

MOBILITÉ | OUEST BRETON

DÉCARBONATION DES MOBILITÉS

QUELLES PERSPECTIVES POUR LES « NOUVEAUX CARBURANTS » DANS L'OUEST BRETON ?

#10 | Septembre 2023

OBSERVATOIRE | Note d'analyse



Station GNV de Guipavas - Crédit : Adeupa

EN FRANCE

Le secteur des transports représente **1/3** des émissions de gaz à effet de serre



+46 %

augmentation des ventes de voitures 100 % électrique en France entre 2020 et 2021



H2

94 % de la production d'hydrogène française était d'origine fossile en 2021



La fabrication d'un vélo électrique est

52 fois moins polluantes que celle d'une berline électrique

EN BRETAGNE

x7



En 2022, la vente de véhicules neufs à motorisation alternative (hybride rechargeable, gaz et électricité) a été **multipliée par 7** depuis 2019, avec une immatriculation sur quatre actuellement

<1 km



55 % des déplacements domicile-travail effectués en voiture sont inférieurs à un kilomètre

L'Adeupa a été sollicitée afin d'analyser les perspectives offertes par le développement de carburants alternatifs au pétrole dans l'Ouest breton. La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) fixe en effet l'objectif de décarboner intégralement le secteur des transports terrestres à l'horizon 2050. Cet objectif est ambitieux : les déplacements motorisés sont responsables du tiers des émissions de gaz à effet de serre (GES) du pays.

L'atteinte de cette visée implique **d'agir sur l'offre** en accompagnant l'évolution technique des véhicules et le développement de carburants de substitution aux hydrocarbures. L'objet premier de cette publication est donc de dresser un inventaire des solutions disponibles.

Toutefois, le présent observatoire invite à questionner la portée d'une approche qui se focaliserait sur la substitution des carburants fossiles par de « nouveaux carburants » sans interroger, plus largement, la question des mobilités, les ressorts de leur accroissement et les impacts effectifs, notamment climatiques, d'une telle politique de substitution. De fait, l'histoire démontre que les solutions techniques s'accompagnent généralement d'effets rebonds – par exemple, l'amélioration des performances énergétiques des voitures a conduit à faire davantage de kilomètres – inefficaces en matière de lutte contre le changement climatique. C'est pourquoi les pouvoirs publics tendent aujourd'hui plutôt à s'orienter vers le champ encore peu considéré de la sobriété, **en agissant notamment sur la demande de transports et leurs usages**. En matière de déplacements, ce principe de sobriété s'énonce simplement : comment réduire le nombre de kilomètres parcourus par les personnes et par les marchandises ?

Cette publication s'attache pour commencer à placer ce sujet des carburants et de la mobilité dans son contexte, à la fois social et climatique. Elle présente ensuite un état des lieux synthétique des différentes options techniques existantes (électricité, hydrogène, gaz renouvelable) et leurs contributions potentielles à une mobilité plus durable et équitable dans l'Ouest breton. Elle esquisse, enfin, les grandes lignes de ce que pourrait être une politique publique de sobriété en matière de mobilité, en identifiant les mesures et initiatives qui, à l'échelle locale, y concourent déjà.

Quel itinéraire pour décarboner les mobilités ?

100 %
des voitures vendues
en 2035 seront
0 émission



FRANS TIMMERMANS
VICE-PRÉSIDENT DE LA COMMISSION EUROPÉENNE

CONSTAT

Accords de Paris (2015)
IL FAUT LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE À +2° MAXIMUM D'ICI 2100

STRATÉGIE NATIONALE BAS CARBONE (2015 PUIS RÉVISÉE EN 2018-2019)

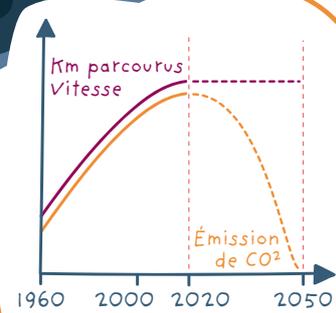
- Atteindre la neutralité carbone en 2050
- Zéro émission liée aux transports en 2050 (hormis pour les transports aériens)
- Passer rapidement à des émissions moyennes annuelles de 2 tonnes de CO₂ par personne

Nous annonçons la fin de la vente des voitures diesel d'ici 2040 !



NICOLAS HULOT
MINISTRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
Juillet 2017 lors de l'annonce du plan climat

Depuis 1960 les émissions liées aux transports suivent l'évolution des distances parcourues et la SNBC fait le pari d'un fort décalage entre la demande et les émissions d'ici 2050.



Résumé de thèse Aurélien Bigo - Novembre 2020

« L'atténuation de la demande peut réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 40 % à 70 % d'ici 2050. »

Giec 6e Rapport, Volet 3 - Avril 2022

Les progrès technologiques sont indispensables pour atteindre la décarbonisation des transports en 2050 mais insuffisants. Peu sollicitée par les politiques publiques, une ambition forte sur la sobriété permettrait une division par deux des consommations d'énergie, comparées au tendanciel.

Empreinte carbone
d'un Français en 2019

10 tonnes
(dont 2,7 pour le transport)

À DIVISER PAR 5 !
COMMENT FAIRE ?

PROBLÉMATIQUE

On n'aura
plus le droit de
se déplacer ?

Mais si !
Grâce aux progrès
techniques et
aux nouveaux
carburants !

H₂
HYDROGÈNE

ELECTRICITÉ

Se déplacer
moins, se
déplacer mieux,
une idée qui peut
s'appliquer de
plusieurs
manières et un
levier qui peut
être actionné
localement !

SOLUTIONS

OUEST BRETON

C'est bien ce qu'on
disait ! On aura plus
le droit de bouger !

INTERDIT

- ASSIGNATION À RÉSIDENCE
- INTERDICTION DES VOITURES
- DÉPENDANCE À LA TECHNOLOGIE



Plus on parcourt de kilomètres, plus on émet de gaz à effet de serre

L'énorme défi de l'annulation des émissions de GES liées aux transports

Le secteur des transports est, depuis plusieurs décennies, le mauvais élève de la lutte contre le réchauffement climatique, en même temps qu'il constitue l'un des dossiers préoccupants de santé publique¹. Entre 1990 et 2019, en France, les émissions de ce secteur ont augmenté de 9 % alors que, dans le même temps, les émissions des autres secteurs diminuaient de 28 %. Sa part dans les émissions globales de gaz à effet de serre (GES) est ainsi passée de 22 % à 31 % du total national. En 2022, 53 % de ses émissions étaient issues des voitures particulières, 15 % des véhicules utilitaires légers (inférieurs à 3,5 tonnes) et 25 % produits par les poids lourds².

La réduction des émissions de GES et la sortie de la dépendance aux énergies carbonées sont impératives pour répondre aux enjeux climatiques. La Stratégie nationale bas carbone (SNBC) est la

feuille de route française pour limiter le changement climatique. Elle a été instaurée par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). Son actualisation, inscrite dans la loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, fixe l'objectif de l'atteinte de la neutralité carbone en 2050.

La SNBC vise en particulier la décarbonation quasi totale des émissions du secteur des transports à l'horizon 2050 (hors certaines émissions, notamment celles du transport aérien). Autrement dit, cela revient à une sortie totale du pétrole en moins de 30 ans pour les transports terrestres, alors qu'il représente plus de 90 % des consommations du secteur actuellement. Un objectif intermédiaire a été fixé : -28 % d'émissions de GES en 2030 par rapport à 2015.

La Région Bretagne s'engage dans ce sens, notamment au travers du Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (Sraddet), adopté en septembre 2020. Celui-ci vise une multiplication par neuf de la production d'énergie renouvelable³ et une réduction

de 47 % des consommations d'énergie bretonnes à l'horizon 2050 par rapport à 2012⁴. Ces objectifs découlent de la trajectoire énergétique « Transition F4 », visant à atteindre le facteur 4 à l'horizon 2050 (division des émissions de GES de 1990 par 4 d'ici 2050).

La vitesse, moteur historique des émissions de CO2 dans les transports

Depuis le milieu du XX^e siècle, l'augmentation constante de la vitesse des déplacements concourt à l'augmentation des émissions de GES. La demande de transport, c'est-à-dire la distance parcourue par jour et par personne, suit cette évolution : alors que l'on parcourait en moyenne quatorze kilomètres par jour en 1960, on en parcourt aujourd'hui plus de quarante. Le développement du réseau routier, la motorisation progressive des ménages et les améliorations techniques apportées aux véhicules ont permis de circuler plus vite mais surtout d'aller plus loin, tandis que le temps moyen consacré aux déplacements est, pour sa part, resté relativement constant : autour d'une heure par jour. Cette dynamique et le phénomène d'étalement urbain se sont mutuellement alimentés, augmentant de manière importante les émissions de polluants liées aux déplacements. Une évolution similaire est constatée sur la même période concernant le transport de marchandises. Nous sommes en présence de l'effet rebond direct.

Lorsqu'une amélioration technique facilite la réalisation d'une tâche (exécution plus rapide, baisse du coût ou de la pénibilité), une consommation supérieure à la situation initiale est induite : c'est l'effet rebond. Cette notion contre-intuitive a été identifiée dès le XIX^e siècle sous le nom de paradoxe de Jevons⁵.

1. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France, Santé Publique France, 2016.

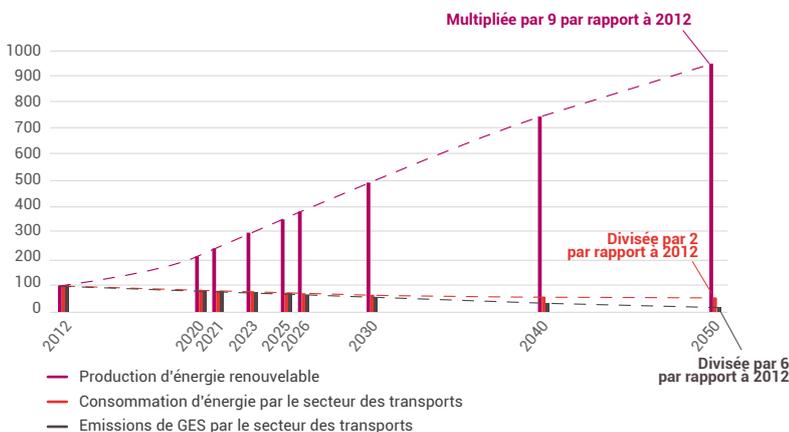
2. Ministère de la Transition écologique, Datalab, chiffres clés des transports, édition 2022.

3. En passant notamment par une multiplication par 6,4 de la production de gaz renouvelable sur la période 2019-2030, et un objectif d'une capacité éolienne installée de 4 GW en 2040. À titre de comparaison, les 2 premiers parcs éoliens offshore, à Saint-Brieuc et Groix, ont une capacité respective de 450 MW et 65 MW.

4. -47 % pour le secteur des transports à l'horizon 2050.

5. Du nom de l'économiste et logicien William Stanley Jevons qui avait constaté que les innovations apportées par James Watt à la machine à vapeur n'avaient pas entraîné de baisse de la consommation de charbon mais conduit, au contraire, à l'essor rapide du train et donc à une augmentation importante de la demande de charbon, devenue alors une énergie plus rentable.

Évolution de la production d'énergie renouvelable, de la consommation d'énergie et des émissions de GES du secteur des transports, prévues par le scénario « Transition F4 » du Sraddet (base 100 en 2012)



Source : Sraddet

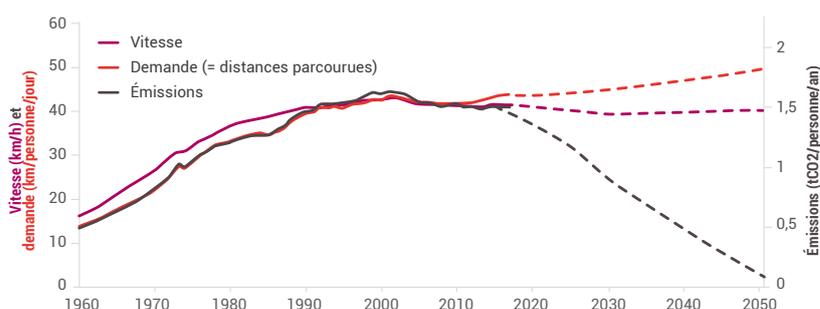


Crédit : Adobe stock

Lorsqu'une amélioration technique facilite la réalisation d'une tâche, une consommation supérieure à la situation initiale est induite : c'est l'effet rebond.

Évolution de la vitesse moyenne, des distances et des émissions individuelles de 1960 à 2050

Périmètre : France métropolitaine, émissions de CO₂ y compris biocarburants, projections à 2050 basées sur la SNBC



Source : Les transports face au défi de la transition énergétique, Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement, Résumé de thèse, Aurélien Bigo, novembre 2020

L'effet rebond caractérise donc le phénomène observé lorsque les économies d'énergie attendues par la mise en œuvre d'une ressource ou d'une technique plus efficace n'adviennent pas, voire aboutissent à une hausse des consommations par l'évolution des comportements. Le graphique ci-dessus présente une illustration de l'effet rebond en matière de mobilité : l'augmentation de la vitesse de déplacement n'a pas permis de réaliser les mêmes trajets plus rapidement,

mais d'effectuer des déplacements plus longs et plus fréquents. Il en résulte une corrélation des courbes bleue et rouge, révélant en creux une troisième courbe : celle des émissions de CO₂ (représentée en gris).

Dans sa synthèse consacrée aux enjeux des véhicules autonomes, le gouvernement français souligne lui-même le risque d'effet rebond : « L'amélioration du confort de conduite devrait améliorer significativement l'attractivité du mode automobile (individuel),

en soi et par rapport aux transports collectifs. Cela pourrait générer une augmentation de la congestion pour les trajets domicile/travail et un renforcement de l'étalement urbain⁶. »

6. Développement du véhicule automatisé - Orientations stratégiques pour l'action publique. Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), direction générale des entreprises (DGE), délégation à la sécurité routière (DSR), mai 2018

Le développement de nouveaux carburants doit s'inscrire dans une dynamique de réduction des déplacements carbonés

L'objectif de décarbonation quasi totale du secteur des transports en 2050 doit se traduire par une forte inflexion à la baisse de la courbe des émissions de CO₂. Il implique, par conséquent, une décorrélation complète des paramètres qui suivent une évolution quasi identique depuis une soixantaine d'années : vitesse moyenne, distance parcourue, émissions de GES (cf. graphique ci-avant). Cet objectif ambitieux, qui revient à se passer de pétrole en 2050 et à n'utiliser que des carburants produits à partir de sources neutres en carbone, repose sur une série d'hypothèses dont la réalisation conjointe demeure fortement incertaine :

- il nécessite de disposer d'une énergie primaire et d'infrastructures pour produire massivement des carburants alternatifs (électricité, hydrogène, biogaz, e-fuel) ;
- il suppose des matières premières en quantité pour la réalisation de ces infrastructures de production énergétique et pour la fabrication des véhicules eux-mêmes (métaux, terres rares⁷, etc.), tout en impliquant que la production de ces carburants alternatifs et véhicules soit réellement neutre en carbone ;
- il n'a de sens que s'il n'engendre pas de nouvelles pollutions et dommages environnementaux à grande échelle, où qu'ils soient (émissions de polluants atmosphériques, pollution de l'eau, déforestation, etc.) ;
- il requiert que les ménages et les entreprises soient capables d'acquérir ou d'utiliser de nouveaux véhicules plus coûteux, dans un contexte inflationniste, de hausse des prix de l'énergie et des matières premières, étant entendu que la décarbonation des transports ne doit pas accentuer les fractures sociales et les inégalités face à la mobilité. Ainsi que le résume l'économiste Yves Crozet : « La décarbonation ne doit pas être juste de la décarbonation, mais de la décarbonation juste⁸. »

7. Les « terres rares » sont un ensemble de 17 métaux rares : lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, prométhium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutécium, yttrium et scandium. La rareté désigne ici leur faible concentration dans la croûte terrestre et la difficulté pour les extraire, pas la faiblesse du stock total. Elles sont en fait relativement abondantes sur Terre.

8. Podcast « Rencontres », Laboratoire de la mobilité inclusive, juillet 2022

Dans le contexte actuel, il paraît donc risqué de faire reposer le pari de la décarbonation uniquement sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules et sur la réduction de l'intensité carbone de l'énergie. Si cet axe de travail est indispensable, l'atteinte de l'objectif fixé par la SNBC ne pourra pas se passer, en parallèle, d'une réduction des besoins de déplacement.

Une recherche internationale menée en 2018 dans quatorze pays a classé les politiques publiques visant à décarboner les transports selon trois catégories⁹ :

- la grande majorité des mesures se focalise sur le levier technique, particulièrement le développement du véhicule électrique : c'est le levier des nouveaux carburants, dont il est ici question ;
- une minorité d'actions est consacrée au report modal, c'est-à-dire au remplacement de la voiture, sur les trajets qui le permettent, par d'autres modes de déplacement. Ce levier – potentiellement puissant – est évoqué sans être développé dans la présente publication dont ce n'était pas l'objet premier (voir par exemple à ce sujet les numéros 7 et 8 de l'Observatoire des mobilités consacrés au vélo ou le numéro 9 qui traite de la marche en tant que mode déplacement à part entière) ;
- enfin, très peu de mesures de limitation des déplacements sont entreprises : la sobriété n'est quasiment pas abordée par les politiques publiques en matière de mobilité.

Faire reposer l'objectif de la décarbonation des mobilités uniquement sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules et sur la réduction de l'intensité carbone de l'énergie est insuffisant sans une réduction des besoins de déplacement et une amplification du report modal.

9. Selon l'approche A-S-I : Avoid (éviter), Shift (changer), Improve (améliorer)

Pour en savoir +



Aménagements cyclables : quelques bonnes pratiques

[Observatoire de la mobilité n° 7, Adeupa, janvier 2021](#)



Politiques cyclables de l'Ouest breton : un état des lieux

[Observatoire de la mobilité n° 8, Adeupa, mai 2021](#)



Refaire place au piéton : ça marche !

[Observatoire de la mobilité n° 9, Adeupa, septembre 2022](#)

« Nouveaux carburants » : des opportunités potentielles mais actuellement mesurées

L'électrique : une technique adaptée pour les véhicules légers, pas une panacée

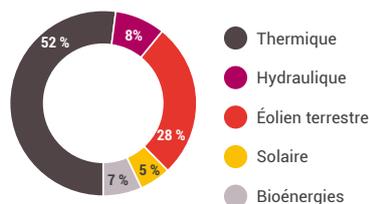
Dans la recherche actuelle de « nouveaux carburants » alternatifs aux énergies fossiles, le chantier de l'électrification du parc automobile prédomine, encouragé par les pouvoirs publics via différentes incitations fiscales, en même temps que prévaut le développement de l'infrastructure de mégadonnées indispensable au fonctionnement de ce système automobile de nouvelle génération.

Cependant, contrairement à l'image qui en est usuellement donnée, ces deux leviers sont de gros producteurs de gaz à effet de serre et porteurs d'atteintes à l'environnement. D'une part, l'analyse du cycle de vie des véhicules électriques démontre que leur usage ne permettra que très difficilement de compenser l'énergie grise mobilisée et les pollutions nombreuses produites pour leur fabrication (production d'aluminium trois fois plus

Quelques repères...

21,3 TWh
Consommation bretonne (2022)

7,25 TWh
Production bretonne d'électricité en 2022 et répartition par filière :



Source : RTE dans ODRE

énergivore que l'acier, extraction massive et souvent lointaine de métaux et terres rares pour les batteries, etc.). D'autre part, l'augmentation exponentielle des données de mobilités engendre des besoins matériels et énergétiques à l'avenant – en croissance de 9 % par an – notamment

 La Bretagne importe l'essentiel de l'électricité qu'elle consomme (depuis les régions Normandie et Pays de la Loire)

En Bretagne :

 **19 400** voitures électriques, en 2022

 **2 100** véhicules utilitaires légers électriques, en 2021

 **5** poids-lourds électriques, en 2021

Début 2023, en Bretagne :

 **4 067** points de charge ouverts au public

 **90%** des recharges sont réalisées à domicile ou au lieu de travail

pour faire fonctionner les nombreux datacenters reliés par voie hertzienne ou câblée qui traitent en permanence les données générées. Souvent présentées comme étant entièrement dématérialisées, les mégadonnées ont pourtant un impact matériel et énergétique considérable.

Par ailleurs, l'option électrique rencontre d'autres limites. Le poids important des batteries les rend inadaptées à la motorisation électrique à grande échelle des camions. Dans ce cas, c'est l'hydrogène qui est promu ; un hydrogène décarboné, contrairement à celui disponible aujourd'hui, issu à 95 % de fossiles. Mais cet hydrogène vert, qui n'est qu'un vecteur énergétique, produit par électrolyse de l'eau, exige pour sa fabrication énormément d'électricité renouvelable. Et, quand bien même cette électricité serait-elle produite par des réacteurs nucléaires plutôt que par des éoliennes, il faudrait dédier à ce seul usage plusieurs dizaines de réacteurs uniquement pour remplacer le parc hexagonal existant de poids lourds, au moment même où la demande croissante d'électricité concerne de nombreux autres usages que celui de la propulsion des véhicules (cf. partie II.3).

L'essor des SUV est à contresens des enjeux de sobriété

L'essor des véhicules de type SUV est une réalité de plus en plus contestée. Plus lourd, plus coûteux et plus polluant, ce modèle de véhicule a pourtant vu ses ventes multipliées par sept en dix ans en France ; il représente actuellement 40 % des ventes de véhicules neufs. Ainsi, en une décennie, les voitures ont pris un centimètre tous les deux ans et dix kilogrammes par an : par rapport à une voiture standard, un SUV pèse en moyenne 200 kg de plus ; et sa consommation est supérieure de 15 %. Enfin, il représente un surcoût considérable dans le budget annuel des ménages évalué à plus de 400 € (achat, frais d'assurance et d'entretien, etc.).

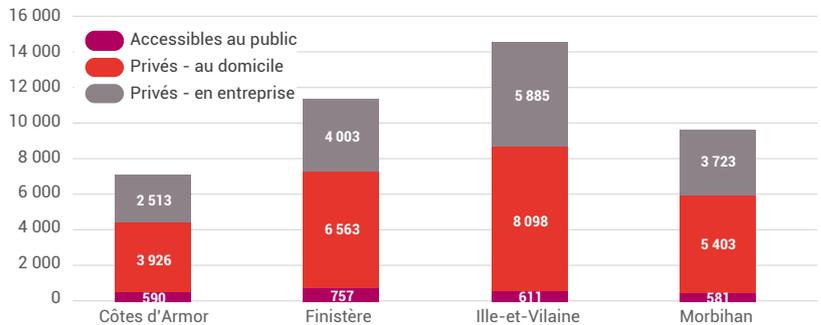
Si les SUV électriques ne représentent que 2 % des SUV en circulation, cette part est amenée à croître dans les années à venir. En effet, un véhicule électrique sur deux actuellement en circulation est un SUV. Pourtant, à cause de leur gabarit, ces véhicules sont moins efficaces (poids, surface frontale importante) et émettent davantage de particules fines que les modèles plus légers (freinage, contact pneu-chaussée) ; ils apparaissent donc à rebours de la nécessaire sobriété à atteindre dans le domaine des transports. Leur fabrication a également un impact environnemental plus important qu'un véhicule standard, augmentant son temps d'amortissement. C'est une illustration de l'effet rebond.

Un parc de véhicules et un réseau d'infrastructures de recharge en rapide développement

Entre 2019 et 2021, les immatriculations de véhicules 100 % électriques ont été multipliées par quatre en France, passant de 40 000 à 160 000 véhicules par an. En 2022 plus d'une voiture vendue sur dix était électrique, une part supérieure à la moyenne européenne mais loin du leader mondial norvégien (80%). Le scénario de référence de la Stratégie nationale bas-carbone fixe l'objectif de 35 % de ventes de voitures neuves électriques en 2030. Cette part devrait logiquement s'accroître dans les années à venir, dopée par les objectifs fixés par le Green Deal européen. Le paquet climat, intitulé « Fit for 55 » et publié à l'été 2021, vise une réduction de 55 % des émissions de CO2 en 2030 par rapport à 1990. Parmi les mesures pour y parvenir : l'interdiction de la vente de voitures et camionnettes diesel, essence ou hybrides dès 2035, adoptée en juin 2022.

Dans l'Ouest breton, en 2022, on comptait 8 500 voitures électriques ou hydrogène, soit moins de 1 % du parc automobile du Finistère et des Côtes d'Armor, constitué de 985 000 véhicules. Le parc reste donc en quasi-totalité composé de véhicules essence (37 %) ou diesel (59%). La situation est identique pour les véhicules utilitaires légers ou les poids lourds. Toutefois, en 2022, 16 % des immatriculations de voitures en

43 000 points de charge en Bretagne en 2022 dont 56 % à domicile, 38 % en entreprise et 6 % accessibles au public



Source : Région Bretagne, BDI, SDEF, SDE22

Bretagne correspondaient à des véhicules électriques, illustrant l'accélération de la transition du parc.

Afin de simplifier la recharge des véhicules électriques, les collectivités déploient un réseau de bornes. C'est le cas dans le Grand Ouest, où le réseau Ouest Charge a été créé par l'alliance de sept départements et des régions Bretagne et Pays de la Loire. Ce réseau public est complété par un réseau de bornes privées en fort développement et installées par différents acteurs : enseignes de grande distribution, hôtels, équipements de loisirs.

Le réseau de bornes breton est en forte progression, puisqu'il comptait près de 5 000 bornes début 2023, et 52 000 points de charge publics et privés.

Cependant, 90 % des recharges sont effectuées au domicile et, dans une moindre mesure, sur le lieu de travail. Cette proportion souligne l'enjeu d'équipement des logements collectifs. Aujourd'hui, selon l'Insee, seulement 2 % des copropriétés sont équipées d'infrastructures de recharge. Si RTE et Enedis ne pointent pas d'obstacles techniques insurmontables au rechargement d'un parc automobile qui serait massivement électrifié à l'horizon 2050, il faudra que la consommation électrique poursuive sa baisse sur d'autres usages, en particulier le chauffage.

Une nouvelle demande électrique à satisfaire

Le développement massif du véhicule électrique s'accompagne d'une série de questions.

La première et celle de la satisfaction de l'ensemble des besoins en électricité, globalement en hausse, au moment où l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) souligne les fragilités industrielles du parc électronucléaire français, qui ont notamment engendré une moindre disponibilité des réacteurs à l'hiver 2021-2022 et conduit à relancer la centrale au charbon de Saint-Avold (en sus de celles de Cordemais et du Havre), par crainte de défauts d'approvisionnement. Certaines de ces fragilités étaient prévues. Elles résultent de l'arrêt de la centrale nucléaire de Fessenheim, de l'impact du grand carénage et de l'ajournement de la mise en service de l'EPR de Flamanville (initialement prévue en 2012 et aujourd'hui programmée en 2024). Les capacités en la matière dépendent donc du modèle énergétique français du futur et de la nature du mix énergétique. D'autres sont inattendues : elles découlent de l'arrêt de réacteurs, à la suite de détection d'anomalies de corrosion sous contrainte, sur des tuyauteries annexes de circuits



Borne Ouest charge à Paimpol - Crédit : Adeupa

primaires. Bien que l'Autorité de sûreté nucléaire ait statué le 23 février 2021 sur les conditions de la poursuite du fonctionnement des 32 réacteurs de 900 MW d'EDF (les plus anciens en exploitation en France) au-delà de leur quatrième réexamen périodique, le parc français est en effet vieillissant. Seule une dizaine des 56 réacteurs nucléaires qui le composent, tous implantés hors de Bretagne, était en théorie programmée pour fonctionner au-delà de 2028, les 46 autres étant à l'origine conçus pour s'arrêter à cette date, en raison des risques induits par l'usure normale de leurs composants critiques non remplaçables.

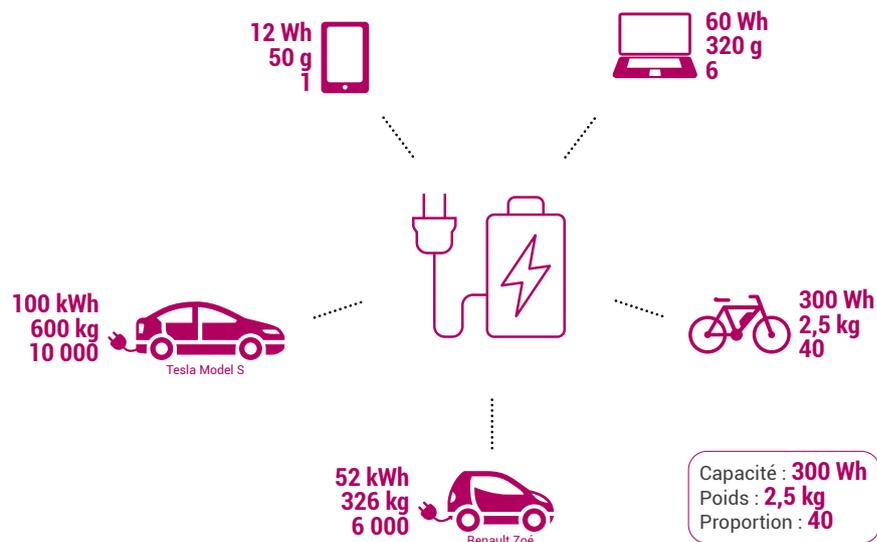
Comme on le voit, la réponse aux besoins croissants en électricité n'ira pas nécessairement de soi. En outre, la satisfaction de cette demande n'aura de sens que si l'électricité produite est réellement décarbonée, ce qui n'est pas le cas de la filière électronucléaire, dès lors que sont analysées la totalité du processus de production et l'entièreté de son cycle de vie, et indépendamment du fait que c'est une technologie particulièrement lourde et complexe à mettre en œuvre, ainsi qu'en témoigne l'accumulation des difficultés et contretemps du programme EPR.

Production des véhicules et des batteries : de lourds impacts territoriaux et une empreinte écologique considérable

La seconde série de questions que pose le développement massif du véhicule électrique est celle des pollutions qu'il génère sur l'intégralité de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'au recyclage du véhicule. Les analyses sont nombreuses et parfois divergentes en la matière, selon les conditions prises en compte. Pour certaines, le véhicule électrique présente un bilan positif dès qu'il circule quelques milliers de kilomètres; pour d'autres, il est tout simplement plus polluant qu'un véhicule thermique. En France, une voiture électrique présente cependant un meilleur bilan carbone qu'un modèle thermique du fait d'un mix électrique largement décarboné. Malgré tout, la production d'un véhicule électrique émet une quantité importante de CO₂, notamment en raison de la production de la batterie, particulièrement émissive.

Par ailleurs, les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas le seul critère à prendre en compte. D'autres paramètres doivent alerter sur la croissance rapide du parc de véhicules électriques. L'extraction en grandes quantités d'aluminium, de graphite, d'acier, de cuivre, de lithium ou encore de cobalt pose des problèmes similaires à ceux engendrés par le passé par l'industrie pétrolière : pollutions massives, atteintes aux droits humains sur les sites d'extraction, épuisement des ressources en eau, etc. La demande de lithium pourrait

Les batteries : quelques ordres de grandeur



La batterie d'un vélo à assistance électrique équivaut à 40 batteries de smartphones.
La batterie d'une Tesla Model S équivaut à 250 batteries de vélos à assistance électrique.

être multipliée par 60 à l'échelle mondiale à l'horizon 2050 (80 000 tonnes extraites en 2022). Celle de cuivre pourrait être multipliée par cinq (vingt millions de tonnes extraites en 2022), ce qui poserait des problèmes d'approvisionnement pour ce métal, si des progrès ne sont pas réalisés sur le recyclage, aujourd'hui très peu développé.

Les stocks de métaux et de terres rares, particulièrement sollicités par le numérique et l'électromobilité, semblent suffisants pour mener à bien la décarbonation des transports. Mais ce n'est pas tant leur disponibilité qui interroge que leurs conditions d'extraction, les nouvelles dépendances qu'elles créent et le rythme fulgurant de l'augmentation de leur demande à l'échelle mondiale. Pour les extraire et les raffiner, des quantités importantes d'énergie et de procédés chimiques sont nécessaires, avec des conséquences très dommageables pour l'environnement et les populations locales. La Chine est, de loin, le premier pays extracteur et producteur de terres rares dans le monde, suivie par les États-Unis et l'Australie.

La mobilité électrique pose donc, outre les problématiques locales, des questions plus globales : son développement doit-il primer sur les conditions de vie des populations chilienne, congolaise ou chinoise vivant à proximité des sites d'extraction? Des sites et des paysages exceptionnels y sont détruits pour satisfaire la nouvelle demande de déplacements électriques européenne. N'est-il pas risqué de faire reposer notre système de mobilité sur de nouvelles dépendances géostratégiques?

Cette problématique a récemment été

illustrée dans le Finistère. Une étude du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) a identifié un gisement de 66 000 tonnes de lithium en baie d'Audierne, dans la commune de Tréguennec (l'un des plus gros gisements français), soit l'équivalent de près d'une année de consommation mondiale de lithium.

La réaction des élus locaux, associations et habitants a été rapide et sans équivoque : « Une exploitation minière en baie d'Audierne est et restera inenvisageable ». À l'instar de ce rejet, de nombreux projets d'ouverture ou de relance d'activités minières sont bloqués en Europe par les populations locales, conscientes des nuisances qu'ils engendraient. Pourtant, une mobilité du niveau que nous connaissons aujourd'hui, basée sur le recours à l'énergie électrique, sera extrêmement consommatrice de métaux ce qui conduit naturellement à se pencher sur les questions d'usage et de sobriété énergétique.



« Compte tenu de nos modes de vie, on va consommer en une génération, celle des 30 prochaines années, davantage de métaux rares que les 2 500 générations qui l'ont précédée. »

Guillaume Pitron,
« Métaux rares : la face cachée de la transition énergétique »

TedX Lille, 14 avril 2018

Le gaz, un vecteur privilégié pour le transport de marchandises

Des gisements locaux et un développement soutenu

Le gaz est utilisé sous de multiples formes. Le gaz naturel, quand il alimente les logements, est communément appelé « gaz de ville ». Il est majoritairement composé de méthane et principalement d'origine fossile. Le GNV (gaz naturel pour véhicule), qui peut être utilisé sous forme de GNL (gaz naturel liquéfié, stocké à une température d'environ -160 °C) ou de GNC (gaz naturel comprimé à 200 à 300 bars) a une composition similaire. Il faut distinguer le GPL (gaz de pétrole liquéfié), lui aussi d'origine fossile, qui est majoritairement composé de butane et de propane. Le GNV, lorsqu'il est d'origine fossile, ne permet pas de progrès en matière d'émissions de GES¹⁰, bien qu'il limite les émissions d'oxydes d'azote et de particules fines.

Le biogaz est produit à partir de matières organiques fermentescibles¹¹. Il provient

10. L'Ademe fournit les facteurs d'émissions suivantes : 0,122 kgCO₂e/passager.km pour le GNV classique et 0,113 kgCO₂e/passager.km pour le gazole.

11. Le préfixe « bio » n'a aucun lien avec le label « agriculture biologique ».

Quelques repères...

1,4 TWh
Production bretonne de biogaz en 2022

19,5 TWh
Consommation bretonne de gaz en 2022

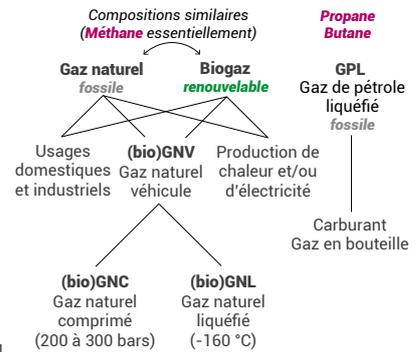
Sources : AILE via OEB ; GRTgaz dans ODRE

En Bretagne en 2022 GNV ou GPL :

9 900 voitures GNV ou GPL

550 véhicules utilitaires légers, en 2021

160 poids lourds, en 2021



essentiellement d'effluents d'élevage mais nécessite également des cultures intermédiaires, c'est-à-dire des plantes coupées avant maturité (avoine, orge) qui ont une forte teneur en carbone. Lorsque ce biogaz, dont la composition est très proche de celle du gaz naturel, est utilisé en tant que carburant pour véhicules, on parle de bioGNV. Le biogaz représente aujourd'hui environ 1 % de la consommation de gaz en France. La programmation pluriannuelle de l'énergie prévoit de multiplier par quatre à six fois la production de biogaz de 2017 à l'horizon 2028.

La Bretagne, largement importatrice d'énergie et grande région agricole, s'est résolument lancée dans la production locale de biogaz. Le pacte biogazier breton a fixé comme objectifs d'injecter du gaz renouvelable à hauteur de 10 % de la consommation bretonne en 2025 et de multiplier par six la production de gaz renouvelable en 2030. Afin de tenir ces objectifs, les projets de méthanisation se multiplient dans la région depuis 2005. En janvier 2022, on comptait 186 unités de méthanisation en fonctionnement en Bretagne, dont 39 en Finistère et 51 en Côtes d'Armor. Le cumul des sites en fonctionnement et en projet laisse apparaître un potentiel de production de 2,1 TWh par an. Pour parvenir à une consommation de gaz 100 % renouvelable, à consommation équivalente, il faudrait multiplier ce potentiel par huit. La valorisation du biométhane la plus répandue est la cogénération (production de chaleur et d'électricité) qui concerne 111 sites, puis l'injection (injection de biogaz dans le réseau collectif), qui concerne cinquante sites.

L'utilisation du GNL se développe également dans le domaine maritime, à l'image de la compagnie Brittany Ferries qui aura en 2025 cinq navires GNL. On compte aujourd'hui quatre terminaux proposant un avitaillement GNL en France : Fos-sur-Mer (deux terminaux), Montoir-de-Bretagne et Dunkerque. Un cinquième verra le jour au Havre en 2023.



Station GNV de Guipavas - Crédit : Adeupa

Biogaz : une massification nécessairement risquée, un encadrement indispensable

Une étude de l'Ademe, réalisée en 2018, a évalué le potentiel théorique d'injection de biogaz à 460 térawattheures (TWh) en France métropolitaine. La demande serait de son côté située entre 276 et 361 TWh d'ici 2050.

L'atteinte de la neutralité carbone en 2050, et donc de 100 % de gaz renouvelable, repose sur trois modes de production dont deux sont encore au stade du développement :

- la méthanisation qui permettrait de fournir 140 TWh de gaz, soit 30 % du total ;
- la pyrogazéification : production d'un gaz de synthèse à partir de déchets organiques solides chauffés, qui fournirait 40 % de la production ;
- le Power to gas : stockage d'électricité d'origine renouvelable sous forme de gaz par électrolyse de l'eau, qui compléterait le mix avec 30 % de la production.

Ces perspectives alimentent le développement de projets de méthanisation, subventionnés et facilités par la réglementation¹².

Certains agriculteurs font le constat qu'il est plus sécurisant de vendre du gaz que du lait, au cours plus volatil, grâce à des prix garantis sur plusieurs années leur assurant un revenu. Le risque est alors de voir se multiplier des fermes dont la raison d'être serait d'alimenter des méthaniseurs au détriment de l'alimentation humaine ou animale.

D'après une estimation du Collectif scientifique national pour une méthanisation raisonnée (CSNM), l'atteinte des objectifs de production de gaz 100 % renouvelable dans les volumes fixés par le gouvernement impliquerait de consacrer l'équivalent de trois départements français à des cultures intermédiaires.

De nombreuses pollutions de cours d'eau accompagnent le développement des méthaniseurs ; parmi les plus récents : Saint-Hilaire-du-Harcouët (Manche) en juillet 2022, Combrand (Deux-Sèvres) en décembre 2021, ou encore Rarécourt (Meuse) en novembre 2021. La Bretagne n'a pas été épargnée par ces accidents, celui de la centrale Biogaz Kastellin en août 2020 a particulièrement marqué les esprits. Plus de 400 m³ de déchets organiques chargés en ammoniac se sont déversés dans l'Aulne, rendant l'eau du robinet impropre à la consommation pour 180 000 habitants de 51 communes.

12. Par exemple, en 2018, le seuil de classification des méthaniseurs en ICPE et d'enquête publique obligatoire a été élevé de 30 tonnes entrantes par jour à 100 tonnes entrantes par jour.

Biocarburants, carburants de synthèse : les nouveaux habits du moteur thermique

Les "biocarburants" sont des carburants fabriqués à partir de matières organiques, contrairement aux carburants fossiles (dérivés du pétrole par exemple). Cette nomenclature porte à confusion car le préfixe "bio" peut laisser supposer qu'ils sont parfaitement respectueux de leur environnement. Or il signifie juste que leur production est issue de la biomasse.

Les biocarburants sont généralement utilisés sous forme d'additifs ou de complément aux carburants fossiles. Il existe trois générations de biocarburants :

- Les **biocarburants de première génération** sont produits à partir de plantes (betterave sucrière, céréales, soja, colza, etc.) et mobilisent entre autres l'apport de nombreux intrants (engrais, produits phytosanitaires, etc.) et des terres arables. Cette première génération a atteint le stade industriel. Elle est incorporée à l'essence (la mention E5 ou E10 précise la proportion d'éthanol dans le carburant distribué à la pompe) et au gazole. Elle entre directement en compétition avec l'alimentation et, si elle permet de faire baisser les émissions du secteur des transports, le bilan global montre un transfert d'émissions et parfois une hausse, en tenant compte de l'impact de sa production ;
- Les **agroc carburants de deuxième génération** sont fabriqués à partir de lignocellulose contenus dans le bois (résidus forestiers), dans la paille (résidus agricoles) ou dans des plantes de cultures dédiées ;
- Un **développement de la production d'agroc carburants de troisième génération** à partir de microalgues est également envisagé. Il est actuellement au stade expérimental.

Une dernière et récente famille de carburant, les carburants de synthèse, peut également être produite à partir de la biomasse. Ils sont souvent désignés sous l'appellation e-fuels (e-méthane, e-kérozène, e-méthanol, etc.). Cette possibilité de produire de l'essence ou du gazole en se passant de pétrole laisse une chance aux constructeurs de pouvoir continuer à commercialiser des moteurs thermiques après 2035. Deux problèmes de poids limitent actuellement leur intérêt : leur prix, situé autour de dix euros le litre, et leur bilan écologique. L'ONG Transport & Environment a analysé les performances de véhicules alimentés aux carburants de synthèse et a pointé une réduction des émissions des particules fines, mais une persistance des émissions d'oxydes d'azote et même une augmentation du monoxyde de carbone et de l'ammoniac.

La centrale a été réouverte en octobre, sept semaines après l'incident.

Le secteur agricole lui-même doit aussi se décarboner car il est fortement dépendant au pétrole aujourd'hui. C'est particulièrement le cas en Bretagne, où l'agriculture est le premier secteur émetteur de GES, avec 40 % des émissions, devant les transports (32 %). Le plan de transformation de l'économie française (PTEF) publié par le Shift Project suggère de se passer de l'injection de biogaz et de supprimer les cultures dédiées à ce produit¹³. Autrement dit, la décarbonation grâce au biogaz devrait prioritairement servir à décarboner des usages agricoles avant de bénéficier aux transports.

La loi antigaspillage pour une économie circulaire (AGEC) a rendu obligatoire le tri à la source des biodéchets à l'horizon 2023, notamment pour les collectivités

territoriales dans le cadre du service public de gestion des déchets. À partir du 1^{er} janvier 2024, les collectivités seront tenues de proposer aux particuliers une collecte séparée et/ou une solution de valorisation organique des biodéchets. Cette réglementation constituera un nouveau gisement pour la méthanisation, y compris dans les zones densément urbanisées.

La décarbonation grâce au biogaz devrait prioritairement servir à décarboner des usages agricoles avant de bénéficier aux transports

13. The Shift Project, *Le plan de transformation de l'économie française*, Odile Jacob, janvier 2022.

L'hydrogène, des possibilités d'application multiples, mais des obstacles technico-économiques à surmonter

Des projets locaux en cours de développement mais une filière à structurer

L'hydrogène ou dihydrogène est l'élément le plus abondant de l'univers mais il est très rare sous sa forme moléculaire (H₂). Pour l'obtenir, il faut donc le synthétiser et cette opération nécessite de l'énergie. Parmi les différents modes de production, les plus utilisés recourent à l'énergie fossile et sont donc très émetteurs de GES. Sur environ un million de tonnes d'hydrogène produites par an, 94 % le sont via des techniques fortement émettrices de GES¹⁴. Cette production représente aujourd'hui 3 % des émissions françaises de CO₂ (4 % en Europe).

Depuis le début des années 2000, l'hydrogène est fréquemment présenté comme une alternative crédible au pétrole qui rendrait possible la préservation de nos modes de vie et ouvrirait même des possibilités de développement économique via une filière ad hoc¹⁵. Seulement, cette promesse implique la fabrication d'un hydrogène entièrement décarboné.

La production d'hydrogène « vert », autrement dit bas carbone, repose sur le développement du procédé d'électrolyse de l'eau qui consiste à séparer le dihydrogène de l'oxygène par un apport d'électricité. Aujourd'hui, le procédé n'est pas compétitif économiquement, car beaucoup plus cher à produire que l'hydrogène gris (produit à partir de méthane fossile ou de dérivés pétroliers) ou, à plus forte raison, que l'électricité nucléaire.

14. Association Negawatt.

15. Jeremy Rifkin, *L'économie hydrogène*, La Découverte, 2002.

Sur environ un million de tonnes d'hydrogène produites par an, 94 % le sont via des techniques fortement émettrices de gaz à effet de serre (GES)

Quelques repères...

H₂ 920 000 tonnes/an
Production française d'hydrogène en 2020

CO₂ 94 % de l'hydrogène
produit en France est d'origine fossile

58 stations
de distribution d'hydrogène en France en 2022 et 225 en projet à l'horizon 2025

2 types de stockage :

à haute pression (200 à 700 bars)

à basse température (-253 °C)

Côté véhicule, deux types de motorisation fonctionnant à partir de l'hydrogène existent. Le **moteur à pile à combustible** est un moteur électrique, qui puise son énergie dans une pile alimentée à l'hydrogène et non pas par une batterie embarquée comme dans un véhicule électrique au sens classique du terme. Cette technologie présente l'avantage de n'émettre aucun GES localement. Elle est parvenue à maturité mais, d'après les estimations du ministère de la Transition écologique et solidaire, elle coûtera encore trois à cinq fois plus cher que le moteur à essence lorsqu'elle sera fabriquée en grande série à l'horizon 2030. Le principal coût est engendré par le réservoir à hydrogène qui doit être capable de stocker le gaz à près de 350 bars pour les bus et jusqu'à 700 bars dans une voiture.

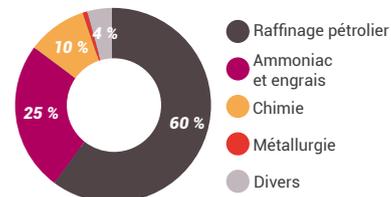
Le **moteur à hydrogène**, quant à lui, est un moteur thermique qui utilise de l'hydrogène comme source de combustion. Cette technologie fiable et mature semble plus adaptée à de gros moteurs destinés à des cargos ou à l'industrie. Il émet néanmoins des polluants, particulièrement des oxydes d'azote.

Le gouvernement français s'est doté en 2020 d'une stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France. Elle est dotée de sept milliards d'euros et a fixé trois priorités :

- décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse, avec l'objectif de 6,5 GW d'électrolyseurs installés en 2030 ;
- développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné ;
- soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain.

À l'instar du Plan national de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique, la Région Bretagne s'est

Consommation d'hydrogène par usage en France (source : RTE)



En France en 2023 :

586 véhicules routiers en circulation

8 boucles locales
hydrogène renouvelable et bas carbone en Bretagne d'ici 2030

dotée d'une feuille de route de déploiement de l'hydrogène renouvelable à l'horizon 2030. Celle-ci repose principalement sur le développement d'électrolyseurs, en terre ou en mer, pour stocker le surplus de production éolienne sous forme d'hydrogène. Une autre technologie, le vaporeformage, pourrait permettre de produire de l'hydrogène vert. C'est déjà le process le plus répandu pour produire de l'hydrogène mais il est actuellement réalisé quasi exclusivement à base de gaz fossile, qui pourrait être remplacé par du méthane d'origine organique.

Plusieurs projets relatifs à l'hydrogène sont en cours de développement dans l'Ouest breton, soulignant une dynamique régionale autour de cette filière. Un cluster hydrogène est en construction à Saint-Brieuc. 140 structures y adhèrent déjà. Le rôle du cluster sera d'accompagner, de former et trouver des nouveaux cas d'usage à l'hydrogène. Le projet, porté par un groupement (CCI, Syndicat départemental d'électricité 22, Saint-Brieuc Armor Agglomération) vise également à mettre en service une station de production et de distribution d'hydrogène qui s'implanterait à Ploufragan, zone des Châtelets. Quelques usages sont déjà identifiés : l'alimentation de bus du réseau de transports urbains briochins, de bennes à ordures ménagères ou encore de barges pour la mytiliculture. Le groupement de partenaires est lauréat de l'appel à projet de la Région Bretagne « Boucles d'écosystèmes territoriaux de productions et d'usages d'hydrogène renouvelable ».

Le projet Vallée Hydrogène Grand Ouest (VHyGO), vise à développer la production d'hydrogène vert. Objectif en 2024 : dix sites de production, vingt stations de distribution et 500 véhicules à hydrogène déployés dans les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire. Il a été retenu par l'Ademe dans le cadre de son appel à projet « Écosystème territoriaux

hydrogène ». La première phase du projet prévoit notamment un site de production d'hydrogène vert par électrolyse avec une capacité de 1,5 MW à Brest.

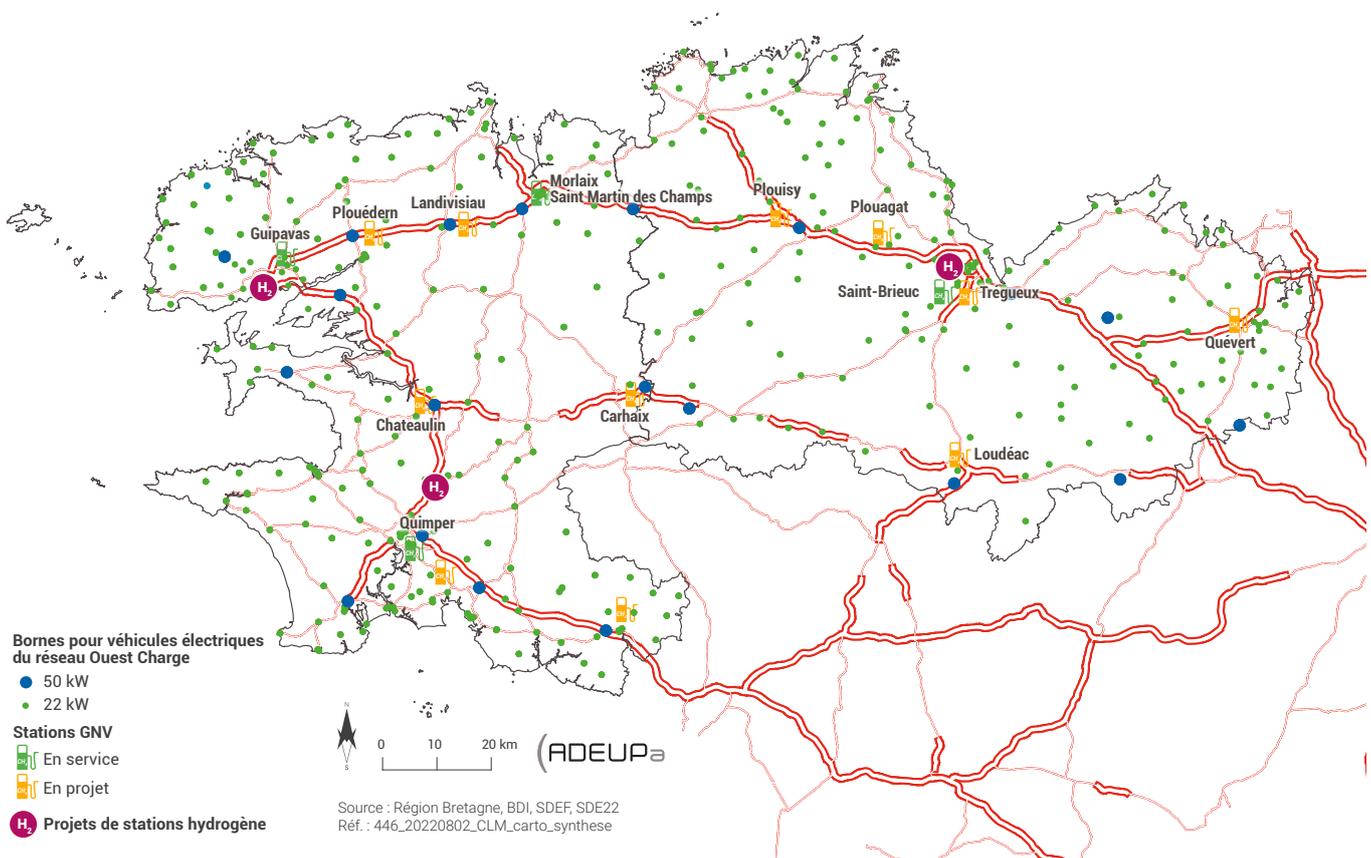
À Briec, l'unité de valorisation énergétique des déchets ménagers du Sidepaq (Syndicat intercommunal pour l'incinération des déchets du pays de Quimper) a également été identifiée pour étudier l'opportunité d'y produire de l'hydrogène renouvelable. L'unité produit déjà de la chaleur et de l'électricité, qui pourrait également être utilisée pour produire de l'hydrogène.

Enfin, la première station de distribution d'hydrogène ouverte au public en Bretagne a été inaugurée en 2022 à Vannes sur le site Michelin. Un premier navire à propulsion hydrogène électrique est annoncé pour 2024 pour rallier les îles du Golfe du Morbihan. On peut également souligner la volonté de Lorient Agglomération de développer un site de distribution d'hydrogène à Lanester, dans l'optique d'alimenter les bateaux-bus intégrés à son réseau de transports collectifs.

« Le développement de la filière hydrogène relève du temps long. Des perspectives séduisantes sont ouvertes mais leur point d'arrivée n'est pas acquis. Il convient d'accepter que de nombreux travaux de développement n'aboutissent que dans les décennies à venir et on ne connaît pas les résultats. On ne saurait construire une politique énergétique sur des espoirs, mais sur des réalités. »

Rôle de l'hydrogène dans une économie décarbonée
Rapport de l'Académie des Technologies, 2020

Déploiement des infrastructures dédiées aux nouveaux carburants dans l'Ouest breton



L'énergie musculaire : un levier éprouvé pour décarboner les déplacements

L'enquête mobilité des personnes (Sdes, 2019) a montré que 63 % des déplacements réalisés en voiture en France étaient inférieurs à dix kilomètres. Cette moyenne nationale est encore plus importante à l'échelle du pays de Brest, où 72 % des déplacements automobiles sont inférieurs à 10 km (Enquête ménages déplacements du pays de Brest, Adeupa 2018). Autrement dit, une majorité de déplacements réalisés en voiture le sont sur une distance compatible avec la marche ou le vélo, éventuellement doté d'une assistance électrique qui, on l'a vu, nécessite une batterie 150 à 250 fois moins lourde que celle d'une voiture électrique.

Le report modal vers les modes actifs constitue donc un levier évident pour décarboner les déplacements de courte distance, au cœur des pratiques du quotidien. Dans ce sens, l'énergie musculaire peut être considérée comme un carburant au même titre que le gaz, l'hydrogène ou l'électricité. C'est le seul à pouvoir honnêtement se targuer d'être zéro émission, même si la fabrication de chaussures ou d'un vélo nécessite parfois des techniques de pointe. Par ailleurs, comme le dit le géographe Jacques Lévy, « avec la marche, on combat en même temps l'obésité et l'effet de serre ». Le développement des modes actifs que sont le vélo et la marche répond en effet à un enjeu crucial de santé publique : la lutte contre la sédentarité et contre l'inactivité physique.

La problématique de décarbonation des transports ne dispose pas d'une réponse technologique unique et définitive. Les « nouveaux carburants » peuvent ponctuellement et localement constituer des solutions, cependant toute massification présente des contreparties et risques.

Décarboner l'hydrogène implique des besoins massifs en électricité

L'hydrogène est actuellement quasi exclusivement produit à partir de ressources fossiles, en France et dans le monde. Si la densité énergétique de l'hydrogène, lorsqu'il est comprimé, présente l'avantage de se passer de lourdes batteries, ce qui est particulièrement intéressant pour les bus, poids lourds ou navires, la route vers un hydrogène bas carbone et disponible massivement est encore longue.

Le développement de l'hydrogène vert est pour l'instant conditionné à la résolution de plusieurs obstacles techniques de taille. La production d'hydrogène nécessite de multiples opérations de transformation et de conditionnement qui induisent de fortes pertes.

Ainsi, le rendement de l'électrolyse se situe aux alentours de 25 % et 30 %¹⁶ pour les plus optimisés. Même si des innovations techniques amélioreront le rendement dans le cas d'une électrolyse industrielle, il est difficile de croire que celui-ci atteindra un jour les 40 %. Ainsi, pour décarboner la consommation d'hydrogène par l'industrie à l'échelle européenne, sans parler d'applications aux transports, l'équivalent de 86 réacteurs nucléaires ou d'un département couvert de panneaux solaires serait nécessaire¹⁷. Si les usages majoritaires de l'hydrogène liés au raffinage du pétrole sont appelés à

diminuer, les autres et nouveaux usages devront être décarbonés.

Le coût de production est nettement supérieur aux autres énergies. D'après la Commission de régulation de l'énergie (CRE) et l'Ademe, le coût de l'hydrogène obtenu par électrolyse en 2020 se situerait entre 0,30 €/KWh et 0,41 €/KWh pour un rendement classique de 25 %. En comparaison, la production d'électricité nucléaire coûtait 0,03 €/KWh et l'hydrogène gris entre 0,10 €/KWh et 0,14 €/KWh. C'est pourquoi l'hydrogène n'est pas rentable actuellement et, étant donné qu'il dépend en majeure partie du prix de l'électricité, il ne sera jamais moins cher que celle-ci, même en augmentant le rendement de l'électrolyse.

Par ailleurs, l'hydrogène nécessitera des infrastructures dédiées pour la production, le conditionnement et le transport. La transition vers l'énergie hydrogène nécessiterait un réseau de transport de gaz complètement hermétique et sécurisé car toute fuite entraînerait des risques d'accidents.

Les principaux avantages de l'hydrogène vert sur l'électrique dans le domaine des transports sont son autonomie, sa recharge facile et l'optimisation du poids du véhicule (pas besoin de transporter de batterie). Cependant, cette solution technique est extrêmement consommatrice en énergie électrique, onéreuse en comparaison au biogaz et à la propulsion électrique, et elle présente des risques incendiaires conséquents. C'est pourquoi l'énergie hydrogène doit se cantonner à des usages précis pour lesquels l'électricité sur batterie ou le biogaz ne sont pas efficaces.

16. Rendement de la chaîne hydrogène, Ademe, 01/2020.

17. Calcul réalisé par l'Atelier d'écologie politique (<https://atecopol.hypotheses.org/>), cité par Reporterre.

Les couleurs de l'HYDROGÈNE

Hydrogène **marron** ou **noir**



Produit par gazéification d'hydrocarbures comme la lignite (**marron**) ou le charbon bitumineux (**noir**).



Très forte émission de GES (20 à 24 t. de CO2 par tonne d'H2).



Le coût de production est relativement faible mais fortement dépendant du prix des énergies primaires utilisées (1 € à 3 € par kg).



Le rendement varie de 50 à 70 % (30 à 50 % de l'énergie utilisée au départ est donc perdue durant le processus).

Hydrogène **gris**



Produit par vaporeformage d'hydrocarbures d'origine fossile (méthane) ou oxydation de dérivés pétroliers.



Forte émission de GES (9 à 13 t. de CO2 par tonne d'H2 pour le vaporeformage ; 13 à 18 t. pour l'oxydation).



Le coût de production est fortement dépendant du prix des énergies primaires utilisées (1,5 à 3 € par kg).



Le rendement varie de 50 à 70 % pour l'oxydation et de 70 à 80 % pour le vaporeformage.

Hydrogène **bleu**



Même procédé que pour l'hydrogène **gris**, mais une partie du CO2 émis est captée et stockée (couches géologiques profondes) ou valorisée (industrie).



L'empreinte carbone de ce procédé est réduite mais 10 % à 20 % des GES ne sont pas captés.



L'hydrogène **bleu** est plus cher à produire et son coût dépend de la proximité de puits de carbone où sera stocké le CO2 produit.



Le rendement varie de 50 à 80 %.

Hydrogène **turquoise**



La pyrolyse du gaz naturel (méthane) à haute température permet une coproduction d'hydrogène et de carbone solide.



L'empreinte carbone dépend de l'énergie primaire utilisée mais ce procédé est moins énergivore que l'électrolyse de l'eau (0 à 4 t. de CO2 par tonne d'H2).



Le coût de production est sensiblement le même que celui de l'hydrogène gris mais la valorisation du carbone permet d'envisager une diminution à terme.



Le rendement est actuellement de 50 %.

Hydrogène **vert** ou **jaune**



Produit par électrolyse de l'eau, procédé qui permet de séparer les molécules d'oxygène des molécules d'hydrogène.



L'énergie utilisée pour produire l'électricité est d'origine renouvelable (**vert**) ou nucléaire (**jaune**). Cet hydrogène est donc peu carboné. Cependant, le caractère durable de l'hydrogène jaune est contesté à cause de la nature fossile et donc non renouvelable de l'uranium.



Cette technique est onéreuse (5 à 10 € le kg) mais l'industrialisation du procédé devrait réduire les coûts à l'avenir.



Le rendement varie de 70 à 85 %.

*Alors que les couleurs des différentes formes de production d'hydrogène avaient été définies dans un document de l'Irena (l'Agence internationale des énergies renouvelables) et promues par la Commission européenne, celle-ci a depuis abandonné cette nomenclature au profit de seuils d'émissions de GES. Cependant, elle continue d'être largement utilisée et présente l'intérêt de différencier les modes de production et leurs caractéristiques.

Source : note scientifique de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, n°25, avril 2021.

Des leviers complémentaires pour les politiques publiques

La décarbonation du parc de véhicules interroge les enjeux urbains. Ainsi, la consommation d'espace de la voiture individuelle, qu'elle soit en circulation ou en stationnement, la concurrence avec les modes actifs et les transports en commun, l'imperméabilisation des sols, la sécurité, ou encore la vitesse ne sont aucunement résolus par la voiture électrique, fusse-t-elle autonome. Un constat que souligne à juste titre le cabinet d'origine danoise Copenhagenize, qui aide les collectivités locales souhaitant développer un urbanisme cyclable depuis bientôt une quinzaine d'années.

Catégoriser l'action publique : Éviter, Changer, Améliorer (Avoid, Shift, Improve)

Une dynamique de diversification énergétique en matière de mobilité est à l'œuvre dans l'Ouest breton. Électricité, gaz, hydrogène : les différents leviers sont actionnés mais le chemin vers une décarbonation complète des transports est long. Il s'agit, à brève échéance, de faire disparaître le pétrole d'un secteur qui s'est construit et développé en se nourrissant exclusivement d'hydrocarbures. Afin de réussir ce défi, il convient donc non seulement d'améliorer les carburants et les véhicules et de faire évoluer les motorisations, mais également de mettre en place une sobriété en matière de transport, qui

touche à la fois la technique et les modes de vie. L'approche *Avoid-Shift-Improve* (A-S-I, pour Éviter, Changer, Améliorer) suggère même de prioriser cet axe de travail tout en agissant également sur le report modal et l'amélioration technologique.

L'approche A-S-I a d'abord été développée au début des années 1990 en Allemagne. Son but est de structurer les mesures visant à réduire l'impact environnemental des transports et améliorer la qualité de vie en ville. Cette approche est focalisée sur la demande et offre une méthode globale pour concevoir des systèmes de transports durables. Elle suit une hiérarchie d'actions qui se décline selon trois axes.

Le premier axe « Éviter/Réduire » se rapporte au besoin d'améliorer l'efficacité du système de transport dans son ensemble, principalement au moyen d'un développement des territoires limitant les besoins contraints de déplacements. La gestion de la demande de transport passe notamment par une mixité fonctionnelle et un rapprochement géographique des habitations, des emplois et des lieux de loisirs, enjeu majeur des exercices de planification en aménagement du territoire et cohérente avec les obligations légales de sobriété foncière.

Le second axe « Changer » vise à améliorer l'efficacité de chaque trajet. Il désigne donc le report modal depuis les modes les plus consommateurs d'énergie et les plus émetteurs de polluants (à savoir ceux effectués en voiture individuelle) vers les modes plus sobres et économes : marche, vélo, transports collectifs, covoiturage.

Enfin, le troisième et dernier axe « Améliorer » concerne l'évolution technique des véhicules et des carburants, en introduisant notamment des sources d'énergies renouvelables dans le secteur des transports motorisés (y compris les transports publics).

La hiérarchisation de ces trois familles d'actions, dans cet ordre, peut servir de boussole à l'action publique.



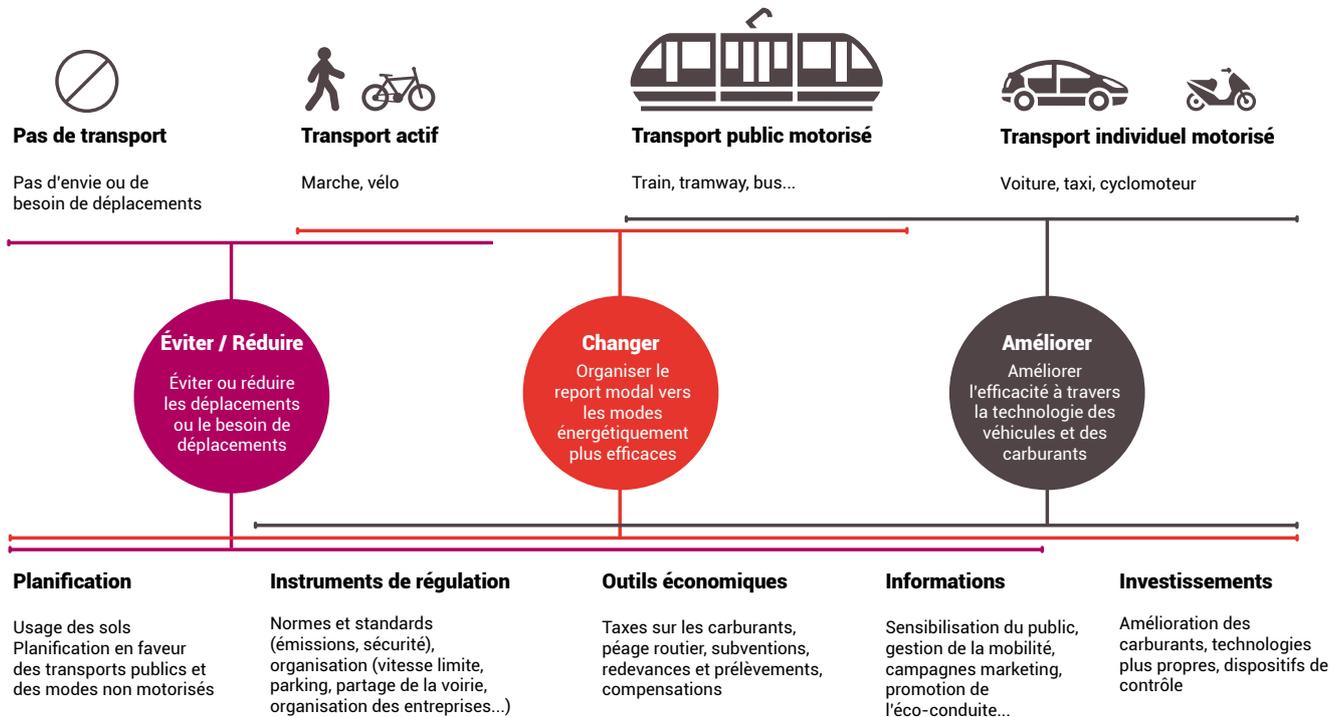
la vie sans les voitures électriques



la vie avec les voitures électriques

Inspiré de de Copenhagenize - Crédit : kichigin19 - Adobe stock

Éviter - Changer - Améliorer : 3 catégories d'instruments pour les pouvoirs publics



Un exemple concret : réaliser un achat

1 Éviter/Réduire

Ai-je besoin de me déplacer ? Ai-je besoin d'aller loin ?

*Répartition spatiale des lieux de logements et des commerces
Articulation urbanisme/transports
Proximité des commerces aux noeuds de transport
Diversité et densité fonctionnelle*

...



Urbanisme réglementaire (Scot et notamment le Document d'aménagement artisanal, commercial et logistique, PLUI)
Programmation urbaine
Cahier des charges à destination des équipes de MOE

2 Changer

Quels sont les modes de transport disponibles et quel est le plus pratique ?

*Efficacité du réseau de transports en commun
Infrastructure cyclable
Qualité de l'espace public
Offre et répartition du stationnement*

...



Compétence de l'autorité organisatrice de la mobilité (AOM)
Plan de mobilité (simplifié)
Compétences voirie et stationnement
Schéma directeur vélo et/ou piéton
Outils de régulation de la circulation (ZTL par ex.)

3 Améliorer

Quel type de véhicule je peux utiliser et dans quel objectif ?

*Infrastructures de recharge
Services d'autopartage
Motorisation de la flotte de transport public
Qualité de l'information disponible*

...



Compétence AOM
Création de partenariats (associations, acteurs privés)

Développer de nouveaux services dans le cadre de la compétence d'AOM

La loi d'orientation des mobilités (LOM), promulguée en décembre 2019, avait pour objectif de couvrir l'ensemble du territoire national par une autorité organisatrice de la mobilité (AOM) locale. En Bretagne, 37 communautés de communes ont fait le choix de prendre la compétence, une l'avait déjà acquise et quatre l'ont laissée à la région. Quant aux quatorze communautés d'agglomération et deux métropoles, cette compétence figurait déjà dans leurs statuts.

Elle permet désormais d'organiser six catégories de services, sans qu'aucun d'entre eux ne soit obligatoire :

- services réguliers de transport public de personnes ;
- services à la demande de transport public de personnes ;
- services de transport scolaire ;
- services relatifs aux mobilités actives (ou contribution à leur développement) ;
- services relatifs aux usages partagés des véhicules terrestres à moteur (ou contribution à leur développement) ;
- services de mobilité solidaire.

La définition large de cette nouvelle compétence laisse donc la possibilité aux collectivités de proposer des véhicules en location, au même titre que des services plus traditionnels de transports collectifs. Une telle offre est de plus en plus courante en matière de vélo, en longue durée, en libre-service (pour des locations de quelques heures, avec points d'accroche) ou en flotte libre (ou free floating, pour des locations courtes avec lieu de dépôt libre ou encadré).

La location de voiture en autopartage, en revanche, est plus rare. Elle présente de nombreux atouts et permet de se saisir à la fois de la question de l'usage (Changer) et de la motorisation (Améliorer). Elle traite des problématiques sociales, comme la difficulté à supporter le coût d'utilisation ou de possession d'une voiture. Ce type d'offre peut aussi faire baisser le taux de motorisation en proposant une solution de remplacement d'un second voire d'un premier véhicule. Enfin, elle est applicable à la fois en milieu urbain (on trouve ce type de services dans de nombreuses villes, à l'instar d'Autolib à Paris ou du réseau Citiz dans plusieurs grandes villes françaises), comme dans des environnements moins denses.

Guingamp Paimpol Agglomération s'est lancée dans l'autopartage via son offre Axeo Auto, mise en service en 2021. Elle se compose d'un parc de cinq véhicules

électriques (Renault Zoé) en libre-service réparti dans cinq stations dans différentes communes de l'agglomération (Pontrieux, Bégard, Louargat, Bourbriac, Callac). La location peut se faire à la dernière minute, pour une heure ou une journée. Afin de rendre le service accessible au plus grand nombre, une tarification solidaire est mise en place (pour les bénéficiaires du RSA, les étudiants/apprentis ou encore les bénéficiaires de l'allocation adultes handicapés, entre autres).

On trouve également des expérimentations d'autopartage à l'échelle communale. La commune du Juch (725 habitants), à quelques kilomètres de Douarnenez, est la première à s'être lancée dans le Finistère. Elle a fait l'acquisition de deux véhicules électriques (une Zoé et une Kangoo) pour les proposer en autopartage. Le service, baptisé KêrGo, est ouvert à tous et requiert uniquement une inscription préalable sur le site internet de la commune. Un tarif préférentiel est accordé aux habitants de Douarnenez Communauté.

On peut imaginer ce type de location pour des véhicules légers et peu consommateurs, produits localement afin de stimuler une petite industrie et de créer des emplois locaux. C'est ce que tente de relancer une initiative portée par l'Ademe baptisée « l'extrême défi¹⁸ ».

18. Voir le site du projet : <https://xd.ademe.fr/>



Les deux véhicules en autopartage du service KêrGo devant leur station, la « Juch Box » - Crédit : Adeupa



La boîte à clés du service d'autopartage : l'utilisateur rentre le code reçu par mail ou SMS lors de la réservation du véhicule. - Crédit : Adeupa

Le renouvellement des flottes de transports en commun

Une ordonnance du 17 novembre 2021 précise les objectifs de renouvellement des flottes d'autobus et d'autocars, pour les collectivités gérant un parc de plus de vingt véhicules :

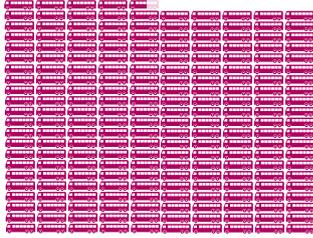
- elles doivent acquérir un minimum de 50 % de véhicules à faibles émissions jusqu'au 31 décembre 2024 ;
- cette proportion devra être de 100 % à partir du 1er janvier 2025 ;
- la moitié de ces proportions concerne des véhicules à très faibles émissions (comprendre électriques, hydrogène ou biogaz) à compter du 1^{er} janvier 2022.

À l'échelle bretonne, on observe des choix sensiblement différents selon les collectivités. Si l'hydrogène est globalement peu présent (hormis pour les bateaux de la région, Lorient Agglomération et en option à Saint-Brieuc Agglomération), le mix est largement partagé entre l'électrique (à l'instar de Brest métropole qui s'oriente vers un mix 100 % électrique) et le GNV (cars régionaux, bus de Quimper Bretagne Occidentale dont la flotte est déjà convertie à 72 % au GNV).

Au-delà de la flotte de transport en commun, le renouvellement du parc de véhicules de service et de fonction des collectivités constitue un levier important pour la réduction des émissions de GES des transports. Les collectivités territoriales, leurs groupements et leurs établissements publics devront acquérir au minimum :

- 30 % de véhicules à faibles émissions jusqu'au 31 décembre 2024, 40 % du 1er janvier 2025 au 31 décembre 2029 et 70 % à compter du 1er janvier 2030 ;
- 37,4 % de véhicules à très faibles émissions du 1er janvier 2026 au 31 décembre 2029 et 40 % à compter du 1^{er} janvier 2030.

Évolution des flottes de transports en commun en Bretagne : une transition en cours, des choix contrastés

Collectivité ou EPCI	Volume du parc actuel	Mix actuel	Mix projeté
	2 147 cars interurbains et scolaires dont 57 exploités en régie 	96 % diesel 4 % GNV	Orientation vers le GNV / BioGNV
	82 TER 	72 % électrique 18 % diesel 10 % bi-mode diesel-électrique	Hydrogène envisagé pour le remplacement des rames diesel
	20 bateaux 	100 % diesel	Orientation vers l'hydrogène
	513 bus 	76 % diesel 17 % GNV 7 % électrique	Objectif 2030 : 50 % GNV 50 % électrique
	103 bus 	96 % diesel 4 % électrique	100 % électrique
	95 bus 	100 % diesel	80 % GNV 20 % hydrogène
	5 bateaux 		2 nouveaux navires dont un hydrogène et un "motorisation propre"
	68 bus 	96 % diesel 4 % diesel hybride	Scenario 1 : 16 % hydrogène 84 % GNV Scenario 2 : 16 % électrique 84 % GNV Scenario 3 : 100 % GNV
	50 bus 	72 % GNV (bioGNV à partir de septembre 2022) 25 % diesel 3 % électrique	Étude transition énergétique en cours.

 = 10 véhicules

Seuls les bus classiques ou articulés, les cars, les trains et les bateaux sont représentés. Les tramways, métro, minibus ou voitures partagées ne sont pas figurés.

Sources : données fournies par les collectivités

Plafonner les émissions liées aux déplacements carbonés

Pour agir directement sur l'augmentation des kilomètres parcourus et des émissions de GES associées, certaines politiques commencent à agir à la source en réfléchissant à la manière de restreindre les déplacements carbonés. Se posent très rapidement des questions d'équité et d'acceptabilité, la liberté de se déplacer étant solidement ancrée dans nos modes de vie.

Par ailleurs, les mesures financières comme la taxe carbone ou les péages urbains, ont montré leur impopularité et les réglementations centrées sur les véhicules (comme les zones à faibles émissions) soulèvent des questions d'équité d'accès à la ville et de risque d'alimenter les inégalités sociales. Une limitation de la quantité de déplacements polluants allouée à chaque citoyen présenterait au moins deux avantages importants :

- elle pèserait de manière équitable sur chaque personne, les plus aisés comme les plus défavorisées ;
- elle permettrait de ne pas dépasser les plafonds d'émissions fixés au niveau national¹⁹.

19. Le premier budget carbone, fixé par la SNBC sur la période 2015-2018, a été dépassé de 40 Mt éq. CO₂, sur le seul secteur des transports. Le dépassement total, tous secteurs confondus, a été de 61 Mt éq. CO₂.

Une étude pilotée par le Forum Vies Mobiles a cherché à évaluer la faisabilité, à l'échelle française, de mesures de limitations des déplacements les plus carbonés, c'est-à-dire en voiture et en avion, pour parvenir à l'objectif zéro émission en 2050 fixé par la SNBC. Elle dessine des pistes prometteuses pour aller vers un plafonnement des déplacements carbonés souple et efficace : une carte magnétique permettrait de dépenser des quotas-carbone à la pompe à essence ou sur Internet, par exemple en achetant des billets de train. Le montant des quotas serait modulable en fonction de la taille des ménages, du type de territoire habité ou encore de la situation personnelle et professionnelle. Cette étude se poursuit actuellement par la préparation d'une expérimentation locale.

Une telle initiative a été menée à Lahti (120 000 habitants) en Finlande. Développée en partenariat avec des chercheurs et des entreprises, elle reposait sur une application, qui a été utilisée de manière régulière par 350 personnes pendant les six mois de l'expérimentation. Elle permettait de déclarer ses déplacements en échange de récompenses, comme des bons d'achat dans des commerces locaux ou des titres de transport²⁰. La participation à l'expérimentation était volontaire. Il a été décidé d'attribuer un budget carbone plus important à certains participants, dans une limite de +30 %, selon plusieurs critères (nombre d'enfants, situation personnelle exceptionnelle liée à la santé, distances entre le domicile et le centre de la ville, le lieu de travail et les principaux services).

20. Une description complète de cette expérimentation a été rédigée par le Forum Vies Mobiles (consulté le 25 juillet 2022) : https://forumviesmobiles.org/sites/default/files/editor/lahti_la_premiere_experimentation_de_rationnement_du_carbone_applique_aux_deplacements_locaux.pdf

La meilleure énergie est celle que l'on ne consomme pas. L'enjeu de décarbonation des transports dispose d'un levier puissant mais encore très peu mobilisé : se déplacer moins.

Bien que l'expérimentation ait été perturbée par la crise sanitaire, quelques enseignements et pistes d'amélioration peuvent en être retirés :

- trois ans de préparation et de conception ont été nécessaires ;
- un budget d'un million d'euros y a été consacré, dans le cadre d'un fonds européen (Urban Innovative Action) ;
- le budget carbone alloué à chaque participant allait de 17 kg à 25 kg de CO₂ ;
- la valeur monétaire des récompenses distribuées est estimée à 2 400 euros ;
- 36 % des participants ont affirmé que leur mobilité a été plus durable pendant le projet.



« Plus que la soif de carburant, c'est l'abondance d'énergie qui mène à l'exploitation. Pour que les rapports sociaux soient placés sous le signe de l'équité, il faut qu'une société limite d'elle-même la consommation d'énergie de ses plus puissants citoyens ».

Ivan Illich,
Énergie et équité, 1973, Seuil

« Nouveaux carburants » Quelles potentialités dans l'Ouest breton ?

Les atouts

- ⚡ H₂ Un faible impact carbone direct.
- ⚡ Une filière automobile en cours de transition (13 % des immatriculations en 2022 en France).
- ⚡ Un **réseau breton** de bornes de recharge de plus de 50 000 points.
- 💧 Une **région agricole** avec d'importants gisements de biomasse.
- 💧 Un **Pacte biogazier breton** qui offre une stratégie collective.
- H₂ Une autonomie importante, une recharge rapide et un poids du véhicule optimisé.
- H₂ Des **initiatives locales** en cours (cluster hydrogène de l'Ouest, RED II Ports).
- H₂ Une **feuille de route bretonne** sur l'hydrogène renouvelable à l'horizon 2030.

Les faiblesses

- ⚡ Une faible autonomie et un encombrement important des batteries.
- ⚡ Une forte inertie dans la transition du parc de véhicules (1 % du parc national en 2022).
- ⚡ Un impact carbone transposé dans l'espace et le temps (fabrication et recyclage des batteries).
- ⚡ Une infrastructure de recharge surtout privée (particuliers et entreprises).
- ⚡ Une **région Bretagne** dépendante en matière de production d'électricité.
- 💧 Une énergie qui sert d'abord à la décarbonation de la filière agricole avant celle des transports.
- 💧 Un risque environnemental inhérent à la méthanisation, en particulier en **Bretagne**.
- H₂ Un coût de fabrication très élevé.
- H₂ Une filière nationale et **bretonne** à structurer et des procédés à industrialiser.

Les opportunités

- ⚡ 💧 H₂ Vers une décarbonation totale du secteur des transports fixée à 2050 par la SNBC.
- ⚡ 💧 H₂ Un intérêt pour les transports lourds (poids-lourds, trains, bateaux).
- ⚡ 💧 H₂ Des ZFE applicables dans plus de 40 agglomérations françaises en 2025, dont **Brest** et **Rennes**.
- ⚡ 💧 H₂ Des **flottes locales** de transport collectif à transformer (électrification de la flotte de Brest Métropole ; bioGNV pour l'agglomération de St-Brieuc).
- ⚡ H₂ Un potentiel important de développement d'énergies renouvelables dans la **région** (éolienne et marine).
- ⚡ Des aides financières pour faciliter l'acquisition de véhicules électriques.
- ⚡ Des **gisements locaux** de lithium, minéral nécessaire à la fabrication des batteries.
- 💧 Une nouvelle source de biomasse avec la généralisation du tri à la source des biodéchets en 2024.
- H₂ Un usage de l'**eau de mer** pour la fabrication de l'hydrogène en cours d'expérimentation.

Les menaces

- ⚡ 💧 H₂ Des enjeux forts en matière de justice sociale liés au surcoût à l'achat des nouveaux véhicules.
- ⚡ H₂ Des interrogations importantes sur les capacités de production du parc nucléaire et sur son évolution.
- ⚡ Des risques sociaux et environnementaux importants liés à la fabrication des batteries (extraction du lithium notamment).
- 💧 Un risque de détournement du modèle agricole national et **breton** au profit de la méthanisation.
- H₂ Un risque de dévoiement de la filière H₂ vert (bas carbone) au profit de l'H₂ gris (produit par des énergies fossiles).
- H₂ Un besoin important en **eau de qualité** pour la fabrication.
- H₂ Un risque technologique inhérent à la fabrication, au stockage et au transport.

⚡ Électricité

💧 Gaz

H₂ Hydrogène

En guise de conclusion

Actionner l'ensemble des leviers de la transition

Ce qui rend aujourd'hui l'exploitation du pétrole en tant que source énergétique éminemment problématique n'est pas la perspective d'épuisement de cette ressource (bien que le pic de pétrole conventionnel soit désormais échu, le manteau terrestre contient encore beaucoup de combustibles fossiles dont du pétrole), c'est le réchauffement climatique induit par la libération atmosphérique massive de gaz carbonique issu de sa combustion.

Au regard des impacts négatifs, climatiques mais aussi écologiques et sanitaires du transport motorisé tel qu'il est aujourd'hui organisé, l'évolution technique vers des « véhicules propres » ou zéro émission apparaît, dans l'Ouest breton et ailleurs, comme étant la solution. Mais cette alternative technique est moins simple qu'il y paraît, y compris lorsqu'on en analyse toutes les options, qu'elles soient électriques, à base d'hydrogène ou d'agrocarburants. L'efficacité énergétique du pétrole n'est pas aisément reproductible par d'autres moyens.

En outre, l'histoire des techniques démontre que le principe de substitution historique d'une énergie par une autre est largement mythifié. En réalité, les sources d'énergie ne se substituent pas dans le temps, elles

s'agrègent. L'humanité n'a, par exemple, jamais consommé autant de charbon qu'aujourd'hui, tandis que le développement contemporain des énergies renouvelables ne concourt pas à remplacer les fossiles, mais contribue à satisfaire l'accroissement soutenu de la demande énergétique.

Les scénarios d'évolutions climatiques, à présent scientifiquement documentés par le Giec, indiquent que le temps est compté pour prétendre rester sur une trajectoire viable. Certaines solutions techniques de substitution aux hydrocarbures, telles qu'avancées aujourd'hui, sont trop immatures pour pouvoir répondre à l'urgence de la situation (sans même évoquer l'hypothèse de l'exploitation commerciale de la fusion nucléaire).

Par conséquent, plutôt que la perspective irréaliste d'une brusque et massive métamorphose technique des transports, qui permettrait de les maintenir aux niveaux d'intensité actuels, apparaît l'urgence de remettre en question l'hypermobilité des biens et des personnes, laquelle fut rendue possible par la maîtrise incessamment perfectionnée des énergies fossiles, au point cependant de confronter l'humanité à la dérive climatique et

aux choix existentiels actuels. En matière de déplacements comme en d'autres s'impose le principe de sobriété, c'est-à-dire celui d'une plus juste adéquation des ressources et des besoins, dans un contexte écosystémique planétaire fragile et limité.

En matière de déplacements comme en d'autres s'impose le principe de sobriété, c'est-à-dire celui d'une plus juste adéquation des ressources et des besoins, dans un contexte écosystémique planétaire fragile et limité.



À retenir

- La substitution historique d'une énergie par une autre est un mythe. En réalité, l'histoire démontre que les sources d'énergie s'agrègent les unes aux autres.
- Pour réduire suffisamment les émissions de gaz à effet de serre liées aux transports, le levier technique est indispensable mais notoirement insuffisant.
- Si elle n'est pas accompagnée de mesures de sobriété, la transmutation technique sera contre-productive en raison de l'effet rebond, engendrant une augmentation de la demande.
- De nombreux efforts sont consentis pour accompagner le développement de la voiture électrique, alors que son bilan carbone est incertain.
- L'hydrogène est aujourd'hui essentiellement produit à partir de ressources fossiles. L'avènement d'un hydrogène 100 % renouvelable demeure lointain et soumis à des interrogations fortes.
- Le recours massif aux déchets organiques pour produire du biogaz ou des biocarburants rentre en conflit avec les objectifs climatiques, écologiques et en concurrence avec les usages alimentaires et de l'eau.
- Les « nouveaux carburants » peuvent ponctuellement et localement constituer des solutions ; cependant, toute massification présente des contreparties et risques. Il n'existe pas de réponse technique unique et définitive à la problématique de décarbonation des transports.
- La décarbonation des transports dispose d'un levier puissant, encore très peu mobilisé : la modération des déplacements. Elle repose sur :
 - une organisation territoriale qui recompose et rapproche des fonctions aujourd'hui éclatées : un sujet à traiter par les documents de planification ;
 - la remise en cause de l'hypermobilité inconditionnelle et l'orientation vers des mécanismes favorisant autant que possible la proximité ;
 - des actions innovantes alliant sobriété et justice sociale, telles par exemple que les expérimentations de plafonnement des émissions qui peuvent être développées au niveau local.

Bibliographie

- Aurélien Bigo, *Les transports face au défi de la transition énergétique*, Institut polytechnique de Paris, 2020
- Philippe Bihoux, *Le bonheur était pour demain*, Seuil, 2019
- Pierre Courbe, *Véhicules électrique ? Changer de mobilité, pas de voiture ?*, Fédération Inter Environnement Wallonie, décembre 2010
- Ivan Illich, *Énergie et équité*, Seuil, 1975
- Guillaume Pitron, *La guerre des métaux rares, Les liens qui libèrent*, 2019
- Atlas des Mobilités, *Faits et chiffres sur les mobilités en France et en Europe*, Fondation Heinrich Böll Stiftung, 2022
- *La transition énergétique au cœur d'une transition sociétale*, Synthèse du scénario négaWatt 2022

L'Adeupa Brest-Bretagne tient à remercier les interlocuteurs et interlocutrices interrogés dans le cadre de la réalisation de cette publication : Martin Claux (UBO), Philippe des Robert (Bretagne Développement Innovation), David Dorman (Sdef 29), Laurent Guillou (Enedis), Anne Jaffrelot (Pôle métropolitain du pays de Brest), Gladys Le Guen (GRDF), Maximilien Le Menn (Région Bretagne), Justine Louis (Sdef 22), Arnaud Passalacqua (Centrale Paris)

LES OBSERVATOIRES | MOBILITÉ

Direction de la publication

Yves Cléach

Réalisation

Jérôme De Crignis
Julien Gingembre
Corentin Le Martelot

Maquette et mise en page

Timothée Douy

Relecture

Magali Can
François Marty

Tirage

150 exemplaires

Contact

contact@adeupa-brest.fr

Dépôt légal

3^e trimestre 2023

ISSN

2267-4411

Référence

22-234



AGENCE D'URBANISME DE BREST • BRETAGNE
18 rue Jean Jaurès - 29200 BREST
Tél. 02 98 33 51 71

www.adeupa-brest.fr



LICENCE OUVERTE
OPEN LICENCE