

# Dossier Energétique

## Introduction

Dans l'objectif de réduction des émissions globales et du fait que les transports pèsent près d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre en France (CITEPA, rapport Secten 2020), **réussir à remplacer la voiture du quotidien** par un véhicule intermédiaire actif est une étape capitale.

En effet le challenge est de créer un véhicule à pédales pratique et désirable pour de nombreuses personnes, de le produire et le commercialiser à grand échelle, à un prix accessible. Le gros du défi se situe ici dans un premier temps et ce défi est déjà bien assez extrême à lui seul.

Il est bien sûr nécessaire de se questionner sur les matériaux utilisés, leurs provenances et leurs procédés de mise en œuvre. Mais attention à l'ordre de nos chantiers, il ne faut pas vouloir choisir le papier peint avant d'avoir creusé les fondations. En effet certains matériaux composites sont moins vertueux que du bois ou de l'aluminium. Mais si la réussite du challenge passe par l'utilisation de matériaux un peu moins vertueux, il ne faut pas s'en priver.

## Résultat de l'Analyse du Cycle de Vie

Nous avons utilisé l'outil Analyse du Cycle de Vie adapté aux véhicules intermédiaires proposé par l'ADEME. Cette analyse nous a permis d'estimer les postes de dépenses d'énergies et de pollutions de notre véhicule à chaque étape de sa vie. Notre analyse englobe la production, l'utilisation, et le recyclage du véhicule, ainsi que les pièces détachées utilisées pour l'entretien du véhicule sur 30 ans, avec l'hypothèse de réaliser 4 000 km / an.

Nous avons étudié deux configurations possibles de notre véhicule :

- Pour un véhicule **avec assistance électrique** avec un moteur et une batterie de 0,4 kWh
- Pour un véhicule **sans assistance électrique**

Avec une masse moyenne de presque 1400 kg en France, le rejet d'une voiture est d'environ **5 800 kg eq. CO2** pour la production des pièces et d'environ **3 700 kg eq. CO2** pour la production des batteries pour une citadine électrique (Article Carbone 4 & FNH, annexe 4-b, chiffres 2016).

Pour un véhicule intermédiaire de 95 kg (environ 15 fois moins lourd), le rejet serait proportionnellement d'environ **390 kg eq. CO2**.

La réduction de la masse des véhicules, et le fait de se libérer des moteurs à explosion a un tel impact positif que certains écarts sont légitimes. Il sera toujours temps, une fois que la solution sera largement diffusée d'optimiser les matériaux utilisés pour de plus sobres.

En octobre 2022, nous sommes encore au stade de développement du prototype. La définition du véhicule n'est pas figée, et les modes de fabrication encore non précisément définis, mais voici notre analyse du cycle de vie.

### Méthode utilisée

Notre analyse porte sur le véhicule, avec les pièces détachées utilisées pour la maintenance du véhicule.

L'outil fourni par l'ADEME ne permet pas de distinguer les matériaux des pièces détachées des matériaux du véhicule roulant. Si on additionne les poids des matériaux, l'outil considère que c'est le poids total du véhicule roulant et de toutes les pièces détachées utilisées sur 30 ans qui sera déplacé. Cela affecte le calcul de l'énergie nécessaire pour l'utilisation du véhicule, et donc les rejets associés.

Nous avons souhaité intégrer les pièces détachées dans notre étude, sans impacter le poids du véhicule roulant.

Pour déterminer le poids des pièces renouvelées, nous avons estimé la durée de vie en kilomètres de chaque pièce. Ainsi, pour un véhicule effectuant 120 000 km (4 000 km par an sur 30 ans), nous obtenons une quantité de pièces de rechange pour sa durée de vie.

Pour calculer les émissions carbone des pièces détachées, nous avons calculé le poids total, par matériaux, de l'ensemble des kits de pièces détachées consommés sur la durée de vie du véhicule. Ensuite, nous avons entré ces poids dans l'outil d'analyse de l'ADEME. Des résultats finaux, nous avons soustrait l'énergie d'utilisation, car cette ligne n'est valable que pour le véhicule roulant.

### Tableau récapitulatif

Étapes de cycle de vie	Résultats (kg eq CO2 / véhicule)	
	VeMoo avec assistance électrique	VeMoo sans assistance électrique
Matières Premières	484	388
Mise En Forme	14	13
Utilisation *	Utilisation : 53 Entretien : 491	Utilisation : 0** Entretien : 311
Fin De Vie	-235	-225
<b>Total</b>	<b>807</b>	<b>487</b>

\*Rejets liés à l'énergie électrique utilisée + somme rejets liées aux pièces détachées lors de l'entretien du véhicule.

\*\*Aucune énergie électrique extérieure n'est consommée par le véhicule lors de l'utilisation

### Analyse poste Matières Premières

Les matières premières constituent une source majeure de l'impact carbone sur l'ensemble du cycle de vie du véhicule. Parmi les matières premières, la

structure acier / aluminium représente près de 90% de l'impact en sortie de production.

Parallèlement, l'impact carbone de l'assistance électrique est significatif au niveau des matières premières, mais ne change pas l'ordre de grandeur de la pollution engendrée.

### Analyse poste Mise en forme / production

A ce jour, nous n'avons pas assez d'informations pour déterminer avec précision l'impact carbone de la mise en forme de nos matières premières. Ces éléments seront à préciser lors de la définition de nos choix finaux en termes de production série. On peut s'attendre à une grande variabilité selon le mode de production choisie.

### Analyse poste Utilisation

Les rejets liés à l'utilisation du véhicule sont liés :

- aux pièces détachées consommées sur la durée de vie du véhicule, dont les batteries renouvelées, (soit 3 jeux de batteries sur 120 000km)
- à l'énergie électrique consommée lors de la recharge de la batterie sur le VeMoo à assistance électrique.

L'analyse montre l'étendue de l'impact des pièces détachées. Le volume (pneus & chambres à air) ou la nature (batteries, moteur) des éléments à renouveler induisent un impact carbone presque équivalent à la fabrication du véhicule. Lors de nos estimations, nous avons pu constater à quel point la qualité des pièces choisies était critique : des pièces de mauvaise qualité mais bon marché ont une durée de vie très limitée et doivent être renouvelées bien plus souvent.

**L'impact peut être doublé selon la durée de vie des nouvelles pièces.**

L'énergie électrique consommée lors du roulage dépend de plusieurs paramètres du véhicule. L'outil de l'ADEME prend les mêmes hypothèses pour tous, concernant l'apport d'énergie de la personne au guidon. Les principaux paramètres qui influenceront l'autonomie seront donc : les frottements d'air (S\*Cx)

et le poids du véhicule. Le poids étant calculé dans l'outil d'après les matières premières.

Le VeMoo est conçu pour parcourir de longues distances à grande vitesse en position basse et ponctuellement gérer les carrefours et passages plus urbains en position haute à plus faible vitesse. Le VeMoo s'utilisera majoritairement en position basse, avec un  $S \cdot C_x = 0,20$ .

Ci-joint un tableau récapitulatif de nos estimations :

Valeur estimée	S* [m <sup>2</sup> ]	Cx** [Sans Unité]	S · Cx [m <sup>2</sup> ]
Position haute	1,3	0,3	0,39
Position basse	0,9	0,22	0,20

\*Surface frontale

\*\*Coefficient de pénétration dans l'air : plus ce coefficient est faible, plus le véhicule est aérodynamique.

L'autonomie calculée par l'outil ACV-ADEME serait de 140 km avec une batterie de 400Wh (11,6 Ah). Pour un véhicule équivalent mais qui n'aurait qu'une position haute, l'autonomie calculée serait alors de 98 km.

**La position basse de VeMoo permet un gain de 43% d'énergie consommée.**

A noter qu'en position basse, l'assistance électrique ne serait utilisée que pour la phase d'accélération ou dans les pentes. Au-delà de 25 km/h, l'assistance se coupe, et le conducteur pourra facilement dépasser et maintenir une vitesse plus élevée.

La méthode de calcul de l'outil ADEME considère un cycle très urbain : accélération, une phase à 25km/h, décélération sur un total de 500m. Chez VeMoo, nous envisageons un véhicule plus orienté pour les zones périurbaines et rurales, avec un maintien d'une vitesse de croisière au-delà de 25 km/h - donc sans assistance électrique - sur plusieurs kilomètres.

**L'autonomie totale serait multipliée !**

## Analyse poste fin de Vie

A ce jour, nous n'avons pas assez d'informations pour déterminer avec précision l'impact carbone de la fin vie de notre véhicule, ni la part de matériaux recyclés dans nos matières premières. Ces éléments seront à préciser lors de la définition de nos choix finaux en termes de recyclage et réutilisation de pièces.

## Conclusion

L'outil d'ACV est pensé pour les véhicules électriques ou à assistance électrique. Il permet de quantifier des ordres de grandeur des impacts environnementaux engendrés par les étapes du cycle de vie. Sa simplicité d'utilisation en fait un outil précieux d'aide au développement.

L'outil n'envisage cependant pas l'analyse de véhicules purement mécaniques. Pour nous, il est indispensable que cette configuration puisse être disponible, tant pour le bénéfice environnemental qu'en termes de résilience dans la mobilité du quotidien.

L'objectif de cet exercice est d'avoir une grille de comparaison des différents projets XD avec un outil unique. Mais chaque projet a des objectifs différents et donc plus ou moins adapté au cycle urbain proposé. Notre véhicule n'étant pas développé pour rouler en ville à 25km/h, cet ACV nous dessert par rapport à un véhicule plus urbain.

N'oublions cependant pas l'objectif premier de l'eXtrême Défi : proposer un ensemble de véhicules capables de remplacer une voiture dans une vaste pluralité de situations. A chacun son véhicule intermédiaire !

En résumé, la production et la maintenance de notre véhicule constitue la plupart de l'impact carbone du véhicule. Le VeMoo étant un véhicule actif, l'énergie nécessaire à l'utilisation reste négligeable. Ce qui fait de VeMoo un véhicule taillé pour la résilience dans un futur incertain.

On note que la version purement mécanique offre un gain environnemental de 40% par rapport à la version avec assistance électrique. Si cette configuration implique l'appréhension d'un effort supplémentaire, elle offre une indépendance énergétique totale.

## Nos partis pris

### Déplaçable à la pédale

Avec l'émergence des véhicules intermédiaires, il devient difficile de définir la limite entre véhicule « actif » et « assisté ».

Ils font partie des deux catégories. Ils ont des pédales donc au moins une partie de l'énergie provient du pédalage. Et ils ont un moteur électrique qui fournit une assistance variable lorsque le conducteur pédale. **Mais à partir de quel ratio est-il acceptable de dire qu'un véhicule est actif ?** Lorsque le pédalage représente plus de 50%, de 20 %, de 5% ?

En pratique, pour un VAE avec une assistance de 250 W, le ratio serait de : 30% pédalage / 70% assistance

Nous avons fait le choix **de rendre notre véhicule déplaçable à la pédale**. C'est à dire utilisable au quotidien sans recourir à une assistance électrique.

Le résultat est un véhicule léger et aérodynamique proche d'un vélomobile qui nécessite peu d'énergie pour se déplacer. Le vélomobile est le type de véhicule qui optimise le mieux l'énergie de propulsion.

### Assistance en option

Nous sommes bien conscients que l'assistance sera une nécessité dans de nombreux cas : dénivelé

significatif, distances importantes, nombreux arrêts ou ralentissements, etc.

Nous proposons une **assistance électrique en option**. Grâce à l'optimisation du poids et de l'aérodynamique du véhicule, lorsqu'elle est jugée nécessaire, la puissance de l'assistance peut être maintenue réduite. Cette efficacité multiplie l'autonomie favorisant la résilience dans un monde où l'incertitude énergétique est grandissante.

### Durée de vie et Modularité

La durée de vie est un point important sur le bilan énergétique et écologique d'un véhicule.

D'un côté, une durée de vie importante implique des pièces surdimensionnées pour durer dans le temps (plus de matières ou de traitements spéciaux). D'un autre côté, plus la durée de vie est faible, plus les réparations et remplacements de pièces sont nombreux.

Nous avons fait le choix de fixer la durée de vie en sortie usine à **15 ans avec une forte modularité**. Nous pensons que 15 ans est un bon compromis entre une durée de vie significative tout en permettant un dimensionnement suffisamment léger.

De plus la modularité et l'interchangeabilité permet de ne changer que les pièces fatiguées ou cassées, permettant une durée de vie quasi infinie.

## Conclusion Dossier Énergétique

L'objectif de l'XD sur le plan énergétique, est de proposer un véhicule **10x plus sobre en énergie**. La puissance des voitures électriques va de 33 kW pour une citadine à plus de 200 kW.

La puissance d'un véhicule se répercute directement sur la quantité d'énergie consommée alors que son prix et sa disponibilité sont de plus en plus fluctuants et incertains.

Notre choix de concevoir un véhicule purement mécanique permet un franc gain environnemental et

l'accès à l'indépendance énergétique dans la mobilité du quotidien.

Les besoins en puissance sont propres à chacun et influencés par le dénivelé ou les distances à parcourir. Pour certains, la puissance musculaire ne sera pas suffisante. C'est pour cela que nous proposons une assistance en option, probablement plébiscitée.

Chez VeMoo, nous proposons une alternative à la voiture du quotidien au moins **100x plus sobre** en énergie avec **au minimum 13x moins d'émissions** de GES qu'une voiture.