

# Retrofit automobile : une conversion optimisée pour une mobilité plus durable

---

## Introduction

Dans un contexte où la transition énergétique devient cruciale, le secteur du transport se trouve au cœur des enjeux de décarbonations. L'automobile, en particulier, représente une partie importante des émissions de gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone. Une des solutions émergentes pour réduire cet impact sans devoir produire de nouveaux véhicules est le retrofit : une transformation qui consiste à convertir un véhicule thermique en véhicule électrique. À travers mon TIPE, j'ai souhaité évaluer et optimiser cette conversion sous un angle scientifique, en m'intéressant au compromis entre autonomie, performance et contraintes légales.

## Problématique

Une batterie de plus grande capacité prolonge l'autonomie, mais elle augmente aussi la masse du véhicule, ce qui peut provoquer une surconsommation énergétique et une baisse de performances (vitesse du véhicule). La législation européenne encadre par ailleurs le retrofit en limitant l'augmentation de masse à +20 %. Je me suis donc posé la question suivante : jusqu'à quelle capacité de batterie un retrofit reste-t-il pertinent sans dépasser la masse autorisée ni compromettre les performances ?

## Méthodologie

J'ai structuré mon étude en trois étapes : d'abord, une modélisation mathématique de la relation entre autonomie, masse et capacité ; ensuite, une expérience sur un robot miniature que j'ai monté afin de simuler l'impact du poids sur les performances ; enfin, une comparaison des résultats expérimentaux avec les prédictions du modèle afin de juger en particulier de la pertinence de ce dernier.

## ⚡ Modélisation théorique

J'ai utilisé une formule prenant en compte la consommation de base d'un véhicule ( $E_0$ ), la pénalisation par kg ajouté ( $k$ ), le rendement du moteur ( $\eta$ ) et la densité énergétique des batteries ( $r$ ). La consommation énergétique est modélisée par :

$$E(C) = E_0 + k \times \Delta m$$

Ce qui permet d'exprimer l'autonomie  $A(C)$  comme une fonction rationnelle :

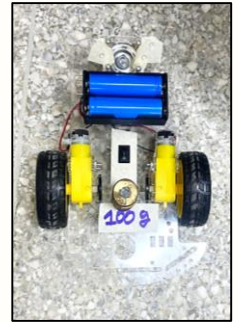
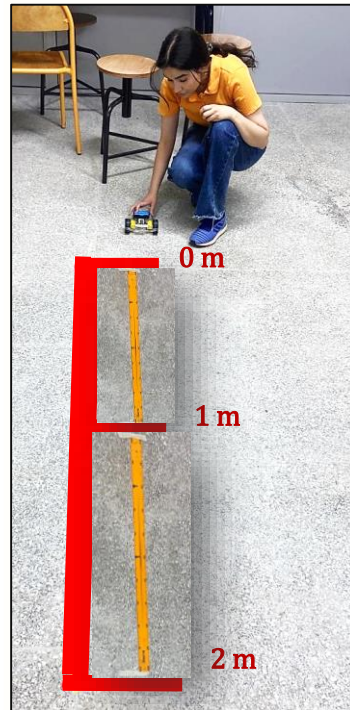
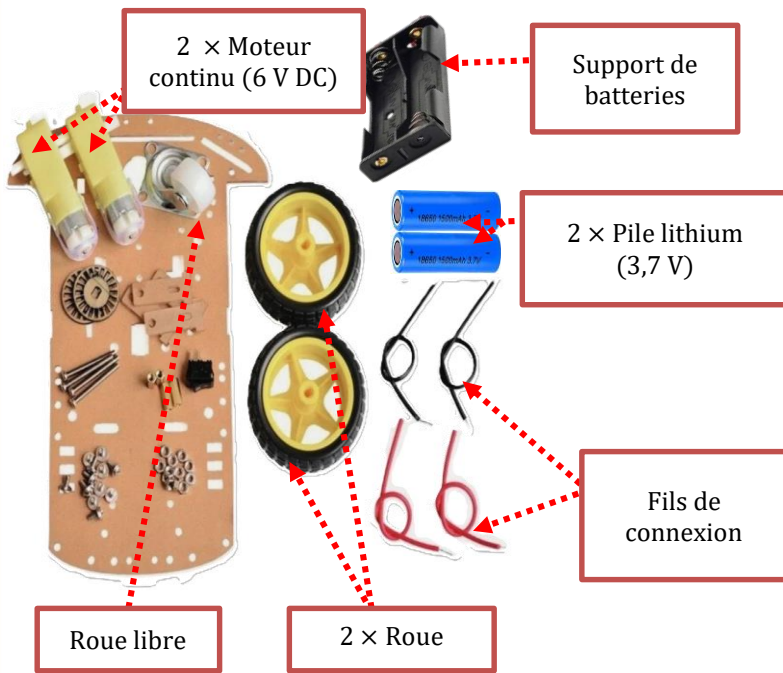
$$A(C) = \frac{C \times \eta}{E_0 + \frac{k \times C}{r}}$$

L'autonomie ne croît pas linéairement avec la capacité : après un certain point, les gains deviennent négligeables ou même négatifs à cause de l'alourdissement du véhicule.

## ⚡ Intégration de la contrainte réglementaire

La loi autorise une augmentation maximale de masse de 20 %. Pour une voiture de type citadine de masse 1100 kg, cela implique une limite supérieure de capacité de batterie, que j'ai estimée à 33 kWh. En injectant cette valeur dans le modèle mathématique, j'ai obtenu une autonomie optimale de 217 km dans la limite légale.

## ⚡ Expérimentation à échelle réduite



**Figure 1 : Protocole expérimental**

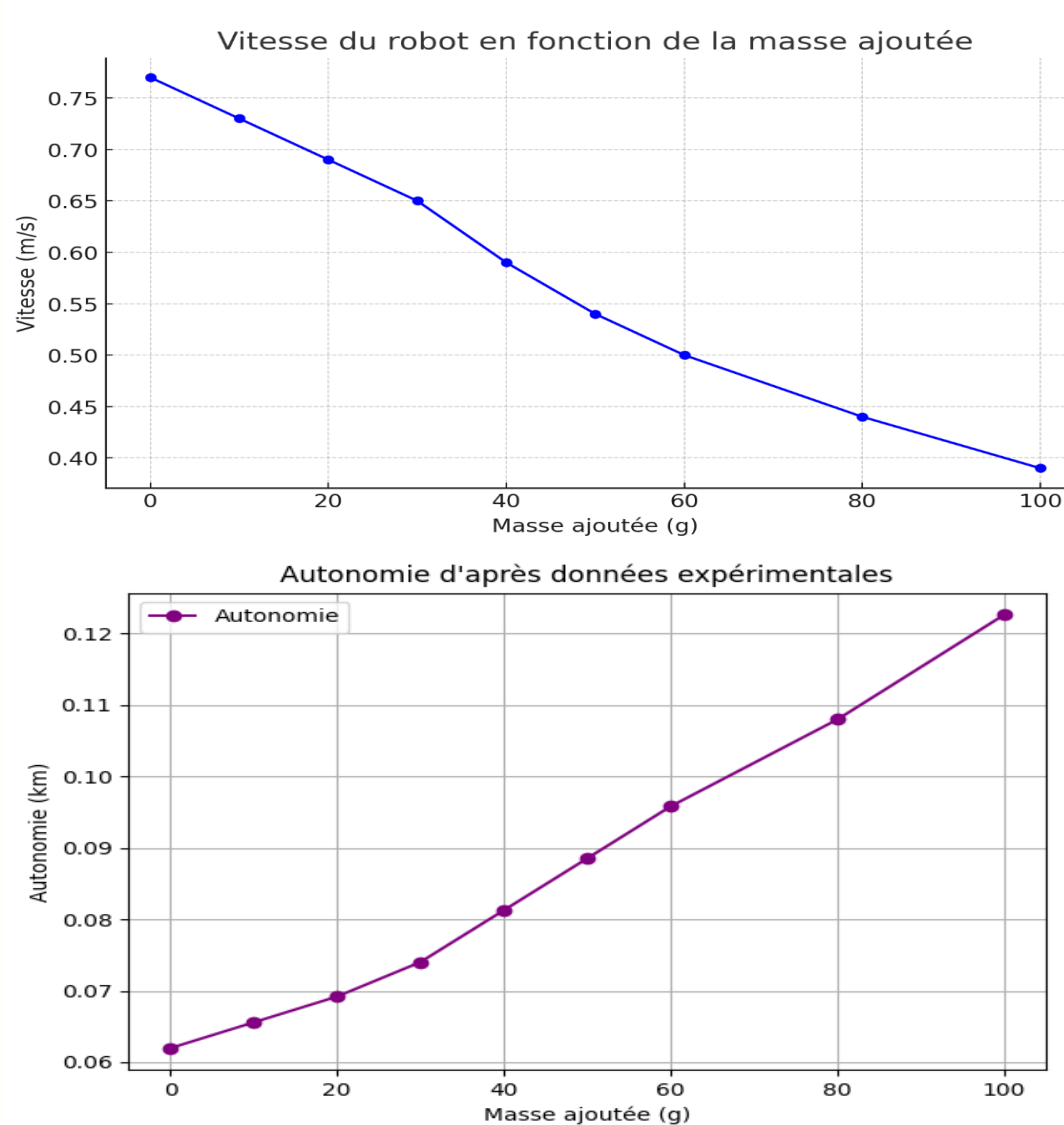
J'ai reproduit ce scénario à l'échelle réduite à l'aide d'un robot motorisé alimenté par piles. J'y ai ajouté progressivement des masses pour simuler différentes capacités de batterie, après les avoir calculées en intégrant la relation suivante dans un script Python :

$$m_{exp} = \frac{1000 \cdot C}{r} \times \frac{m_{robot}}{m_{voiture}}$$

Où C désigne la capacité de la batterie à simuler et r sa densité énergétique.

La vitesse du robot a été mesurée sur une distance de 2 mètres, afin de déduire l'impact de la masse sur ses performances.

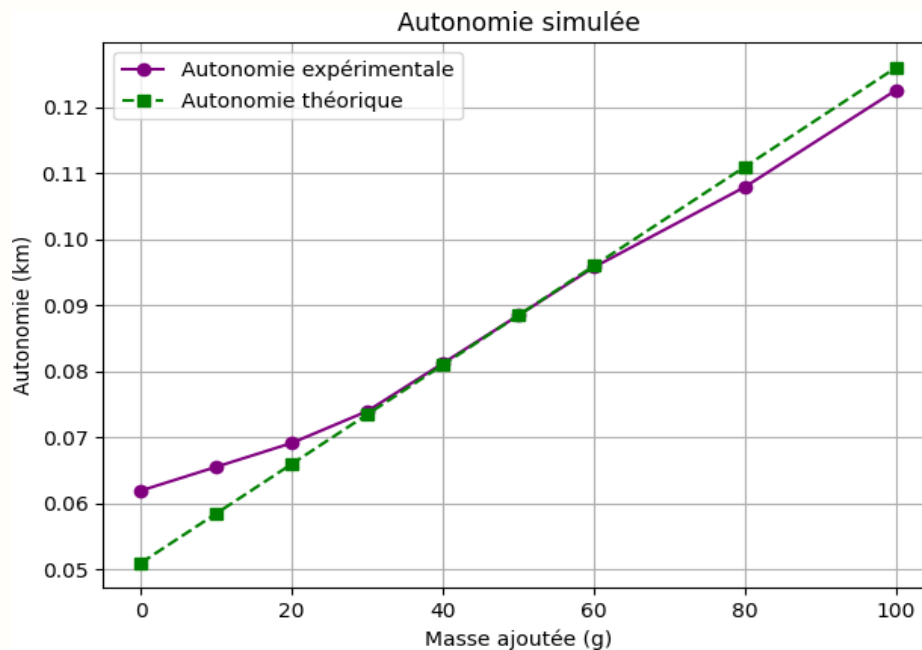
## ⚡ Résultats et interprétation



**Figure 2 : Résultats expérimentaux tracés par Python**

Les mesures montrent une baisse nette de vitesse dès que la masse dépasse 40 g, ce qui correspond à une capacité critique de 42 kWh à l'échelle réelle. Ce point correspond à une chute de performance significative. Toutefois, l'autonomie continue d'augmenter jusque-là, confirmant l'existence d'un optimum.

## ⚡ Confrontation modèle / expérience



**Figure 3 : Comparaison expérience/modèle mathématique par Python**

Les courbes issues du modèle et celles issues de l'expérience sont globalement similaires, bien que le modèle théorique ne prenne pas en compte certains phénomènes négligés dans un souci de simplification (frottements, pertes mécaniques, inertie). Cela m'a permis de valider partiellement la pertinence du modèle proposé, et de justifier son usage dans des simulations plus complexes.

## ⚡ Conclusion

Mon étude confirme qu'un rétrofit bien conçu permet de prolonger l'usage d'un véhicule thermique sans sacrifier ses performances, tout en respectant les contraintes réglementaires. Le modèle mathématique suggéré, bien qu'imparfait, fournit une base solide pour une optimisation numérique du compromis autonomie/poids. Des travaux plus rigoureux pourraient intégrer une modélisation plus fine (cycle de vie, coûts, impacts environnementaux) ou se pencher sur des optimisations multicritères, avec l'appui de l'intelligence artificielle.