

maillon  
mobility

## Dossier Énergétique



Etant donné le statut de notre projet, ce dossier énergétique sera mis régulièrement à jour afin de prendre en compte les données les plus abouties. A ce jour (été 2023), le véhicule Maillon Capitole étant au stade de concept et commençant le design détaillé et le prototypage en septembre 2023, ce document ne peut comporter des informations de matériaux, chiffres, poids... précis.

Afin d'avoir un véhicule le plus propre possible, certains choix doivent être pris dès aujourd'hui (utilité du véhicule, modularité, réparabilité, design....). Au contraire, même s'ils sont bien sûr étudiés en parallèle, d'autres choix se feront un peu plus tard. Par exemple, pour notre étape de prototypage afin de valider la partie cycle, le choix des matériaux pour le châssis, l'habitacle,... n'est pas primordial. Les prototypes seront réalisés avec des matériaux facilement accessibles, peu coûteux sur lesquels des réglages, des modifications... pourront être faits aisément.



Notre objectif principal n'est pas d'aller chercher les cyclistes convaincus ni même de rajouter un nouveau véhicule dans une famille habitant en ville. Maillon Capitole doit remplacer une voiture.

Nous sommes convaincus que Maillon Capitole peut remplacer une seconde voiture citadine d'une famille qui fait quelques kilomètres par jour et qui ne bouge pas lors des weekends familiaux ou des vacances. Ce remplacement se fera sans compromis vis à vis des habitudes actuelles avec de plus des gains économiques et écologiques rapides.

Remplacer la première voiture d'une famille qui fait quelques longs trajets se fera seulement en présentant une offre qui répond à ces besoins précis. Nous sommes aussi convaincus que l'auto-partage sera plus généralisé dans les villes d'ici quelques années et facilitera cette transition. Les mœurs de la population urbaine changeront mais cela prendra du temps.



Même si on peut voir que les transports de pièces et de véhicules vers les lieux d'assemblages ou de ventes ne sont pas les principaux responsables de l'impact carbone (Cf résultats ACV en fin de rapport), ceux-ci ont des impacts non négligeables. Nous devons donc les limiter au maximum. Pour cela, notre objectif est de réaliser un véhicule pensé, designé, fabriqué et assemblé en local. Nous souhaitons travailler avec des entreprises Européenne, Françaises et Occitanes. Ce choix facilitera de plus le travail de co-ingénierie, de réflexion, de suivi en pouvant discuter simplement et rapidement avec nos partenaires.

Nous ne concurrencerons pas les pays asiatiques sur les prix de véhicule, nous faisons le choix d'un véhicule de qualité avec un faible impact carbone « made in France ».

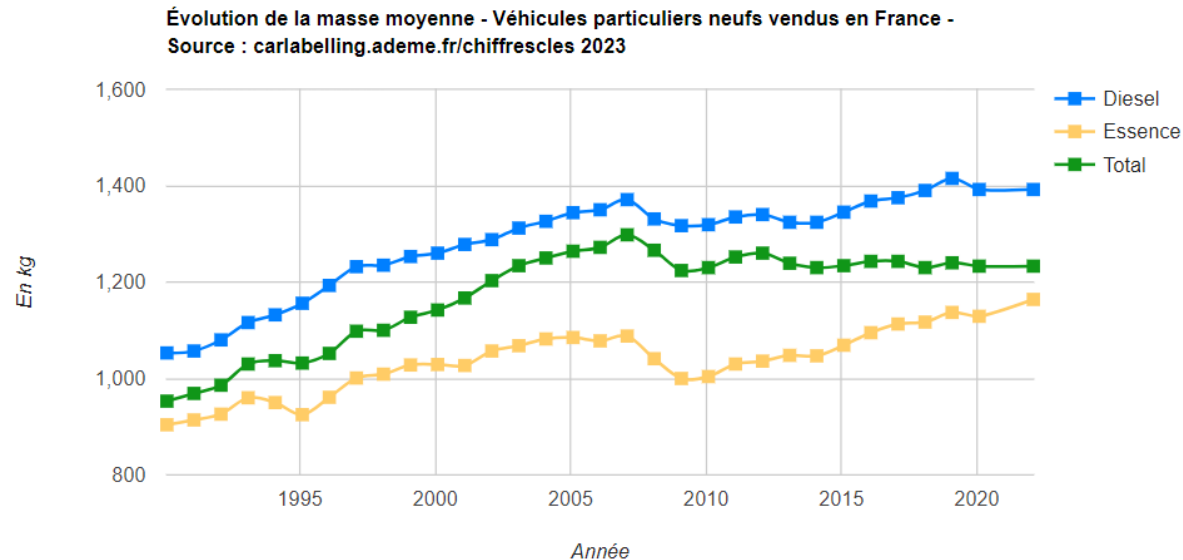
# Masse du véhicule



Nous souhaitons avec notre véhicule remplacer les voitures utilisées pour les déplacements du quotidien en zone urbaine et péri urbaine.

La masse moyenne d'un véhicule en 2022 est de 1233kg (source ADEME).

Notre objectif est de réaliser un véhicule de moins de 100kg soit 12 fois plus léger ! C'est tout autant de matériaux en moins à extraire mais également à transporter tous les jours.





Afin d'atteindre nos objectifs, nous travaillons sur un design utile, sans superflu. Tous les éléments intégrés sur Maillon Capitale ont une fonction.

Nous faisons tout de même quelques compromis :

- Par exemple, nous ne souhaitons pas de soudure ou de collage dans l'assemblage final de notre véhicule. Cela permettra d'avoir un véhicule facilement réparable et donc durable dans le temps afin de limiter le gaspillage et les impacts carbone associés. Ce choix aura un impact négatif sur la masse mais est volontaire.
- Certains matériaux peuvent être léger mais ont un très fort impact carbone, sont consommateurs d'énergie pour les extraire, les modifier ou les assembler. On peut penser aux fibres, aux résines ... Ces choix de matériaux seront limités malgré leurs avantages de masse.



Nous avons opté pour un véhicule simple d'entretien. Hormis la batterie où il faudra passer par un professionnel tous les 7/10 ans environ, un vélociste voire un client bricoleur sera entièrement capable de réaliser le peu d'entretien à réaliser sur Maillon Capitole. Il devrait en effet être plus simple que sur un vélo car nous n'aurons ni chaîne ni dérailleur !

Que reste-t-il à faire ?

- Changement des pneumatiques tous les 5 000 kms environ
- Changement des plaquettes de freins tous les 3 000 kms environ (on espère ici que le freinage régénératif limitera ce changement)
- Réparation batterie tous les 40 000 kms environ : nous comptons travailler avec des batteries réparables et recyclables où seules les cellules abîmées sont remplacées



Comme expliqué précédemment, nous souhaitons un véhicule durable et réparable. Des matériaux de qualité seront choisis pour tenir dans le temps et quelles que soient les conditions météorologiques. Aussi, toutes les pièces pourront être changées en cas de besoin. Suite à un accrochage par exemple, si une partie de la structure est abîmée, il sera possible de remplacer seulement la pièce endommagée. Maillon Mobility s'engage donc à vendre toutes les pièces du véhicule à l'unité.

Aussi, Maillon Mobility s'engage à récupérer gratuitement toutes les pièces remplacées. Pour cela, nous souhaitons contractualiser avec nos fournisseurs la récupération / le recyclage des pièces qu'ils nous fournissent.





En parallèle de notre travail de design du véhicule, nous recherchons les matériaux qui y seront intégrés. Nous nous tournons vers des matériaux à minima recyclables et au mieux recyclés. Quelques exemples des études en cours ci-dessous :

- L'aluminium a les gros avantages du poids et de sa recyclabilité mais a le gros inconvénient de l'impact carbone associé à son extraction. En fonction de l'électrolyse utilisé, les émissions directes peuvent varier entre 4 et 8 tonnes de CO<sub>2</sub> par tonne d'aluminium produite. Par contre, il peut se recycler à l'infini, ce qui permet une économie d'énergie de 95% par rapport à sa production primaire et les émissions sont 8 fois moindre.
- La fibre de lin, de bambou, ... sont des fibres naturelles aux capacités redoutables qui peuvent concurrencer le carbone. Il faudra alors les associer à des résines bio-sourcées pour limiter l'impact CO<sub>2</sub>.
- L'aéronautique recycle et revend ses fonds de rouleaux de carbonés ou des pièces entières d'avions en fin de vie.
- Le bambou peut être utilisé pour remplacer des tubes en aluminium.
- Le tissu peut remplacer des parties de la carrosserie et on peut aussi compter sur des chutes des entreprises navales.



L'énergie pour déplacer notre véhicule est l'électricité. En effet, c'est à ce jour le carburant le plus « propre » en France tout en étant accessible au plus grand nombre.

Mais Maillon Mobility va plus loin : afin de limiter les recharges sur prise domestique, le véhicule pourra recharger sa batterie de 3 façons différentes 100% renouvelables :

- A l'aide du pédalier alternateur, ce qui permettra de plus au conducteur de faire de l'activité physique en même temps
- A l'aide du panneau solaire sur le toit du véhicule d'environ 110W de puissance nominale (0,6m<sup>2</sup>). Voir page suivante pour détails
- A l'aide du freinage régénératif. Ce système très utilisé sur les voitures hybrides et électriques arrive tout doucement dans le monde du cycle. Pourtant, sur un véhicule comme le nôtre et dans une ville légèrement vallonnée, on peut espérer récupérer 15% d'énergie sur un trajet.

Avec l'aide de ces trois facteurs, sachant que 50% des trajets urbains font moins de 3km, on peut espérer qu'une majorité d'entre nous n'aura plus besoin de recharger les batteries sur une prise domestique durant les beaux jours. Ces chiffres seront à valider sur le premier prototype début 2024.

# Energie : Zoom sur le panneau solaire

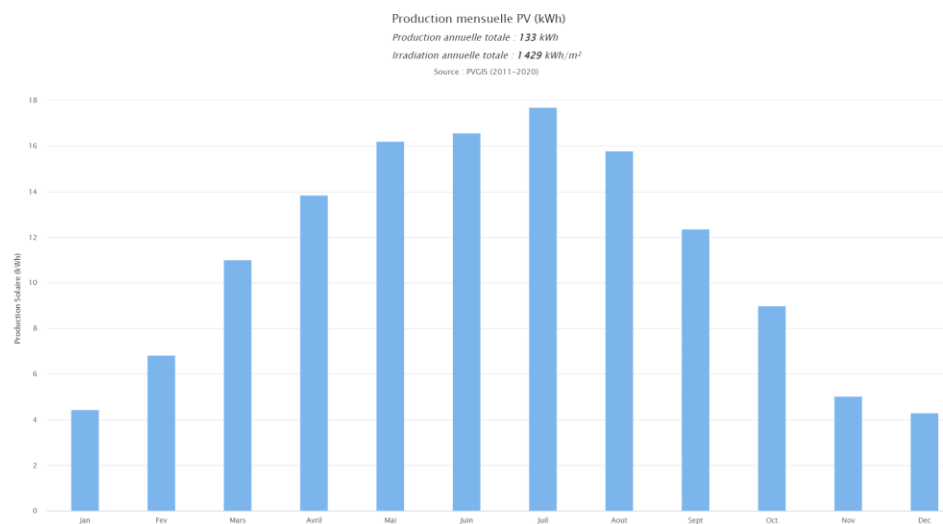


Tout d'abord, le choix d'un panneau solaire a été réfléchi. La durée de vie d'un panneau solaire est estimée entre 25 et 30 ans (on peut espérer plus vu le rendement garanti au bout de 25 ans sur les panneaux vendus actuellement). L'ADEME estime qu'un panneau met entre 1 et 3 ans pour amortir l'énergie utilisée lors de sa fabrication. Le bilan carbone sur la durée de vie du panneau est donc négatif. Aussi, le recyclage des panneaux solaire en fin de vie s'est grandement amélioré depuis plusieurs années : proche de 95%.

A l'aide du panneau solaire d'environ 110W installé sur Maillon Capitole, voici ci-contre l'énergie que nous pouvons espérer récupérer par mois sur la ville de Toulouse.

Si on prend le mois de juillet (production maximale) et le mois de décembre (production minimale), on obtient une moyenne quotidienne de respectivement 570 Wh et 130 Wh. Bien sûr, un véhicule garé toute la journée dans des rues étroites n'obtiendra pas cette production.

Nos moteurs seront en accord avec la législation européenne et auront donc une puissance nominale de 250W maximum. Tout de même cette puissance variera en fonction du chargement du véhicule, du relief, des démarrages... Des pics de puissance pourront être réalisés momentanément sur ces phases là (démarrage, côte..). Il est donc difficile de donner le nombre exact de kilomètres gagnés grâce au panneau solaire qui ne sera lui aussi pas tout le temps en position optimale. On peut tout de même espérer que notre véhicule chargé de 120kg et pour une dizaine de kilomètres au quotidien soit auto-suffisant l'été et très peu rechargé l'hiver. Il faudra bien sur le garer au soleil. Par chance, ce sont les places les moins occupées ! Nous comptons sur le prototype pour obtenir des résultats plus précis.



# ACV : Matériaux – Prototypes



Ne connaissant pas les matériaux qui seront utilisés sur le véhicule de série, nous réalisons l'ACV sur le prototype. Le design détaillé commençant prochainement, des hypothèses sont réalisées sur les masses et l'ACV sera mis à jour régulièrement dans le futur. On peut tout de même espérer que ceci est un pire cas pour Maillon Capitale.

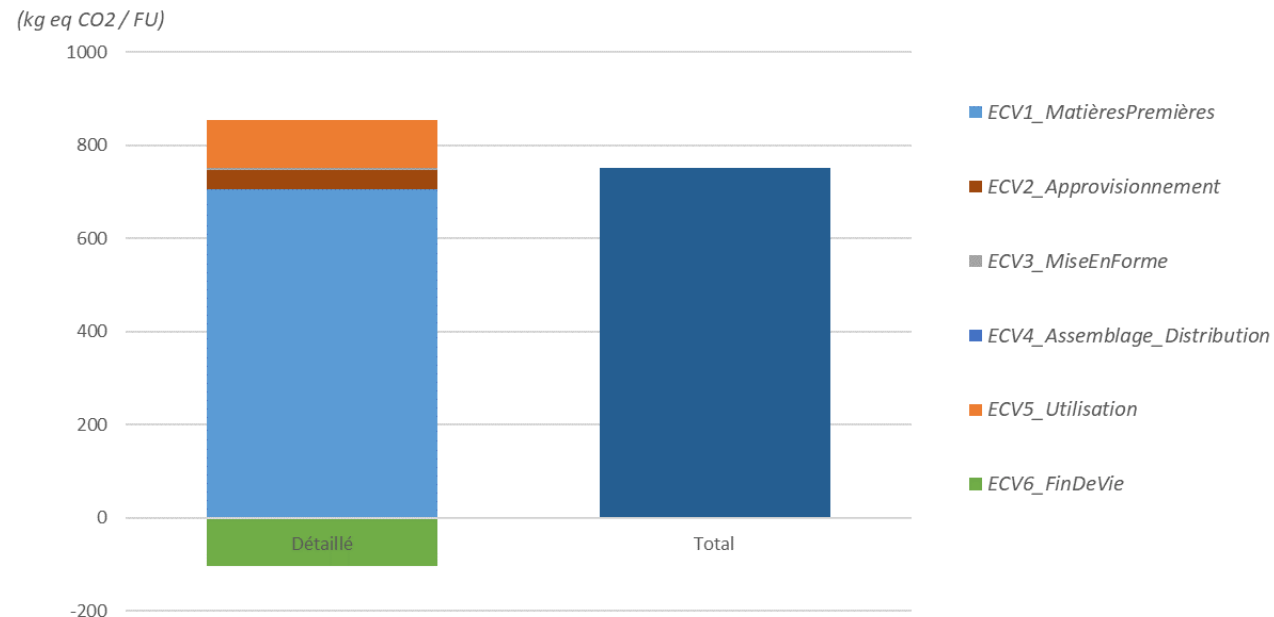
Voici ci-dessous le bilan matière utilisé dans le simulateur ACV de l'ADEME.

Pièces	Matériaux	Masse (kg)
Châssis, système pendulaire avant, bras oscillant arrière, Structure habitacle	Aluminium	40
Plancher, fermeture avant	Tôle aluminium	10
Fermeture arrière sous banquette / Toit	Tissu	2
Banquette arrière	Mousse	10
Moteurs, alternateur	Aimant, Cuivre	2 / 8
Pneu	Caoutchouc	3.6
PCB (Contrôleurs, BMS)	Résine époxy, Cuivre, Or, Argent, Autres	0.2 / 0.2 / 0.0001 / 0.0008 / 0.3
Harnais électrique	Cuivre, Polyéthylène réticulé	3 / 1
Batterie	Cellules Li-ion	12
Pare Brise	Polyméthacrylate de méthyle	4
Eclairage	LED	0.05
Panneau solaire	Verre, Plastique, Aluminium, Silicium	1.5 / 0.2 / 0.2 / 0.1

# ACV : Résultats Empreinte Carbone – Simulateur Excel



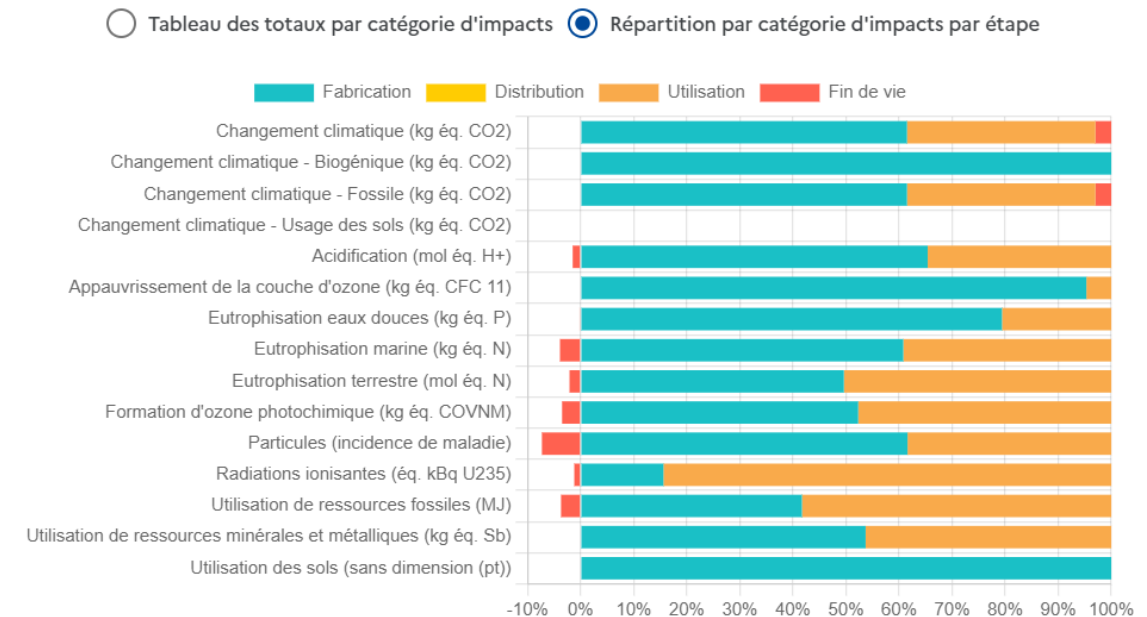
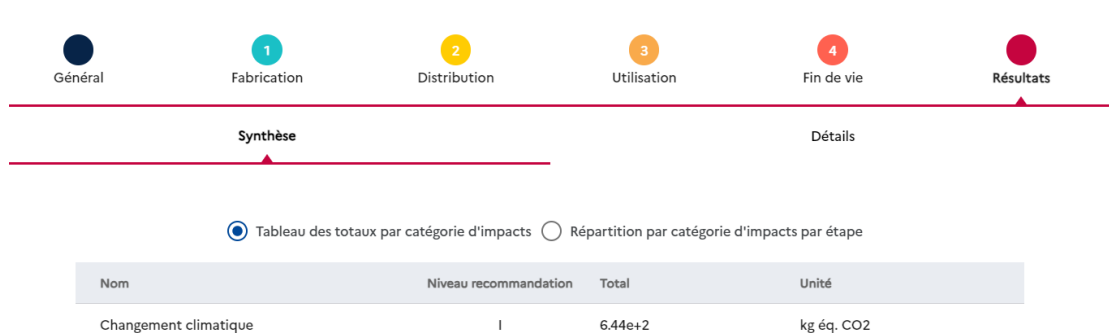
Dans un premier temps, nous avons utilisé le simulateur Excel utilisé l'an passé (Hypothèse : 4000kms par an sur 30 ans). Voici ci-dessous le résultat de notre ACV pour le prototype de Maillon Capitole (+ fichier Excel joint). On obtient 750kg eq C02 sur l'ensemble du cycle de vie du véhicule. Pour une citadine électrique et pour le même nombre de kilomètre, on s'approche des 9 tonnes soit 10 fois plus! En remplacement d'une citadine, Maillon Capitole permet donc de réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre.



# ACV : Résultats Empreinte Carbone – Base Empreinte



Dans un second temps, nous avons utilisé le simulateur en ligne Base Empreinte. Il nous est impossible de trouver dans la liste les bons matériaux pour les batteries et pour le panneau solaire (Or, argent, lithium, silicium...), matériaux qui pourraient être très impactant. Pour les batteries, nous les avons remplacées ici par des piles AA, seul composant qui s'en "rapproche". (Questions envoyées à [base-empreinte@ademe.fr](mailto:base-empreinte@ademe.fr) pour comprendre et mettre à jour plus tard). On obtient avec ce simulateur 644kg eq CO2 sur l'ensemble du cycle de vie du véhicule. On est proche du chiffre trouvé avec le simulateur Excel mais les données matériaux par matériaux sont très différentes entre les deux simulateurs. La base Empreinte étant la plus à jour, nous nous baserons sur celle-ci dans le futur.

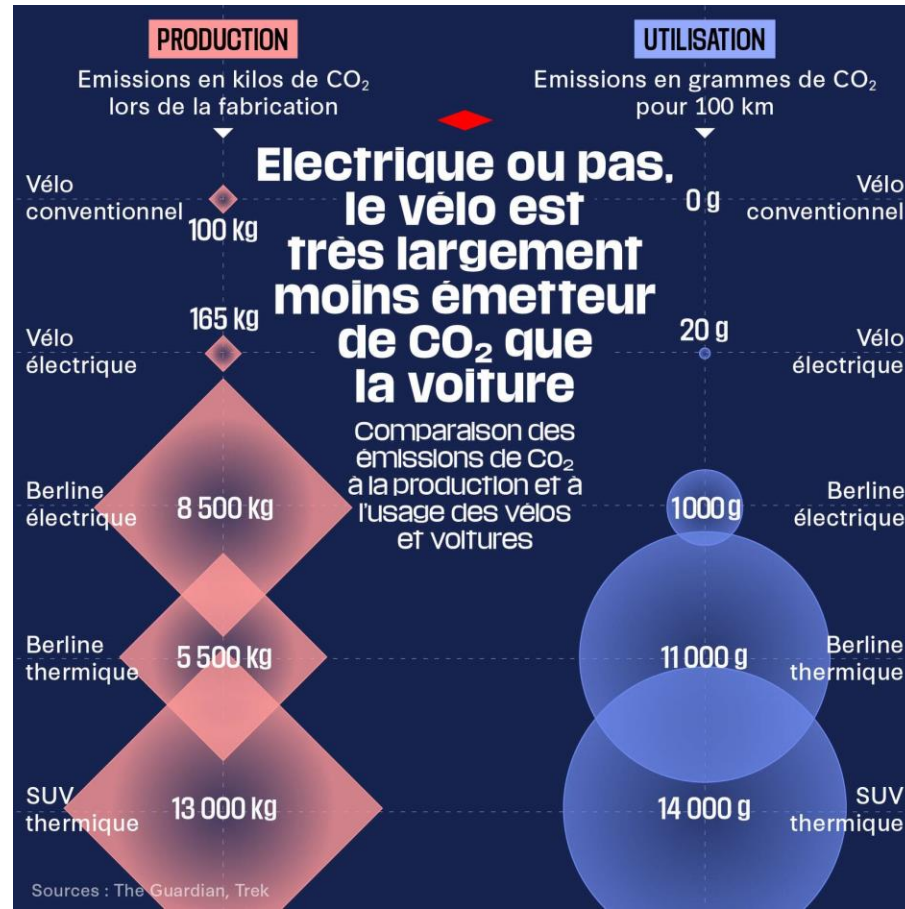




- On s'aperçoit dans les deux simulateurs que le principal poste d'émission est la production des matières premières (700kg pour le simulateur Excel avec tous les matériaux). Comme on peut le voir sur la photo page suivante, l'émission de CO2 pour la production d'un vélo électrique est de 165kg soit 4 fois moins. Comme nous sommes environ 4 fois plus lourd, le calcul semble cohérent. Nous ferons le nécessaire pour diminuer cet impact sur les modèles de série avec des matériaux moins demandeurs en énergie d'extraction et modification. Nous sommes ici sur un pire cas pour le prototype mais l'ACV nous ouvre les yeux sur l'impact de ce poste sur le bilan carbone du véhicule!

- Le second poste d'émission est l'utilisation du véhicule. L'intégration d'un panneau solaire et du freinage régénératif permet de réduire la dépendance au réseau électrique mais tout le monde ne pourra pas s'en passer en fonction de la météo et des kilomètres réalisés. Page suivante, on peut voir que l'utilisation d'un VAE sur 100km a un impact de 20g. Nous sommes avec notre ACV à 125g. La masse a forcément un impact, l'aérodynamisme de notre véhicule aussi. Nous avons été très pessimiste dans nos calculs car nous savons que notre design n'est pas très aérodynamique. Nous l'acceptons car supposons que celui-ci ne sera pas très impactant à basse vitesse.

# Empreinte carbone : Production / Utilisation : vélo & voiture







Le simulateur fourni par l'ADEME nous prévoit une énergie consommée de 13,2Wh/km (hypothèse d'une seule personne dans le véhicule). Ce chiffre semble optimiste quand on sait que l'énergie d'un VAE varie entre 4 et 10Wh/km.

Il sera à vérifier avec les premiers modèles et dépendra énormément de l'effort de pédalage sur la génératrice, de l'ensoleillement pour le panneau solaire, du relief de la ville...

L'énergie consommée par une Peugeot 208 électrique est de 154Wh/km (donnée Peugeot / nombre de passagers non connu). Serons-nous 10 fois moins consommateur?

# Comparaison



Comparons notre véhicule à :

- La citadine la plus vendue en 2022 en France, la Peugeot 208. Nous choisissons ici la version électrique
- La Citroën AMI, réelle citadine créée par un constructeur automobile

Pour répondre au besoin d'un citadin, on peut voir ci-dessous que la Peugeot 208 est totalement surdimensionnée pour les trajets du quotidien. Citroën a fait un gros effort sur la masse à vide avec l'AMI mais la consommation finale reste importante pour des trajets urbains.

On voit que Maillon Capitole est un véhicule sobre. Ceci est forcément dû à la masse à vide, mais aussi à sa motorisation qui est limitée à 25km/h. Quand on sait que la vitesse moyenne en ville pour une voiture est de 15km/h et que Maillon Capitole est compatible des pistes cyclables, est-ce vraiment un problème ?

Véhicule	Capacité d'emport passagers	Masse à vide (kg)	Pour un transport de 2 pers, masse véhicule déplacé par pers (kg)	Consommation (Wh/km)	Emission de CO2 lors de la fabrication (kg)	Emission de CO2 lors d'utilisation sur 100km (g)	Vitesse maximale en ville (km/h)	Compatible piste cyclable?
Peugeot 308 électrique	5 Places	1455	727,5	154	~ 8500	~1000	50	Non
Citroën AMI	2 Places	482	241	106	~ 2800 (hypothèse au prorata du poids)	~ 330 (hypothèse au prorata du poids)	45	Non
Maillon Capitole	2 Adultes et 2 enfants ou 1 adulte et 4 enfants	<b>100</b> (Objectif maximum)	50	<20 (simulation prototype)	~700 (simulation prototype avec tous les matériaux)	~125 (simulation prototype)	25	Oui