

Face aux défis climatiques, comment choisir sa mobilité en 2025 ?

Ce livre rassemble ingénieurs, ingénieux, entrepreneurs, commerciaux, financiers et citoyens curieux autour d'une évidence : dans un monde aux ressources finies, le retrofit électrique transforme nos véhicules existants en puits de carbone.

Une Twingo convertie compense l'empreinte de deux voitures électriques neuves sur 20 ans car, en grande partie réutilisable, elle émettra bien moins. Entre formules physiques accessibles, témoignages d'innovateurs européens et analyse géopolitique, ce premier livre de François Dorléans nous guide vers une mobilité plus légère, efficace et souveraine. Ni révolution ni dogme, mais une évolution logique inspirée du "poldering" néerlandais : l'art du compromis intelligent, -parler vite et parler bien- pour éviter de « jeter le bébé avec l'eau du bain » lorsque des institutions pilotent des choix français en loupant des compromis ingénieux.

De Lormauto aux hypercars suédois, des batteries révolutionnaires à l'hydrogène blanc, découvrez les solutions qui existent déjà.

- Choisir sa mobilité, c'est choisir son avenir-

Un plaidoyer apaisé pour une Europe qui innove sans s'endetter, résiste au marketing du neuf pas cher pour privilégier les valeurs communes et sait financer son indépendance technologique.



François Dorléans, né en 1969, quelques décennies à l'international plus tard, propose une vision globale des enjeux technologiques et géopolitiques. Profil atypique d'ingénieur devenu ingénieur, il conjugue passion technique et sens des affaires dans une approche pragmatique de l'innovation.

Marié à son amie de l'école de commerce mitoyenne de son école d'ingénieur (combinaison rare) et père de quatre enfants, il défend une mobilité durable accessible à tous. Fervent défenseur de la vie et partisan des pétitions officielles plutôt que des blocages routiers qui nous appauvrissent tous, il privilégie le dialogue constructif.

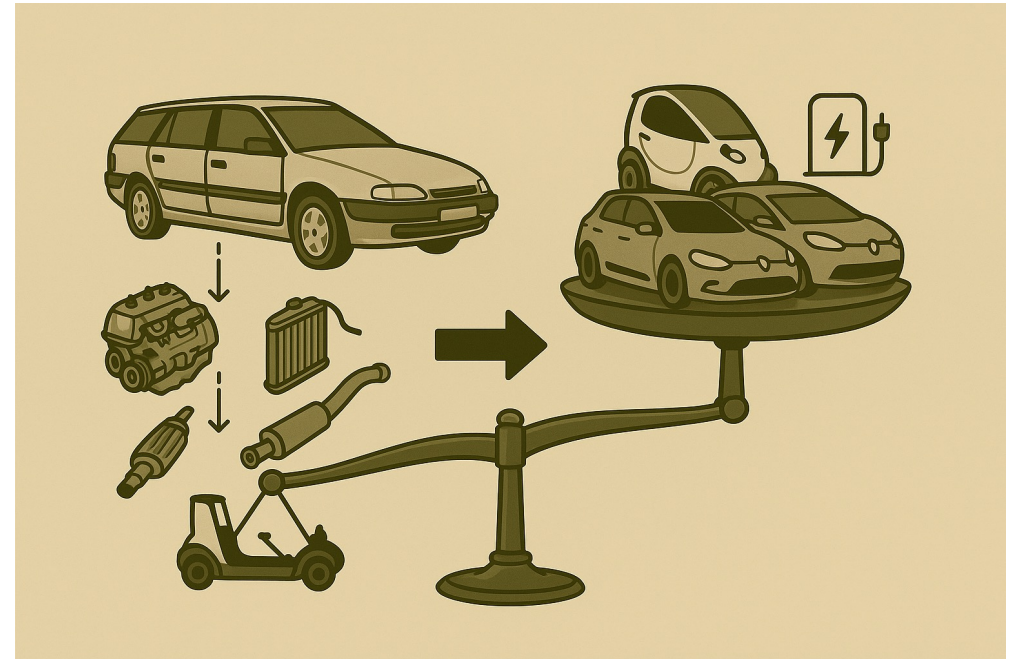
Passionné d'écriture, il prépare une dizaine de projets de livres sur les transitions de l'Anthropocène, en l'occurrence énergétiques et technologiques. Ce premier ouvrage accéléré, né de l'urgence face à la liquidation de Lormauto, illustre son engagement pour une Europe innovante et souveraine, capable de transformer les défis climatiques en opportunités industrielles.

ISBN : 979-10-977981-0-9



9 791097 798109

- “Ma Légèreté Mobile” -



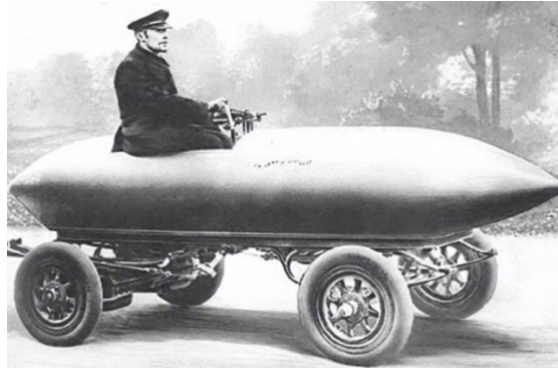
- “Ma légèreté mobile” -

« Choisir sa mobilité en Europe de 2025 »

François Dorléans

— “Ma Légèreté Mobile” —

« Choisir sa mobilité en Europe de 2025 »



*Ce livre-fascicule est dédié
à l'équipe Lormauto 2025 réf. chapitre 15*

Date : 25 octobre 2025
Titre : Ma Légèreté Mobile
Sous-titre : “Choisir sa mobilité en Europe de 2025”
Auteur : François Dorléans
ISBN : 979-10-977981-0-9

Préambule :

Ce livre gratuit existe par nécessité, non par négligence. Conscient que certains esprits spéculateurs dévaloriseront d'emblée ces mots parce qu'ils ne leur ont rien coûté, je prends le risque de l'incompréhension. Car il y a une ironie cruelle : proposer gratuitement, c'est risquer l'indifférence ; proposer à prix, c'est risquer l'accusation de mercantilisme.

Cette œuvre s'adresse donc à deux publics distincts : ceux qui, habitués aux stimuli visuels instantanés, trouveront dans cette introduction l'essence condensée de ma réflexion ; et ceux qui, immunisés contre la tyrannie de l'immédiateté, découvriront dans les pages suivantes les nuances, les détours et les révélations que seule une lecture patiente peut révéler.

Le paradoxe de la gratuité révèle une vérité troublante sur la nature humaine : ce qui ne coûte rien semble souvent ne rien valoir. Dans notre société marchande, la valeur perçue d'une œuvre se confond trop souvent avec son prix, créant un cercle vicieux où l'accessibilité devient synonyme de médiocrité présumée.

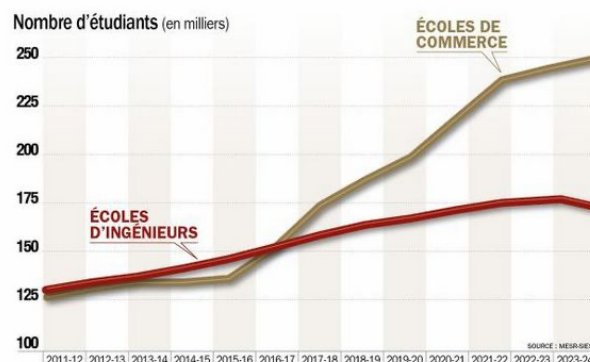
J'en profite pour rendre hommage aux agriculteurs gardiens silencieux de notre survie, ces ingénieux de la terre que la grande distribution a voulu réduire au rang de simples fournisseurs. Même lorsque leurs coopératives ont tenté de résister, la machine mercantile a broyé leur dignité économique.

Aujourd'hui, alors que les écoles d'ingénieurs se vident et que les savoir-faire techniques s'étiolent, nous découvrons une vérité amère : en méprisant ceux qui nourrissent et ceux qui créent, nous avons tué la poule aux œufs d'or."

Il est temps que les acteurs du monde physique - agriculteurs, ingénieurs, artisans, techniciens - cessent de se laisser diviser par les forces purement mercantiles. Car sans les mains qui sèment et les esprits qui innovent, sans ceux qui transforment la matière et ceux qui nourrissent les corps, que reste-t-il d'une société sinon des intermédiaires qui s'enrichissent du travail des autres ?

La réconciliation n'est pas un idéal, c'est une nécessité vitale : réunir l'intelligence technique et la sagesse agricole contre la tyrannie de la spéculation pure.

Les écoles d'ingénieurs décrochent



Paru le 21 mai, le rapport de l'Institut Montaigne pose clairement l'équation : pour gagner la bataille de la réindustrialisation, il faudra 100 000 ingénieurs et techniciens en plus par an d'ici à 2035. Mais la dynamique n'est pas là. Les écoles d'ingénieurs ne remplissent pas assez leurs classes car les métiers techniques sont dévalorisés.

Résumé liminaire :

Repenser la mobilité électrique légère

Le paradoxe carbone de la production automobile

Une analyse comparative révolutionnaire émerge de nos calculs scope 0-1-2-3-4 : la production de deux véhicules électriques neufs destinés à un usage de 20 ans et 300 000 km génère un impact carbone équivalent à la "non-production de carbone" d'un seul retrofit de véhicule à combustion interne. Cette compensation carbone s'explique par la valorisation du patrimoine automobile existant plutôt que par sa destruction prématurée.

L'avantage du scope 0 : valoriser l'existant

Le concept de "scope 0" révèle toute sa pertinence dans l'analyse du retrofit : le carbone déjà produit par la construction, l'entretien et l'utilisation d'un véhicule sur ses 20 premières années d'existence représente un investissement énergétique considérable. Comparé aux besoins miniers modernes nécessaires à la production de nouveaux véhicules électriques, le retrofit apparaît comme une stratégie de circularité économique et écologique.

L'efficacité énergétique intrinsèque des véhicules électriques

Les véhicules électriques démontrent une supériorité énergétique fondamentale face aux véhicules à combustion interne. Cette efficacité résulte de l'absence d'échappement et de radiateur de stabilisation thermique, auxquels s'ajoute le mode régénératif qui récupère l'énergie au freinage. Un véhicule électrique léger, conduit de manière responsable à vitesse modérée, maximise cette efficacité énergétique.

La valeur intrinsèque face à la spéculation

Ce livre propose un tour d'horizon des modèles de véhicules électriques en privilégiant leur valeur d'usage plutôt que leur prix, par essence spéculatif. L'analyse se concentre sur le rapport poids du véhicule par passager et conducteur, révélant les choix modernes dans des dimensions quasi-indépendantes d'efficacité énergétique et d'émissions carbone, adaptées à l'habitat humain dans un monde terrestre aux ressources finies.

Les enjeux géopolitiques des matières premières

La compréhension des chaînes d'approvisionnement s'avère cruciale : d'où proviennent les matières premières, où sont fabriquées les pièces, où retournent les bénéfices ? Dans un contexte européen, ces questions dessinent les contours d'une souveraineté industrielle et énergétique à reconquérir.

L'indépendance face aux lobbys : Un enjeu démocratique

L'assemblée nationale française et les institutions gouvernementales doivent garantir que la mobilité individuelle ne soit pas à la merci de lobbys à court terme. Le manque de soutien de Bpifrance pour le retrofit, notamment dans le cas Lormauto, illustre un conflit d'intérêt manifeste qui compromet l'innovation et la transition écologique.

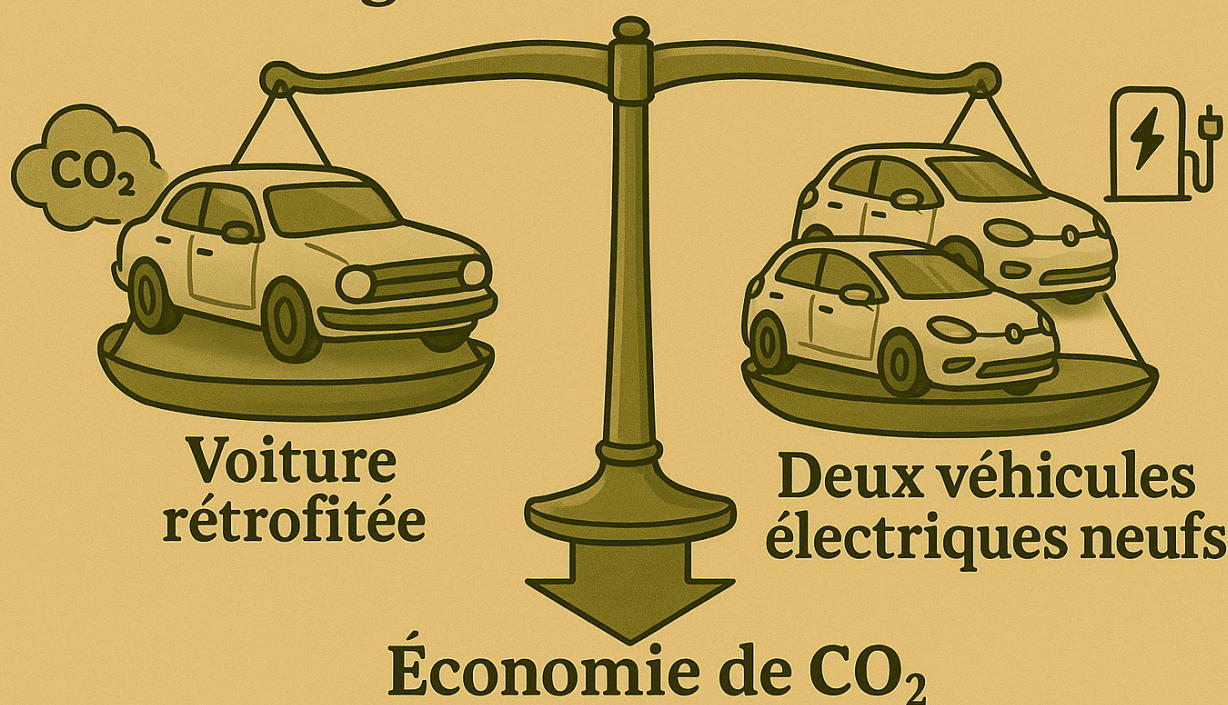
Vers une mobilité durable et démocratique

Cette introduction pose les fondements d'une réflexion approfondie sur la mobilité électrique légère, non comme une simple substitution technologique, mais comme une transformation systémique qui interroge nos modes de production, de consommation et de gouvernance collective.

.

« Une image vaut mieux que des longs discours, dit-on. »

COMPENSATION CARBONE SUR 20 A grâce au rétrofit



Explication de l'image :

Voici le rapport entre le CO₂ non produit (scope4) d'une auto à moteur à combustion que l'on décide de convertir à une motorisation électrique en 2025 en comparaison de celui produit par deux nouveaux véhicules électriques produits en Europe avec de l'électricité relativement bas carbone.

Réf. "ElectricityMap" <https://app.electricitymaps.com/map/72h/hourly>



Erratum et Appel aux Corrections

[1] Une Invitation à la Vigilance Collective

Ce livre, rédigé dans l'urgence de juin 2025 pour alerter sur la situation de Lormauto et les enjeux de la mobilité durable, a bénéficié de la collaboration précieuse des intelligences artificielles Claude, Grok et Perplexity. Cependant, comme tout ouvrage technique dense, il peut contenir des imprécisions ou des erreurs qu'un regard attentif permettrait de corriger.

[2] Corrections Déjà Identifiées

▪ Confusion Tricycle/Quadricycle

Erreur détectée : Dans les premières versions, une confusion s'est glissée entre les termes "tricycle" et "quadricycle" dans certaines descriptions techniques.

Correction :

Tricycle : Véhicule à 3 roues (exemple : Vigoz, Twike)

Quadricycle : Véhicule à 4 roues (exemple : Citroën Ami, Microlino)

Cette correction, signalée par un lecteur attentif, illustre parfaitement l'importance de la relecture collaborative.

[3] Évolutivité du Document

a. Versions Futures

Ce livre étant né de l'urgence, il a vocation à évoluer.

Les corrections significatives donneront lieu à :

- Des versions corrigées datées
- Un historique des modifications
- Des remerciements aux contributeurs

b. Domaines en Évolution Rapide

Certaines informations, par nature, évoluent rapidement :

Statuts des startups : Financements, liquidations, reprises

Disponibilité des modèles : Dates de commercialisation, arrêts de production

Réglementations : Évolutions des normes européennes

Prix : Fluctuations liées aux matières premières et aux politiques d'aide

[4] Philosophie de l'Erratum

a. L'Erreur Comme Opportunité

Dans l'esprit de ce livre prônant la collaboration et le partage de connaissances, chaque erreur détectée est une opportunité :

D'améliorer la précision technique

De renforcer la communauté des lecteurs engagés

De démontrer que la qualité naît de l'effort collectif

b. Transparence et Humilité

Reconnaître ses erreurs, c'est aussi montrer l'exemple d'une approche scientifique honnête, indispensable quand on traite d'enjeux aussi cruciaux que la transition énergétique.

[5] Remerciements Anticipés

Un grand merci par avance à tous les lecteurs qui prendront le temps de signaler les imprécisions qu'ils pourraient détecter. Votre vigilance contribue à faire de ce livre un outil plus fiable pour tous ceux qui s'intéressent à une mobilité durable et vertueuse.

Comme le disait Pierre Curie : "Il ne faut avoir aucun regret pour le passé, aucun remords pour le présent, et une confiance inébranlable pour l'avenir." Corrigeons ensemble les erreurs d'hier pour construire la mobilité de demain.

"Dans un monde fini, même nos erreurs doivent être durables... en étant rapidement corrigées !"

Table des Matières

1	Introduction : La valeur au cœur de la mobilité, pas le prix.....	12
1.1	L'urgence de 2025 : Quand l'innovation européenne cherche son souffle.....	12
1.2	Le rejet du prix comme critère principal.....	12
1.2.1	La course à la vitesse : Un paradoxe révélateur.....	12
1.3	Les critères de valeur : Au-delà du prix, la logique vertueuse.....	12
1.3.1	Initiation au bilan carbone (exemple du retrofit de véhicule Twingo).....	13
1.3.2	Comprendre l'empreinte carbone : Les Scopes 0-4 expliqués	13
1.3.3	Calcul carbone comparé véhicule retrofit vs. Neuf :.....	14
1.3.4	Relativité entre exemple de retrofit et véhicule électrique neuf.....	14
1.4	Diagramme des valeurs : Les 6 cercles de la mobilité vertueuse. (Fenn).....	15
1.4.1	Sécurité et coexistence : Une mobilité bienveillante	15
1.4.2	Durabilité : Prolonger et réutiliser.....	16
1.4.3	Efficacité énergétique : La physique ne ment pas.....	16
1.4.4	Accessibilité et simplicité : Le luxe de la frugalité	16
1.4.5	Souveraineté technologique : Soutenir l'innovation locale	16
1.5	Vers une mobilité de valeur	16
1.6	Vers une mobilité responsable à la hauteur de toutes les bourses.....	17
2	Optimisation de la conduite pour l'autonomie	18
3	Les formules mathématiques de la physique du mouvement d'un solide dans l'air	19
3.1	Formules d'accélération des véhicules électriques	20
3.1.1	Formule fondamentale de l'accélération.....	20
3.1.2	Composantes de la force nette.....	20
3.1.3	Expressions détaillées des forces	21
3.2	Formules pour maintenir une vitesse constante dans un véhicule électrique.....	23
3.2.1	Forces principales.....	23
3.2.2	Expressions mathématiques des forces	23
3.2.3	Condition pour une vitesse constante.....	24
3.2.4	Puissance requise	25
4	Formules pour le freinage régénératif et classique des véhicules électriques	26
4.1	Force de freinage régénératif	26
4.2	Freinage classique	27
4.3	Transition entre régénératif et classique	28
4.3.1	Exemple numérique	28
4.3.2	Remarque clé pour maîtriser le freinage régénératif pour une conduite efficace et moins endommager les batteries*	29
5	Effets d'un arrêt prolongé et des températures extrêmes sur les batteries des VE.....	30
5.1	Arrêt prolongé sans charge :	30
5.1.1	Batterie de service (12 V) :	30
5.1.2	Batterie de propulsion :	30

5.2	Effets des températures extrêmes.....	30
5.2.1	Froid extrême (< 0 °C) :.....	30
5.2.2	Chaleur extrême (> 45 °C) :.....	31
5.2.3	Recommandations des constructeurs	31
6	Choisir sa mobilité électrique en Europe 2025.....	32
6.1	Véhicules électriques européens	32
6.1.1	Renault Scenic E-Tech.....	32
6.1.2	Renault 4 E-Tech Electric	32
6.1.3	Renault 5 E-Tech Electric	33
6.1.4	Citroën ë-Jumpy	33
6.1.5	Peugeot e-208.....	33
6.1.6	Peugeot e-308.....	33
6.1.7	Twike 5.....	33
6.1.8	Volvo XC40 Recharge	33
6.1.9	Volvo C40 Recharge	33
6.1.10	Véhicules historiques européens	33
6.2	Véhicules exotiques : « Chevaux de Troie » géopolitiques	34
6.2.1	Zeekr	34
6.2.2	Polestar	34
6.2.3	Autres marques exotiques	34
6.3	Exception hybride - Koenigsegg Gemera - moteur « Dark Matter »	35
6.4	Tableau comparatif des valeurs clés	36
7	Regrets et opportunités manquées	37
7.1.1	Solutions de retrofit.....	37
7.1.2	General Motors EV1	38
7.1.3	Mia Electric.....	39
7.1.4	Smera Lumineo	39
7.1.5	Scarlet Volteis	39
7.1.6	Statut de la Citroën E-Méhari	39
8	Quadricycles et tricycles minimalistes électriques en Europe.....	40
8.1	Modèles Disponibles ou à Venir	40
8.1.1	Citroën Ami 	40
8.1.2	Renault Twizy 	40
8.1.3	Silence S04 	40
8.1.4	Birò 	40
8.1.5	Microlino 	40
8.1.6	XEV Yoyo 	41
8.1.7	Twike 3 	41
8.1.8	Eden (Méhari Club Cassis) 	41
8.1.9	E-Moke 	41

8.1.10	Méhari Électrique MCC 	41
8.1.11	Midipile 	41
8.1.12	Gazelle Tech 	41
8.1.13	City Transformer CT-1 	41
8.1.14	Mia2 (Fox Automotive) 	42
8.1.15	La Bagnole (Kilow) 	42
8.1.16	AEMotion 	42
8.1.17	FacteurDix Line 	42
8.1.18	Vigoz (Cixi) 	42
8.2	Conclusion.....	43
9	Points clés sur les technologies de mobilité a l'hydrogène	44
9.1	Introduction à la mobilité à hydrogène	44
9.1.1	« Véhicules Électriques à Pile à Combustible » (FCEV).....	44
9.1.2	« Véhicules à Moteur à Combustion Interne à Hydrogène » (HICEV)	45
9.2	Note plus détaillée sur les Véhicules utilisant l'hydrogène :	45
9.2.1	Contexte et définitions	45
9.2.2	« Véhicules Électriques à Pile à Combustible » (FCEV).....	45
9.2.3	« Véhicules à Moteur à Combustion Interne à Hydrogène » (HICEV)	46
9.3	Accès à l'hydrogène :	48
9.3.1	Hydrogène produit – hydrogène « Vert »	48
9.3.2	Hydrogène découvert et exploité – hydrogène « Blanc »	48
9.4	Points clés sur le stockage d'hydrogène.....	49
9.5	Difficultés de stockage de l'hydrogène gazeux	49
9.6	Alternatives plus simples	49
9.7	Note détaillée sur le stockage de l'hydrogène.....	49
9.7.1	Stockage sous haute pression :	50
9.7.2	Stockage cryogénique sous forme liquide :	50
10	Exemple de nouvelles technologies batteries	50
10.1	Principes technologiques.....	50
10.1.1	Électrodes avancées :	50
10.1.2	Intégration hybride :	51
10.2	Applications	51
10.2.1	Mobilité électrique :	51
10.2.2	Internet des objets (IoT) et électronique grand public,	51
10.2.3	Industrie, aéronautique et spatial :	51
10.2.4	Hydrogène et piles à combustible :	51
10.3	Avantages clés.....	51
10.3.1	Rapidité de charge/décharge :	51
10.3.2	Densité d'énergie accrue :	51
10.3.3	Durabilité et écoconception :	51

10.3.4	Polyvalence :	51
10.4	Développement industriel	51
10.5	Situation récente	52
11	Fiction – « La frontière électrique » :	53
11.1	Contexte de la fiction : Une Ukraine souveraine en 2030	53
11.2	Les protagonistes.....	54
11.2.1	Ivan, le chercheur visionnaire	54
11.2.2	Maria, l’entrepreneuse audacieuse	54
11.2.3	Dmitri, l’agriculteur résilient	54
11.2.4	Anna, la décideuse stratégique.....	54
11.2.5	Li Wei, l’ingénieur chinois	55
11.3	Équilibre économique et environnemental.....	55
11.4	Coopération internationale	56
11.4.1	Partenariat européen.....	56
11.4.2	Rôle des États-Unis	56
11.4.3	Implication chinoise	56
11.5	Défis et solutions.....	56
11.6	Une vision d’avenir	56
11.7	Tableau des contributions des personnages	56
11.8	Les régions contestées de l'Ukraine,	57
11.8.1	Ressources pour véhicules électriques	57
11.8.2	Ressources pour l'hydrogène.....	57
11.8.3	Contexte géopolitique	58
11.8.4	Dépendance européenne :	58
12	Véhicules anciens en état ou facilement réparables	59
12.1	Volumes estimés de véhicules anciens en état ou réparables envoyés à la Destruction	59
12.1.1	Données mondiales limitées mais significatives :	59
12.1.2	Proportion de véhicules réparables détruits :	59
12.1.3	Cas des véhicules électriques :	59
12.1.4	Facteurs contribuant à la destruction :	59
12.1.5	En résumé,.....	59
12.2	Empreinte carbone de la construction de base d’un véhicule	60
12.2.1	Véhicules thermiques :	60
12.2.2	Véhicules électriques :	60
12.2.3	Variations selon les pays :	60
12.2.4	En conclusion,	60
12.3	Références	61
13	L'Entretien régulier des véhicules	61
13.1	Introduction : Un monde fini et la mobilité durable	61
13.2	Les Embouteillages : un symptôme de l’irresponsabilité Collective – une véritable opportunité bas carbone à saisir	61

13.3	L'Échec d'Autolib : une leçon sur la nature humaine.....	62
13.4	L'Ubérisation : une fausse solution au bien commun.....	62
13.5	La maintenance des véhicules : un acte de responsabilité	63
13.6	Vers une culture de la responsabilité collective	63
13.7	Une voix pour les véhicules durables – l'appel à un humoriste célèbre	64
13.8	Conclusion : L'entretien comme pilier d'une mobilité durable	65
14	Promouvoir l'entretien à travers des réseaux solidaires spécifiques	66
14.1	Une diversité de véhicules à préserver malgré les décennies	66
14.2	Les Réseaux Solidaires : Une carte pour les relais de garages	66
14.3	Opportunités pour les garages spécialisés en VE.....	66
14.4	Vers une collaboration communautaire	66
14.5	Conclusion : Un avenir solidaire pour l'entretien	67
14.6	Exemple du réseau solidaire pour les amis des Xantias.....	67
15	L'urgence de juin 2025 : quand l'innovation française suffoque	68
16	Remerciements	71
17	Formule de physique	72
18	Ouvrages de référence principaux	72
19	Crédit photos	73
20	Distribution formelle	73
21	A paraître dans la série « Mon iceberg fond, mais je m'adapte » :	73

1 Introduction : La valeur au cœur de la mobilité, pas le prix

Dans l'Europe de 2025, choisir sa mobilité ne se résume pas à un chiffre sur une étiquette. Non, le prix – ce critère spéculatif, relatif, et finalement tributaire de la pauvreté désolante du portefeuille de chacun – ne guidera pas nos pas. Oublions ces âmes accrochées à leur calculatrice, ces égos gonflés qui mesurent leur valeur à la longueur de leur facture, ou ces esprits tournés vers le "qu'en-dira-t-on" des voisins. Ici, nous parlons de **valeur**, cette essence profonde que chaque option de mobilité peut offrir, mesurée non en euros, mais en impact, en sens, en bien-être.

1.1 L'urgence de 2025 : Quand l'innovation européenne cherche son souffle

Ce livre naît dans l'urgence de juin 2025, dans un contexte où l'innovation européenne, bien que brillante, peine à trouver ses financements. De Lormauto aux Pays-Bas à d'autres startups prometteuses, les exemples d'excellentes idées qui suffoquent faute de soutien se multiplient. Cette réalité illustre parfaitement notre propos : **la valeur d'une mobilité ne se mesure pas à son prix de vente, mais à sa capacité à répondre aux défis de notre époque.**

1.2 Le rejet du prix comme critère principal

1.2.1 La course à la vitesse : Un paradoxe révélateur

Commençons par la **course à la vitesse**, ce vieux rêve d'ego qui fait rugir les moteurs et frissonner les foules. Depuis "La Jamais Contente" en 1899, qui pulvérisa les 100 km/h, jusqu'aux Tesla dépassant les 400 km/h, cette quête semble irrésistible. Mais arrêtons-nous un instant : la physique du solide dans un fluide comme l'air impose des lois terre-à-terre, navrantes de persistance. Chaque jour, la science, avec une obstination presque comique, répète les mêmes résultats – **aller vite, c'est surtout gâcher de l'énergie.**

Pourtant, avouons-le, cette obsession a parfois porté ses fruits : elle a poussé les technologies d'efficacité motrice, affinant moteurs et aérodynamisme. Une valeur paradoxale, donc, où l'ego rencontre l'innovation. Le moteur « Dark Matter » de la Koenigsegg Gemera en est l'exemple parfait : 1 400 ch. combinés pour un hypercar qui peut rouler en silence électrique en ville.

1.3 Les critères de valeur : Au-delà du prix, la logique vertueuse

Pour choisir sa mobilité en 2025, nous devons **rendre le chien heureux pour qu'il remue la queue, plutôt que de tenter l'inverse**. Autrement dit : identifions d'abord les solutions les plus vertueuses, puis adaptons leur prix pour les rendre abordables, grâce aux économies d'échelle. Si une solution vertueuse est mal comprise, elle ne se vendra jamais.

Cette approche protège l'industrie française des importations chinoises vendues avec une monnaie dévaluée qui risque de saper nos emplois. Le retrofit devient un atout pour étaler dans le temps le besoin en VE futurs et éviter de forcer le "moins-disant" des VE neufs qui, lui, détruirait les emplois de nos constructeurs automobiles.

1.3.1 Initiation au bilan carbone (exemple du retrofit de véhicule Twingo)

Définition de chaque « scope » :

- **Scope 0** : Véhicule d'origine
(carbone émis à l'époque de la production assumé, ne dépend pas du choix de retrofit 2025)
- **Scope 1** : Fabrication et installation des nouveaux composants (direct)
- **Scope 2** : Usage énergétique (indirect)
- **Scope 3** : Fin de vie (lié)
- **Scope 4** : Émissions évitées (positif) dans le cas d'un retrofit

1.3.2 Comprendre l'empreinte carbone : Les Scopes 0-4 expliqués

1.3.2.1 Scope 0 : Émissions déjà émises (fabrication d'origine)

- **Définition** : CO₂ émis lors de la fabrication du véhicule d'origine
- **Exemple retrofit concret** : Twingo 820 kg fabriquée en 1990
- **Calcul détaillé** :
 - Acier (75%) : $820 \times 0,75 \times 3 \text{ kg CO}_2/\text{kg} = 1,85\text{t CO}_2$
 - Plastiques/autres (25%) : $0,5\text{t CO}_2$
 - Transport/assemblage : $0,3\text{t CO}_2$
 - **Total Scope 0 : 2,7t CO₂**
- **Particularité cruciale** : Ces émissions sont **déjà payées** en 1990. Notre choix 2025 ne peut plus les changer.

1.3.2.2 Scope 1 : Nouvelles émissions directes (fabrication nouveaux composants)

- **Définition** : CO₂ émis pour fabriquer les nouveaux équipements nécessaires
- **Pour un retrofit** : Batterie lithium + moteur électrique + installation = **2,5t CO₂**
- **Pour un VE neuf** : Fabrication complète du véhicule = **15t CO₂**

1.3.2.3 Scope 2 : Émissions indirectes (usage énergétique sur 20 ans)

- **Définition** : CO₂ émis pour produire l'électricité consommée pendant l'usage
- **Hypothèses de calcul** :
 - Usage : $15\,000 \text{ km/an} \times 20 \text{ ans} = 300\,000 \text{ km}$
 - Consommation retrofit électrifiée ou VE neuf : $15 \text{ kWh}/100\text{km}$
 - Consommation totale : $300\,000 \times 0,15 = 45\,000 \text{ kWh}$
- **Calcul final** : $45\,000 \text{ kWh} \times 30\text{g CO}_2/\text{kWh}$ (électricité française) = **1,35t CO₂**

1.3.2.4 Scope 3 : Émissions liées (fin de vie)

- **Définition** : CO₂ émis pour recycler et démanteler les composants en fin de vie
- **Calcul** : Transport vers centre de recyclage + processus de recyclage = **0,2t CO₂**
- **Note** : Scope généralement faible comparé aux autres

1.3.2.5 Scope 4 : Émissions évitées (impact positif)

- **Définition** : CO2 **non émis** grâce au retrait définitif du moteur thermique
- **Calcul des émissions évitées dans le cas du véhicule rétrofité** :
 - Consommation thermique évitée : 6L/100km × 300 000 km = 18 000L essence
 - Émissions évitées : 18 000L × 2,3 kg CO2/L = **-41t CO2**
- **Principe** : Le moteur thermique retiré ne polluera plus jamais

1.3.3 Calcul carbone comparé véhicule rétrofité vs. Neuf :

- Chaque scope avec son calcul explicite
- Bilan complet rétrofit : **-34,2t CO2 (scope01234)**
- Bilan complet VE neuf : **+16,6t CO2 (scope123)**
- **Avantage rétrofit : 50,8t CO2**

1.3.4 Relativité entre exemple de rétrofit et véhicule électrique neuf

Bilan carbone Twingo rétrofit (scopes 1+2+3+4) :

Scope 1 (nouveaux composants) : +2,5t CO2

Scope 2 (usage 20 ans) : +1,4t CO2

Scope 3 (fin de vie) : +0,2t CO2

Scope 4 (évité en sortant une auto thermique du parc-auto) : -41t CO2

Total scopes 1+2+3+4 : -36,9t CO2

Bilan carbone VE neuf (scopes 1+2+3) :

Scope 1 (fabrication complète) : +15t CO2

Scope 2 (usage 20 ans) : +1,4t CO2

Scope 3 (fin de vie) : +0,2t CO2

Total : +16,6t CO2

Calcul de compensation :

Économie nette par Twingo rétrofit : 36,9t CO2 "évité"
"contre"

Émissions d'un VE neuf : 16,6t CO2

Ratio de compensation : $36,9 \div 16,6 = 2,22$

Ainsi - Une Twingo rétrofitée compense les émissions de 2,22 VE neufs sur 20 ans

Autrement dit, pour 10 Twingo rétrofitées, on peut "se permettre" 22 VE neufs avec un bilan carbone neutre global.

Cette logique justifie l'approche d'étalement temporel : le rétrofit libère de la "capacité carbone" pour produire des VE neufs de manière plus vertueuse et moins précipitée.

1.4 Diagramme des valeurs : Les 6 cercles de la mobilité vertueuse. (Fenn)

Nos critères de choix s'articulent autour de **6 valeurs fondamentales** :

1. ⚖️ **Bilan carbone net** (émissions totales - émissions évitées « scope 01234 »)
2. 🛡️ **Sécurité et coexistence** (mobilité bienveillante)
3. ⚡ **Efficacité énergétique** (physique, légèreté)
4. ♻️ **Durabilité** (prolonger, réutiliser, recycler)
5. 🏠 **Souveraineté** (production locale, emplois européens)
6. 🎯 **Accessibilité** (simplicité d'usage, polyvalence)

Le choix optimal se trouve à l'intersection de ces 6 cercles. Le prix n'est qu'une conséquence : plus une solution cumule ces valeurs, plus elle mérite d'être soutenue par les économies d'échelle et les politiques publiques pour devenir abordable.

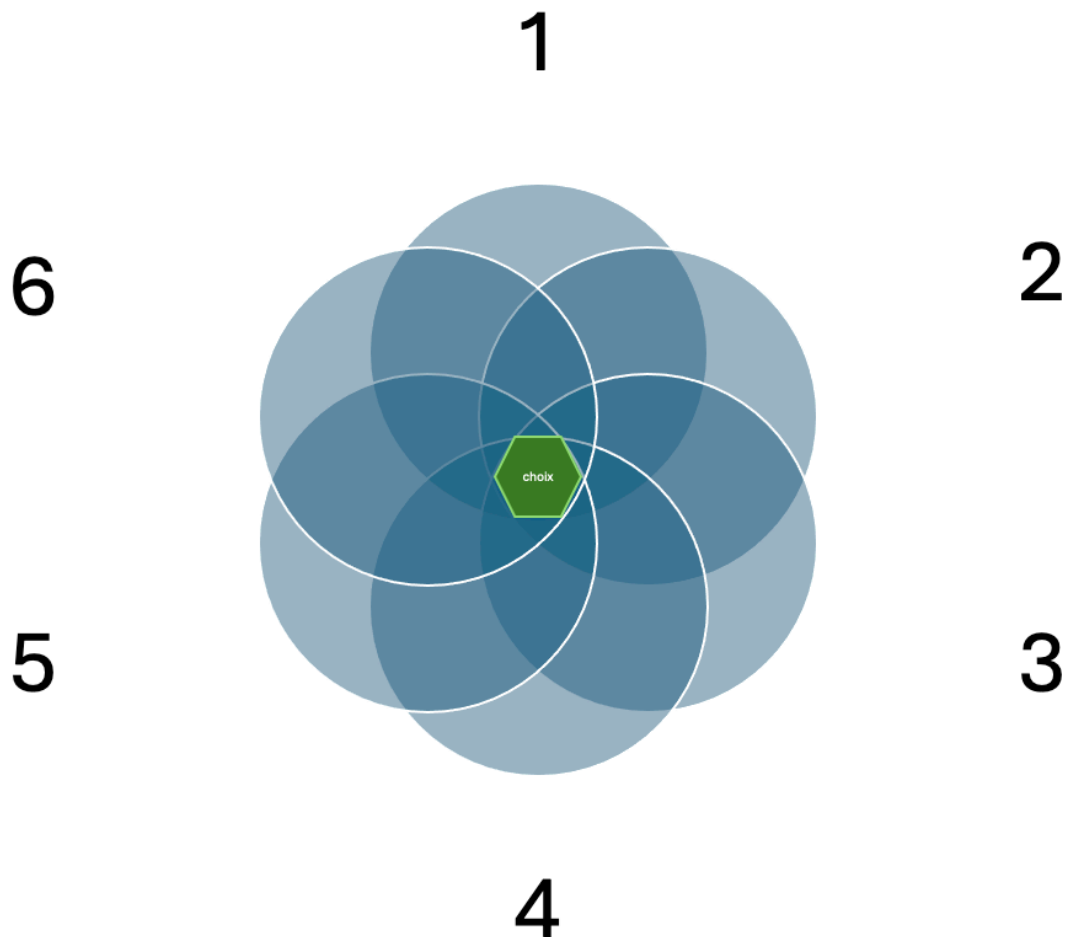


Diagramme de Fenn

1.4.1 Sécurité et coexistence : Une mobilité bienveillante

Sur nos réseaux routiers, régis par des règles et peuplés d'usagers divers, la vitesse cède la place à la considération. Une mobilité qui ne traumatise ni n'inquiète – piétons, cyclistes, conducteurs – mais les rassure face à leurs soucis possibles (pollution, bruit, accidents) a une **valeur immense**.

Les véhicules électriques, avec leur silence et leur absence de particules cancérogènes, incarnent cette bienveillance. Quand un Renault Scenic E-Tech Electric croise un cycliste, il n'y a ni bruit d'échappement, ni fumée noire, ni vibrations agressives. Juste une coexistence apaisée.

1.4.2 Durabilité : Prolonger et réutiliser

La durabilité est au cœur de la mobilité 2025. **Plutôt que de succomber à la tendance du neuf**, nettoyer et entretenir une voiture existante prolonge sa vie. Leetrofit transforme un véhicule thermique en électrique, émettant seulement **2-3 tonnes de CO2 contre 10-20 tonnes pour un VE neuf**.

Cette approche réduit l'extraction minière intensive. Comme l'explique Aurore Stéphant, une tonne de roche peut contenir seulement quelques kilogrammes de minerais utilisables. Chaque véhicule sauvé par le retrofit, c'est une victoire contre le gâchis, le réemploi direct d'un vestige du passé.

1.4.3 Efficacité énergétique : La physique ne ment pas

Un véhicule léger consomme moins d'énergie qu'un véhicule lourd, c'est une évidence physique implacable. **Plus un véhicule est léger, moins il faut d'énergie pour l'accélérer, le faire rouler, et le freiner**. Cette réalité explique pourquoi un Twike 5 (600 kg) parcourt 500 km avec une petite batterie, tandis qu'un SUV électrique de 2,5 tonnes consomme bien davantage pour la même distance.

Pour les lecteurs curieux des détails techniques, les formules physiques sont développées au chapitre 7.

1.4.4 Accessibilité et simplicité : Le luxe de la frugalité

La simplicité d'un véhicule léger et efficace surpasse souvent les gadgets ostentatoires. Une Twingo électrifiée offre 100 km d'autonomie, largement suffisants pour 80% des trajets quotidiens. Ses sièges rabattables permettent même de créer un petit camping-car électrique.

1.4.5 Souveraineté technologique : Soutenir l'innovation locale

Valorisons la production européenne face aux importations massives. Investir dans nos technologies, c'est préserver nos emplois, nos compétences, notre indépendance. C'est refuser que l'innovation née ici soit bradée ailleurs.

1.5 Vers une mobilité de valeur

Alors, rions de ceux qui s'accrochent au prix, et tournons-nous vers une mobilité qui enrichit nos vies et celles des autres. Ce livre se veut un guide pratique pour une Europe 2025 plus sage, mais aussi **plus urgente que jamais**.

Face aux crises climatiques, énergétiques et géopolitiques, nous n'avons plus le luxe de l'attentisme. Les solutions existent – des hypercars hybrides suédois aux quadricycles français, des innovations néerlandaises aux projets de retrofit citoyens. Ce livre cartographie un écosystème de mobilité riche, diversifié, mais fragile. Un écosystème que nous devons protéger et nourrir collectivement.

La valeur d'une mobilité ne se mesure pas à son prix d'achat, mais à sa capacité à nous projeter vers un avenir désirable.

1.6 Vers une mobilité responsable à la hauteur de toutes les bourses

Le marché des véhicules électriques, construit par des organisations responsables de la transition énergétique, est idéal, idéalement complété par un retrofit durable, qui prolonge les véhicules existants.

Nettoyer et entretenir nos autos, rouler moins en voiture, privilégier les déplacements nécessaires, considérer si possible de se déplacer à pied, à vélo ou en train sont des décisions citoyennes modernes.

Le retrofit, en économisant du carbone, s'inscrit dans un monde aux ressources finies, évitant le minage intensif, le plus intéressant pour les petits budgets c'est de résister aux modes et de s'adapter.

2 Optimisation de la conduite pour l'autonomie

Pratiques recommandables pour les conducteurs qui tiennent à aller loin sans trop recharger. Les formules mettront en évidence plusieurs points clés pour optimiser l'autonomie d'un VE :

- **Éviter les accélérations brusques :**

Une forte accélération draine rapidement la batterie, surtout à basse vitesse.

- **Minimiser la vitesse :**

La traînée augmente avec le carré de la vitesse, donc rouler à des vitesses modérées (80-100 km/h) économise de l'énergie.

- **Optimiser l'aérodynamisme :**

Choisir un véhicule avec un faible trainée donc éviter les accessoires qui augmentent la traînée (comme les barres de toit).

- **Éviter d'accélérer en montée :**

En côte, la force de gravité s'additionne aux forces de roulement à plat, ce qui augmente la consommation. Il est préférable de maintenir une vitesse constante ou de laisser le véhicule ralentir légèrement.

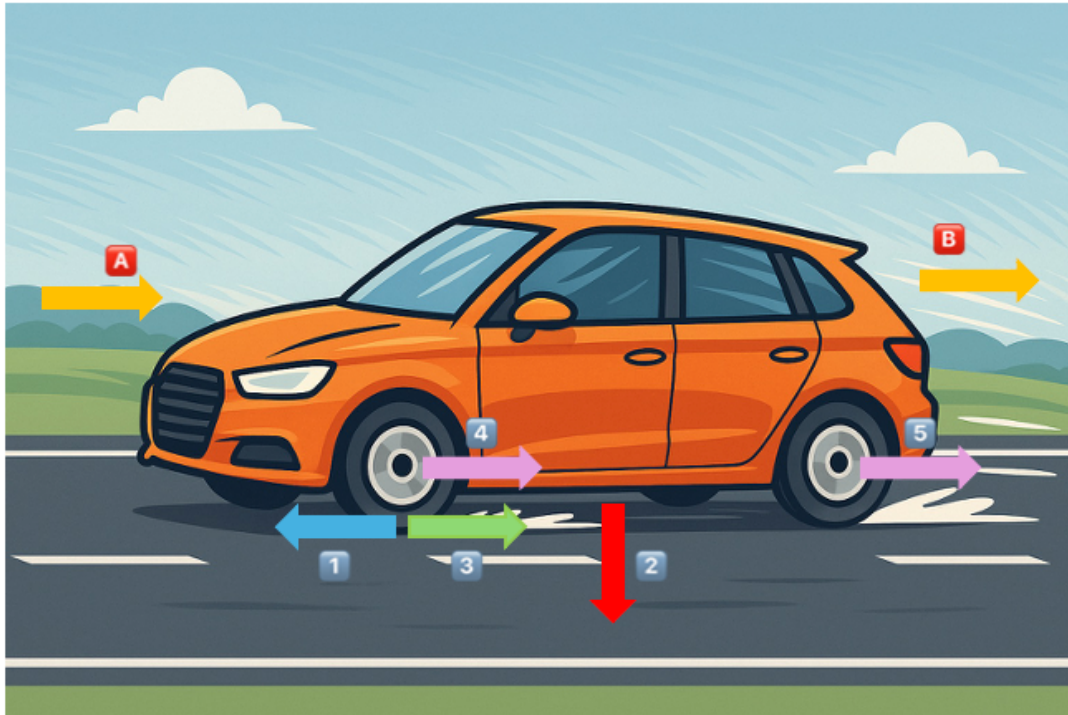
- **Utiliser le freinage régénératif en descente :**

En descente, le freinage régénératif permet de récupérer une partie de l'énergie gravitationnelle, mais avec des pertes du système dont la batterie qui stocke l'énergie sous forme chimique en générale, qui sera déjà chaude et chauffera encore plus.

(Efficacité $\eta \approx 0,6-0,8$, soit 60-80%, parfois seulement 30%).

3 Les formules mathématiques de la physique du mouvement d'un solide dans l'air

Pour certain les formules de physique seront utiles pour mieux de représenter les contraintes physiques qui modèrent tout particulièrement les véhicules électriques qui n'embarque pas la même quantité d'énergie qu'un véhicule à l'énergie fossile en 2025, quoique ce soit déjà 5 à 10 fois plus que certains véhicules des premières technologies de batteries.



“A” Coefficient de pénétration dans l'air
“B” Coefficient d'extraction de l'air
“1” Force motrice
“2” Masse du véhicule

“3” Force réactive de la route
“4” Force de friction minimale du train avant
“5” Force de friction minimale du train arrière

Les coefficients A (pénétration) et B (extraction) sont des composantes conceptuelles du C_x global, qui, combiné à la surface frontale, détermine la traînée aérodynamique (F_{drag}).

La masse (2) est cruciale pour comprendre comment la force motrice (1) se traduit en accélération, via la force réactive de la route (3).

Les résistances des trains avant (4) et arrière (5) s'ajoutent aux autres forces opposantes (roulement et aérodynamique), réduisant la force nette disponible pour accélérer.

Ces interactions montrent comment chaque élément du schéma s'intègre dans les formules physiques pour expliquer le comportement dynamique du véhicule

3.1 Formules d'accélération des véhicules électriques

3.1.1 Formule fondamentale de l'accélération

L'accélération a d'un véhicule électrique est donnée par la deuxième loi de Newton :

$$a = \frac{F_{net}}{m}$$

Formule 1: Formule fondamentale de l'accélération : $a = F_{net} / m$ - Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687, Principia Loi II : changement de mouvement proportionnel à la force motrice).

où :

- a : accélération [m/s²],
- F_{net} : force nette [N],
- m : masse du véhicule [kg].

3.1.2 Composantes de la force nette

La force nette F_{net} est la somme des forces agissant sur le véhicule :

$$F_{net} = F_{prop} - F_{traîne} - F_{roul} - F_{grav}$$

Formule 2: Composantes de la force nette : $F_{net} = F_{prop} - F_{traîne} - F_{roul} - F_{grav}$ - Application de Newton (1687), formulations véhicule modernes au 19e siècle. Basé sur la somme des forces de Newton. Les applications à véhicules émergent au 19e siècle avec l'ère ferroviaire (ex. travaux de Stephenson en 1829 sur locomotives), étendues aux automobiles par Daimler/Benz vers 1885-1900.

où :

- F_{prop} : force de propulsion [N],
- $F_{traîne}$: force de traînée aérodynamique [N],
- F_{roul} : force de résistance au roulement [N],
- F_{grav} : force gravitationnelle sur pente [N].

3.1.3 Expressions détaillées des forces

a. Force de traînée aérodynamique

$$F_{\text{traîne}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2$$

Formule 3: Expressions détaillées des forces (a. Force de traînée aérodynamique) : $F_{\text{traîne}} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2$ - Newton (1687) pour dépendance quadratique, forme moderne avec C_d par Lord Rayleigh (fin 19e siècle). Newton posa la dépendance en v^2 dans Principia (Livre II, Prop. 39). Rayleigh contribua à la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes raffinées, 1879), mais C_d est formalisé par Prandtl en 1904 et raffiné par l'aéronautique post-1900.

où :

- ρ : densité de l'air [kg/m^3],
- C_d : coefficient de traînée,
- A : surface frontale [m^2],
- v : vitesse [m/s].

b. Force de résistance au roulement

$$F_{\text{roul}} = C_r \cdot m \cdot g$$

Formule 4: Expressions détaillées des forces (b. Force de résistance au roulement) : $F_{\text{roul}} = C_r m g$ - Charles-Augustin de Coulomb, il étudia la friction dans Théorie des machines simples (1785).

où :

- C_r : coefficient de résistance au roulement,
- g : accélération gravitationnelle [$9,81 \text{ m/s}^2$].

c. Force gravitationnelle sur pente

$$F_{\text{grav}} = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Formule 5: Expressions détaillées des forces (c. Force gravitationnelle sur pente) : $F_{\text{grav}} = m g \sin(\theta)$ - Galileo Galilei, Two New Sciences (1638). Il analysa le mouvement sur plans inclinés dans Discorsi e Dimostrazioni Matematiche (1638), décomposant la gravité en composantes parallèles/perpendiculaires.

où :

- θ : angle de la pente [radians].

Sur une surface plane ($\theta=0$), $F_{\text{grav}} = 0$

d. Formule complète de l'accélération

Sur une surface plane :

$$a = \frac{F_{prop} - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 - C_r \cdot m \cdot g}{m}$$

Formule 6: Expressions détaillées des forces (d. Formule complète de l'accélération sur surface plane) : $a = (F_{prop} - 1/2 \rho C_d A v^2 - C_r m g) / m$ - Synthèse moderne popularisée au 20e siècle par Gillespie (1992), basée sur Newton (1687).

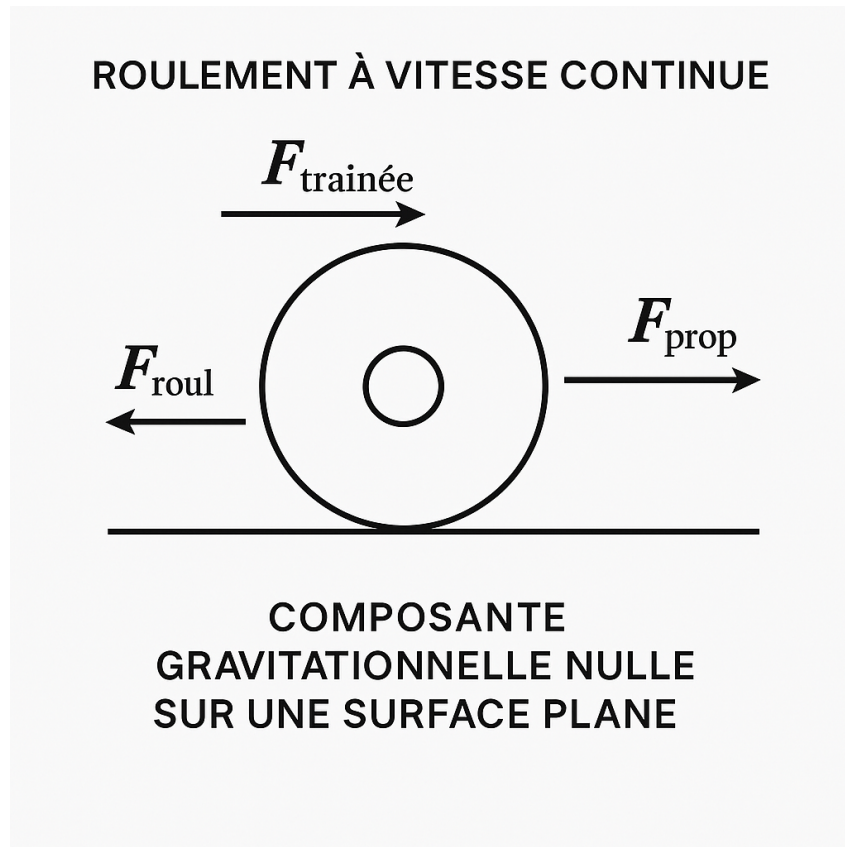
Sur une pente :

$$a = \frac{F_{prop} - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 - C_r \cdot m \cdot g - m \cdot g \cdot \sin(\theta)}{m}$$

Formule 7: Expressions détaillées des forces (d. Formule complète de l'accélération sur pente) : $a = (F_{prop} - 1/2 \rho C_d A v^2 - C_r m g - m g \sin(\theta)) / m$ - Synthèse moderne (20e siècle) basée sur Newton (1687).

3.2 Formules pour maintenir une vitesse constante dans un véhicule électrique

Pour maintenir une vitesse constante dans un véhicule électrique (VE), la force propulsive doit exactement compenser les forces de résistance. Cela signifie que la force nette agissant sur le véhicule est nulle.



3.2.1 Forces principales

Les principales forces de résistance sont :

- a. *La traînée aérodynamique*
- b. *La résistance au roulement*
- c. *La composante gravitationnelle (si le véhicule est sur une pente)*

3.2.2 Expressions mathématiques des forces

- a. *Traînée aérodynamique*

$$F_{\text{traîne}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2$$

Formule 8: Expressions détaillées des forces (a. Force de traînée aérodynamique) : $F_{\text{traîne}} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2$ - Newton (1687) pour dépendance quadratique, forme moderne avec C_d par Lord Rayleigh (fin 19e siècle).

où :

- ρ : densité de l'air [kg/m³],
- C_d : coefficient de traînée,
- A : surface frontale [m²],
- v : vitesse [m/s].

b. Résistance au roulement

$$F_{\text{roul}} = C_r \cdot m \cdot g$$

Formule 9: Charles-Augustin de Coulomb (1785)

où :

- C_r : coefficient de résistance au roulement,
- g : accélération gravitationnelle [9,81m/s²].

c. Composante gravitationnelle sur une pente

$$F_{\text{grav}} = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Formule 10: $F_{\text{grav}} = m g \sin(\theta)$ - Galileo Galilei (1638)

où :

- θ : angle de la pente [radians].

Sur une surface plane ($\theta=0$), $F_{\text{grav}} = 0$

3.2.3 Condition pour une vitesse constante

Pour maintenir une vitesse constante, la force propulsive F_{prop} doit être égale à la somme des forces de résistance :

$$F_{\text{prop}} = F_{\text{traîne}} + F_{\text{roul}} + F_{\text{grav}}$$

Formule 11: $F_{\text{prop}} = F_{\text{traîne}} + F_{\text{roul}} + F_{\text{grav}}$ - Synthèse moderne (20e siècle), basée sur équilibre des forces de Newton (1687)

a. Sur une surface plane

$$F_{prop} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 - C_r \cdot m \cdot g$$

Formule 12: $F_{prop} = 1/2 \rho C_d A v^2 + C_r m g$ -Standard en ingénierie automobile (Gillespie, 1992)

b. Sur une pente

$$F_{prop} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 + C_r \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Formule 13: $F_{prop} = 1/2 \rho C_d A v^2 + C_r m g + m g \sin(\theta)$ - Synthèse moderne

3.2.4 Puissance requise

La puissance P nécessaire pour maintenir la vitesse constante est donnée par :

$$P = F_{prop} \cdot v$$

Formule 14: $P = F_{prop} v$ - James Watt (1784, définition de la puissance), appliqué à véhicules au 19e siècle. $P = \text{force} \times \text{vitesse}$, formalisé par Watt pour les machines à vapeur.

4 Formules pour le freinage régénératif et classique des véhicules électriques

Le freinage d'un véhicule électrique (VE) combine le freinage régénératif, qui convertit l'énergie cinétique en énergie électrique pour recharger la batterie, et le freinage classique (friction), qui intervient lorsque la pédale de frein est fortement enfoncée. Cette section détaille les formules pour le freinage régénératif et la transition vers le freinage classique.

Le freinage régénératif utilise le moteur électrique comme générateur pour ralentir le véhicule et récupérer l'énergie.

4.1 Force de freinage régénératif

a. Force de freinage régénératif

La force de freinage régénératif F_{regen} dépend de la capacité du moteur à convertir l'énergie cinétique :

$$F_{\text{regen}} = \eta_{\text{motor}} \cdot P_{\text{max}} / v$$

Formule 15: $F_{\text{regen}} = \eta_{\text{motor}} P_{\text{max}} / v$ - Moderne (fin 20e siècle), régénération EV (ex. Toyota Prius 1997).
Dérivé d'efficacité motrice en mode générateur.

où :

- η_{motor} : rendement du moteur en mode générateur (typiquement 0,8 à 0,9),
- P_{max} : puissance maximale du moteur en régénération [W],
- V : vitesse du véhicule [m/s].

b. Énergie récupérée

L'énergie récupérée E_{recup} pendant le freinage sur une distance d est :

$$E_{\text{recup}} = \eta_{\text{total}} \cdot F_{\text{regen}} \cdot d$$

Formule 16: $E_{\text{recup}} = \eta_{\text{total}} F_{\text{regen}} d$ - Moderne (20e siècle), thermodynamique appliquée à EV.
Travail = force $\times$ distance, avec rendement

où :

- η_{total} : rendement global du système (moteur, onduleur, batterie, typiquement 0,6 à 0,8],
- d : distance de freinage [m].

En termes de temps t , avec une vitesse constante pendant le freinage :

$$E_{\text{recup}} = \eta_{\text{total}} \cdot P_{\text{regen}} \cdot t$$

Formule 17: $E_{\text{recup}} = \eta_{\text{total}} P_{\text{regen}} t$ - Moderne (20e siècle), thermodynamique appliquée à EV.

où :

- $P_{\text{regen}} = F_{\text{regen}} \cdot V$

c. Décélération due au freinage régénératif

La décélération a_{regen} est donnée par :

$$a_{\text{regen}} = - \frac{F_{\text{regen}}}{m}$$

Formule 18: $a_{\text{regen}} = - F_{\text{regen}} / m$ - Newton (1687)

où :

- m : masse du véhicule [kg].

4.2 Freinage classique

Lorsque la pédale de frein est fortement enfoncée, le freinage régénératif atteint sa limite (due à la capacité de la batterie ou du moteur), et le freinage classique (friction) prend le relais.

a. Force de freinage classique

La force de freinage classique F_{classic} dépend du coefficient de friction des plaquettes de frein :

$$F_{\text{classic}} = \mu \cdot N$$

Formule 19: $F_{\text{classic}} = \mu N$ - Coulomb (1785). « Friction sèche »

où :

- μ : coefficient de friction des freins (typiquement 0,4 à 0,6),
- N : force normale, $N = m \cdot g \cdot \cos(\theta)$ sur une pente,
ou $N = m \cdot g$ sur surface plane,
- g : accélération gravitationnelle [9,81 m/s²],
- θ : angle de la pente [radians].

b. Décélération totale

La décélération totale a_{total} combine les contributions régénérative et classique (selon les constructeur VE):

$$a_{\text{total}} = - \frac{F_{\text{regen}} + F_{\text{classic}}}{m}$$

Formule 20: $a_{\text{total}} = - (F_{\text{regen}} + F_{\text{classic}}) / m$ - Newton (1687)

4.3 Transition entre régénératif et classique

- a. • *Freinage souple & léger par régénératif en levant le pied de l'accélérateur sur les VE (selon les constructeurs) :*

Seule la régénération est active ($F_{\text{classic}} = 0$).

$$(F_{\text{regen}} = \eta_{\text{motor}} \cdot P_{\text{max}} / v)$$

- b. • *Freinage fort :*

Lorsque F_{regen} atteint sa limite (déterminée par le BMS ou la capacité du moteur), F_{classic} s'ajoute pour fournir la décélération demandée.

4.3.1 Exemple numérique

Pour un VE de 1500 kg roulant à 20 m/s (72 km/h), avec $\eta_{\text{total}} = 0,7$, $P_{\text{max}} = 50 \text{ kW}$, $\mu = 0,5$ sur surface plane ($\theta = 0$) :

- $F_{\text{regen}} = 0,9 \cdot \frac{50\,000}{20} \approx 2\,250 \text{ N}$
- $a_{\text{regen}} = - \frac{2\,250}{1\,500} \approx -1,5 \text{ m/s}^2$

Si la pédale de frein est fortement enfoncée le moteur et les étriers de freins « classiques » freinent relativement ensemble (en théorie selon les fabricant),

- $N = 1\,500 \cdot 9,81 \approx 14\,715 \text{ N}$
- $F_{\text{classic}} = 0,5 \cdot 14\,715 \approx 7\,357,5 \text{ N}$
- $A_{\text{total}} = - \frac{2\,250 + 7\,357,5}{1\,500} \approx -6,4 \text{ m/s}^2$

Soit sur 50 m,

- $E_{\text{recup}} = 0,7 \cdot 2250 \cdot 50 \approx 78\,750 \text{ J} \approx 21,9 \text{ Wh}$ « seulement »

4.3.2 Remarque clé pour maîtriser le freinage régénératif pour une conduite efficace et moins endommager les batteries*

(* car les batteries lithium-ion encore très chimiquement fragile)

En pratique : Lorsque le freinage est anticipé avec l'habitude du frein régénérateur, il n'est souvent pas nécessaire d'appliquer les freins classiques. Le système de régénération récupère près de 60-80% de l'énergie (selon l'efficacité et la surchauffe du système cette récupération peut s'effondrer à moins de 30%), énergie qui ne part pas en chaleur ni en usure des plaquettes et disques.

Une conduite plus souple en VE permet donc de réduire remarquablement l'usure des freins et probablement celle des pneus (moins sollicités par un régénératif plus progressif), même sur une auto relativement plus lourde, en plus de l'économie d'énergie tout aussi remarquable.

En ville et en forte descente, l'apprentissage du freinage régénératif développe une habitude précieuse qui économise les freins mécaniques. Cette pratique permet également d'adapter sa distance de sécurité, en restant plus loin des véhicules suivis pour adoucir sa conduite vers l'efficacité.

L'étape suivante consiste à parfois "débrayer" le frein régénératif pour profiter de l'intérêt énergétique du "roulage sur erre" - comme en navigation maritime - en utilisant simplement la résistance au roulement et aérodynamique naturelle du véhicule. Cette technique rappelle l'usage du frein moteur sur échappement des anciens camions militaires (Berliet à la belle époque) pour éviter la surchauffe des freins mécaniques.

Sur les véhicules électriques, cette pratique subtile évite de faire chauffer la batterie et le système électrique, qui perdrait en efficacité, tout en évitant de gaspiller l'énergie acquise par freinage mécanique. Le frein régénératif ne remet pas 100% de l'énergie développée dans la batterie. Sur des pentes de 3-4%, selon le profil aérodynamique et la résistance au roulement du VE, l'inertie du véhicule et la gravité permettent de maintenir une vitesse constante sans intervention.

Cette approche permet d'économiser les mini-cycles batterie dus au « régén. » (frein régénératif) qui, sinon, freine trop pour accélérer ensuite. Une habitude de sensibilité fine de la pédale d'accélérateur sur les VE donnera des résultats augmentant l'autonomie par efficacité - "moins de « régén. », plus d'efficience".

5 Effets d'un arrêt prolongé et des températures extrêmes sur les batteries des VE

Les batteries des véhicules électriques, qu'il s'agisse de la batterie de service (12 V, alimentant les systèmes électroniques) ou de la batterie de propulsion (haute tension, pour le moteur), sont sensibles à un arrêt prolongé sans charge et aux températures extrêmes.

Voici pourquoi et comment les usagers doivent s'informer auprès des constructeurs.

5.1 Arrêt prolongé sans charge :

5.1.1 Batterie de service (12 V) :

Même à l'arrêt, les systèmes électroniques (alarme, horloge, mode sentinelle comme sur Tesla) consomment de l'énergie. Sans recharge, la batterie de service peut se décharger complètement, empêchant le démarrage du véhicule ou l'activation du système de gestion de la batterie de propulsion (BMS¹). Une décharge profonde peut réduire sa durée de vie.

5.1.2 Batterie de propulsion :

La batterie lithium-ion subit une autodécharge passive (environ 1-2 % par mois) à l'arrêt. Si elle reste longtemps à un faible niveau de charge (< 20 %), des réactions chimiques internes, comme la formation de dendrites, peuvent dégrader les cellules, réduisant la capacité et l'autonomie.

Pourquoi ? Les batteries lithium-ion nécessitent un niveau de charge minimal pour maintenir la stabilité chimique. Le BMS peut consommer de l'énergie pour réguler la température ou équilibrer les cellules, même à l'arrêt, ce qui accélère la décharge si le véhicule n'est pas branché.

5.2 Effets des températures extrêmes

5.2.1 Froid extrême (< 0 °C) :

5.2.1.1 Batterie de service :

À -18 °C, une batterie 12 V peut perdre jusqu'à 50 % de sa puissance, rendant le démarrage difficile.

5.2.1.2 Batterie de propulsion :

Les réactions chimiques ralentissent, réduisant la mobilité des ions Li⁺ dans l'électrolyte. Cela entraîne une perte d'autonomie de 20-30 % et une recharge plus lente (le BMS limite la puissance pour éviter le dépôt de lithium). Le chauffage de l'habitacle consomme 2-4 kW (résistance) ou 0.5-1 kW (pompe à chaleur), réduisant encore l'autonomie.

5.2.1.3 Exemple :

À 0 °C, une batterie peut perdre 1 km d'autonomie par heure à l'arrêt si garée dehors.

¹ « Battery Management System », la gestion embarquée de la batterie de propulsion d'un véhicule de traction électrique

5.2.2 Chaleur extrême (> 45 °C) :

5.2.2.1 Batterie de service :

Les températures élevées accélèrent l'usure chimique, réduisant la capacité à long terme.

5.2.2.2 Batterie de propulsion :

Au-delà de 45 °C, les réactions chimiques s'accroissent, provoquant une dégradation des cellules (jusqu'à 5-15 % de perte d'autonomie à 35 °C). Une surchauffe (> 70 °C) peut causer des dommages irréversibles ou, dans de rares cas, un emballement thermique. La climatisation consomme 1-2 kW/100 km, réduisant l'autonomie de 5-10 km.

5.2.2.3 Exemple :

Une recharge rapide en pleine canicule peut être limitée par le BMS pour protéger la batterie, prolongeant le temps de charge.

5.2.3 Recommandations des constructeurs

5.2.3.1 Arrêt prolongé :

- Garder la batterie de propulsion chargée à 50-80 % et brancher le véhicule pour permettre au BMS de maintenir la température et la charge.
- Recharger la batterie de service tous les 1-2 mois si le véhicule est inutilisé.
- Consulter le manuel du constructeur pour des instructions spécifiques (ex. : Tesla recommande de laisser le véhicule branché, même sans recharge active).

5.2.3.2 Froid extrême :

- Stationner dans un garage ou utiliser une couverture pour protéger la batterie.
- Préchauffer l'habitacle et la batterie (via une application ou 30 min avant le départ) pendant la recharge pour utiliser l'énergie du réseau.
- Maintenir une charge minimale de 20 % pour le démarrage.
- Utiliser des sièges/volants chauffants (moins énergivores).

5.2.3.3 Chaleur extrême :

- Stationner à l'ombre ou dans un garage pour éviter la surchauffe.
- Recharger aux heures fraîches (matin/soir) pour optimiser la performance.
- Vérifier le système de refroidissement (liquide ou air) via un professionnel.
- Éviter les charges rapides répétées par forte chaleur (ex. : Nissan Leaf limite les charges rapides si la batterie est trop chaude).



6 Choisir sa mobilité électrique en Europe 2025

En 2025, choisir un véhicule électrique (VE) en Europe nécessite une évaluation basée sur des critères de durabilité, de performance et de contexte géopolitique. Ce chapitre regroupe les informations sur les VE européens, les VE exotiques sous influence étrangère, et les opportunités manquées, notamment dans le domaine du retrofit. Chaque véhicule est présenté une fois avant d'être résumé dans un tableau comparatif basé sur six critères de valeur : autonomie, espace, capacité de remorquage, poids par siège, sécurité et empreinte carbone.

6.1 Véhicules électriques européens

Les VE produits en Europe, notamment dans des pays à faible intensité carbone comme la France (50-60 gCO₂/kWh) et la Suède (20-30 gCO₂/kWh), sont privilégiés pour leur faible impact carbone tout au long de leur cycle et la durabilité. Sans chercher à présenter une liste exhaustive voici quelques modèles qui permettront de faire des comparaisons de valeurs.

6.1.1 Renault Scenic E-Tech

Fabriqué à Douai, en France, avec une électricité majoritairement nucléaire, le Renault Scenic E-Tech est un monospace familial. Il offre une autonomie de 625 km (WLTP), une capacité de remorquage de 1500 kg, et un poids de 2000 kg (286 kg par siège pour 7 places). Avec 5 étoiles Euro NCAP, il combine sécurité, confort et une faible empreinte carbone grâce à une production optimisée. Son prix d'environ 40 000 € le rend accessible ([Renault Scenic](#)).

6.1.2 Renault 4 E-Tech Electric

Le SUV urbain électrique qui réinvente l'iconique 4L, produit à Douai avec deux motorisations (120ch/300km et 150ch/400km), livraisons été 2025.

6.1.3 Renault 5 E-Tech Electric

Élue Voiture de l'Année 2025, la citadine électrique iconique assemblée à Douai avec batteries françaises, deux configurations disponibles.

6.1.4 Citroën ë-Jumpy

Le fourgon électrique professionnel assemblé pour Stellantis par l'usine Toyota, disponible en deux tailles et deux batteries (50kWh/224km et 75kWh/350km).

6.1.5 Peugeot e-208

La citadine électrique la plus vendue en France, avec améliorations 2025 portant l'autonomie à 433km pour la version 156ch.

6.1.6 Peugeot e-308

La berline compacte électrique disponible aussi en version SW (break).

6.1.7 Twike 5

L'innovation allemande révolutionnaire : tricycle électrique ultraléger avec assistance musculaire, efficacité exceptionnelle (0,5L/100km équivalent), livraisons Q2 2026.

6.1.8 Volvo XC40 Recharge

Produite à Torslanda, en Suède, avec une électricité hydroélectrique et nucléaire, le Volvo XC40 Recharge offre une autonomie de 438 km (WLTP), une capacité de remorquage de 1500 kg, et un poids de 2050 kg (433 kg par siège pour 5 places). Leader en sécurité avec 5 étoiles Euro NCAP, il propose un design scandinave et des finitions premium. Son empreinte carbone est basse, mais son propriétaire, Geely, une entreprise chinoise, soulève des questions géopolitiques. Prix : environ 55 000 € ([Volvo XC40](#)).

6.1.9 Volvo C40 Recharge

Également fabriqué en Suède, le Volvo C40 Recharge est une version « coupé » du XC40, avec une autonomie de 478 km (environ 297 miles WLTP). Il partage les mêmes caractéristiques de sécurité et de confort, mais son design réduit légèrement l'espace arrière. Comme le XC40, il est sous l'égide de Geely, ce qui nuance son identité européenne. Prix de départ : environ 53 600 € ([Volvo C40](#)).

6.1.10 Véhicules historiques européens

- **Citroën AX Électrique** : Lancée en 1995, cette pionnière des VE européens avait un moteur de 20 kW, une vitesse maximale de 91 km/h, et une autonomie urbaine de 75 km. Principalement utilisée par les administrations, elle a marqué les débuts de l'électromobilité ([Citroën AX](#)).
- **Peugeot 106 Électrique** : Produite de 1995 à 2003, elle partageait des composants avec l'AX Électrique, offrant 20 kW, 91 km/h, et 100 km d'autonomie. Elle était populaire auprès des entreprises publiques françaises ([Peugeot 106](#)).

6.2 Véhicules exotiques : « Chevaux de Troie » géopolitiques

Certains VE, bien qu'attrayants, sont sous contrôle d'entreprises chinoises, ce qui pose des défis stratégiques pour l'Europe en raison de la dépendance aux batteries et aux minerais critiques.

6.2.1 Zeekr

Zeekr, une marque premium de Geely, cible le marché européen avec des modèles comme le Zeekr 001, X, et 7X. Le Zeekr 001 offre environ 600 km d'autonomie et des technologies avancées. Basés sur la plateforme SEA, ces véhicules combinent design et connectivité, mais leur propriété chinoise alimente les préoccupations sur l'autonomie stratégique européenne ([Zeekr](#)).

6.2.2 Polestar

Également sous Geely, Polestar propose des VE performants comme le Polestar 2 (autonomie de 406-533 km, puissance de 220-350 kW), le Polestar 3 (SUV de luxe), et le Polestar 4 (SUV coupé). Ces modèles séduisent par leur design et leur technologie, mais leur lien avec la Chine soulève des questions similaires à celles de Zeekr ([Polestar](#)).

6.2.3 Autres marques exotiques

- **MG** : Propriété de SAIC Motor, une entreprise d'État chinoise, MG propose des VE abordables mais contribue à la dépendance européenne.
- **Smart** : Désormais sous Geely, Smart produit des VE compacts avec une influence chinoise croissante.
- **Volvo** : Bien que suédois, Volvo est contrôlé par Geely, ce qui place ses VE dans cette catégorie.

Ces marques, bien qu'innovantes, risquent de compromettre l'indépendance européenne en renforçant la domination chinoise sur les chaînes d'approvisionnement.



6.3 Exception hybride - Koenigsegg Gemera - moteur « Dark Matter »

La **Koenigsegg Gemera**, un hypercar hybride à quatre places, redéfinit les standards de la performance et de la durabilité.

Son moteur **Dark Matter**, un chef-d'œuvre électrique à six phases, combine une densité de puissance exceptionnelle (1 400 ch. combinés) et une efficacité énergétique remarquable. Léger (600 kg) et compact, il permet une accélération de 0 à 100 km/h en moins de 2 secondes et une vitesse maximale dépassant 400 km/h. En mode électrique pur, il offre une conduite silencieuse et sans émissions pour les trajets urbains, tandis que son moteur thermique « Tiny Friendly Giant » (TFG) prend le relais pour les performances extrêmes.

Koenigsegg va plus loin en produisant des générateurs électriques à faible émission de carbone, renforçant son engagement écologique. La Gemera, bien que rare et coûteuse, est le choix idéal pour ceux qui veulent impressionner – voisins, amis ou toute personne méritant une leçon d'humilité – tout en soutenant la transition énergétique.

Comparée aux lourdes Tesla (ex. : Model S Plaid, 2 200 kg), la Gemera est plus agile et polyvalente, incarnant une mobilité de luxe durable.

Une excellente raison technique de s'endetter.

6.4 Tableau comparatif des valeurs clés

Véhicule	Bilan Carbone "Scope01234"	Autonomie Min.	Poids par Siège	Souveraineté Européenne	Prix du véhicule normalisé par siège
	(t. CO2)	(Km)	(Kg/siège)	(% approx.)	(€/siège)
Koenigsegg Gemera (hybride)	~30	950/50	~463	~80%	250,000
Twike 5	~6	500	~250	~80%	25,000
Zeekr (001)	~25	600	~440	0%	12,000
Citroën AX Électrique	~10	75	~200	~90%	11,250
Peugeot 106 Électrique	~10	100	~225	~90%	11,250
Volvo XC40 Recharge	~20	438	430	~50%	11,000
Volvo C40 Recharge	~20	478	~430	~50%	10,720
Polestar (2)	~22	406	~400	0%	10,000
Peugeot e-308	~14	~400	~320	~80%	8,518
Lynk&Co 01 (hybride)	~25	500/70	~380	0%	8,000
Renault Scenic E- Tech	~15	430	383	~80%	7,898
Citroën ë-Jumpy (50kWh)	~18	224	~333	~70%	7,500
Peugeot e-208	~12	433	291	~80%	6,820
Smart #1	~20	~400	~360	0%	6,000
Renault 4 E-Tech Electric	~12	300	~310	~80%	6,000
MG4	~18	~400	~330	0%	5,998
Renault 5 E-Tech Electric	~10	~400	~363	~80%	4,798

"~" : estimé

7 Regrets et opportunités manquées

Malgré les progrès dans les VE, certaines initiatives prometteuses n'ont pas reçu le soutien nécessaire, freinant la transition vers une mobilité durable.

7.1.1 Solutions de rétrofit

Le rétrofit, qui consiste à convertir des véhicules thermiques en électriques, économise 2-3 tonnes de CO2 par rapport à la production d'un VE neuf (10-20 tonnes). Cependant, ces solutions peinent à s'imposer.

a. *TransitionOne* :

Cette entreprise visait à offrir des rétrofits rapides et abordables pour plusieurs modèles de voitures urbaines européennes récentes. Malgré son potentiel et son intention de convertir un million de véhicules par an à cadence et tarif industriel, elle a fait faillite en raison d'un manque de financement et de compréhension publique de ses avantages environnementaux.

b. *Lormauto Twingo* :

Spécialisée dans la conversion des Renault Twingo, Lormauto proposait des VE à 12 500 € avec 100 km d'autonomie. Liquidée en mai 2025, le public tente d'obtenir une révision du refus d'investissement pour un redémarrage.



Ces initiatives, bien que des puits de carbone, souffrent d'un déficit de reconnaissance, contrairement aux nouveaux VE qui dominent le marché pourtant dans un monde aux ressources finies et malgré l'urgence climatique.

7.1.2 General Motors EV1

Produit de 1996 à 1999, le GM EV1 était un VE pionnier avec des technologies comme le freinage régénératif et l'allumage sans clé. Avec une autonomie de 130-190 km et une puissance de 100-137 kW, il a marqué l'histoire des VE. Cependant, GM a arrêté sa production et détruit la plupart des véhicules, une décision critiquée comme une opportunité manquée de dominer le marché des VE ([GM EV1](#)).



7.1.3 Mia Electric

Lancée en 2011 par Mia Electric à Cerizay, France, la Mia était une « microcar » électrique conçue pour un usage urbain. Dotée d'un moteur de 9,7 kW (13 ch.) et d'une batterie LFP de 8 ou 12 kWh, elle offrait une autonomie de 90-150 km et une vitesse maximale de 100 km/h. Avec un design compact (2,87-3,19 m) et des coûts d'exploitation bas, elle ciblait les flutistes et collectivités. Cependant, des prix élevés (20 000-25 000 €), un manque de raffinement et une concurrence croissante ont conduit à l'arrêt de la production en 2013, suivi d'une liquidation judiciaire en 2014. Tentative de reprise : En 2022, Fox e-mobility AG a annoncé la Mia Electric 2.0, un MPV compact de 41 ch. avec 225 km d'autonomie pour 16 700 €. Malgré des promesses, le projet reste au stade conceptuel en 2025, sans production confirmée, freiné par un manque d'investissements.

7.1.4 Smera Lumineo

Présentée en 2008 par Lumineo, la Smera était un véhicule électrique biplace ultraléger (450 kg) destiné à la mobilité urbaine. Avec un moteur de 30 kW (40 ch.) et une batterie lithium-ion offrant 100-150 km d'autonomie, elle promettait agilité et efficacité. Cependant, son prix élevé (~20 000 €) et un marché immature pour les VE ont empêché sa commercialisation à grande échelle. Lumineo a cessé ses activités vers 2012, faute de financement et d'intérêt public.

7.1.5 Scarlet Volteis

Produit par Volteis à partir de 2010, le Scarlet était un quadricycle électrique léger (350-450 kg) pour un usage urbain ou récréatif. Avec un moteur de 4-8 kW et une autonomie de 50-100 km, il ciblait les collectivités et les zones à faible vitesse. Son prix (~15 000 €) et ses performances limitées (vitesse max 45 km/h) l'ont rendu peu compétitif face aux VE conventionnels. Volteis a disparu vers 2015, victime d'un marché dominé par des modèles plus polyvalents.

7.1.6 Statut de la Citroën E-Méhari

La **Citroën E-Méhari** , développée avec Bolloré, n'est plus produite depuis 2019. Ce quadricycle lourd (L7e) offrait une autonomie de 200 km. Des alternatives existent avec l'**Eden** de Méhari Club Cassis et le **Méhari Électrique MCC** pour les amateurs du style iconique.

8 Quadricycles et tricycles minimalistes électriques en Europe

En 2025, les quadricycles et tricycles électriques minimalistes gagnent du terrain en Europe, offrant une alternative durable pour la mobilité urbaine. Ces petits véhicules électriques, classés comme quadricycles légers (L6e) ou lourds (L7e), ou parfois importés, répondent à un besoin de déplacements courts et écologiques. Voici une synthèse des modèles disponibles en commande ou à venir.

8.1 Modèles Disponibles ou à Venir

8.1.1 Citroën Ami

- **Description** : Quadricycle léger (L6e), vitesse max. 45 km/h, autonomie 75 km.
- **Statut** : En production Exclusivement à l'usine Stellantis de Kénitra, Maroc, disponible en Europe.
- **Particularités** : Compact, accessible dès 14 ans (France), idéal pour la ville.
- **Déclinaisons Stellantis** :
 - **Opel Rocks-e** (Allemagne) 
 - **Fiat Topolino** (Italie) 

8.1.2 Renault Twizy

- **Description** : Quadricycle léger (L6e) ou lourd (L7e), vitesse max. 45 ou 80 km/h.
- **Statut** : Production arrêtée en 2023, remplacé par le **Mobilize Duo**.
- **Particularités** : Design futuriste, pionnier des quadricycles électriques.

8.1.3 Silence S04

- **Description** : Quadricycle léger (L6e), vitesse max. 45 km/h, autonomie 149 km.
- **Statut** : En production, disponible en Europe.
- **Particularités** : Batterie amovible, pensé pour l'urbain.

8.1.4 Birò

- **Description** : Quadricycle léger (L6e), vitesse max. 45 km/h, autonomie 100 km.
- **Statut** : En production, disponible en Europe.
- **Particularités** : Ultra-compact (1,80 m), rechargeable à domicile.

8.1.5 Microlino

- **Description** : Quadricycle lourd (L7e), vitesse max. 90 km/h, autonomie 91-230 km.
- **Statut** : En production, disponible en Europe.
- **Particularités** : Look rétro (inspiré de l'Isetta), châssis sécurisé, conçu en Suisse et fabriqué en Italie.

8.1.6 XEV Yoyo

- **Description** : Quadricycle lourd (L7e), vitesse max. 80 km/h, autonomie 150 km.
- **Statut** : En production, disponible en Europe.
- **Particularités** : Batterie LFP modulaire remplaçable, moteur arrière, startup italienne/fabrication chinoise.

8.1.7 Twike 3

- **Description** : Tricycle hybride (L5e), vitesse max. 85 km/h, autonomie variable.
- **Statut** : Encore produit à la demande, possibilité d'acquisition d'occasion remis à neuf.
- **Particularités** : Pédalage + électrique, configuration "delta" (1 roue avant, 2 arrière).

8.1.8 Eden (Méhari Club Cassis)

- **Description** : Quadricycle rétro (L7e), vitesse max. 90 km/h, autonomie 100-140 km.
- **Statut** : Disponible en série limitée depuis 2017.
- **Particularités** : Inspiré de la Méhari, style nostalgique, fabrication française artisanale.

8.1.9 E-Moke

- **Description** : Quadricycle léger (L6e), vitesse max. 45 km/h, autonomie 100 km.
- **Statut** : En production, disponible en Europe.
- **Particularités** : Revival électrique de la Mini Moke, style britannique iconique.

8.1.10 Méhari Électrique MCC

- **Description** : Quadricycle lourd (L7e), vitesse max. 90 km/h, autonomie 120 km.
- **Statut** : Disponible sur commande.
- **Particularités** : Conversion électrique de Méhari d'origine, respect de l'esthétique vintage.

8.1.11 Midipile

- **Description** : Quadricycle utilitaire (L6e), charge 300 kg, autonomie 100 km.
- **Statut** : En prototypage, livraisons prévues pour 2026.
- **Particularités** : Logistique urbaine, disponible en location.

8.1.12 Gazelle Tech

- **Description** : Voiture légère (900 kg), autonomie 180 km.
- **Statut** : Commercialisation prévue en 2025, livraisons 2025-2026.
- **Particularités** : Matériaux composites, production locale.

8.1.13 City Transformer CT-1

- **Description** : Quadricycle pliable (L7e), vitesse max. 90 km/h, autonomie 200 km.
- **Statut** : Commercialisation prévue 2024-2025.
- **Particularités** : Châssis rétractable de 1,4m à 1m de largeur, révolutionnaire pour le stationnement.

8.1.14 Mia2 (Fox Automotive)

- **Description** : Microcar (L6e), autonomie prévue 225 km.
- **Statut** : Projet en suspens, pas de production confirmée.
- **Particularités** : "Reverse trike" (2 roues avant, 1 arrière), société allemande, avenir incertain.

8.1.15 La Bagnole (Kilow)

- **Description** : Quadricycle léger (L6e), vitesse max. 45 km/h, autonomie 80 km.
- **Statut** : En développement, prototype présenté.
- **Particularités** : Ultra-léger, design épuré minimaliste, production artisanale prévue, philosophie "moins c'est mieux".

8.1.16 AEMotion

- **Description** : Quadricycle léger (L6e), vitesse max. 45 km/h, autonomie 100 km.
- **Statut** : En développement, commercialisation prévue 2025-2026.
- **Particularités** : Design moderne français, focus sur l'efficacité énergétique.

8.1.17 FacteurDix Line

- **Description** : Quadricycle électrique L5e ultra-efficace (4 kWh/100 km), autonomie 400 km, 2 places côte à côte.
- **Statut** : Démonstrateur 2025, première série 2027, démocratisation prévue 2030.
- **Particularités** : Design aérodynamique goutte d'eau, fabrication normande, record d'efficacité énergétique visé.

8.1.18 Vigoz (Cixi)

- **Description** : Tricycle électrique hybride à propulsion humaine-électrique, vitesse max. 120 km/h, autonomie 160 km, homologation L5.
- **Statut** : En développement avancé, production prévue à Poisy (Haute-Savoie). Il existe un prototype fonctionnel ayant démontré les 100km/h sur circuit en pédalant, et un prototype "esthétique" démontrant le design, les volumes, l'ergonomie de conduite
- **Particularités** : Pédaalier électronique PERS sans chaîne avec technologie haptique modulable.
 - + Train avant mécatronique auto-inclinable
 - ++ Location sur abonnement mensuel uniquement
- **Positionnement usage** : Véhicule du quotidien capable d'autoroute ponctuelle, non conçu pour les longues distances. Recharge en standard sur prise de « Type 2 », et en 6h chez vous (13A).
- **Philosophie** : Réintégrer l'activité physique dans les déplacements quotidiens (30 min/jour recommandées), mobilité active premium avec fabrication 100% française, cycle de vie 15 ans minimum.

8.2 Conclusion

Ces petits modèles électriques révèlent plusieurs tendances majeures pour la mobilité urbaine européenne de 2025. D'un côté, les modèles disponibles comme les déclinaisons Stellantis (Citroën Ami, Opel Rocks-e, Fiat Topolino), le Silence S04 ou le Microlino démocratisent l'accès aux quadricycles électriques. De l'autre, une nouvelle génération émerge avec des innovations remarquables : l'ultra-efficacité énergétique du FacteurDix Line (4 kWh/100 km), la révolution du stationnement avec le City Transformer pliable, ou l'intégration fine de l'activité physique avec le tricycle Vigoz hybride minimaliste à pédalage électronique qui donne l'accès ponctuel aux routes rapides car il est capable de faire des pointes à cent kilomètres par heure dans l'esprit superbement fiabilisé de la « Jamais Contente » de 1899.

Cette évolution témoigne d'un passage du "quadricycle basique" vers des véhicules légers ultra-spécialisés : utilitaires urbains (Midipile), machines d'efficacité record (FacteurDix), ou une confirmation de l'usage routier réconciliant sport et transport qui inclut des passages par les voies rapides (Vigoz). La production reste majoritairement européenne, avec une forte représentation française (AEMotion, La Bagnole, FacteurDix, Vigoz), signe d'un écosystème d'innovation local dynamique, complété par des solutions internationales ciblées.

Ce marché en pleine mutation promet de transformer la mobilité urbaine en proposant des alternatives créatives aux voitures traditionnelles, chaque modèle répondant à un usage spécifique plutôt qu'à une approche universelle.

9 Points clés sur les technologies de mobilité à l'hydrogène

Ce chapitre étant relativement dense, sa structure sera particulièrement progressive plutôt général et devenant détaillé « par étage » de chapitres successifs

- Les FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles), comme la Toyota Mirai, offrent une autonomie de 650 km et un ravitaillement rapide, mais leur coût reste élevé. Ce sont en fait des véhicules à propulsion électrique qui embarque relativement peu de batteries mais aussi un carburant (Hydrogène noté « H2 »). Ainsi ce sont des véhicules capables d'avoir aussi un freinage relativement régénératif.
- La Riversimple Rasa, un FCEV léger, atteint 480 km d'autonomie, mais son adoption dépend de l'infrastructure. C'est en revanche une version radicalement légère et profilée pour obtenir un excellent rendement. Des modèles sont en circulation toutefois encore considéré comme simple présérie.
- Les HICEV (Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle), comme ceux développés par Kia et Hyundai, sont encore expérimentaux, avec des défis liés aux émissions de NOx. Ce sont des véhicules à combustion interne qui consomment principalement de l'hydrogène, ils ont un radiateur pour évacuer l'excédent de chaleur, donc moins d'efficacité que les « FCEV »
- IFP Énergies nouvelles travaille sur l'hydrogène et les moteurs diesel, soutenant la transition énergétique. Ce serait une option de retrofit des véhicules existant en HICEV.

9.1 Introduction à la mobilité à hydrogène

En 2025, les véhicules à hydrogène se divisent en deux catégories principales : les Véhicules Électriques à Pile à Combustible (FCEV), qui utilisent une pile à combustible pour générer de l'électricité, et les Véhicules à Moteur à Combustion Interne à Hydrogène (HICEV), qui brûlent l'hydrogène directement. Ces technologies offrent des solutions zéro émission, mais elles présentent des défis distincts.

Nous examinerons d'abord les FCEV, puis les HICEV, en incluant des exemples comme la Riversimple Rasa (à suivre) et le travail d'IFP Energies nouvelles.

9.1.1 « Véhicules Électriques à Pile à Combustible » (FCEV)

Les FCEV, comme la Toyota Mirai, utilisent une pile à combustible pour convertir l'hydrogène en électricité, alimentant un moteur électrique. Cela produit uniquement de l'eau, rendant ces véhicules zéro émission à l'échappement.

- *Performances :*

Une autonomie de 650 km et un ravitaillement en 3-5 minutes, comparable aux voitures à essence.

- *Modèles disponibles :*

Toyota Mirai, Hyundai Nexo, Honda CR-V.

- *Défis :*

Coût élevé des piles à combustible et infrastructure de ravitaillement limitée, surtout en dehors de régions comme la Californie.

9.1.2 « Véhicules à Moteur à Combustion Interne à Hydrogène » (HICEV)

Les HICEV utilisent un moteur à combustion interne traditionnel, mais avec de l'hydrogène. Ils sont encore expérimentaux en 2025, avec des développements par Kia, Hyundai et Volvo.

- *Avantages :*

Utilisation de l'infrastructure existante, temps de ravitaillement rapide, portée similaire aux diesel.

- *Défis :*

Production d'oxydes d'azote (NOx), production d'hydrogène complexe.

- *Exemples :*

Kia et Hyundai prévoient des modèles pour 2025, Volvo teste des camions en 2026.

9.2 Note plus détaillée sur les Véhicules utilisant l'hydrogène :

Analyse technique des véhicules à hydrogène en 2025 En 2025, les véhicules à hydrogène représentent une alternative prometteuse aux véhicules à essence et diesel, avec deux approches principales : les Véhicules Électriques à Pile à Combustible (FCEV) et les Véhicules à Moteur à Combustion Interne à Hydrogène (HICEV).

Cette analyse technique explore l'état de l'art de ces technologies, en incluant des exemples spécifiques comme la Riversimple Rasa et le travail d'IFP Energies nouvelles, tout en tenant compte des enjeux scientifiques, environnementaux et géopolitiques.

9.2.1 Contexte et définitions

Les FCEV utilisent une pile à combustible pour convertir l'hydrogène en électricité via une réaction électrochimique, alimentant un moteur électrique. Ce processus ne produit que de l'eau, rendant ces véhicules zéro émission à l'échappement.

Les HICEV, en revanche, brûlent l'hydrogène dans un moteur à combustion interne, similaire aux moteurs à essence, mais sans émissions de CO₂, bien que des oxydes d'azote (NOx) puissent être produits. Cette distinction est cruciale, car les FCEV sont souvent considérés comme des véhicules électriques "cachés", tandis que les HICEV sont des adaptations des moteurs traditionnels.

9.2.2 « Véhicules Électriques à Pile à Combustible » (FCEV)

En 2025, les FCEV sont une technologie mature, avec plusieurs modèles disponibles sur le marché. Selon IDTechEx - Fuel Cell Electric Vehicles 2025-2045, le marché mondial des FCEV devrait dépasser 90 milliards de dollars d'ici 2045, bien que l'intérêt pour les voitures particulières ait diminué ces dernières

années en raison de l'infrastructure limitée et de la concurrence des véhicules électriques à batterie (BEV).
Performances et caractéristiques

9.2.2.1 Autonomie et ravitaillement :

Les FCEV comme la Toyota Mirai offrent une autonomie de 650 km et un temps de ravitaillement de 3-5 minutes, comparable aux voitures à essence. La Honda CR-V e:FCEV, lancée en 2025, combine une pile à combustible avec une batterie, offrant 29 miles de portée électrique et 241 miles via la pile, disponible uniquement en Californie pour la location (Car and Driver - Hydrogen Fuel-Cell Vehicles).

9.2.2.2 Technologie :

Les piles à combustible utilisent des membranes échangeuses de protons (PEM) pour générer de l'électricité, avec des rendements de 50-60 %. Les avancées incluent des matériaux plus durables et des systèmes de gestion thermique améliorés.

9.2.2.3 Modèles notables :

Outre la Mirai et la Nexa, des concepts comme le BMW iX5 Hydrogen (401 ch, 300 miles de portée) sont en développement, bien que non encore en production (Topspeed - Upcoming Hydrogen Cars).

9.2.2.4 Défis

- Coût : Les piles à combustible restent coûteuses, avec des prix estimés à 10 000-15 000 € par véhicule, contre 5 000-8 000 € pour une batterie BEV.

9.2.2.5 Infrastructure :

L'infrastructure de ravitaillement en hydrogène est limitée, avec seulement 13 stations au Royaume-Uni en 2020, bien que des efforts soient faits pour l'étendre (Riversimple - Wikipedia). En 2025, des régions comme la Californie ont des stations, mais les voyages inter-états restent difficiles (Carexamer - Hydrogen Cars in 2025).

9.2.2.6 Exemple spécifique :

La Riversimple de Rasa, un FCEV britannique, illustre une approche innovante. Avec un poids de seulement 580 kg, elle utilise une pile à combustible de 8,5 kW et des supercondensateurs pour une autonomie de 480 km sur 1,5 kg d'hydrogène (Riversimple - RASA Unveiled). Son design léger réduit les besoins en énergie, et Riversimple propose un modèle d'abonnement couvrant tous les coûts, facilitant l'adoption. En 2025, le premier prototype de production a été dévoilé, marquant une étape vers la commercialisation (Riversimple - Home).

9.2.3 « Véhicules à Moteur à Combustion Interne à Hydrogène » (HICEV)

Les HICEV sont des adaptations des moteurs à combustion interne traditionnels pour brûler de l'hydrogène, éliminant les émissions de CO₂ mais potentiellement produisant des NO_x.

En 2025, ils sont encore expérimentaux, avec des applications principalement dans les véhicules commerciaux.

a. État de l'art

Kia et Hyundai collaborent pour développer des moteurs HICEV d'ici 2025, avec des applications dans les voitures particulières (CarbonClick - Hydrogen Engine Technologies). Volvo prévoit des tests de camions HICEV en 2026, visant des performances similaires aux diesel avec des émissions réduites (Popular Mechanics - Korea's New Hydrogen Combustion Engine).

- Avantages :

Les HICEV peuvent utiliser l'infrastructure existante des moteurs à combustion interne, réduisant les coûts de reconversion. Ils offrent des temps de ravitaillement rapides et une portée élevée, idéale pour les camions lourds.

- Défis :

La combustion de l'hydrogène produit des NOx, bien que dans des quantités moindres que les moteurs diesel. La production d'hydrogène reste un défi, et les coûts d'adaptation des moteurs sont élevés. Exemples notables

Hyundai Doosan Infracore (HDI) :

Prévoit de produire des moteurs HICEV de 300 kW d'ici 2025, pour des camions et équipements de construction, répondant aux normes Euro 7 (Hydrogen Fuel News - Hydrogen Engines Hyundai).

- Mazda :

A développé des moteurs Wankel à hydrogène, exploitant la simplicité de cette technologie pour réduire les coûts de production (Wikipedia - Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle).

Perspectives Selon IDTechEx

« Hydrogen Internal Combustion Engines » 2025-2045, le marché des HICEV pourrait atteindre 7 milliards de dollars d'ici 2045, avec des applications dans les camions lourds et les machines non routières, où les BEV et FCEV sont moins adaptés.

3. Travail d'IFP Energies nouvelles sur l'hydrogène et les moteurs diesel IFP Energies nouvelles (IFPEN), un institut de recherche français, joue un rôle clé dans la transition énergétique, avec des recherches sur l'hydrogène et les moteurs diesel. Recherche sur l'hydrogène

- Production : IFPEN développe des technologies pour produire de l'hydrogène à partir de sources renouvelables, comme l'électrolyse alimentée par l'éolien et le solaire (IFPEN - Hydrogène).

- Stockage et transport : Ils étudient les risques de fuites et la durabilité des matériaux pour le stockage souterrain et le transport, crucial pour le déploiement de l'hydrogène.

- Utilisations : Leur travail inclut l'utilisation de l'hydrogène dans les transports et les industries, visant à décarboner ces secteurs.

- Formation : IFP School, associée à IFPEN, offre des MOOCs et des programmes sur l'hydrogène, formant des ingénieurs pour répondre aux besoins émergents (IFP School - MOOCs sur l'hydrogène). Évolution des moteurs diesel En parallèle, IFPEN travaille sur l'amélioration des moteurs diesel, avec un focus sur :
 - Efficacité énergétique : Utilisation de simulations pour optimiser les moteurs, réduisant les temps de développement (IFPEN - Motorisations thermiques).
 - Réduction des émissions : Études sur les émissions réelles (RDE) pour les véhicules Euro6d-Temp, montrant une conformité aux normes (IFPEN - Émissions essence et diesel).
 - Carburants alternatifs : Recherche sur les biocarburants et les e-fuels pour réduire

l'impact environnemental. Tableau comparatif des technologies Critère FCEV HICEV Émissions à l'échappement Zéro (eau uniquement) Zéro CO₂, mais NO_x possible Autonomie 400-650 km (ex. Mirai) Similaire aux diesel (300-500 km) Temps de ravitaillement 3-5 minutes 3-5 minutes Coût Élevé (pile à combustible) Moins élevé, mais adaptation Infrastructure En développement Utilise stations H₂ existantes Exemples Toyota Mirai, Riversimple Rasa Projets Kia, Volvo, Mazda Conclusion En 2025, les FCEV sont une technologie mature pour les véhicules zéro émission, avec des modèles disponibles et une infrastructure en développement. Les HICEV, bien que prometteurs pour certaines applications, sont encore en phase de développement et font face à des défis liés aux émissions et à la production d'hydrogène. Le travail d'IFPEN sur l'hydrogène et les moteurs diesel montre un engagement fort envers la transition énergétique, offrant des solutions complémentaires pour une mobilité durable.

9.3 Accès à l'hydrogène :

9.3.1 Hydrogène produit – hydrogène « Vert »

La majorité de l'hydrogène est encore produit à partir de combustibles fossiles, ce qui limite les bénéfices environnementaux.

L'hydrogène vert, produit par électrolyse avec des énergies renouvelables, est en développement, mais coûteux.

9.3.2 Hydrogène découvert et exploité – hydrogène « Blanc »

Les réserves d'hydrogène blanc, récemment révélées en France (gisement de Moselle estimé à 46 Mt, soit la moitié de la production mondiale annuelle d'hydrogène gris), suscitent un immense espoir pour la transition énergétique grâce à leur potentiel auto-régénératif et leur pureté élevée.

Cependant, leur exploitation industrielle présente plusieurs défis majeurs :

la localisation précise des gisements reste difficile, car l'hydrogène ne se trouve pas dans les mêmes contextes que les hydrocarbures classiques et n'est pas détectable en surface. L'extraction profonde nécessite des technologies coûteuses et complexes, notamment pour la séparation et la purification, et soulève des enjeux environnementaux (risques pour les nappes phréatiques, fuites de gaz, impact sur les écosystèmes).

Enfin, la filière doit encore prouver sa rentabilité et son intégration rapide dans le mix énergétique mondial, alors que moins de 5% des projets ont atteint le stade de l'investissement final.

9.4 Points clés sur le stockage d'hydrogène

- Les recherches montrent que stocker l'hydrogène sous forme gazeuse est difficile en raison de sa faible densité, nécessitant des pressions élevées ou des températures très basses, avec des préoccupations sur la sécurité et l'efficacité énergétique.
- Il semble probable que des alternatives comme l'ammoniac et le Powerpaste soient plus faciles à manipuler dans des conditions ambiantes, offrant des densités énergétiques plus élevées.
- Les preuves penchent vers l'acide formique comme vecteur d'hydrogène, et non comme stockage direct, avec l'ammoniac à 17,6 % d'hydrogène en poids et le Powerpaste à 10 % comme options viables.
- Des controverses subsistent concernant l'impact environnemental et les besoins en infrastructures pour ces alternatives, avec des débats en cours sur la sécurité et la scalabilité.

9.5 Difficultés de stockage de l'hydrogène gazeux

Stocker l'hydrogène sous forme gazeuse est compliqué car il est très léger et se disperse facilement, nécessitant des réservoirs volumineux ou une pression élevée (jusqu'à 700 fois la pression atmosphérique normale) ou des températures extrêmement basses (-253 °C) pour en contenir assez. Cela consomme beaucoup d'énergie et comporte des risques de fuites ou d'incendies.

9.6 Alternatives plus simples

Heureusement, il existe d'autres méthodes plus pratiques.

L'ammoniac, un liquide contenant 17,6 % d'hydrogène en poids, peut être stocké à température ambiante avec une légère pression, et le Powerpaste, une pâte à base de magnésium, stocke 10 % d'hydrogène en poids et le libère avec de l'eau, idéal pour des appareils compacts comme les scooters électriques.

Et l'acide ? Stocker directement l'hydrogène sous forme d'acide n'est pas courant, mais des composés comme l'acide formique peuvent retenir et libérer de l'hydrogène, bien qu'avec une densité moindre (4,3 % en poids).

Pourquoi cela compte ? Ces options pourraient rendre l'utilisation de l'hydrogène plus sûre et pratique, surtout là où les gros réservoirs de gaz ne conviennent pas, mais il faut développer de nouveaux systèmes pour les utiliser à grande échelle, et des débats persistent sur leur impact environnemental.

9.7 Note détaillée sur le stockage de l'hydrogène

2025 En 2025, le stockage de l'hydrogène reste un défi technique majeur pour son adoption comme vecteur énergétique propre, notamment dans les secteurs des transports et de l'industrie. Cette note d'analyse explore les difficultés techniques liées au stockage de l'hydrogène sous forme gazeuse, le compare à des alternatives telles que l'acide formique, l'ammoniac ou le "Powerpaste", et offre un aperçu détaillé de l'état de l'art, y compris les développements récents et les controverses.

Difficultés techniques du stockage de l'hydrogène gazeux L'hydrogène, étant la plus petite et la plus légère des molécules, pose des défis significatifs en raison de sa faible densité. À température et pression standards

(TPS), 1 kg d'hydrogène gazeux occupe environ 11 mètres cubes, rendant son stockage inefficace sans compression ou refroidissement.

Deux méthodes ...

9.7.1 Stockage sous haute pression :

L'hydrogène est comprimé à des pressions allant jusqu'à 700 bars, nécessitant des réservoirs renforcés en polymères à fibres de carbone. Cette méthode, bien qu'établie et utilisée dans les stations de ravitaillement en hydrogène, demande une énergie considérable pour la compression et entraîne des unités de stockage encombrantes, comme souligné dans « Hydrogen Storage 101: Challenges & Opportunities » | FASTECH. L'énergie nécessaire pour la compression réduit l'efficacité globale du système, et la haute pression présente des risques de sécurité dus aux fuites potentielles et à la flammabilité de l'hydrogène.

9.7.2 Stockage cryogénique sous forme liquide :

L'hydrogène peut être stocké sous forme liquide à -253 °C, atteignant des densités énergétiques plus élevées (8,4 MJ/L, soit deux fois celle des systèmes à 700 bars), comme mentionné dans « 4 ways of storing hydrogen from renewable energy » | Spectra by MHI.

Cependant, maintenir de telles températures exige des réservoirs isolés complexes et une énergie importante pour la liquéfaction, avec des temps de chargement et de déchargement prolongés, limitant sa praticabilité pour un usage généralisé. De plus, la petite taille moléculaire de l'hydrogène le rend très diffusif, augmentant les risques de fuites, notamment dans les systèmes à haute pression. Sa sensibilité à la chaleur aggrave ces problèmes, car il peut se dilater rapidement, augmentant la pression et le risque de défaillance des systèmes de stockage.

10 Exemple de nouvelles technologies batteries

« NAWA Technologies » est une entreprise française de deep tech fondée en 2013 à Rousset, spécialisée dans le développement et la commercialisation de solutions de stockage et de conversion d'énergie basées sur des nanomatériaux carbonés, en particulier les nanotubes de carbone alignés verticalement (VACNT – « Vertically Aligned Carbon Nanotube »).

Leur technologie phare vise à améliorer significativement la densité d'énergie, la puissance, la rapidité de charge et la durabilité des dispositifs de stockage, tout en réduisant l'impact environnemental grâce à l'utilisation de carbone biosourcé.

10.1 Principes technologiques

Supercondensateurs à nanotubes de carbone : NAWA a développé une nouvelle génération de supercondensateurs utilisant des nanotubes de carbone alignés sur un substrat en aluminium. Cette architecture permet une conductivité électrique exceptionnelle, des densités de puissance et d'énergie supérieures, ainsi que des cycles de charge/décharge ultra-rapides.

10.1.1 Électrodes avancées :

Les électrodes produites par NAWA combinent les avantages du graphène et des nanotubes de carbone, offrant une grande surface active pour le stockage électrostatique et une résistance accrue aux variations thermiques, augmentant ainsi la longévité des dispositifs.

10.1.2 Intégration hybride :

NAWA propose des solutions hybrides combinant supercondensateurs et batteries lithium-ion, permettant d'optimiser la puissance instantanée, la rapidité de charge et l'autonomie, comme démontré sur leur concept de moto électrique NAWA Racer.

10.2 Applications

10.2.1 Mobilité électrique :

Véhicules électriques (voitures, motos, vélos), où la technologie NAWA permet de réduire le temps de charge et d'augmenter la puissance disponible instantanément.

10.2.2 Internet des objets (IoT) et électronique grand public,

... grâce à la capacité de fournir des pics de puissance et des cycles de vie très élevés.

10.2.3 Industrie, aéronautique et spatial :

Amélioration des composites pour la légèreté et la résistance, stockage d'énergie pour applications exigeantes.

10.2.4 Hydrogène et piles à combustible :

Utilisation des nanomatériaux carbonés pour améliorer les performances des électrodes.

10.3 Avantages clés

10.3.1 Rapidité de charge/décharge :

Jusqu'à 10 fois plus rapide que les supercondensateurs classiques.

10.3.2 Densité d'énergie accrue :

Jusqu'à 3 fois supérieure à celle des solutions existantes, selon l'application.

10.3.3 Durabilité et écoconception :

Utilisation de carbone biosourcé, processus de fabrication à faible impact environnemental.

10.3.4 Polyvalence :

Adaptable à de nombreux secteurs industriels, du transport à l'électronique.

10.4 Développement industriel

Après une phase de prototypage et de production pilote (notamment avec la gamme NAWACap), NAWA Technologies a levé plus de 46 millions de dollars pour industrialiser sa technologie et construire une usine dédiée à la production de masse de supercondensateurs à Rousset. L'entreprise vise également des applications dans les batteries lithium-ion à l'horizon 2025.

10.5 Situation récente

Malgré son potentiel, NAWA Technologies a connu des difficultés financières et a été placée en redressement judiciaire en septembre 2023, avant d'être reprise par le fonds Kouros.

En résumé, NAWA Technologies propose une rupture dans le stockage et la gestion de l'énergie grâce à l'exploitation innovante des nanotubes de carbone, offrant des solutions à la fois performantes, rapides, durables et plus respectueuses de l'environnement, avec des applications allant de la mobilité électrique à l'industrie lourde. En 2025, la technologie NAWA reste majoritairement à l'échelle du laboratoire, mais elle a prouvé sa capacité à produire industriellement des tapis de nanotubes de carbone alignés. Les premiers prototypes industriels sont en cours, avec des applications prometteuses pour doubler ou tripler l'autonomie des batteries (jusqu'à 1000 km) et permettre une recharge très rapide, mais la commercialisation à grande échelle dépend encore des développements chez les partenaires industriels.

11 Fiction – « La frontière électrique » :

« Une Histoire imaginaire, un peu idéalisée, de Reconstruction et de Renouveau »



11.1 Contexte de la fiction : Une Ukraine souveraine en 2030

En 2030, l'Ukraine, désormais membre à part entière de l'Union européenne ([Accession UE](#)), se reconstruit après une guerre dévastatrice. La paix, soutenue finalement par des pressions chinoises négociées sur la Russie en l'échange de l'attribution du marché des véhicules de patrouille des Nations Unis le long de l'immense frontière de l'Ukraine et jusqu'aux Pays Baltes et la Finlande, a ouvert la voie à une reconstruction ambitieuse sous supervision de l'ONU.

Dans ce contexte, l'Ukraine mise sur une transition énergétique verte immédiate, avec un réseau dense de bornes de recharge et un programme innovant de retrofit transformant les véhicules thermiques en électriques afin d'assurer la décarbonation du parc automobile en plus des véhicules électriques produit localement. Ces initiatives, inspirées par des tendances européennes de 2025 comme le programme France 2030, réduisent l'empreinte carbone tout en valorisant les infrastructures modernes, alignant l'Ukraine sur les objectifs climatiques européens. L'Ukraine en exportant un maximum de ressources sans en consommer elle-même est sur le point de s'être acquittée de ses dettes de guerre.

Ce chapitre sert à imaginer les bases d'un équilibre retrouvé en Europe

11.2 Les protagonistes

11.2.1 Ivan, le chercheur visionnaire

Ivan, ingénieur à l'Université de Kyiv, a mis au point des technologies simples et efficaces de retrofit et d'une hybridation des véhicules thermiques au freinage.

Lors d'une conférence à Kyiv, il dévoile un système permettant de convertir des véhicules à essence en électriques à faible coût et combinant les batteries « lithium manganèse-rich » (LMR) reconditionnées avec l'utilisation des ultra-capaciteurs sans limite de cycles.

Sa méthode utilise des batteries modulaires, encore plus performantes que les batteries lithium-ion ou sodium-ion de 2025. Les moteurs électriques optimisés, incarnant la frugalité dans un monde aux ressources limitées.

Ivan collabore avec des partenaires européens, bénéficiant de fonds de l'UE, qui soutiennent la production locale et réduisent la dépendance aux chaînes d'approvisionnement étrangères.

11.2.2 Maria, l'entrepreneuse audacieuse

Maria, propriétaire d'une entreprise de transport à Kyiv, perçoit le potentiel de la technologie d'Ivan.

Elle décide de parachever la conversion de la flotte de bus et de taxis en véhicules électriques qu'avait constitué son père.

Malgré la résistance initiale des chauffeurs, habitués aux moteurs thermiques, les économies de carburant et l'attrait d'une clientèle éco-consciente transforment son entreprise en un modèle de transport vert.

Maria est très proche de signer le contrat du siècle pour la prise en charge des transports de marchandises sur les routes de Russie et Géorgie en collaboration avec ses partenaires britanniques. Quoique hors UE, la Grande Bretagne n'en est pas moins active dans les technologies vertes investissant lourdement sur les collaborations au-delà de l'Oural.

11.2.3 Dmitri, l'agriculteur résilient

Dans la campagne ukrainienne, Dmitri, agriculteur, lutte contre la hausse des coûts du carburant pour ses tracteurs.

Déjà dronisé depuis cinq ans, il retrofit un tracteur de la région par weekend avec ses collègues subventionné par le gouvernement, il convertit ses machines agricoles en collaboration avec Ivan.

Ses tracteurs, équipés de moteurs électriques efficaces, attirent des clients sensibles à la réduction de l'empreinte carbone. Dmitri incarne la transition des zones rurales vers une économie verte, prouvant que la frugalité peut rimer avec prospérité.

11.2.4 Anna, la décideuse stratégique

Anna, haute fonctionnaire au ministère ukrainien de l'Énergie, élabore une stratégie nationale pour équilibrer les exportations de carburants fossiles et la transition énergétique. Elle négocie avec des partenaires européens pour financer un réseau de bornes de recharge, s'appuyant sur des politiques européennes comme les objectifs de zéro émission d'ici 2035.

Parallèlement, elle gère les exportations de pétrole et de gaz pour financer la reconstruction. Anna jongle avec les pressions des lobbies fossiles et des groupes environnementaux, mais sa vision assure une reconstruction durable tout en stabilisant l'économie.

11.2.5 Li Wei, l'ingénieur chinois

Li Wei, ingénieur chinois travaillant pour un fabricant de VE Chinois, supervise la fourniture, l'entretien et le renouvellement de véhicules de patrouille pour l'ONU le long de la frontière ukrainienne.

Ces véhicules Lynk & Co équipés de batteries avancées à charge rapide, symbolisent le rôle de la Chine dans la paix. Cependant, les produits chinois sont limités au marché UN en raison de tensions géopolitiques. Li Wei collabore avec des entreprises ukrainiennes pour transférer des technologies surtout pour les parties dont la sous-traitance est tolérée, renforçant les partenariats sino-ukrainiens.

11.3 Équilibre économique et environnemental

L'Ukraine exploite ses ressources fossiles pour maximiser ses exportations, générant des revenus cruciaux pour la reconstruction.

Simultanément, le programme de rétrofit réduit la dépendance domestique aux carburants fossiles, alignant le pays sur les objectifs climatiques européens. Les fonds européens, inspirés par des initiatives comme France 2030, soutiennent un réseau de recharge dense, rendant les VE accessibles à tous.

Cette approche duale permet à l'Ukraine de prospérer économiquement tout en réduisant son empreinte carbone, avec le rétrofit économisant plusieurs tonnes de CO₂ équivalent par véhicule par rapport à la production de nouveaux VE.

11.4 Coopération internationale

11.4.1 Partenariat européen

L'Ukraine bénéficie d'un partenariat étroit avec l'UE, qui fournit des fonds et une expertise pour la reconstruction. Les Britanniques, bien que hors UE, participent via des accords commerciaux dans les technologies vertes, démontrant une coopération continue. Ces partenariats s'appuient sur des politiques européennes favorisant la production locale et la durabilité, comme celles promues en 2025.

11.4.2 Rôle des États-Unis

Les États-Unis exploitent des mines ukrainiennes, un accord obtenu en échange de leur non-soutien au régime Russe. Cette exploitation, bien que lucrative, soulève des préoccupations environnementales. Anna négocie des mesures de compensation écologique, s'assurant que les normes environnementales européennes sont respectées.

11.4.3 Implication chinoise

Les véhicules de patrouille de l'ONU, fabriqués en Chine avec une empreinte carbone de 556 g CO₂eq/kWh, reflètent la contribution chinoise à la paix. Cependant, les restrictions sur les produits chinois dans le marché civil témoignent de tensions passées. Li Wei favorise le transfert de technologies, aidant l'Ukraine à développer sa propre industrie de VE, réduisant la dépendance aux importations.

11.5 Défis et solutions

- **Résistance au changement** : Maria surmonte la réticence des chauffeurs par des formations et des démonstrations des avantages économiques, similaires aux défis rencontrés par Lormauto en 2025.
- **Coûts initiaux** : Dmitri bénéficie de subventions gouvernementales, rendant le retrofit accessible, une approche inspirée des politiques européennes de soutien à l'innovation verte.
- **Empreinte carbone des véhicules chinois** : Ivan explore des batteries à faible carbone, collaborant avec des fournisseurs européens utilisant des énergies propres.
- **Équilibre géopolitique** : Anna gère les relations internationales, veillant à ce que la transition verte ne compromette pas la souveraineté ukrainienne.

11.6 Une vision d'avenir

L'histoire culmine lors de l'inauguration d'une usine de fabrication de VE à l'usage des Nations Unies sous licence à Lviv, un projet conjoint ukraïno-chinois. Ivan, Maria, Dmitri, Anna et Li Wei célèbrent cette étape, symbolisant l'unité et l'espoir de relations commerciales suffisantes pour conserver le soutien Chinois.

Les véhicules produits, équipés de la technologie de retrofit d'Ivan, sont exportés vers la Finlande, renforçant la position de l'Ukraine comme leader en technologies vertes. Cette usine potentiellement produira des VE minimalistes, comme les quadricycles européens de 2025, et des modèles premium, équilibrant innovation locale et coopération internationale, si les accords tiennent.

11.7 Tableau des contributions des personnages

Personnage Rôle		Contribution	Technologie/Politique liée
Ivan	Chercheur	Développe une technologie de rétrofit frugale	Batteries lithium-ion/sodium-ion, fonds France 2030
Maria	Entrepreneuse	Modernise sa flotte de transport	Rétrofit inspiré de Lormauto, partenariats britanniques
Dmitri	Agriculteur	Adopte le rétrofit pour ses machines agricoles	Subventions, moteurs électriques efficaces
Anna	Décideuse	Élabore une stratégie énergétique équilibrée	Objectifs UE zéro émission, exportations fossiles
Li Wei	Ingénieur	Facilite la coopération sino-ukrainienne	Support technique des patrouilles aux frontières en Lynk&Co hybrides et transfert de technologie aux Ukrainien

11.8 Les régions contestées de l'Ukraine,

notamment le Donbass et le bassin du Dniepr, recèlent des ressources minérales stratégiques essentielles aux industries des véhicules électriques et de l'hydrogène. Voici les principaux enjeux :

11.8.1 Ressources pour véhicules électriques

a. Lithium :

Le gisement de Shevchenkivske (Donbass), attribué à European Lithium, représente l'un des plus importants potentiels européens pour les batteries électriques.

b. Graphite :

Les mines de Mykolaïev (sud) contrôlées par Volt Resources sont cruciales pour les anodes de batteries.

c. Manganèse et cobalt :

Utilisés dans les cathodes, ces minerais sont concentrés dans le bassin de Nikopol (sud-est), partiellement occupé par la Russie.

11.8.2 Ressources pour l'hydrogène

a. Titane :

Indispensable aux électrolyseurs et piles à combustible, l'Ukraine est le 6^e producteur mondial, avec des gisements majeurs dans le Donbass exploités par Velta Resources.

b. Infrastructures énergétiques :

Le réservoir de Kakhovka (sud), visé par un projet de 4 GW d'hydrogène vert, est stratégique pour l'électrolyse mais vulnérable aux combats.

11.8.3 Contexte géopolitique

a. Contrôle russe :

Depuis 2022, la Russie occupe 41 mines de charbon, 50 sites gaziers/pétroliers et 10 gisements miniers clés, dont plusieurs riches en terres rares et métaux critiques.

b. Enjeux économiques :

Ces ressources représentent 10% du PIB ukrainien pré-guerre et un tiers des exportations, avec une valeur estimée à 7 500 milliards de dollars.

11.8.4 Dépendance européenne :

L'UE cherche à sécuriser ces chaînes d'approvisionnement pour réduire sa reliance sur la Chine et la Russie, notamment via des partenariats comme celui sur les batteries (2021).

Défis majeurs - L'instabilité territoriale compromet les projets comme le parc hydrogène de Kakhovka, tandis que la reconstruction des infrastructures minières nécessitera 200 milliards de dollars selon la Banque mondiale. Ces ressources restent un enjeu central dans la résolution du conflit.

12 Véhicules anciens en état ou facilement réparables

... Envoyés à la Destruction et Empreinte Carbone de Leur Construction perdue

12.1 Volumes estimés de véhicules anciens en état ou réparables envoyés à la Destruction

Estimer le nombre de véhicules en état ou facilement réparables qui sont détruits chaque année à l'échelle mondiale est complexe en raison du manque de données précises et uniformes à travers les pays. Cependant, plusieurs indicateurs et études permettent d'approcher cette réalité.

12.1.1 Données mondiales limitées mais significatives :

Bien qu'il n'existe pas de chiffre global exact, des millions de véhicules sont mis à la casse chaque année dans le monde. Aux États-Unis seuls, environ 12 à 15 millions de véhicules sont détruits annuellement, et une proportion notable pourrait être réparable ou en état de fonctionnement [1](#). À l'échelle mondiale, avec environ 1,47 milliard de véhicules en circulation, le volume total de véhicules mis à la casse est estimé à plusieurs dizaines de millions par an [1](#).

12.1.2 Proportion de véhicules réparables détruits :

En Amérique du Nord, environ un véhicule sur cinq est envoyé au recyclage ou à la casse en raison de coûts de réparation jugés trop élevés par rapport à la valeur du véhicule, même si des réparations sont techniquement possibles [2](#). En Europe, des rapports indiquent une augmentation des véhicules déclarés économiquement irréparables (VEI), avec des taux atteignant 39,3 % lors de périodes spécifiques comme les émeutes de 2023 en France, contre 12,8 % en temps normal [3](#).

12.1.3 Cas des véhicules électriques :

Les voitures électriques, bien que plus récentes, sont souvent mises à la casse plus rapidement que les thermiques, même pour des dommages mineurs, en raison des coûts élevés de réparation des batteries et des technologies embarquées. Cela concerne des marques comme Tesla, BMW, Renault, et autres, tant aux États-Unis qu'en Europe [4](#).

12.1.4 Facteurs contribuant à la destruction :

Les critères d'irréparabilité économique (réparations dépassant 80 % de la valeur du véhicule) et les politiques comme la prime à la conversion (114 737 véhicules détruits en France en 2021 via ce dispositif) poussent de nombreux véhicules encore utilisables vers la casse [5](#) [6](#).

12.1.5 En résumé,

bien que les données précises manquent, il est raisonnable d'estimer que des millions de véhicules en état ou facilement réparables sont détruits chaque année dans le monde, représentant une part significative des dizaines de millions de véhicules mis à la casse globalement [12](#).

12.2 Empreinte carbone de la construction de base d'un véhicule

L'empreinte carbone liée à la fabrication d'un véhicule varie selon qu'il s'agit d'un modèle thermique ou électrique, ainsi que selon le pays de production et les matériaux utilisés.

Voici les estimations moyennes basées sur les données disponibles.

12.2.1 Véhicules thermiques :

La fabrication d'une voiture thermique moyenne génère environ 6 tonnes de CO₂ équivalent. Ce chiffre inclut l'extraction des matières premières, la production des composants et l'assemblage. Sur l'ensemble du cycle de vie, incluant l'utilisation et la fin de vie, l'empreinte totale peut atteindre environ 25 tonnes de CO₂, dont la majorité provient de l'utilisation (combustion de carburant) [7](#).

12.2.2 Véhicules électriques :

La production d'une voiture électrique a une empreinte carbone initiale plus élevée, environ 1,5 fois supérieure à celle d'une voiture thermique, soit environ 9 à 9,5 tonnes de CO₂ équivalent pour une citadine. La fabrication de la batterie représente une part importante de ces émissions, avec environ 3,7 tonnes de CO₂ [8](#) [9](#).

12.2.3 Variations selon les pays :

L'empreinte carbone de la fabrication dépend fortement de la source d'énergie utilisée dans le pays de production. Par exemple, en Chine, où l'électricité provient majoritairement du charbon, l'impact de la production d'une voiture électrique est bien plus élevé qu'en France, où l'énergie nucléaire réduit cet impact [8](#).

12.2.4 En conclusion,

pour un véhicule thermique, l'empreinte carbone de la construction de base est d'environ 6 tonnes de CO₂, tandis que pour un véhicule électrique, elle se situe autour de 9 à 9,5 tonnes de CO₂, avec des variations selon le lieu de fabrication [87](#). Ces chiffres soulignent l'importance de considérer le cycle de vie complet pour évaluer l'impact environnemental, surtout lorsque des véhicules réparables sont prématurément détruits.

12.3 Références

- <https://scrap-auto.ca/combien-de-voitures-sont-mises-a-la-casse-chaque-annee-dans-le-mo/>
- <https://www.lecourrierdusud.ca/un-vehicule-sur-cinq-est-envoye-au-recyclage/>
- <https://www.automobile-magazine.fr/occasions-fiabilite/article/41296-les-chiffres-impressionnants-des-vehicules-detruits-ou-irreparables-a-cause-des-emeutes-de-2023>
- <https://www.autoplus.fr/environnement/voiture-electrique/voitures-electriques-plus-susceptibles-detre-mises-a-casse-876777.html>
- <https://www.sudouest.fr/economie/auto-moto/automobile-queelles-sont-les-voitures-les-plus-detruites-a-la-casse-en-2021-10783133.php>
- <https://vendre.autobiz.fr/blog/conseils/mon-vehicule-est-considere-comme-irreparable-par-lassurance-est-ce-normal.php>
- <https://d-carbonize.eu/fr/empreinte-carbone/voiture-thermique/>
- <https://greenly.earth/blog/secteurs/impact-environnemental-fabrication-voiture>
- <https://science.lu/fr/science-check/voiture-electrique-vs-voiture-thermique-qui-meilleure-empreinte-carbone>
- <https://www.transitionsenergies.com/combien-voitures-monde/>
- <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/vehicules-hors-dusage-vhu>
- <https://www.01net.com/actualites/pourquoi-les-voitures-electriques-vont-a-la-casse-beaucoup-plus-vite-que-les-thermiques.html>
- <https://www.caradisiac.com/commentaires/les-voitures-envoyees-a-la-casse-ont-vingt-ans-en-moyenne-204142.htm>
- <https://www.ratehub.ca/blogue/comment-les-tendances-de-vol-de-vehicules-peuvent-affecter-votre-assurance-auto/>
- <https://factuel.afp.com/doc.afp.com.34GB73E>
- <https://www.hellocarbo.com/blog/calculer/empreinte-carbone-voiture/>
- <https://www.journaldemontreal.com/2025/02/21/vinfast--consommer-jeter>

13 L'Entretien régulier des véhicules

Une opportunité pour une Civilisation Responsable

13.1 Introduction : Un monde fini et la mobilité durable

Dans son ouvrage *Un monde fini*, Jean-Marc Jancovici souligne l'impératif de repenser nos modes de consommation et d'organisation dans un contexte de ressources limitées. La mobilité, pilier de nos sociétés modernes, est au cœur de cette réflexion. Les embouteillages, souvent exacerbés par des pannes sur les grands axes routiers, paralysent non seulement la circulation mais aussi l'économie, représentant un manque à gagner significatif en termes de PIB. Ces dysfonctionnements révèlent un manque de responsabilité collective dans l'entretien des véhicules, qu'ils soient personnels ou partagés.

Ce chapitre explore comment une maintenance rigoureuse des véhicules peut répondre aux défis écologiques, économiques et sociaux, tout en questionnant les modèles d'usage partagé et d'ubérisation.

13.2 Les Embouteillages : un symptôme de l'irresponsabilité Collective – une véritable opportunité bas carbone à saisir

Chaque année, des milliers d'heures sont perdues dans les embouteillages, notamment à cause de pannes évitables. Une étude de l'INRIX (2023) estime que les congestions routières coûtent des milliards d'euros aux économies européennes, en temps perdu et en consommation de carburant. Ces pannes, souvent dues à un manque d'entretien (pneus usés, batteries défaillantes, freins négligés), ne sont pas seulement un problème individuel : elles affectent la collectivité en bloquant les infrastructures essentielles.

Dans une civilisation consciente des limites planétaires, comme le prône Jancovici, l'entretien régulier des véhicules devient un acte de responsabilité envers le bien commun.



13.3 L'Échec d'Autolib : une leçon sur la nature humaine

L'expérience d'Autolib, système de voitures électriques en libre-service à Paris, illustre les limites de l'usage partagé dans une société où la responsabilité collective reste fragile. Lancé en 2011, ce projet ambitieux visait à réduire le nombre de véhicules individuels tout en promouvant une mobilité durable. Cependant, son échec en 2018, marqué par des véhicules dégradés et mal entretenus, révèle un défi fondamental : la nature humaine peine à se responsabiliser pour ce qui ne lui appartient pas directement. Les utilisateurs, percevant les voitures comme des biens communs anonymes, ont négligé leur entretien, laissant les véhicules dans un état de délabrement accéléré.

Cet exemple montre que, sans un cadre strict ou des incitations fortes, les initiatives de partage peinent à s'inscrire dans une logique de durabilité.

13.4 L'Ubérisation : une fausse solution au bien commun

Face à ces échecs, certains prônent l'ubérisation comme une alternative viable, où des chauffeurs indépendants offrent des services de transport via des plateformes numériques. Cependant, cette approche, ancrée dans une philosophie libérale du « chacun pour soi », néglige souvent le bien commun. Les chauffeurs, sous pression économique, en utilisant un véhicule en leasing, jetable dans leur esprit peuvent être tentés de réduire les coûts d'entretien de leurs véhicules jusqu'à la panne, augmentant ainsi les risques de pannes et d'accidents qui bloqueront la circulation même temporairement. De plus, l'ubérisation ne résout pas la question des embouteillages, car elle

maintient un grand nombre de véhicules en circulation, des artisans chauffeurs qui fatiguent se tendent ou s'ennuient dans la circulation, monopolisent les places de parking minutes, à étudier.

Dans une perspective « jancovicienne », ce modèle manque de vision systémique : il priorise la rentabilité individuelle au détriment de la résilience collective.

13.5 La maintenance des véhicules : un acte de responsabilité

Promouvoir l'entretien régulier des véhicules, qu'ils soient personnels ou partagés, apparaît comme une solution pragmatique pour réduire les pannes et leurs conséquences. Cependant, cette démarche n'est pas exempte de défis :

1. **Les véhicules anciens** : Bien qu'ils génèrent moins de gaspillage en permettant des réparations ciblées (par opposition au remplacement de modules entiers), leur maintenance est devenue souvent plus complexe et coûteuse. Cela demande des compétences techniques et un accès à des pièces détachées, parfois difficiles à trouver.
2. **Les véhicules modernes** : À l'inverse, des modèles comme les Tesla, conçus pour une production optimisée, posent des problèmes en termes de maintenance. Leur carrosserie, souvent difficile à réparer, incite au remplacement plutôt qu'à la réparation, ce qui va à l'encontre des principes d'un monde fini. Cette obsolescence programmée, intentionnelle ou non, accentue le gaspillage de ressources.

NB : Petite remarque sur les Tesla car elles offrent en seconde mains de précieux composants de qualité pour le retrofit pour les véhicules anciens plus lourds

Dans ce contexte, encourager la possession de véhicules personnels, tout en imposant des normes strictes d'entretien, pourrait être une solution transitoire. Contrairement aux modèles partagés, la propriété individuelle incite davantage à prendre soin de son bien. Cependant, cela nécessite des politiques incitatives, comme des bonus pour les véhicules bien entretenus ou des pénalités financières pour les négligences lors de pannes subvenues sur la voie publique ayant généré des embouteillages.

13.6 Vers une culture de la responsabilité collective

Combien d'entre nous sont prêts à agir pour le bien de la communauté sans y être contraints ? Comme le montre l'échec d'Autolib, la réponse est limitée. Pour changer cette dynamique, il faut combiner éducation, incitations économiques et régulation.

Par exemple :

- **Sensibilisation** : Informer les conducteurs sur l'impact des pannes sur l'économie et l'environnement.
- **Incitations financières** : Réduire les taxes ou offrir des subventions pour les véhicules régulièrement entretenus.
- **Contrôles renforcés** : Imposer des vérifications techniques fréquentes, avec des amendes dissuasives pour non-conformité.

Ces mesures, bien que contraignantes, visent à créer une pseudo-réaction communautaire, comme le souligne la nécessité de « toucher au porte-monnaie » pour engager des changements de comportement.

13.7 Une voix pour les véhicules durables – l'appel à un humoriste célèbre

Dans un monde où les ressources s'épuisent, prolonger la vie des véhicules est une urgence. Lormauto, pionnier du retrofit électrique en Normandie, le carnet de commande était plein en 2025 et pourtant elle risque l'oubli, victime d'une mécompréhension des enjeux.

Cette technique de retrofit, en rappel, transforme des voitures thermiques, comme la Renault Twingo I, en électriques, réduisant leur empreinte carbone de 5 à 10 fois sur 20 ans par rapport à un nouveau VE, grâce à la réutilisation de structures existantes.

Un véhicule retrofité peut même compenser l'empreinte carbone de deux nouveaux VE (scope 0-1-2-3-4) sur une échelle de 20ans – 300.000km.

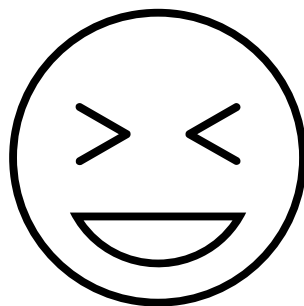
De plus avec une autonomie réduite, une auto retrofité incite à des trajets réfléchis courts, défiant l'absurde habitude du déplacement d'une tonne pour 120 kg de passagers.

L'esprit marocain, incarné par des mécaniciens comme Bachir, actif à Salé dans les années 90, reflète cette passion pour entretenir et prolonger la vie des véhicules – un prérequis essentiel au retrofit.

Bien que le Maroc n'ait pas encore montré d'intérêt officiel pour ce retrofit, cette débrouillardise technique pour faire durer un véhicule au travers de décennie est universelle.

Maintenir un véhicule aux normes sur le long terme est la base d'une seconde vie électrique, sûre et sans émissions.

Juin 2025, j'ai invité un humoriste, personnalité publique anonyme, à soutenir cette cause, espérant qu'il accepterait de faire un écho du sujet auprès du grand public. Cette voix pourrait relancer le débat sur le financement de telles initiatives, salvatrices pour une mobilité durable.



13.8 Conclusion : L'entretien comme pilier d'une mobilité durable

Dans un monde fini, l'entretien régulier des véhicules n'est pas seulement une question technique : c'est un enjeu de responsabilité collective. En réduisant les pannes, nous diminuons les embouteillages, économisons des ressources et limitons les pertes économiques. L'échec d'Autolib et les limites de l'ubérisation nous rappellent que la durabilité passe par une culture du soin, qu'il s'agisse de véhicules personnels ou partagés. Si les anciens véhicules offrent une opportunité de réparer plutôt que de jeter, les modèles modernes doivent évoluer pour privilégier la maintenabilité. En attendant une société pleinement communautaire, des politiques incitatives et coercitives restent nécessaires pour aligner les comportements individuels sur l'intérêt collectif.

14 Promouvoir l'entretien à travers des réseaux solidaires spécifiques

14.1 Une diversité de véhicules à préserver malgré les décennies

Les véhicules, qu'ils soient des classiques comme la Citroën Xantia avec sa suspension oléopneumatique ou des modèles modernes tels que les véhicules électriques (VE), nécessitent des approches d'entretien adaptées à leurs spécificités techniques. Après des décennies, les modèles anciens conservent un potentiel unique, notamment grâce à leur robustesse et leur potentiel de rétrofit. Parallèlement, l'essor des VE en France introduit de nouveaux défis, avec l'émergence de garages spécialisés capables de répondre à leurs besoins particuliers, comme les batteries ou les systèmes électroniques. Cette diversité offre une opportunité de valoriser des compétences locales et de soutenir une mobilité durable.

14.2 Les Réseaux Solidaires : Une carte pour les relais de garages

Face à la raréfaction des pièces et des savoir-faire pour les véhicules anciens, des initiatives solidaires émergent comme des solutions prometteuses. Une idée innovante serait de développer une carte interactive recensant les relais de garages encore capables d'assurer l'entretien de modèles spécifiques, tels que la Xantia. Ces garages, souvent animés par des passionnés ou des associations, proposent des services à prix raisonnables, favorisant l'accès à la maintenance pour tous. En France, des réseaux comme « Solidarauto » ou les garages Renault Solidaire s'étendent, offrant des tarifs préférentiels basés sur le quotient familial. Une telle carte pourrait inclure des garages spécialisés dans les VE, renforçant ainsi un maillage national pour une mobilité inclusive.

14.3 Opportunités pour les garages spécialisés en VE

Avec la transition énergétique, les garages dédiés aux VE se multiplient en France, formant des techniciens pour diagnostiquer et entretenir ces technologies avancées. Ces structures, souvent soutenues par des programmes comme « Revolte » ou des ateliers associatifs, permettent non seulement de répondre aux besoins croissants des conducteurs de VE, mais aussi de former une nouvelle génération de mécanos. Cette spécialisation ouvre des perspectives économiques locales, tout en encourageant une approche solidaire où les coûts sont ajustés selon les revenus, rendant l'entretien accessible à un plus large public.

14.4 Vers une collaboration communautaire

La promotion de l'entretien spécifique passe par une mobilisation collective. Les réseaux solidaires peuvent s'appuyer sur des communautés d'utilisateurs pour identifier les garages compétents et partager les bonnes pratiques. Par exemple, des initiatives comme les Self-Garages Solidaires permettent aux propriétaires de participer activement à l'entretien avec un accompagnement professionnel, réduisant les coûts tout en renforçant le lien social. Cette approche communautaire, combinée à une cartographie des relais, pourrait transformer l'entretien en un levier de cohésion et de résilience, adapté aux défis d'un monde en mutation.

14.5 Conclusion : Un avenir solidaire pour l'entretien

Promouvoir l'entretien par type spécifique, qu'il s'agisse de véhicules anciens ou de VE, nécessite de s'appuyer sur des réseaux solidaires et des cartes de garages relais. Ces initiatives, déjà en développement en France, offrent une réponse concrète aux enjeux de mobilité durable et d'accessibilité. En unissant compétences locales et solidarité, elles tracent la voie vers une gestion responsable des véhicules, au bénéfice de tous.

14.6 Exemple du réseau solidaire pour les amis des Xantias



Envoyez vos recommandations pour une mise à jour sur « facilmap » à entraidexantia@mail.fr ou en ligne <https://www.facebook.com/share/p/1Aa6bW8x6S/?>,

De nos jours le public a la possibilité d'établir un tel réseau pour raison diverse, il semble logique d'imaginer créer des réseaux pour chaque type de véhicule ou technologie spécifique.

15L'urgence de juin 2025 : quand l'innovation française suffoque

Ce livre naît dans l'urgence de juin 2025, alors que **Lormauto**, pionnier français du rétrofit électrique, vient d'être liquidé par suite du revirement de BPI France. Cette tragédie industrielle illustre parfaitement notre propos : l'innovation européenne existe, elle est même excellente, mais elle suffoque sous le poids de décisions financières à courte vue, ignorant la complémentarité du rétrofit avec la production d'automobiles neuves européennes.

Lormauto, en proposant de transformer des Twingo thermiques en véhicules électriques à un rythme industriel pour 12 500€ après aides, incarne exactement ce dont l'Europe a besoin : une solution bas carbone accessible, durable, créative.

Avec près de 500 **signatures** sur une pétition citoyenne au 20 juin 2025, cette entreprise homologuée depuis 2023 et saluée au Mondial de l'Auto 2022, carnet de commande à l'appui butte sur le manque de compréhension scientifique, d'investisseurs avec un risque de mauvaise foi des décideurs et publics.

Ce livre-fascicule est dédié à la dernière équipe d'entrepreneur victime de l'incompréhension des financiers de la mobilité même Française ;

Merci à l'équipe Lormauto Rev1.0 qui nous aura fait rêver depuis 2021 par leur excellent travail sur le rétrofit des Twingos

Si la situation vous paraît inacceptable, parlez-en autour de vous, c'est exactement pourquoi ce livre existe.

Et cette pétition sur le site de l'Assemblée Nationale Française

<https://petitions.assemblee-nationale.fr/initiatives/i-2890>



Chaque signature et partage compte. **Agissons.**

Signature acceptable jusqu'au 19-06-2029 !

NB : parfois l'Assemblée nationale Française archive les pétitions en cours selon ses critères comme lors de la dissolution de 2024.

En remerciant encore tous les cosignataires de la première heure

Chaque conversation autour de ce livre compte.

NB : Si nous ne provoquons pas la transparence sur la situation de Lormauto et que cet exemple tombe dans l'oubli comme d'autres avant elle, nous envoyons un message terrible à tous les innovateurs européens :

"Vos idées nous intéressent, mais pas assez pour les financiers."

Voici le « QR code lien » vers la liste des contacts rationnels par départements français susceptibles de considérer la signature et de relayer la pétition à d'autres²



² Liste structurée de contacts publics et institutionnels par département, destinée à faciliter la diffusion d'informations, la coordination d'actions citoyennes et le relais auprès d'acteurs locaux, dans le respect de la confidentialité et de la législation sur les données personnelles.

Sauver au moins l'esprit d'entrepreneuriat « Lormauto », pour le rétrofit bas carbone

Cosignataires:

Antoine MAUBANT , **Arnaud VASSARD** , **Benedicte DUBOURG** , **Benoni PAUMIER** , **Cécile-Noëlle DUPETIT** , **Cédric BRISET GURNEL** , **Cédric SORDOILLET** , **Christophe GAWSEWITCH** , **Christophe LANGLAIS** , **Clément MARTIN** , **Davy MAWETE** , **Etienne DURET** , **Franck LEFEVRE** , **François DORLEANS** , **Frédéric MULLOT** , **Gregory PASTOR** , **Guenole LE MOALIGOU** , **Guillaume PELOSO** , **Kevin ALEXANDRE** , **Laurent GEHRING** , **Laurent MARCHELLI** , **Louise-Marie GUILLET** , **Lucien KERISIT** , **Morgan JOUBERT** , **Nicolas GUMY** , **Philippe HUILLARD** , **Pierre POINTARD** , **Simon LEFEVRE** , **Stanislas MALCORPI** , **Stephen WHITLEY** , **Thomas BRETOT** , **Thomas FIORANI** , **Thomas RIALAN** , **Vincent LEFEVRE** , **Xavier DIQUET** , **Xavier PHILIPPON** , **Yacine SEFFAR** , **Yves LEBOURGEOIS**

05/06/2025, Identifiant: **N°2890**

Nous, citoyens, scientifiques, entrepreneurs et défenseurs de la transition écologique, appelons les pouvoirs publics, les institutions financières et les décideurs politiques à soutenir la relance de Lormauto, entreprise normande pionnière du rétrofit électrique. Cette initiative représente une solution technique et économique optimale pour réduire l'empreinte carbone du secteur automobile, minimiser la dépendance aux importations de composants étrangers et contribuer à réduire la dette française et européenne.

Une solution bas carbone scientifiquement validée

Le rétrofit électrique, tel que pratiqué par Lormauto, repose sur une logique d'économie circulaire : reconditionner des véhicules existants, comme les Renault Twingo de première génération, avec des traitements modernes contre la corrosion et une motorisation électrique. Cette approche réduit drastiquement l'empreinte carbone par rapport à la production de nouveaux véhicules électriques, qui nécessitent des batteries et des composants à forte intensité énergétique, souvent importés. Selon les études sur le cycle de vie (ACV), la fabrication d'un véhicule électrique neuf génère environ 10 à 20 tonnes de CO2 équivalent, contre seulement 2 à 3 tonnes pour un rétrofit, grâce à la réutilisation de la structure existante. En prolongeant la durée de vie des véhicules populaires, Lormauto divise par trois l'impact environnemental tout en rendant la mobilité électrique accessible à 12 500 euros (après aides), contre plus du double pour un véhicule neuf.

Une réponse à la dépendance aux importations

Lormauto favorise une production locale en s'appuyant sur des véhicules déjà présents sur le territoire et en développant une expertise industrielle française. Contrairement à la production de nouveaux véhicules électriques, qui repose sur des importations de batteries et de composants (notamment en provenance de pays aux pratiques commerciales parfois problématiques), le rétrofit minimise les besoins en matières premières critiques, comme le lithium ou le cobalt. Cette approche renforce la souveraineté énergétique et industrielle de la France et de l'Europe, réduisant ainsi la dépendance à des chaînes d'approvisionnement étrangères souvent instables.

Un levier pour réduire la dette française et européenne

En industrialisant le rétrofit, Lormauto pourrait créer des emplois locaux, dynamiser l'économie normande et réduire les coûts de la transition énergétique. Le modèle économique de Lormauto, validé par son succès au Mondial de l'Auto 2022 et son statut de lauréat France 2030, permettrait de limiter les investissements massifs nécessaires à la production de véhicules neufs, tout en répondant aux besoins de mobilité durable. Cette stratégie d'économie circulaire représente une opportunité pour alléger la pression sur les finances publiques et privées, contribuant ainsi à réduire la dette française et européenne.

Une mise en garde face aux conflits d'intérêts

La liquidation judiciaire de Lormauto, prononcée le 21 mai 2025 par le tribunal de commerce de Caen, soulève des questions sur les décisions de financement de Bpifrance, institution clé dans le soutien aux entreprises françaises. Alors que Lormauto avait surmonté les défis techniques, commerciaux et réglementaires, l'absence de fonds pour industrialiser sa solution interroge. Nous demandons une transparence accrue sur les critères de financement de Bpifrance, afin d'éviter tout conflit d'intérêts entre les priorités de la transition énergétique et les agendas de certains décideurs. La sauvegarde de projets comme Lormauto, alignés avec les besoins des Français et les objectifs climatiques, doit primer.

Nos demandes

Un soutien financier immédiat via des subventions, prêts ou prises de participation de Bpifrance pour permettre à Lormauto de relancer son activité et d'industrialiser son modèle de rétrofit électrique.

Des mesures pour renforcer la filière du rétrofit en simplifiant les processus d'homologation et en promouvant des incitations fiscales pour les véhicules reconditionnés.

Un engagement politique clair, porté par des figures comme le président Emmanuel Macron, la ministre Agnès Pannier-Runacher et le député Marc Ferracci, pour faire du rétrofit un pilier de la stratégie France 2030.

Une enquête sur les décisions de financement de Bpifrance, afin de garantir que les priorités écologiques et économiques des Français priment sur d'éventuels conflits d'intérêts.

Lormauto incarne une vision d'avenir : une mobilité durable, souveraine et accessible, ancrée dans l'expertise française. Sa disparition serait une perte pour l'innovation, l'emploi et la lutte contre le changement climatique. Ensemble, soutenons cette solution d'excellence pour une transition énergétique juste et efficace.

Signez cette pétition pour redonner vie à Lormauto et bâtir un avenir bas carbone pour la France et l'Europe !

[Commission des affaires économiques](#)

16 Remerciements

Ce livre doit beaucoup à ceux qui ont façonné mon regard sur la mobilité, bien au-delà des chiffres ou des performances.

L'héritage familial : Mon grand-père, avec sa 104 verte qu'il chérissait comme ses autos d'avant, incarnait un soin presque sacré pour ses machines et beaucoup d'autres objets qu'il récupérait pour les réparer car c'était "encore bon" - une leçon contre le gâchis qui résonne aujourd'hui dans l'urgence écologique. Mon père, explorateur passionné par les sciences, a sillonné routes, pistes et hors-pistes en tout temps pour son métier et toujours pour de bonnes raisons. Sur la longueur, toutefois, entre deux dépassements sur simple route pendant lesquels le silence régnait sauf les cylindres du moment, presque un moment pour respirer car il nous faisait réviser les tables de multiplication, mon frère, ma sœur et moi. Plus jeune, je me sentais désolé, tentais de faire le dormeur, persuadé d'en souffrir le plus – et pourtant, j'en suis sorti ingénieur d'école, le rêve qu'il avait porté lui-même. Ni l'un ni l'autre de ces pères responsables ne prêchait le gâchis, même s'ils adoraient visiblement conduire, des valeurs transmises en héritage.

Ma maman, pas moins chauffeuse de tous par nécessité, a ouvert la voie sur des pistes sans bitume, précurseur en tirant notre habitat mobile de chantier en chantier. Chargée de mission lors des séances de chasse, elle pilotait pour mon père qui visait l'outarde – un gibier dont on parle si peu aujourd'hui – pour varier l'ordinaire loin de tout. Encore ce "Mon père", lui, qui rendait presque tout aimable : même notre boxer familial, toujours premier sur le siège passager comme par magie, semblait contaminé par son enthousiasme. Ceci dit, à l'inverse, je peine à transmettre cet attachement nostalgique ou technique de mobilité à mes proches, malgré ma créativité pour m'y attacher.

Ma famille d'aujourd'hui : Merci à mon épouse, Marie-Hélène, qui, jusqu'à aujourd'hui, tolère mes idées automobiles avec une patience d'ange – chaque projet devenant, d'une manière ou d'une autre, une aventure. Merci à mes enfants et à mon frère, que j'équipe du même type de véhicule de base historique française pour partager ces secrets techniques qui nous lient. Re-merci à ma maman, témoin émerveillé de ce défilé parfois « fuites », sans oublier mes amis et autres proches, qui tentent toujours de compter mes projets en cours, trébuchant souvent sur les raisons de les évoquer.

Les outils qui ont rendu ce livre possible : Cette réflexion n'aurait pu aboutir sans mes compagnons numériques quotidiens. Mon Mac, fidèle depuis des années, pour sa fiabilité et son écosystème pensé pour la création. Les intelligences artificielles qui m'ont accompagné dans cette rédaction : Claude d'Anthropic pour sa rigueur analytique et sa capacité à structurer la pensée, Grok de X pour ses perspectives originales et son ton parfois irrévérencieux qui colle à l'esprit de ce livre, et Perplexity pour ses recherches factuelles précises qui ont nourri les données techniques. Ces outils, loin de remplacer la réflexion humaine, l'ont amplifiée et accélérée, permettant de finaliser ce livre en quelques heures d'intense collaboration homme-machine.

L'inspiration collective : Vous avez tous inspiré ce livre, où la mobilité devient un acte de valeur, d'héritage et de bienveillance, loin des égos et des discussions prix. Dans l'urgence de juin 2025, face aux liquidations comme celle de Lormauto, ce livre se veut un appel : cessons de subir les choix financiers à courte vue et reprenons collectivement le contrôle d'une mobilité qui nous ressemble

17 Formule de physique

Formule 1:	Formule fondamentale de l'accélération : $a = F_{\text{net}} / m$ - Isaac Newton, Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (1687, Principia Loi II : changement de mouvement proportionnel à la force motrice).	20
Formule 2:	Composantes de la force nette : $F_{\text{net}} = F_{\text{prop}} - F_{\text{traîne}} - F_{\text{roul}} - F_{\text{grav}}$ - Application de Newton (1687), formulations véhicule modernes au 19e siècle. Basé sur la somme des forces de Newton. Les applications à véhicules émergent au 19e siècle avec l'ère ferroviaire (ex. travaux de Stephenson en 1829 sur locomotives), étendues aux automobiles par Daimler/Benz vers 1885-1900.....	20
Formule 3:	Expressions détaillées des forces (a. Force de traînée aérodynamique) : $F_{\text{traîne}} = 1/2 \rho C_d A v^2$ - Newton (1687) pour dépendance quadratique, forme moderne avec C_d par Lord Rayleigh (fin 19e siècle). Newton posa la dépendance en v^2 dans Principia (Livre II, Prop. 39). Rayleigh contribua à la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes raffinées, 1879), mais C_d est formalisé par Prandtl en 1904 et raffiné par l'aéronautique post-1900.	21
Formule 4:	Expressions détaillées des forces (b. Force de résistance au roulement) : $F_{\text{roul}} = C_r m g$ - Charles-Augustin de Coulomb, il étudia la friction dans Théorie des machines simples (1785).	21
Formule 5:	Expressions détaillées des forces (c. Force gravitationnelle sur pente) : $F_{\text{grav}} = m g \sin(\theta)$ - Galileo Galilei, Two New Sciences (1638). Il analysa le mouvement sur plans inclinés dans Discorsi e Dimostrazioni Matematiche (1638), décomposant la gravité en composantes parallèles/perpendiculaires.	21
Formule 6:	Expressions détaillées des forces (d. Formule complète de l'accélération sur surface plane) : $a = (F_{\text{prop}} - 1/2 \rho C_d A v^2 - C_r m g) / m$ - Synthèse moderne popularisée au 20e siècle par Gillespie (1992), basée sur Newton (1687).	22
Formule 7:	Expressions détaillées des forces (d. Formule complète de l'accélération sur pente) : $a = (F_{\text{prop}} - 1/2 \rho C_d A v^2 - C_r m g - m g \sin(\theta)) / m$ - Synthèse moderne (20e siècle) basée sur Newton (1687).	22
Formule 8:	Expressions détaillées des forces (a. Force de traînée aérodynamique) : $F_{\text{traîne}} = 1/2 \rho C_d A v^2$ - Newton (1687) pour dépendance quadratique, forme moderne avec C_d par Lord Rayleigh (fin 19e siècle).	23
Formule 9:	Charles-Augustin de Coulomb (1785).....	24
Formule 10:	$F_{\text{grav}} = m g \sin(\theta)$ - Galileo Galilei (1638)	24
Formule 11:	$F_{\text{prop}} = F_{\text{traîne}} + F_{\text{roul}} + F_{\text{grav}}$ - Synthèse moderne (20e siècle), basée sur équilibre des forces de Newton (1687)	24
Formule 12:	$F_{\text{prop}} = 1/2 \rho C_d A v^2 + C_r m g$ - Standard en ingénierie automobile (Gillespie, 1992)	25
Formule 13:	$F_{\text{prop}} = 1/2 \rho C_d A v^2 + C_r m g + m g \sin(\theta)$ - Synthèse moderne	25
Formule 14:	$P = F_{\text{prop}} v$ - James Watt (1784, définition de la puissance), appliqué à véhicules au 19e siècle. $P = \text{force} \times \text{vitesse}$, formalisé par Watt pour les machines à vapeur.	25
Formule 15:	$F_{\text{regen}} = \eta_{\text{motor}} P_{\text{max}} / v$ - Moderne (fin 20e siècle), régénération EV (ex. Toyota Prius 1997). Dérivé d'efficacité motrice en mode générateur.	26
Formule 16:	$E_{\text{recup}} = \eta_{\text{total}} F_{\text{regen}} d$ - Moderne (20e siècle), thermodynamique appliquée à EV. Travail = force $\times$ distance, avec rendement	26
Formule 17:	$E_{\text{recup}} = \eta_{\text{total}} P_{\text{regen}} t$ - Moderne (20e siècle), thermodynamique appliquée à EV.	27
Formule 18:	$a_{\text{regen}} = - F_{\text{regen}} / m$ - Newton (1687)	27
Formule 19:	$F_{\text{classic}} = \mu N$ - Coulomb (1785). « Friction sèche ».....	27
Formule 20:	$a_{\text{total}} = - (F_{\text{regen}} + F_{\text{classic}}) / m$ - Newton (1687)	28

18 Ouvrages de référence principaux

1. Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica d'Isaac Newton (1687) – Base fondatrice pour lois du mouvement, forces nettes et accélération (formules 1, 2, 6-8, 11, 18, 20).
2. Fundamentals of Vehicle Dynamics de Thomas D. Gillespie (1992) – Référence moderne pour dynamique véhiculaire, traînée, roulement, puissance (formules 3, 6, 7, 11-14, 19).
3. Two New Sciences de Galileo Galilei (1638)

19 Crédit photos

Publications Renault,
Publications Koenigsseg,
Publications Lormauto,
Publications GM,
« Jamais Contente » historique,
QR et création AI par prompt personnel

20 Distribution formelle

Thierry Boutsen
Gérard Larcher
Nicolas Dufourcq
Sylvain Waserman
Aurélien Guez
Marc Ferracci
Frédéric Thivet
François Bayrou
Claude Malhuret
Sebastien Lecornu

21 A paraître dans la série

« Mon iceberg fond, mais je m'adapte » :

Mijn Mobiele Lichtheid :	979-10-977981-4-7
My Mobile Lightness :	979-10-977981-5-4
Évolution vers une Europe Unie en 2100 :	979-10-977981-1-6
Goudron et plume :	979-10-977981-7-8
Nos amis belges, traitres européens ou leader du chauffage bas carbone :	979-10-977981-2-3

Date : 25 octobre 2025

Titre : Ma Légèreté Mobile

Sous-titre : “Choisir sa mobilité en Europe de 2025”

Auteur : François Dorléans

ISBN : 979-10-977981-0-9



Réf: Décret n°2006-696 relatif au dépôt légal. Le dépôt légal oblige l'éditeur à remettre des exemplaires aux bibliothèques nationales (Code du patrimoine, art. L131-2).

