *"Systèmes de transports urbains et impacts environnementaux : quelle évaluation ?"* publié par Damien Verry, qui sera plus utilisé dans le cadre d'une analyse générale de l'influence environnementale des transports en communs.

- En ce qui concerne la partie technique et le fonctionnement des alternatives proposées, voici certains des documents qui seront utilisés dans le but d'élucider ces différentes possibilités : *"Le stockage électrochimique de l'énergie : principes, applications et futurs défis"* de Patrice Simon, *"L'hydrogène pour le transport sur route : réalisations et développements"* de Michel Junker, et finalement *"The Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges"* publié par Michael Ball.

Les questions techniques des solutions proposées seront également élucidées à travers le cours d'Energy Management donné par Stéphane Genoud, Serge Imboden ainsi que Michel Bonvin.

- Concernant les points financiers, le manuel *"La comptabilité comme instrument de gestion"* de Jürg Leimgruber et Urs Prochindig sera principalement utilisé. *"Stratégie"* de Gerry Johnson, Richard Whittington, et Kevan Scholes est un ouvrage qui sera consulté dans le cadre de l'élaboration du business model et de l'analyse SWOT.

6. La structure du travail :

Mon travail de Bachelor sera constitué de plusieurs chapitres et sous-chapitres, dont voici un aperçu :

- Portrait de l'entreprise
- Environnement actuel
- Bilan énergétique
- Solutions
- Planification financière et opérationnelle
- Modèle d'affaire et recommandations
- Analyse SWOT
 - Analyse des risques
- Limites et restrictions
- Conclusion

7. La méthodologie :

7.1 Méthode de recherche : En vue d'atteindre les objectifs de cette étude, une démarche principalement qualitative sera menée.

EE	IS	TO
X		

7.2 Développement de la recherche : Pour mener à bien ce travail, je vais utiliser les informations fournies par Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl ainsi que les données disponibles sur internet et divers ouvrages. Mon travail débutera par l'établissement d'une étude documentaire dans le but d'utiliser les informations existantes et d'identifier les nouvelles alternatives d'alimentation. Aussi, des réunions avec M. Masserey seront planifiées afin de se mettre d'accord sur les différentes solutions choisies et travailler ensemble sur l'aspect technique de ces dernières.

La deuxième phase de cette étude consistera à passer plusieurs jours dans les locaux et les cars de la société pour se familiariser avec leur fonctionnement, identifier les trajets effectués par les cars et récolter d'autres informations utiles au bilan énergétique et financier.

Une fois les alternatives d'alimentation identifiées et l'analyse coûts/bénéfices effectuée, je me focaliserai sur l'aspect marketing du projet. Pour cela, je mettrai en place un questionnaire qualitatif qui me permettra de savoir dans quelle mesure Transports Sierre-Anniviers-Régions Sàrl peut augmenter le taux de passagers réguliers de ses cars. Ce questionnaire sera destiné aux habitants d'Anniviers qui ne sont pas usagers réguliers des transports publics de la région.

En dernier lieu, mon dossier comportera un regroupement des informations qui seront reflétées à travers une analyse SWOT et un modèle d'affaire qui comportera des recommandations destinées à guider la société dans ses actions futures.

Mon travail de recherche sera bien entendu accompagné de la rédaction régulière de mon rapport, l'objectif étant de respecter un maximum les délais fixés au préalable (cf document MS Project). La finalisation du travail consistera à la mise en page du dossier et à sa relecture.

7.3 Validation des résultats : La validation des résultats est une étape très importante qui renforcera la crédibilité de mon travail. En ce sens, la validation quant à la réduction de 20% de l'émission de CO₂, durant la première année d'implémentation du projet, s'effectuera par un expert dont l'identité reste à définir.

7.4 Communication : Dans l'ensemble, ce travail n'a pas besoin de rester strictement confidentiel. Il pourra, par conséquent, être publié dans les diverses bases de données publiques. Il y a néanmoins certaines informations stratégiques qui ne pourront pas être publiées.

8. Planning :

8.1 Répartition des 360 heures de travail selon les points méthodologiques :

Nom de la tâche	Durée
Finition de l'état de l'art	10 h
Visite de l'entreprise	20 h
Elaboration du bilan énergétique	90 h
Elaboration du plan financier	110 h
Conception du modèle d'affaire	30 h
Rédaction du questionnaire qualitatif et test	5 h
Entretiens qualitatifs	5 h
Traitement des réponses	20 h
Analyse des données, recommandations	10 h
Analyse SWOT	10 h
Rédaction du TB	60 h
Relecture et correction du TB	10 h
Communication	9.5 h
Remise du TB	0.5 h
Total des heures estimées	360 h

EE	IG	TD
X		

Dans ces 360 heures sont comprises les 20 heures consacrées aux rendez-vous avec Monsieur Genoud et, parfois, le mandant Monsieur Flueck :

DATE	DUREE	SUJET	PERSONNES RENCONTREES
09.10.15	1 h	Signature du contrat de mandat.	Stéphane Genoud et Laurent Flueck
09.02.16	2 h	Fixation des objectifs précis du bilan énergétique.	Stéphane Genoud
02.03.16	2 h	Contrôle du bilan énergétique. Fixation des objectifs précis du bilan financier.	Stéphane Genoud
31.03.16	2 h	Contrôle du bilan financier	Stéphane Genoud
08.04.16	2 h	Fixation des objectifs précis du business model. Contrôle du questionnaire qualitatif.	Stéphane Genoud et Laurent Flueck
28.04.16	3 h	Finalisation du modèle et validation	Stéphane Genoud
30.05.16 – 15.06.16	8 h	Corrections et relecture	Stéphane Genoud.

8.2 Principales dates du déroulement du travail :

N°	Mode	Nom de la tâche	Durée	Debut	Fin
1	→	Finition de l'état de l'art	10 h	Lun 08.02.16	Mar 09.02.16
2	→	Visite de l'entreprise	20 h	Mar 09.02.16	Ven 12.02.16
3	→	Elaboration du bilan énergétique	80 h	Ven 12.02.16	Mer 02.03.16
4	→	Elaboration du bilan financier	110 h	Mer 02.03.16	Mer 23.03.16
5	→	Conception du modèle d'affaire	30 h	Ven 06.04.16	Jeu 14.04.16
6	→	Rédaction du questionnaire qualitatif	5 h	Ven 08.04.16	Ven 08.04.16
7	→	Entretiens qualitatifs	5 h	Ven 08.04.16	Lun 11.04.16
8	→	Traitement des réponses	20 h	Lun 11.04.16	Jeu 14.04.16
9	→	Analyse des données, recommandations	10 h	Jeu 14.04.16	Ven 15.04.16
10	→	Analyse Swot	10 h	Ven 15.04.16	Mar 19.04.16
11	→	Rédaction du TB	80 h	Mar 19.04.16	Ven 29.04.16
12	→	Relecture et correction du TB	10 h	Ven 29.04.16	Mar 03.05.16
13	→	Communication	3.5 h	Lun 05.05.16	Mar 07.05.16
14	→	Remise du TB	0.5 h	Ven 08.07.16	Ven 08.07.16

(Les dates principales sont indiquées en police gras)

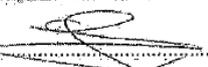
9. Bibliographie :

- Huber, B. & Bailly, A. (1985). Le problème des transports en montagne; le cas du chemin de fer Aigle-Le Sépey-Les Diablerets. *Le Globe. Revue genevoise de géographie*, 125
- Johnson, G., Whittington, R. & Scholes, K. (2011). *Stratégie* (Ed. 9). Paris : Pearson Education France
- Junker, M., Boequet, L., Bendif, M., & Karboviac, D. (2001). L'hydrogène pour le transport sur route: réalisations et développements. *Annales de Chimie Science des Matériaux* (Vol. 26, No. 4, pp. 117-130)
- Leimgruber, J. & Prochinig, U. (2015). *La comptabilité comme instrument de gestion*. Zurich : Verlag SKV
- Ngô, C. (2009). *Demain, l'énergie*. Paris : Dunod
- Site internet officiel de Transport Sièrre-Anniviers-Régions Sàrl, <http://www.ts-ar.ch/>
- Torricelli, G. P. (1993). *La ville dans les Alpes: zone grise ou laboratoire pour les transports de demain?* Récupéré sur http://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1993_num_81_A_3727
- Verdy, D. (2006). *Systèmes de transports urbains et impacts environnementaux : quelle évaluation ?* Récupéré sur <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00141818/document>

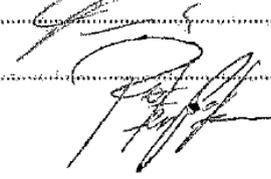
HES-SO Valais			Sujet et Mandat du travail de bachelor	FO.2.2.02.27.EF mob/11/08/2014
EE	IG	TC		
X				

Commentaires du professeur responsable du suivi - thèmes à développer ou à exclure, exigences de l'école, outils à utiliser, remarques et recommandations, etc

Date: 8 octobre 2015 Signature de l'étudiante-e : 

Date: 9.10.15 Signature du professeur/de la professeure: 

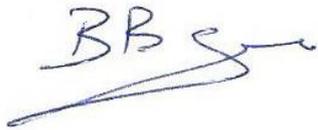
Date: 8 octobre 2015 Signature du mandant/de la mandante : 

Date: 25 JAN. 2016 Validation du Responsable de filière : 

Déclaration de l'auteur

« Je déclare, par ce document, que j'ai effectué le travail de Bachelor ci-annexé seul, sans autre aide que celles dûment signalées dans les références, et que je n'ai utilisé que les sources expressément mentionnées. Je ne donnerai aucune copie de ce rapport à un tiers sans l'autorisation conjointe du RF et du professeur chargé du suivi du travail de Bachelor, y compris au partenaire de recherche appliquée avec lequel j'ai collaboré, à l'exception des personnes qui m'ont fourni les principales informations nécessaires à la rédaction de ce travail et que je cite ci-après : Stéphane Genoud, Laurent Flück, Stéphane Masserey, Claude Cornaz, Michel Bonvin et Philippe Cina. »

Sierre, le 11 juillet 2015

A handwritten signature in blue ink, consisting of the letters 'BB' followed by a stylized flourish.

Blerta Bega