

Mettre en œuvre la transition énergétique ?

Les enjeux de planification et de politique industrielle

Avril 2023

Avant-Propos

Cette note s'adresse à toute personne directement impliquée dans la mise en œuvre de la planification en vue d'atteindre les objectifs de neutralité carbone (NZE) fixés par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). Elle vise notamment les élus nationaux et locaux, les responsables d'administration, d'entreprises privées, d'organismes tels que syndicats, think-tanks, ONG, universitaires ainsi que la presse spécialisée.

Elle présente des pistes pour un passage à l'action en intégrant les contraintes posées par la rupture systémique à laquelle la planification écologique doit faire face. Ces pistes ont été discutées lors des deux ateliers « Quelles instrumentations de la planification écologique pour les innovations complexes ? » du 8 avril et 7 octobre 2022 organisés conjointement par la chaire [Energie et Prospérité](#) (Fondation du Risque, ADEME, Caisse des Dépôts et Consignations, ENGIE, RENAULT) et la chaire [Développement Durable \(Ecole Polytechnique-EDF\)](#).

L'élaboration de cette note s'est faite sous l'égide des deux Chaires dans le cadre d'un groupe de travail réunissant : Dominique Bureau, Yann Chazal, Elodie Le Cadre-Loret, Matthieu Petiteville (rapporteur), Jean-Pierre Ponssard, Jean-Michel Trochet et Murès Zarea. Elle a également bénéficié de la collaboration de l'[Association Nationale de Recherche Technologique](#) (ANRT), représentée par Clarisse Angelier et Olivier Appert.

Les personnes suivantes ont aussi directement contribué à cette note : Aurélien Bigo, Gautier Chatelus, Ludovic Ferrand, Nathalie Gouget, Gilles Haon, David Marchal, Guy Meunier, Dominique Plihon, Sandra Rigot et Maryam Sadighi.

Résumé

Face à des résultats très insuffisants devant l'ampleur des enjeux du changement climatique, il est indispensable de mettre en œuvre de nouvelles modalités d'actions. De nombreuses voix souhaitent **un retour vers la planification** mais de quelle planification s'agit-il ? Si la planification d'après-guerre est souvent prise en exemple pour son rôle dans la reconstruction de l'appareil productif et énergétique en France, deux évolutions de contexte et un changement quant à la nature des transformations à mener doivent être pris en considération.

Tout d'abord, la place de l'Etat a radicalement évolué par rapport aux années 1950-1960. La prépondérance du « marché » comme mode de régulation de l'économie entraîne un recul de l'Etat comme stratège, investisseur, financeur et régulateur. La prédominance d'un libéralisme reposant sur le marché s'est accompagnée d'une **perte de compétence des pouvoirs publics**. Retrouver cette compétence est un préalable pour que l'action publique ne se limite pas à de multiples dispositifs de soutien financier soumis aux lobbyings d'intérêts particuliers. De plus, **l'ouverture internationale et européenne** a fait reculer l'espace national et local comme périmètre de production et de régulation. Les démarches de planification, tant en France qu'en Europe, ne peuvent ignorer ce contexte international et les risques de protectionnisme qu'il comporte. Enfin et plus fondamentalement, les actions à mener face au changement climatique exigent une « **rupture systémique** », nécessitant des changements sociaux, économiques et techniques qui impliqueront de nombreuses parties prenantes dont les univers sont radicalement différents.

Cette note apporte un éclairage pour faire face à ce nouveau contexte à partir de trois dossiers testant une démarche de planification sur le terrain. La **décarbonation des territoires en termes de mobilité** face à l'absence de solution pour les ménages aux revenus modestes, vivant en périphérie des grandes villes et devant recourir à un véhicule individuel pour se rendre à leur travail. La **décarbonation de secteurs industriels dits « hard to abate »**, qualifiés de « *not on track* » pour la réduction des émissions par l'AIE, et pour lesquels les performances récentes ne présagent pas favorablement de leur capacité à atteindre la neutralité carbone en 2050. Des **projets décentralisés** menés par la Banque de Territoires et l'ADEME, tels que eXtrême Défi, Zero Emission Valley, Logivolt.

Trois enseignements sont tirés de cet exercice. Le premier est la nécessaire création de nouvelles interactions économiques fondées sur **la coopération** pour construire l'adhésion et l'appropriation par les parties prenantes dans la mise en œuvre d'un scénario partagé sur un périmètre donné. Le deuxième enseignement porte sur l'élaboration de **nouvelles méthodologies**, compatibles avec **la démarche bottom-up**, seule capable de prendre en compte les contraintes et la complexité ignorées par l'approche *top-down* classique, néanmoins utile pour les exercices de prospective. Le troisième enseignement est le rôle essentiel de **l'expérimentation** pour enclencher des ruptures systémiques. Elle permet de mobiliser l'ensemble des acteurs afin d'explorer les innovations envisagées et de les adapter au contexte local.

Chacun des trois dossiers montrent l'intérêt de ces enseignements, les obstacles à franchir pour les mettre en œuvre et les pistes pour les surmonter.

Sommaire

Avant-Propos	1
Résumé	3
Les défis de la mise en œuvre de la transition énergétique et les pistes de réflexion	5
Un constat largement partagé, des résultats très insuffisants	5
La nécessité d'une planification mais laquelle ?.....	6
Trois dossiers pour tester une démarche de planification sur le terrain	7
Les enseignements en vue d'une généralisation.....	7
Vers un nouveau mode d'interaction des acteurs économiques	7
De nouvelles méthodologies pour la planification	8
Systématiser l'expérimentation	9
Dossier 1 : Décarboner les territoires : la mobilité dans la périphérie des grandes métropoles	10
L'automobile dans les métropoles, un défi pour les constructeurs et les territoires	10
La difficile planification de la mobilité électrique sur un territoire.....	10
L'étude MRN-Renault	12
Apports et limites.....	14
Dossier 2 : La décarbonation des secteurs industriels fortement carbonés	17
Le secteur du verre, un exemple industriel aux émissions « <i>hard to abate</i> »	17
Le point de départ du dossier : l'étude pilote Vercane.....	18
Reformuler l'analyse coût bénéfice au niveau d'un secteur en tenant compte de la diffusion du progrès technique	19
Quels enseignements pour les politiques publiques de soutien à l'innovation ?	24
Dossier 3 : Interventions décentralisées pour la mobilité - Banque des Territoires & ADEME	25
La Banque des Territoires et l'ADEME, relais des politiques publiques	25
L'ADEME et la mobilité	26
La Banque des Territoires et la mobilité	26
Trois exemples d'actions décentralisées pour la mobilité bas-carbone	27
L'Extrême Défi, collaborer pour une nouvelle offre de véhicules	27
La Zero Emission Valley, une cible en reconfiguration.....	28
Logivolt, lever un verrou des bornes de recharge pour la mobilité électrique	30
Apports et limites.....	32

Les défis de la mise en œuvre de la transition énergétique et les pistes de réflexion

La nécessité d'une action collective face à la crise climatique est inscrite à l'agenda politique de la plupart des pays depuis de nombreuses années. La succession des *Conferences of the Parties* (COP), l'engagement pris lors de l'Accord de Paris (2015) de limiter le réchauffement à +2°C et les promesses de décarbonation des États signataires traduisent cette volonté grandissante d'une action climatique.

Un constat largement partagé, des résultats très insuffisants

En France, elle s'est matérialisée dès 2015 par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) visant une réduction de 75% des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2050 par rapport à 1990. Elle a ensuite été révisée en 2018-2019, s'alignant sur les objectifs européens de neutralité carbone en 2050 ([Net Zero Emissions](#) - NZE). La SNBC sera de nouveau révisée courant 2023 et s'appuiera sans doute sur les nombreux travaux de prospective, réalisés tant au niveau international (GIEC, AIE...) qu'à l'échelle nationale par les organismes publics (France Stratégie, CGEDD, ADEME, RTE...), les *think-tanks* (négaWatt, the Shift Project...) ou les acteurs privés. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) transpose les objectifs de la SNBC en schéma directeur pour le secteur de l'énergie.

Des avancées significatives sont actées. La Commission européenne a présenté en 2022 le « [Green New Deal](#) » comme un objectif prioritaire pour l'Union européenne et a annoncé un programme d'investissements « verts » de 1 000 milliards d'euros pour la prochaine décennie. Des plans de relance nationaux ont décliné ces objectifs et attribué des moyens dédiés. Le Système d'Échange de Quotas d'Émissions ([SEQE-UE / EU-ETS](#)), instauré depuis 2005 pour la production d'énergie et l'industrie lourde, doit être étendu aux secteurs du transport et du bâtiment. La mise en place de [mécanismes d'ajustement carbone aux frontières](#) permettrait d'éviter la concurrence internationale de produits non soumis à des contraintes comparables à celles en place dans l'UE et d'éliminer progressivement les allocations gratuites de quotas, sources d'effets pervers. La *Corporate Sustainability Reporting Directive* ([CSRD](#)), qui entrera en vigueur en 2024, obligera plus de 50,000 entreprises européennes à suivre et à partager leurs impacts ESG¹. La plupart des grands groupes cotés intègrent déjà dans leur stratégie une composante environnementale avec divers engagements de neutralité ou de compensation carbone².

Ces résultats invitent toutefois à la prudence. A l'échelle internationale, les contributions déterminées au niveau national ([NDCs](#)) restent non contraignantes. Les promesses de transferts internationaux ne sont pas appliquées. Le prix du carbone sur le marché ETS reste trop bas pour favoriser les technologies décarbonées. Les accusations de *greenwashing* font douter des efforts des entreprises. A l'échelle française, le Haut Conseil pour le Climat (HCC) invite, dans son dernier rapport à « [Dépasser les constats, mettre en œuvre les solutions](#) », constatant des progrès mais surtout une absence d'alignement avec les objectifs affichés.

Atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050 nécessite à la fois des changements significatifs de modes de vie et un volume très important d'investissements pour déployer de nouvelles technologies et procédés décarbonés. Cette mise en œuvre comporte un risque important

¹ Environnement, Social, Gouvernance

² Voir Annexe 3 : Note sur la prise en compte des enjeux climatiques par les institutions financières, S. Rigot

tenant à la maturité insuffisante des technologies, à l'incertitude sur la réponse des marchés aux innovations, à l'instabilité des politiques et des régulations pouvant s'y appliquer. Ce haut degré d'incertitudes (environnementales, économiques, réglementaires) soulève des difficultés de valorisation du risque qui détournent les investisseurs ou les amènent à exiger des primes de risque excessivement élevées. Par ailleurs, en matière de financement, les investissements verts sont confrontés aux imperfections des marchés financiers, rendant difficile le montage de projets de long terme.

La nécessité d'une planification mais laquelle ?

Constatant ce décalage entre objectifs et résultats, de nombreuses voix souhaitent un retour vers la planification³. Il est reconnu que la planification « indicative » d'après-guerre a joué un rôle décisif dans la reconstruction de l'économie française. La planification a exercé les fonctions stratégiques de « réducteur d'incertitude » et d'organe de concertation-coordination dans, et entre, les principaux secteurs. Face au défi climatique, ne sommes-nous pas aujourd'hui devant un nouvel impératif de reconstruction de l'appareil productif et énergétique ? L'exercice de planification de la SNBC actuel ne pourrait-il pas s'inspirer de cette expérience passée ?

Avant tout, il faut reconnaître, par rapport à la planification d'après-guerre, deux évolutions de contexte et un changement quant à la nature des transformations à mener.

Tout d'abord, la place de l'Etat a radicalement évolué par rapport aux années 1950-1960 : la prépondérance du « marché » comme mode de régulation de l'économie entraîne un recul de l'Etat comme stratège, investisseur, financeur et régulateur. La théorie économique recommande d'« internaliser les externalités négatives » du changement climatique, par une taxe carbone bien calibrée incitant les « agents économiques » à prendre les meilleures décisions de manière décentralisée. La prédominance d'un libéralisme reposant sur le marché s'est accompagnée d'une perte de compétence des pouvoirs publics. Retrouver compétence est un préalable pour que l'action publique ne se limite pas à une offre de financement soumise aux lobbyings d'intérêts particuliers.

De plus, l'ouverture internationale et européenne a fait reculer l'espace national et local comme lieu de production et de régulation. Les questions d'indépendance nationale, de sécurité d'approvisionnement vis-à-vis de matériaux critiques pour les nouvelles technologies, les questions de réindustrialisation sont devenues des enjeux majeurs des politiques publiques comme en témoignent les politiques menées aux Etats-Unis à travers par exemple l'*Inflation Reduction Act* (IRA) et, depuis longtemps, en Chine à travers les plans quinquennaux. Les démarches de planification, tant en France qu'en Europe, ne peuvent ignorer ce contexte international et l'accentuation du protectionnisme qu'il comporte.

Enfin, et plus fondamentalement, les actions à mener face au changement climatique exigent une transformation que l'on peut qualifier de « rupture systémique ». Cette transformation nécessite d'articuler des changements sociaux, économiques et techniques en impliquant de nombreuses parties prenantes dont les univers sont radicalement différents. Ces acteurs, entreprises et gouvernance publique, consommateurs et employeurs, élus et ONG, ne parlent pas la même langue, ne comptent pas dans les mêmes unités et se projettent à des horizons temporels différents. Comment articuler efficacement des actions cohérentes à des échelles

³ Voir Annexe 4 : Réinventer la planification à l'heure de la transition écologique, D. Plihon

allant de l'individu à l'international en intégrant les contraintes sociales, techniques ou organisationnelles de chaque niveau ?

Trois dossiers pour tester une démarche de planification sur le terrain

Trois dossiers sont approfondis pour témoigner de la complexité et des difficultés rencontrées pour la mise en œuvre de la transition alors que sa nécessité se fait de plus en plus pressante⁴.

Le premier dossier porte sur la **décarbonation de la mobilité dans les territoires**. S'il existe de nombreuses initiatives, un frein persistant est l'absence de solution pour les ménages modestes, vivant en périphérie des grandes villes et devant recourir à un véhicule individuel pour se rendre à leur travail. Face aux contraintes réglementaires de plus en plus fortes (ZFE, par exemple) et malgré les engagements de soutien de la puissance publique, de nouveaux modes d'accès au véhicule électrique doivent être proposés pour assurer la mobilité des ménages les plus contraints.

Le deuxième dossier porte sur la **décarbonation de secteurs industriels dits « hard to abate »**, qualifiés de « *not on track* » pour la réduction des émissions par l'AIE. Pour ces secteurs, les performances récentes ne présagent pas de leur capacité à atteindre la neutralité carbone en 2050. Malgré des plans sectoriels et l'octroi de financements pour des opérations pilotes visant à lever les verrous technologiques, le passage à l'échelle reste un obstacle majeur dans un contexte de concurrence internationale. La crise énergétique et la multiplication des plans nationaux de réindustrialisation rendent ce problème particulièrement d'actualité.

Le troisième dossier s'intéresse à des **projets décentralisés** menés par la Banque de Territoires et l'ADEME, plus circonscrits tout en relevant des mêmes enjeux. Le premier projet, eXtrême Défi, porte sur la conception collaborative d'une nouvelle offre de véhicules assumant l'objectif d'améliorer par un facteur 1,000 une partie de la mobilité du quotidien (coût, poids, puissance...). Le deuxième projet, Zero Emission Valley, revisite l'une des nombreuses actions régionales destinées à faciliter le déploiement de la mobilité hydrogène. Le troisième projet, Logivolt, présente un exemple de mécanisme de financement pour l'installation de bornes de recharge dans les parkings collectifs permettant de contourner les rigidités de prises de décision dans les copropriétés.

La réflexion menée sur ces dossiers met en évidence trois facteurs clés qui ont permis d'avancer dans la mise en œuvre concrète ainsi que les pistes à approfondir pour la consolider.

Les enseignements en vue d'une généralisation

Vers un nouveau mode d'interaction des acteurs économiques

Le premier facteur clé est celui d'un nouveau mode d'interaction entre acteurs économiques, visant à remplacer les comportements opportunistes par la **coopération**. A toutes les échelles,

⁴ Ces dossiers recourent des innovations qui se situent à des niveaux différents de maturité, et qui ont pu mobiliser à ce titre différentes formes d'aides publiques. Voir Annexe 1 pour la définition du *Technology Readiness Level* et Annexe 2 pour des Exemples de soutiens publics à l'innovation aux niveaux français et européens.

la concrétisation des engagements environnementaux se heurte au « dilemme du prisonnier ». La théorie des jeux nous enseigne que seule la coopération permet de dépasser des comportements basés uniquement sur l'intérêt individuel. La coopération passe par l'établissement d'objectifs faisant consensus, d'un langage commun, d'une confiance réciproque rétablie par des engagements crédibles et l'acceptabilité d'un scénario de référence. Elle ne peut se faire qu'en incluant une composante bottom-up importante permettant la prise en compte de contraintes et d'une complexité parfois ignorées par l'approche top-down classique. La coopération permet alors d'embarquer l'ensemble des parties prenantes d'un périmètre donné dans la rupture systémique nécessaire à l'atteinte de la neutralité carbone.

Cette composante se retrouve dans la plupart des dossiers présentés : à l'échelle du territoire dans le dossier sur la mobilité, en incluant élus, habitants, employeurs locaux et constructeur automobile, à l'échelle du secteur en mobilisant plusieurs acteurs de la filière du verre, à l'échelle d'un besoin en orchestrant la coopération de start-ups pour dessiner un véhicule du futur ou en agissant comme gage de confiance pour le déploiement de bornes de recharge. Dans chacun de ces exemples, des relations nouvelles sont établies entre acteurs public et privés, entre concurrents ou entre consommateurs et producteurs, qui permettent de dépasser les intérêts particuliers.

De nouvelles méthodologies pour la planification

Le deuxième facteur clé porte sur l'élaboration de **nouvelles méthodologies de réflexion stratégique**, compatibles avec la démarche bottom-up. Recourir à une méthodologie visant à intégrer l'ensemble des problématiques dans la réflexion collective permet de dépasser la simple étude de cas et de capitaliser dans une démarche potentiellement transférable à d'autres innovations de rupture. Plutôt que de recourir à des modélisations complexes reposant sur des hypothèses opaques et aux résultats contestables, une démarche en deux temps, alternant qualitatif et quantitatif, permet de représenter de manière plus cohérente des scénarios de rupture. Cette alternance inclut un modèle conceptuel, permettant de partager la connaissance commune nécessaire à l'élaboration d'une trajectoire et, dans un deuxième temps, un modèle quantitatif destiné à mesurer les engagements des différentes parties prenantes. Ce type de méthodes, en offrant une vision plus large facilite l'engagement des parties prenantes pour la mise en œuvre de la stratégie retenue⁵.

Dans le dossier sur la décarbonation de secteurs industriels « hard to abate », cette méthodologie s'est construite par une réflexion sur la nature des transferts de technologie, des effets d'apprentissage et de retombées directes et indirectes (*spillovers*) au sein du secteur ou d'un secteur à l'autre, et sur les implications de ces transferts. Elle débouche sur une stratégie chiffrée pour planifier la décarbonation de l'ensemble du secteur⁶. En incluant l'ensemble des acteurs du territoire et en gardant une vision aussi large que possible, aussi qualitative que quantitative, le projet sur la mobilité rouennaise se conclut par une offre chiffrée innovante pour l'accès à un véhicule électrique abordable.

⁵ Voir Annexe 5 : Quel rôle pour la modélisation des innovations de rupture, Y. Chazal et J.-P. Ponssard.

⁶ Voir Annexe 6 : Du bon usage du coût d'abattement dans le contexte de la neutralité carbone en 2050, G. Meunier et J.-P. Ponssard.

Systematiser l'expérimentation

Le troisième facteur clé est le rôle essentiel de **l'expérimentation, accompagnée d'un retour d'expérience systématique**, pour enclencher ces ruptures radicales. En appliquant des démarches proches de celles mobilisées pour la recherche et développement à des problématiques économiques ou organisationnelles, il devient possible de mobiliser l'ensemble des acteurs afin d'explorer les innovations envisagées et de les adapter au contexte local. Plus fondamentalement, cette approche incrémentale a également l'intérêt de produire des retours d'expérience permettant, s'ils sont correctement intégrés au processus prospectif, des ajustements indispensables à la stratégie globale. Cette étape permet ainsi de mieux articuler les approches top-down et bottom-up.

Chacun des dossiers présentés possède cette qualité d'expérimentation, qu'il s'agisse d'une validation concrète avec le financement des bornes, le déploiement d'un écosystème énergétique à l'échelle d'un territoire ou la conceptualisation de nouveaux modes d'accès à la mobilité. Si le travail par prototype et itération, caractéristique d'une démarche expérimentale, n'a pas encore abouti à une transformation radicale des modes de vie et de production dans tous les exemples présentés, il a au moins le mérite d'avoir enclenché une démarche de réflexion pour présager d'une suite positive.

Dossier 1 : Décarboner les territoires : la mobilité dans la périphérie des grandes métropoles

Sommaire Dossier 1

L'automobile dans les métropoles, un défi pour les constructeurs et les territoires	10
La difficile planification de la mobilité électrique sur un territoire	10
L'étude MRN-Renault	12
Apports et limites	14

L'automobile dans les métropoles, un défi pour les constructeurs et les territoires

Sur les 30% des émissions de GES liés au transport, près de la moitié est attribuable aux véhicules particuliers⁷. Au niveau national, la mobilité du quotidien des ménages des agglomérations de plus de 200,000 habitants représente une heure quotidienne⁸ par habitant et 113 milliards de veh.km par an, soit plus d'un quart des émissions de CO2 des véhicules particuliers et utilitaires légers. La part de l'automobile a reculé pour l'agglomération parisienne au cours des dix dernières années, au profit de la marche et des transports en commun⁹. Elle reste cependant majoritaire pour les autres tailles d'unités urbaines : la voiture représente 58% des déplacements pour les métropoles hors Paris¹⁰ et jusqu'à 80% dans les zones rurales.

Si le report modal ou la réorganisation de la mobilité sont des leviers activables pour décarboner les transports, les engagements pour le climat ne pourront pas être atteints sans remplacer les véhicules qui continueront à être utilisés au quotidien par les ménages. Pour répondre à ce besoin, les constructeurs automobiles doivent réorienter leur production vers des motorisations électriques et les territoires doivent intégrer les nouvelles contraintes qui y sont liées dans leur stratégie de développement et de modernisation. Les pressions actuelles (fiscales ou réglementaires) sur la voiture thermique poussent déjà certains automobilistes à se tourner vers la voiture électrique. Malgré ces incitations, une part des ménages modestes est forcée de différer cette bascule face au prix encore trop élevé de ces nouveaux véhicules.

La difficile planification de la mobilité électrique sur un territoire

Le déploiement de la mobilité électrique pour les transports du quotidien est exemplaire des difficultés à concilier planification descendante et remontante et à les traduire en transformation concrète des systèmes économiques. La planification globale s'oriente sans ambiguïté vers l'électromobilité et la traduit par des dispositifs normatifs et légaux contraignants pour les véhicules thermiques, ou des aides importantes face aux prix plus élevés des véhicules électriques. Cependant, la transition vers le véhicule électrique, à l'échelle des territoires, reste insuffisante pour plusieurs raisons.

⁷ [CITEPA, rapport Secten 2020 - Les émissions de GES du secteur des transports](#)

⁸ [SDES - Enquête Mobilité des personnes](#)

⁹ Recul de 41% à 33% de l'automobile pour l'agglomération parisienne, enquête Mobilité des personnes

¹⁰ Agglomérations entre 100K et 2M hab.

La première est sans doute le **caractère systémique** de la transition du parc automobile. Électrifier la mobilité ne se limite pas à changer le groupe motopropulseur des voitures. Si certains ménages peuvent envisager la transition vers le véhicule électrique simplement, pour beaucoup d'autres, cela représente un achat inabordable et questionne aussi leur mode de vie, l'équipement de leur domicile pour la recharge ou la façon d'accéder à une voiture. De plus, les ménages doivent de plus en plus intégrer dans leur choix les transformations en cours et à venir des mobilités, modifiant les conditions d'usage de la voiture et la place des transports collectifs et actifs. Enfin, l'électrification exige une implication forte des constructeurs automobiles pour proposer des véhicules adaptés aux nouveaux besoins. Ces problématiques s'entrechoquent d'ailleurs à toutes les échelles géographiques. L'échelle régionale constitue la bonne dimension pour faire évoluer la mobilité du quotidien, la planification ou la réflexion stratégique des constructeurs automobiles s'inscrivent, elles, à l'échelle nationale, européenne ou internationale, face à une compétition et des limites physiques d'accès aux matériaux critiques qui relèvent d'une échelle planétaire. Toute proposition de « solution » ignorant une partie de ces dimensions ou de ces acteurs serait nécessairement incomplète et donc fragile.

La **temporalité** constitue le deuxième défi de l'électrification massive du parc automobile. L'automobile est un bien durable et coûteux, ce qui entraîne une inertie importante pour le renouvellement du parc. Cette inertie est amplifiée par la persistance, sur le marché du neuf, d'une offre thermique qui reste plus abordable que l'électrique. D'autres facteurs ralentissent encore l'électrification du parc, notamment la possibilité d'accéder à des points de recharge. Dans le contexte de la mobilité du quotidien qui n'exige pourtant pas le déploiement d'un réseau de chargeurs ultra performants, l'adaptation des installations électriques en habitat collectif reste par exemple un frein (voir Dossier 3 : Interventions décentralisées pour la mobilité - Banque des Territoires & ADEME). Le planificateur doit donc intégrer cette contrainte temporelle pour fixer des objectifs cohérents et atteignables pour garantir l'acceptabilité des solutions.

Enfin, le défi principal relève de l'**orchestration** des changements nécessaires, mêlant des dynamiques sociales, économiques et techniques. Définir des cibles cohérentes à terme est utile et fédérateur mais ne suffit pas. La transformation effective depuis la situation héritée jusqu'à la cible exige une évolution parallèle sur chaque dimension. Si cette dynamique d'ensemble ne peut être complètement maîtrisée, elle doit s'effectuer dans une trajectoire commune s'adaptant au fil du temps.

Pour éclairer les enjeux de cette transformation systémique, nécessitant rapidité et coordination, des travaux prospectifs sont réalisés dans la plupart des métropoles françaises, notamment à travers les plans de mobilité¹¹. Lors des ateliers sur la planification écologique, l'une de ces initiatives a été présentée par le Groupe Renault, explorant les possibles à l'échelle de la métropole rouennaise.

¹¹ [Lyon](#), [Marseille](#), [Île-de-France](#)...

L'étude MRN-Renault

La Direction de la Recherche du Groupe Renault a animé une étude dans le cadre du projet [Rouen-TIGA](#)¹² à l'initiative de la Métropole Rouen Normandie (MRN). Le projet « Territoire Innovation de Grande Ambition » a été lancé par l'état dans le cadre du 3ème volet du Plan d'investissement d'Avenir (PIA3). Encadrée par la Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) et dotée d'une enveloppe de 450 millions d'euros, cette action vise à accompagner une vingtaine de territoires dans des projets de transformation intégrant les dimensions économiques, sociales et environnementales. Le projet d'innovation conduit par la Métropole de Rouen (MRN) « Mobilités Intelligentes pour tous », lauréat de cet appel à projet, porte sur l'organisation de la mobilité de son territoire pour répondre aux enjeux climatiques, de cohésion sociale, d'attractivité et de soutenabilité économique.



Figure 1 : Les porteurs du projet Rouen-TIGA

Dans ce bassin de mobilité, 700,000 personnes résidant dans 300 communes génèrent plus de 2,5 millions de déplacements quotidiens, dont plus des trois quarts en voiture¹³. L'offre de transport collectif reste insuffisante avec seulement environ 10% des communes bien couvertes. De plus, la ville de Rouen héberge 35% des emplois sur seulement 3% du territoire, concentrant les flux automobiles quotidiens. En 2023, la quasi-totalité de ces déplacements est assurée par un parc automobile thermique, avec un taux d'équipement moyen d'un véhicule par actif. Un véhicule représentatif de celui couramment utilisé au quotidien par un ménage de la classe moyenne est un diesel acheté d'occasion au moins 4 ans après sa première mise en circulation.

La planification « top-down » mise sur la conversion rapide du thermique vers l'électrique, une fois tous les efforts faits par ailleurs pour limiter le nombre de véhicules. Pour cela, des signaux clairs orientent le consommateur. On peut citer l'interdiction programmée de commercialisation des véhicules thermiques neufs à partir de 2035, la mise en place progressive des Zones à Faibles Émissions (ZFE) d'ici 2030, ainsi que des mesures incitatives comme le bonus écologique ou la prime à la conversion, souvent complétés d'aides locales. Combinées aux progrès technologiques, ces mesures ont effectivement fait décoller les ventes de véhicules électriques neufs. L'offre des constructeurs s'est cependant axée vers des modèles équipés de batteries surdimensionnées pour l'usage du quotidien, dont l'autonomie est rassurante par rapport aux véhicules thermiques. Ces modèles, dont l'impact environnemental à la fabrication est élevé, restent chers en dépit des aides publiques et des gains de productivité récents. Ce développement du marché des véhicules électriques neufs peut faire craindre à terme une entrave à l'électrification sur le marché de l'occasion, faute de modèles abordables pour les ménages modestes.

Le prix actuel des véhicules électriques neufs impose par ailleurs une avance de financement importante qui, devant légalement précéder la collecte d'éventuelles subventions, reste un obstacle important pour des ménages fortement contraints, malgré de nombreuses aides publiques, nationales ou locales, et des financements modulés selon la situation des

¹² Territoires d'Innovation de Grande Ambition

¹³ [MRN - Enquête Ménages Déplacements](#)

ménages¹⁴. Le travail mené par la Direction de la Recherche de Renault, la MRN et un ensemble de partenaires locaux vise à formuler de nouvelles propositions pour lever les obstacles à l'électrification du parc des ménages plus modestes.

La coordination de l'action « Accéder à une offre de mobilité décarbonée économiquement supportable » au sein du projet d'innovation a été confiée à la Direction de la Recherche du groupe Renault. Elle a, dans un premier temps, regroupé des acteurs autour de l'ambition de proposer des solutions abordables pour une mobilité du quotidien zéro-émission. Les compétences mobilisées touchent à l'organisation du territoire (Ecov pour le covoiturage, MRN), aux infrastructures de la mobilité (Enedis et Vinci-Citeos pour la recharge) ou à l'amélioration du parc existant (CERTAM pour leetrofit hydrogène). Les acteurs locaux ont également pu partager leur connaissance des contraintes réelles du territoire par le biais d'un « Living Lab » intégrant des employeurs du bassin de vie. Ces sessions d'échanges permettent une acculturation mutuelle, le partage de connaissances et la définition d'objectifs communs. En parallèle, un travail d'analyse prospective a été mené par Renault dans une logique « Système de systèmes » visant à intégrer l'ensemble des problématiques de cette transformation de la mobilité dans la réflexion collective¹⁵.

Cette coopération a débouché sur deux nouvelles propositions. Elles ont pour point commun de vouloir développer l'offre de petites voitures électriques adaptées aux besoins du quotidien, tout en organisant les conditions de leur accès pour les ménages contraints financièrement. Le remplacement du second véhicule des ménages multi-motorisés a été priorisé, pour faciliter l'adaptation au changement. Ces propositions visent à offrir une alternative globalement moins onéreuse pour les ménages que le recours à des véhicules thermiques d'occasion.

La première proposition consiste à créer une **coopérative de petits véhicules électriques** sur le bassin de mobilité. Son rôle serait d'organiser leur location longue durée (LLD) et de créer une demande pour ce type de véhicules auprès des constructeurs automobiles. Les pouvoirs publics locaux seraient parmi les sociétaires de cette coopérative et en situation de contrôler la croissance du parc de véhicules ainsi que les conditions d'affectation aux ménages. Cette coopérative organiserait l'exploitation locale de ces véhicules sur toute leur durée de vie, en assurant la rotation du parc dans des phases de LLD successives pour répondre aux besoins et aux possibilités de ménages dans des situations diverses.

Ainsi, les véhicules neufs seraient proposés en LLD à des ménages pouvant bénéficier de l'aide d'employeurs du territoire, volontaires pour faciliter la mobilité et l'accès au travail de leurs salariés. Pour d'autres ménages ne bénéficiant pas d'une aide employeur, l'offre serait composée de véhicules de seconde main¹⁶ en LLD, sans engagement et sans apport. L'étude montre qu'une telle coopérative pourrait faire croître progressivement le parc de ses véhicules, jusqu'à un équilibre, pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers d'unités à l'échelle du bassin rouennais. Passé ce point, les loyers perçus seraient suffisants pour compenser les frais de fonctionnement et le renouvellement de la flotte, tout en se passant du bonus écologique et des autres aides publiques.

La seconde proposition prend la forme d'un **crédit à taux zéro de long terme (12 ans), à mensualités dégressives** selon l'âge du véhicule, accompagné d'un système d'aide au remboursement du crédit selon l'intensité de l'usage (aide kilométrique). Le crédit et le système d'aide seraient adossés au véhicule jusqu'au remboursement total. Il pourrait ainsi se

¹⁴ Jusqu'à 21,000€ en 2022 sous conditions de ressources, pour la métropole rouennaise : bonus écologique : 7,000€, primes à la conversion : 6,000€, prime ZFE : 3,000€, subvention locale : 5,000€

¹⁵ Voir Annexe 5 : Quel rôle pour la modélisation des innovations de rupture ?, Y. Chazal, J.-P. Ponsard

¹⁶ Véhicules de plus de 5 ans.

transmettre au nouveau propriétaire en cas de revente. L'éligibilité à ce dispositif dépendrait du besoin de mobilité du ménage et de sa capacité de remboursement, tout en intégrant les au calcul les économies de carburant et l'âge du véhicule. Le dispositif orienterait ainsi vers un véhicule neuf les ménages contraints à des distances domicile-travail importantes et vers le véhicule d'occasion ceux à mobilité plus faible. L'employeur, pour qui le VE peut être une solution de décarbonation des trajets domicile-travail, serait un acteur clef de ce système. Il permettrait d'identifier les salariés éligibles, par sa connaissance des distances domicile-travail. Il apporterait également une garantie auprès de l'établissement financier et permettrait la recharge des VE sur le lieu de travail pour les plus gros rouleurs¹⁷.

A l'issue de cette première phase de concertation qui a duré 2 ans, l'action doit se poursuivre par la valorisation, auprès des élus de la métropole, des pistes envisagées. Une expérimentation à petite échelle de l'une ou l'autre des propositions pourrait s'appuyer sur des financements partagés entre local et national, dans le cadre du projet TIGA ou d'un autre programme de financement public. Si le développement immédiat d'un véhicule dédié à ce programme semble difficilement envisageable, compte tenu des contraintes de production, un parc de véhicules électriques de petite taille pourrait être mobilisé en première approche pour valider l'intérêt des ménages du territoire pour les nouveaux modes de financement envisagés.

L'approche de la métropole de Rouen pour la construction de son plan de mobilité se distingue des autres travaux de planification territoriale de la mobilité par plusieurs aspects. L'association d'un constructeur automobile à la démarche permet, par exemple, d'anticiper la question du type de véhicule pour la mobilité future et d'aller plus loin que le développement d'une offre de transports en commun. Le travail sur le financement des nouveaux véhicules à l'échelle du territoire est également une solution relativement originale, par rapport à l'approche classique de la mobilité par la puissance publique.

Apports et limites

Plusieurs éléments sont à retenir de la concertation menée par le Groupe Renault et la métropole rouennaise, à la fois dans ce que cette démarche apporte mais aussi dans les obstacles qu'elle n'a pas encore dépassés.

Le premier est l'intérêt d'une **démarche-prototype en local**, y compris pour des transformations systémiques. En se concentrant sur les impacts à l'échelle d'un territoire cohérent, le fonctionnement par prototype permet d'en révéler plus rapidement les problématiques et acteurs clés. Dans l'exemple MRN-Renault, partant de l'objectif de mobilité bas-carbone, il met en avant les contraintes financières et organisationnelles, intègre les employeurs locaux qui deviennent partie prenante de la solution. De plus, le fonctionnement par prototype permet la rencontre entre des acteurs qui ont peu l'habitude de communiquer entre eux. Enfin, en concentrant les efforts de transformation sur une petite échelle, le prototypage permet de faciliter la mise en œuvre de la transformation avec un raccourcissement des boucles de correction de la stratégie.

L'exemple MRN-Renault illustre également l'intérêt, pour une démarche de transition, **d'intégrer toutes les parties prenantes** à la transformation. En réunissant l'ensemble des parties prenantes à l'échelle du territoire, ce projet a permis de dépasser le silotage entre acteurs qui ont classiquement des intérêts, des méthodes, et des rythmes divergents. La mise en commun des compétences dans un objectif partagé permet d'améliorer la vision d'ensemble et la prise en compte de contraintes spécifiques qui peuvent peser sur certains

¹⁷ Distance aller-retour supérieure à 80 km/j

acteurs. Elle permet d'uniformiser les langages et les connaissances et, partant d'un objectif général, de le transformer en cible commune atteignable par chacune des parties. On peut également noter que cette inclusion de tous les acteurs peut être progressive, comme le montre l'ajout, en cours de projet, des employeurs locaux par le biais des Living Labs.

Enfin, ce projet apporte un retour d'expérience sur l'association encore inhabituelle d'une démarche de conception "Système de systèmes" pour ce type d'exercice prospectif. En fournissant une vision globale cohérente, intégrant des dimensions rarement prises en compte dans les approches quantitatives, la prospective SdS permet d'éviter l'écueil d'une planification apparemment optimale mais se heurtant en pratique à d'autres barrières. En cela, elle rejoint l'intégration de plus en plus courante, dans les travaux de prospective, des dimensions matérielles et sociales de la transition.

Face à la complexité de cette transition dans la mobilité du quotidien, les apports du travail réalisé jusqu'à présent ont principalement permis de proposer des concepts de solutions, à partir d'une approche systémique et collaborative. Leur mise en œuvre est suffisamment décrite pour permettre la réflexion stratégique des parties prenantes. Ce constat est la conséquence de l'avancement courant, mais révèle aussi des difficultés pour aller plus loin dans la mise en œuvre concrète et la réplication des solutions proposées. Il ne s'agit pas ici d'insister sur des difficultés courantes de transfert entre l'amont et l'aval ou entre la théorie et la pratique, car elles sont souvent surmontables par l'application de bonnes pratiques déjà éprouvées. Il s'agit ici de faire ressortir des verrous particuliers à ce contexte, dont l'issue reste incertaine.

Le **premier pas d'expérimentation** sur le terrain reste ainsi difficile à franchir. Tout le monde s'accorde cependant sur les intérêts multiples et indispensables de cette étape. Ici, elle permet de comprendre et vérifier comment des ménages seraient réellement prêts à renoncer à la possession d'un véhicule thermique de leur foyer en faveur de l'un ou l'autre des dispositifs proposés. Mais la mise en place d'une telle expérimentation se révèle particulièrement difficile, alors même qu'un living-lab (le [MIX](#)) existe sur Rouen pour l'accueillir. C'est bien d'abord la décision d'expérimenter qui pose problème, car elle est plus engageante pour les parties prenantes que la conception en amont, en termes de moyens et d'image. L'expérimentation requiert donc l'approbation de décideurs de plus haut niveau. S'agissant de dispositifs à orchestrer collectivement, la compréhension partagée et la confiance commune sont à renouveler à leur niveau. C'est d'autant plus difficile que les cultures initiales sont éloignées, comme entre une autorité publique régionale et un constructeur automobile multinational. Enfin, la question d'expérimenter ces propositions se pose à un moment où leur visibilité peut interférer avec d'autres sujets dans l'actualité immédiate. Dans notre cas, il s'agit par exemple de l'accompagnement local dans la mise en place de la ZFE, ou du débat public national sur le leasing social des véhicules électriques. Les interférences avec l'expérimentation de nouvelles solutions doivent aussi être anticipées de façon acceptable pour les parties prenantes. Faute d'un cadre protégé et protecteur pour les parties prenantes, l'engagement d'une expérimentation requiert une chaîne de décisions engageantes, alors que le faible niveau de maturité rend les risques difficiles à assumer.

Un autre verrou pour avancer réside dans **l'articulation entre le niveau local et national**. En effet, le niveau local s'est avéré pertinent pour faire émerger les propositions, et c'est aussi le niveau adapté pour expérimenter. Néanmoins, ce niveau local n'est pas adapté pour couvrir toutes les questions ouvertes par ces propositions. Par exemple, pour réaliser l'évaluation économique des propositions, des hypothèses ont été prises sur le prix d'un véhicule spécifiquement adapté. Ces hypothèses ont été construites par écart avec les véhicules déjà en production, mais rien n'indique à ce stade que les volumes à produire seraient comparables. Pour objectiver la faisabilité d'un tel véhicule, le constructeur automobile devra

faire un exercice de prospective à une échelle beaucoup plus large. Cet exercice est bien différent d'une estimation de part de marché classique. Les incertitudes principales résident dans la capacité d'un dispositif émergé localement à se diffuser et se répliquer rapidement et largement. Dans le meilleur scénario, l'initiative locale profite d'un effet d'échelle déterminant pour la trajectoire de ses coûts et la planification nationale se concrétise par la multiplicité de telles initiatives locales. Dans le pire scénario, l'initiative reste locale, coûteuse et sans contribution significative à la planification nationale. Les deux niveaux ont donc un intérêt mutuel à s'orchestrer pour donner une visibilité suffisante aux acteurs économiques concernés, comme les constructeurs automobiles.

Dossier 2 : La décarbonation des secteurs industriels fortement carbonés

Sommaire Dossier 2

Le secteur du verre, un exemple industriel aux émissions « hard to abate »	17
Le point de départ du dossier : l'étude pilote Vercane.....	18
Reformuler l'analyse coût bénéfice au niveau d'un secteur en tenant compte de la diffusion du progrès technique.....	19
Quels enseignements pour les politiques de soutien par les pouvoirs publics ?	24

Le secteur du verre, un exemple industriel aux émissions « *hard to abate* »

On regroupe sous le terme « *hard to abate* »¹⁸ des industries qui reposent sur des processus industriels fortement émetteurs de CO₂, caractérisés par une intensité capitalistique élevée, des unités de grande taille et à durée de vie importante. Il en résulte une forte rigidité de l'ensemble de l'écosystème productif, en amont et en aval. Pour atteindre les cibles de neutralité carbone, des ruptures technologiques majeures, nécessitant de lourds investissements, sont nécessaires. Inclues dans le marché européen des quotas carbone, les entreprises du secteur ont jusqu'à un passé récent bénéficié d'allocation gratuites généreuses pour limiter les fuites de carbone qui auraient été occasionnées par des importations venant de pays non soumis à une réglementation comparable à celle mise en place en Europe. Cette protection a retardé leur transformation. De fait, ces secteurs sont encore en fort décalage avec les trajectoires cibles de réduction des émissions, ce qui leur vaut le qualificatif de « *not on track* » par l'AIE¹⁹.

Dans le cadre du New Green Deal, les allocations gratuites vont diminuer avec le temps, incitant ces industries à développer de nouvelles solutions de décarbonation. Par ailleurs, des subventions sont proposées pour encourager les opérations pilotes permettant de lever les verrous correspondants. Il est donc temps d'anticiper et d'accompagner les mouvements importants susceptibles de restructurer chaque secteur. Ceci se produit dans un contexte international fortement affecté par la crise énergétique et les enjeux de politique industrielle, tout en visant à maintenir la production industrielle en Europe.

L'industrie verrière est un exemple typique des défis que représente la transition pour les secteurs « *hard to abate* » : énérgo-intensive par ses fours haute température (1200-1600°C), fortement capitalistique par l'ampleur des infrastructures de production, elle est un marché hautement concurrentiel dont les acteurs industriels ont des marges limitées sur les produits courants. L'Union Européenne est, en 2020, le premier producteur mondial de verre, avec environ un tiers des volumes dont 80% sont destinés au marché continental. Plusieurs

¹⁸ Selon la terminologie adoptée par l'AIE. Par exemple ciment, aciéries, ammoniac...

¹⁹ Ces secteurs représentent collectivement 24% des émissions du territoire français. La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) prévoit une réduction des émissions de GES (scopes 1 & 2) de 35 % en 2030 et de 81 % en 2050 par rapport à 2015 pour l'ensemble des industries. Chaque secteur doit établir, dans ce cadre, ses propres cibles et objectifs de transition, en s'appuyant sur les travaux de prospective nationale.

initiatives ont été portées au niveau communautaire comme l'[appel pour une politique industrielle du verre](#) du Comité Économique et Social Européen.

L'industrie verrière compte 700 sites industriels en France, dont une cinquantaine de sites de production²⁰. Les émissions directes, 2,7 MtCO₂eq en 2019, représentent 3% des émissions de l'industrie française, absorbant 3% de l'énergie thermique et 2% de l'électricité de l'industrie. L'ADEME a publié un premier Plan de Transition Sectoriel « [PTS Verre](#) », vision à 360° technico-économique et sociale des défis du secteur. L'élaboration d'un scénario de décarbonation du secteur au niveau européen revêt donc un intérêt stratégique particulièrement important.

Le point de départ du dossier : l'étude pilote Vercane

Le segment retenu pour cette étude est celui du verre creux. Cette catégorie domine le secteur verrier en volume avec 74% de la production totale française ([ADEME, 2021](#)), et 62% de la production européenne ([Glass Alliance Europe, 2022](#)). Le verre creux est connu comme un bon substitut au plastique tout en ayant des meilleures propriétés pour le stockage des denrées alimentaires si bien qu'on s'attend à une demande pérenne dans les années à venir. Il s'agit d'évaluer l'intérêt d'une opération pilote destinée à tester un nouveau type de procédé.

Comme pour l'industrie verrière dans son ensemble, la majeure partie de la décarbonation du verre creux passera par l'utilisation de nouvelles énergies de chauffage des fours²¹. Le principal autre levier est l'augmentation du recyclage du verre, en nette progression ces dernières décennies. Une des solutions proposées par le projet Vercane est celle d'un four à chauffage hybride électricité-hydrogène, permettant un ajustement des vecteurs énergétiques entre 20 et 80%²². L'hybridation du four apporte de la flexibilité d'approvisionnement, assurant l'optimisation des coûts de l'énergie, et la redondance des sources d'énergie, assurant la continuité de l'activité. Cette option permet de plus de s'inscrire dans le temps long et d'éviter de tomber dans une trappe technologique de court-terme.

Le périmètre pertinent des parties prenantes comprend d'une part l'opérateur verrier mais aussi les industriels impliqués dans l'élaboration et la réalisation du nouveau processus technique, ainsi que des industriels fournisseurs d'énergie. Il n'est pas apparu opportun d'inclure des représentants des clients, le produit final restant sensiblement inchangé. Des académiques ont aussi apporté leur expertise à l'étude (voir Figure 2).

²⁰ Verre creux : 33, Verre plat : 6, Fibres/laine de verre : 7, Verres spéciaux : 6

²¹ biogaz/biométhane, électricité décarbonée, hydrogène bas-carbone...

²² A tout instant, le four fonctionne avec une part de la chaleur fournie par électricité et le reste par hydrogène, cette part variant entre 20 et 80%. La situation nominale est de 80% électricité / 20% hydrogène.

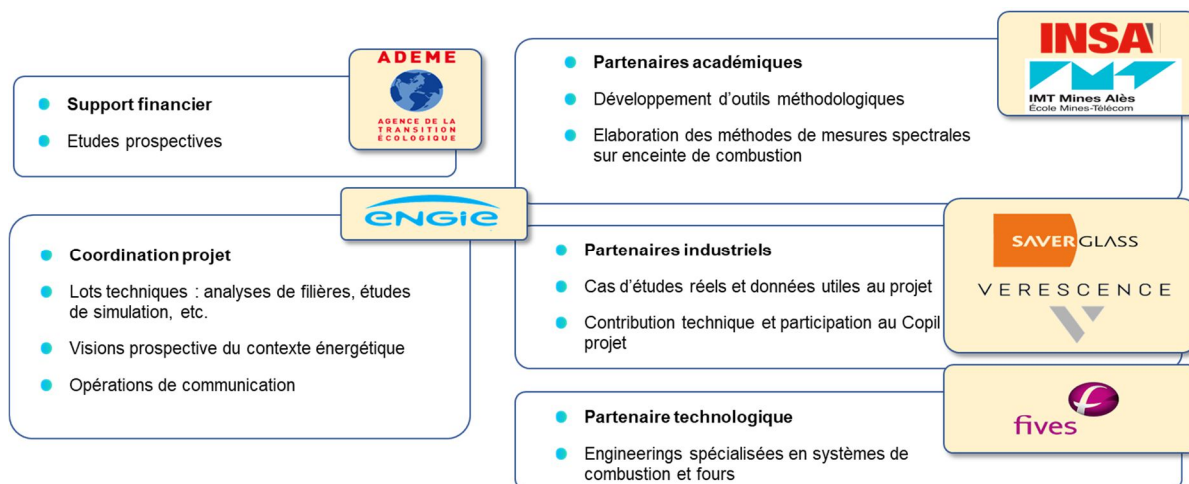


Figure 2 : Les acteurs du projet Vercane

L'analyse coût bénéfice menée dans le cadre du projet pilote a mis en évidence un coût d'abattement nettement plus élevé que la valeur tutélaire du carbone si bien que la poursuite du projet a été remise en cause²³. Or, on peut faire l'hypothèse qu'un démonstrateur complexe de four verrier apportera suffisamment d'informations nouvelles lors de sa conception conjointe, de sa mise en service, et de son exploitation, pour que l'apprentissage issu du démonstrateur permette une amélioration sensible de performance et une baisse des coûts pour les unités suivantes. Ces gains s'envisagent pour autant qu'un système structuré d'amélioration soit mis en place par les partenaires. Comment reformuler l'analyse coût bénéfice pour faire apparaître ces retombées indirectes ?

Reformuler l'analyse coût bénéfice au niveau d'un secteur en tenant compte de la diffusion du progrès technique

Cette reformulation a pour objectif de définir un scénario de transition pour l'ensemble du secteur en prenant en compte les aspects suivants :

- La contrainte de décarbonation se traduit par la définition d'un **horizon temporel** pour l'atteinte d'une neutralité carbone 'nominale', aux émissions résiduelles près, avec arrêt des activités carbonées - dans la planification de la transition NZE, 2050
- L'effet d'échelle ou apprentissage est réparti sur toutes les unités de production décarbonées à mettre en œuvre jusqu'à 2050 – c'est l'**effet d'entraînement** que présente l'encadré suivant

²³ Il est à noter que depuis que deux projets d'études de faisabilité de fours verriers décarbonés ont été retenus dans un appel d'offres européen de l'Innovation Fund.

Transition énergétique et diffusion du progrès technique

La transition énergétique s'appuie sur la mise en œuvre de nouvelles technologies dont les coûts vont bénéficier d'un important effet d'apprentissage, l'exemple souvent mis en avant concerne les énergies renouvelables qui ont vu leur prix baisser significativement depuis leur introduction ([IRENA 2021](#)). Il s'agit là d'un phénomène relevé par Adam Smith en 1776 à propos de la production d'épingles, exploité à partir de 1908 pour la production en série de la [Ford T](#), utilisé en 1936 par Theodore Paul Wright pour la négociation des coûts pour production d'aéronefs, repris en 1979 par le Boston Consulting Group lors d'une [étude pionnière](#) en 1979 pour souligner l'importance de la part de marché dans la compétition entre firmes américaines et japonaises dans les semi-conducteurs...

Ce phénomène a été formalisé par Kenneth Arrow en 1962 sous l'appellation d'effet d'apprentissage (learning-by-doing noté LBD). Il est maintenant communément introduit dans l'analyse économique de la transition énergétique. [Acemoglu, Aghion, Bursztyn et Hemous](#) (2012) analysent l'impact différencié à long terme de politiques de R&D dans les industries fossiles (rentables à court terme mais avec un taux faible de LBD) et dans les industries vertes (non rentable à court terme mais avec un taux élevé de LBD). [Goulder et Mathai](#) (2020) revisite la notion de coût d'abattement tout au long d'une trajectoire bénéficiant de LBD... Si l'importance théorique de ce phénomène est reconnue, en identifier les sources empiriques reste difficile : division du travail et effets d'apprentissage chez Adam Smith, effets d'échelle liés et intégration industrielle pour la production de masse pour la Ford T, et plus généralement diffusion endogène et exogène du progrès technique due à des retombées directes et indirectes de la production.

De ce fait, rares sont les analyses coût bénéfiques qui introduisent explicitement ce phénomène, ce qui limite la portée de leurs résultats. L'annexe 4 développe une méthodologie qui vise à combler cette lacune.

Dans ces conditions, la recherche de la meilleure stratégie de décarbonation aboutit à deux conclusions importantes :

- L'opération pilote doit être lancée **d'autant plus tôt qu'on anticipe des effets d'entraînement importants**, le calcul du coût d'abattement traditionnel ne tenant compte que des données relatives à l'opération pilote est totalement insuffisant pour évaluer la date optimale de lancement ;
- Il est nécessaire **d'optimiser les délais** entre la date de lancement de l'opération pilote et les dates de lancement des autres unités de manière à laisser un temps suffisant pour qu'on puisse exploiter les retombées.

Ces conclusions sont intuitives mais elles débouchent sur un changement de perspective majeur pour la mise en œuvre²⁴. Cette démarche a été appliquée à l'analyse du cas du four verrier de type flint et super-flint (verres clairs)²⁵. L'origine des effets d'entraînement, effets d'apprentissage et spillovers a été étudié en détail. Les encadrés 2 et 3 apportent les informations à cet égard.

²⁴ Voir Annexe 6 : Du bon usage du coût d'abattement dans le contexte de la neutralité carbone en 2050, G. Meunier et J.-P. Ponssard

²⁵ Pour une présentation détaillée voir Sadighi, M. et ali. (2023) Extending Cost-Benefit Analysis of Industrial Pilot Projects for Energy Transition: A Case Study in the French Container Glass Sector. WP Chair Energy and Prosperity

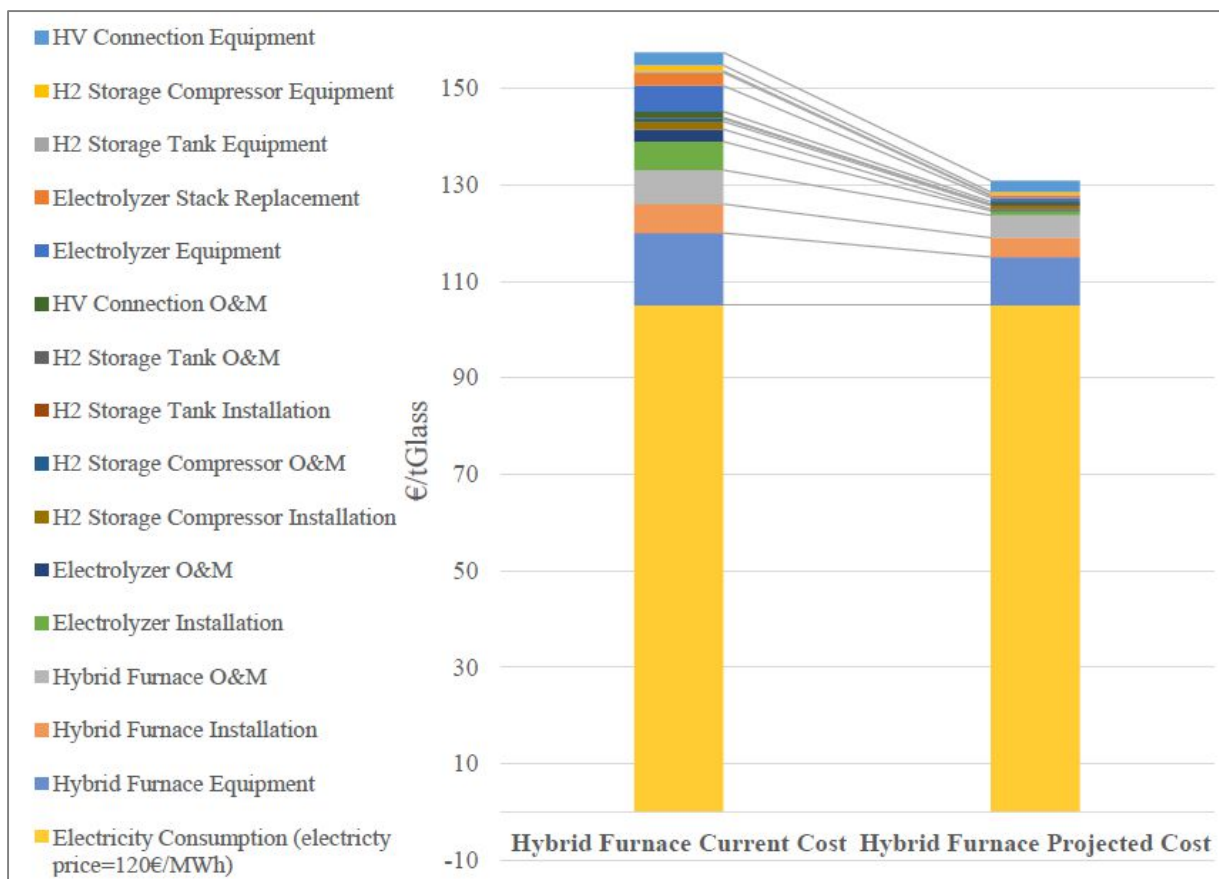


Figure 3 : Composants du coût du four verrier hybride pour verre clair, valeur actuelles et projetées

Dans la Figure 3, on a distingué les différentes composantes du coût, et les valeurs correspondantes à court et long terme en s'appuyant sur des publications professionnelles. Sachant que le coût du procédé carboné actuel est de l'ordre de 90 €/t, le coût d'abattement court terme est de l'ordre de 330 €/tCO₂ bien au-delà d'une valeur tutélaire estimée à 250 €/CO₂ en 2030, date retenue dans l'étude Vercane. Le coût d'abattement serait de 190 €/tCO₂ à long terme, justifiant alors le lancement, mais comment obtenir ce coût sans avoir préalablement lancé l'opération ?

Dans la Figure 4, on a estimé l'origine des baisses de coût selon qu'elles sont exogènes ou endogènes au secteur. En effet certains composants comme par exemple les électrolyseurs ne sont pas spécifiques au secteur mais relèvent d'une dynamique plus globale alors que ces composants comme les coûts d'installation bénéficieront d'un effet d'expérience spécifique au secteur.

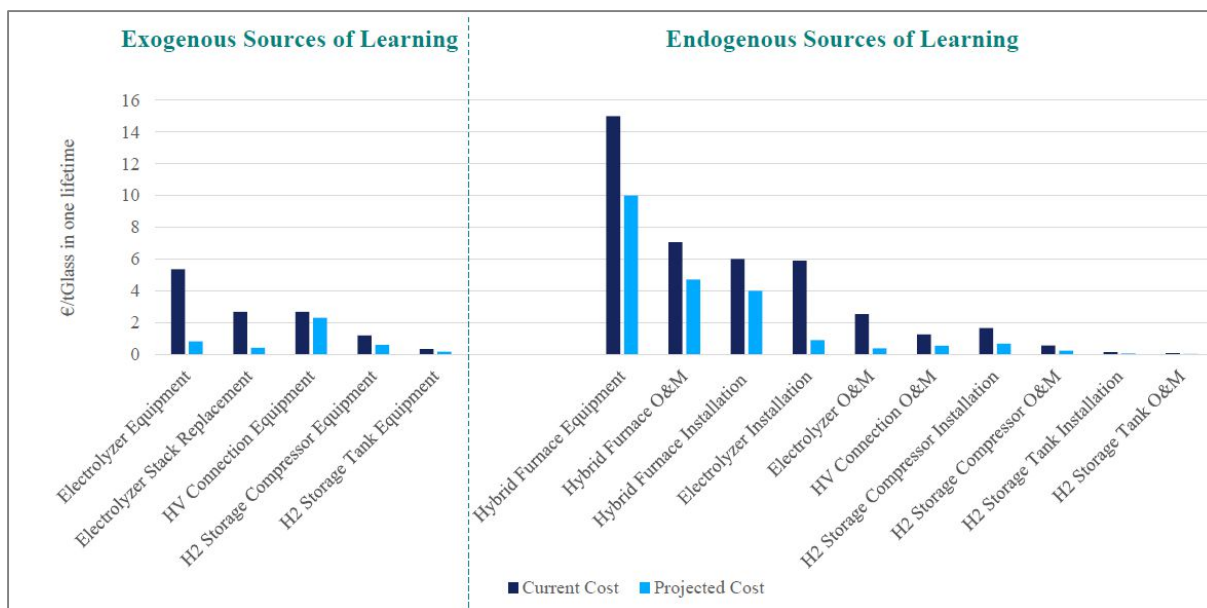


Figure 4 : Effets d'échelle exogènes et endogènes pour le four verrier hybride de verre clair

Il convient maintenant de transposer les effets d'entraînement sur l'ensemble des unités du secteur.

Il est naturel de prendre en compte les effets d'entraînement endogènes en fonction du délai entre l'unité pilote et l'unité correspondante.

L'ensemble des résultats est regroupé dans la Figure 5 à savoir : la date optimale de lancement de l'opération pilote (2022²⁶), le délai d'attente pour lancer les autres unités (6 ans), le détail des coûts associés à la trajectoire optimale et à la stratégie BAU (coût cash et coût des émissions), ainsi que la courbe de coûts d'abattement pour le secteur.

²⁶ Résultats issus de travaux menés entre 2020 et 2022

Optimal Trajectory for The Sector

- **Optimal Launch of Pilot** is in 2023 with **6 Years of Delay** after Pilot for the Follower

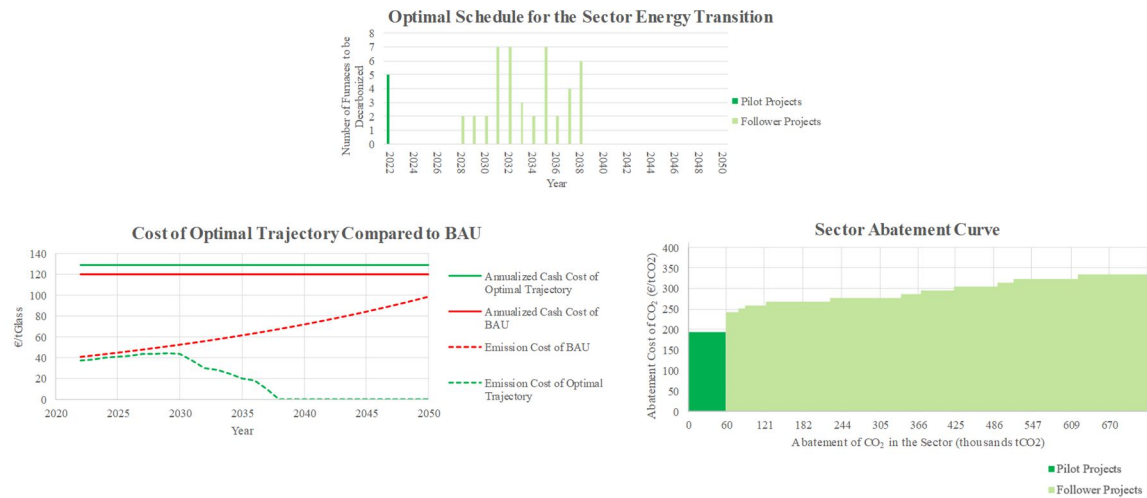


Figure 5 : Les résultats du modèle pour le secteur du verre creux

Il est intéressant de comparer cette stratégie bottom-up avec la stratégie mécaniste de la SNBC 2020 qui prévoit une trajectoire linéaire de réduction des émissions de CO₂ pour l'industrie d'ici 2050 (voir encadré 5).

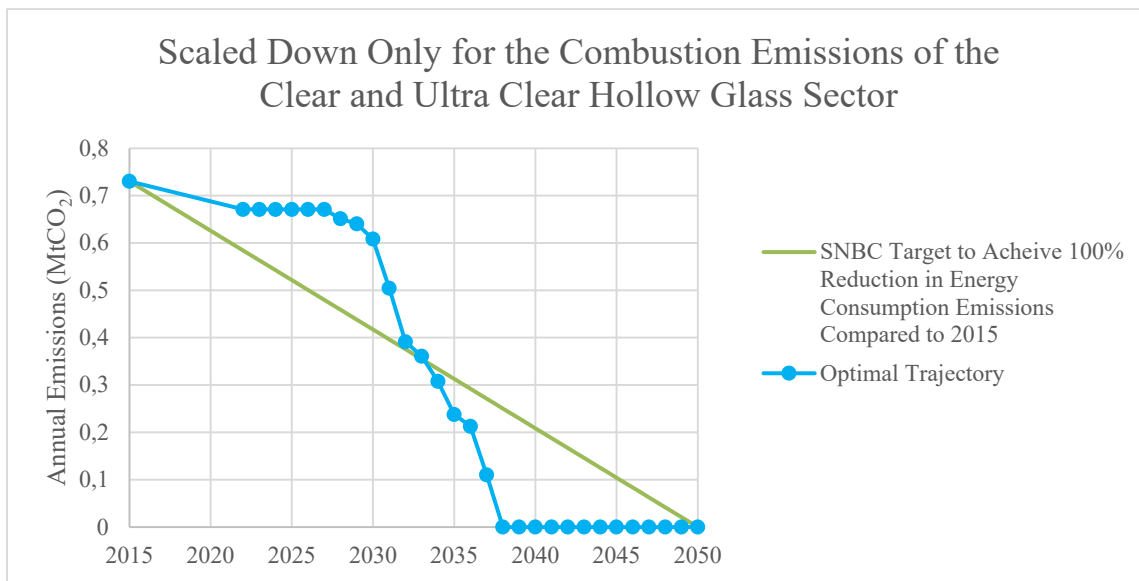


Figure : Trajectoire optimale de décarbonation des fours verriers de verre creux et clair superposée à la tendance issue de la stratégie SNBC 2020 pour l'industrie.

La trajectoire de décarbonation complète du chauffage des fours verriers du secteur du verre creux clair serait atteinte vers 2040 environ, en une décennie à la faveur de la dynamique de renouvellement des actifs qui s'accélère peu avant 2030.

Quels enseignements pour les politiques publiques de soutien à l'innovation ?

La méthode d'analyse qui a été développée intègre l'impact économique des avancées technologiques, en termes d'effets d'apprentissage endogène et exogène, d'effet d'entraînement au sein d'un secteur industriel ou de retombées depuis ou vers d'autres secteurs. Les résultats décrivent une trajectoire optimale de réduction des émissions à l'horizon 2050, minimisant les coûts de la transition NZE pour un secteur en tenant compte de l'ordonnancement des décisions d'investissement de renouvellement d'actifs, et souligne l'importance des **mécanismes de diffusion du progrès technique** dans l'écosystème industriel.

Les questions de concurrence, d'égalité des conditions d'exercice, de dynamique de l'écosystème industriel et du marché doivent être intégrées, ainsi que les politiques publiques de soutien, pour définir une trajectoire du point de vue des décideurs industriels (dite de « second rang ») qui peut être comparée à la trajectoire socialement optimale décrite dans le dossier (dite de « premier rang »). Il n'est pas nécessaire de mener à son terme l'exercice correspondant pour **s'interroger sur l'importance du progrès technique**. Cette importance est rarement prise en compte ce qui conduit à sous évaluer considérablement l'intérêt d'engager rapidement la transition énergétique dans les secteurs « *hard to abate* ». Les pouvoirs publics, garants des engagements dans la transition NZE, doivent contribuer à réduire l'écart entre les deux points de vue public et privé. Les pays se positionnent activement sur les différents volets de la transition NZE, avec un ensemble de mesures allant depuis le soutien à l'innovation technologique jusqu'à l'émergence d'un cadre réglementaire, parfois protectionniste, combinant exigences environnementales et incitations financières. Une réflexion semble nécessaire pour bien articuler les interventions aux différents niveaux à la lumière des politiques mises en œuvre à l'étranger et tout particulièrement aux Etats Unis (IRA). Les politiques qui en découleront doivent permettre d'intégrer de manière efficace le rôle du progrès technique, et l'importance d'en **faciliter la diffusion**, pour mener à bien la transition énergétique.

Dossier 3 : Interventions décentralisées pour la mobilité - Banque des Territoires & ADEME

Sommaire Dossier 3

La Banque des Territoires et l'ADEME, relais des politiques publiques.....	25
L'ADEME et la mobilité.....	26
La Banque des Territoires et la mobilité.....	26
Trois exemples d'actions décentralisées pour la mobilité bas-carbone	27
L'Extrême Défi, collaborer pour une nouvelle offre de véhicules	27
La Zero Emission Valley, une cible en reconfiguration	28
Logivolt, lever le verrou des bornes de recharge pour la mobilité électrique	30
Apports et limites.....	32

La Banque des Territoires et l'ADEME, relais des politiques publiques

L'investissement public est une des dimensions par lesquelles la puissance publique peut orienter les choix des agents économiques. Depuis 2009 et le rapport Juppé-Rocard « [Investir pour l'Avenir](#) », ce sont plus de 70 milliards d'euros qui ont été débloqués pour financer le développement technologique à travers les 4 Programme d'Investissements d'Avenir (PIA). Ces programmes ont été intégrés en 2020 dans le plan France Relance, doté de 100 milliards d'euros, qui porte 3 objectifs : financer la transition écologique, la compétitivité et la cohésion des territoires.

Le plan France 2030, sous la direction du Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI), s'inscrit dans cette lignée : doté de 54 milliards d'euros²⁷, il vise à favoriser l'innovation technologique, par l'investissement de capacité de secteurs clés (santé, transport, énergie...) ou en soutien aux filières émergentes (hydrogène, aviation décarbonée...).

Il se déploie à travers 4 structures publiques qui financent l'innovation avec des spécificités d'outils et de cibles. Ainsi, [Bpifrance](#) participe au financement d'entreprises privées par le crédit, la garantie ou l'investissement. L'[Agence Nationale de la Recherche](#) soutient la recherche publique et partenariale par le financement de contrats de recherche. La [Caisse des Dépôts](#), par sa filiale [Banque des Territoires](#) créée en 2018, accompagne les collectivités territoriales par des prêts de court à long terme ainsi que l'apport de fonds propres. Enfin, l'[ADEME](#) soutient les acteurs privés ou publics par des subventions conditionnées à des projets spécifiques, favorables à la transition écologique et sélectionnés par appel à projets.

La mobilité fait partie des secteurs concernés par France 2030 avec 3.6 milliards d'euros prévus pour un large éventail de sujets : transports en commun, utilitaires et poids lourds, modernisation du parc de véhicules individuels²⁸, développement du réseau des nouvelles énergies du transport.

²⁷ Dont 24 milliards d'euros provenant du PIA-4

²⁸ Objectif affiché d'une production annuelle de 2 millions de véhicules zéro émissions en 2030

Plusieurs initiatives ont été présentées lors des ateliers sur la planification écologique dont 3 seront analysées ici plus en détails. Le premier projet porte sur le développement coopératif **Extrême Défi** de l'ADEME, visant à faire émerger une nouvelle offre de petits véhicules sobres ; le second, par la Banque des Territoires et l'ADEME, sur le développement d'un écosystème hydrogène à l'échelle d'un territoire (**Zero Emission Valley**) ; le troisième, développé par la Banque des Territoires, porte sur le programme de soutien au déploiement de bornes des recharges électriques dans les copropriétés (**Logivolt**). Les trois initiatives sélectionnées se situent à différents niveaux de maturité technologique. Le projet Extrême Défi présente les premières phases de développement d'une innovation avec une approche par prototype et essai-erreur ainsi qu'une incertitude sur les débouchés potentiels. Le projet Zero Emission Valley se situe dans les étapes de démonstration, visant à éprouver la viabilité de l'innovation dans un environnement pertinent. Le projet Logivolt illustre les derniers stades de développement avec une innovation validée dans un environnement opérationnel.

Ces exemples permettent d'explorer, à travers ces différents niveaux de développement technologique et de granularité sectorielle et géographique, les mécanismes permettant une action décentralisée de l'État en faveur de l'innovation.

L'ADEME et la mobilité

Pour favoriser la mobilité durable, l'ADEME développe une expertise selon 3 axes : comprendre et agir sur la demande et les comportements, favoriser un report vers des modes plus économes et favorables à l'environnement, et améliorer l'existant pour limiter son impact sur l'environnement. Pour la faire émerger, l'agence mobilise deux canaux principaux et non exclusifs : l'accompagnement des acteurs et l'aide au financement de projets ciblés.

Elle encourage ainsi la réflexion en amont par l'émulation entre acteurs afin de développer des approches innovantes sur des marchés complexes. L'[Extrême Défi](#) ou l'[Appel à Communs Résilience des Territoires](#) sont deux exemples de ces projets collaboratifs.

L'ADEME participe également financièrement au développement de la mobilité bas-carbone en investissant dans des projets innovants à l'échelle territoriale ou nationale. Ainsi, via des appels à projets lancés entre 2018 et 2020²⁹, 46 projets d'écosystèmes mobilité hydrogène ont été retenus et financés par l'agence via 330 M€ de subvention. En cours de réalisation, ces actions représentent 110 nouvelles stations-hydrogène, 8 500 tonnes a minima de production annuelle par électrolyse (environ 80 MW) pour une flotte de 2 400 véhicules utilitaires légers et 840 véhicules lourds³⁰. La mobilité électrique est également soutenue financièrement, que ce soit pour le développement de la flotte³¹ ou le déploiement de stations de recharge publiques³².

La Banque des Territoires et la mobilité

La Banque des Territoires a pour but de fournir un guichet unique et local aux territoires pour soutenir, notamment financièrement, leur transformation et leur modernisation.

²⁹ [ADEME - Premiers écosystèmes hydrogène](#)

³⁰ L'efficacité moyenne de l'aide ADEME apportée, sur l'ensemble du programme, s'établit autour de 208 €/tonne de CO₂ évitée, si l'on considère une durée de fonctionnement de ces écosystèmes créés sur 15 ans

³¹ [Appel à projets Ecosystème véhicules lourds électriques](#)

³² AAP en cours Soutien au déploiement de stations de recharge pour les véhicules électriques - [Hubs de recharge rapides](#) ou [Stations-services indépendantes](#)

Elle mobilise ses ressources, issues de l'épargne réglementée³³ ou des activités bancaires de la CDC, par des financements sur une dizaine d'années sur la base de taux compatibles avec la politique de la CDC. A terme, les conditions de financement seront adossées à des objectifs de décarbonation, le taux d'intérêt pouvant dépendre de la réalisation de certains objectifs.

La Banque des Territoires utilise plusieurs leviers pour participer à la décarbonation de la mobilité dans les territoires. Elle apporte son conseil aux collectivités locales par l'appui aux Schéma Directeurs Installations de Recharges Véhicules Électriques (IRVE). Elle finance, par l'offre [Mobi Prêt](#), les infrastructures publiques de transport parmi lesquelles les IRVE ouvertes. Elle participe au financement de la transformation des flottes de transport en commun et de véhicules professionnels, ainsi que des infrastructures associées avec [ObliBus](#) et [Movivolt](#). La société publique [Logivolt Territoire](#), filiale à 100% de la BdT créée en 2021, participe, elle, au financement du déploiement des bornes de recharges auprès des particuliers.

Trois exemples d'actions décentralisées pour la mobilité bas-carbone

L'Extrême Défi, collaborer pour une nouvelle offre de véhicules

La décarbonation de la mobilité peut être envisagée par trois leviers non exclusifs les uns des autres. Le premier est la réduction de la mobilité, par sobriété ou optimisation des trajets, le second est la décarbonation des modèles actuels via l'électrification ou l'hydrogénation du parc, le dernier est le report modal et le développement de nouveaux modes de transport, qu'ils soient particuliers ou partagés. C'est sur ce dernier levier que le projet [Extrême Défi](#) ambitionne d'agir.

Ce projet, porté par l'ADEME, vise à faire émerger collaborativement une nouvelle offre de véhicules en assumant l'objectif d'améliorer par un facteur 1,000 la mobilité du quotidien actuellement assurée par la voiture individuelle. Cette cible ambitieuse se décompose en une amélioration par 10 du coût, par 10 de la durabilité et de la simplicité, par 10 du poids. Les véhicules qui pourraient résulter du travail collaboratif sont des innovations radicales qui n'ont pas vocation à remplacer, à usage constant, les véhicules thermiques actuels. Leur utilisation ne relèverait pas du simple changement technique mais également d'une rupture importante dans les usages de la mobilité dont l'acceptabilité par les usagers reste encore incertaine. Ce projet s'insère clairement dans une démarche de rupture systémique et ses résultats, positifs ou négatifs, devraient alimenter une démarche ultérieure de planification.

La première des 3 saisons prévues³⁴ s'est structurée, sur l'année 2022, autour de la constitution d'un panel d'acteurs intéressés par la conception de toute ou partie de la solution, la production future de ces nouveaux véhicules ou le développement à l'échelle locale des solutions à venir. Une fois les acteurs identifiés, le projet vise à faciliter leur coopération en établissant des réseaux de travail, facilitant les échanges et la mise en commun des compétences par le biais de rencontres (ateliers, événements collectifs), de groupes de travail collaboratifs et de leur consignation sur un support ouvert à tous. Début 2023, ce sont plus de 40 équipes techniques innovantes, accompagnées de 150 experts et 40 partenaires, qui se rassemblent pour proposer des solutions à la trentaine de territoires qui se préparent à accueillir les premières réalisations pour les phases d'expérimentation, prévues à partir de 2023. L'ensemble de l'expérimentation s'accompagne d'un financement dédié fourni par

³³ Livret A, LDD, LEP

³⁴ 3 saisons : Idéation, Prototypage, Production

l'ADEME permettant de passer les premières étapes de l'innovation. En 2023, le programme France 2030 pourrait également contribuer au financement des étapes suivantes, plus coûteuses pour les entrepreneurs.

L'année 2023 doit opérer, pour les équipes, la bascule entre l'Idéation et le Prototypage sur le principe de la coopération permettant aux solutions les plus appropriées de se développer. En parallèle, les territoires d'expérimentation seront sélectionnés et devront définir un protocole commun d'expérimentation permettant l'amélioration des produits par itération.

Cette approche nouvelle est une illustration exemplaire du rôle coordinateur que l'Etat peut apporter à une problématique d'innovation de rupture. En favorisant le rapprochement entre producteurs (les équipes) et consommateurs potentiels (les territoires), sans favoriser l'une ou l'autre des parties, mais en exigeant un certain niveau de standardisation, l'ADEME facilite l'émergence d'une nouvelle technologie en ligne avec ses propres objectifs de décarbonation. Elle assure également l'alignement des acteurs sur l'objectif commun (un véhicule 1,000 fois plus performant) et devient un garant des intérêts communs. Elle favorise ainsi le développement de nouveaux modes de coopération pour des acteurs qui seraient peut-être, sans cette initiative, en compétition ouverte.

Le fonctionnement par saison de développement est également une incitation forte pour les différentes parties prenantes à se coordonner dans le temps : en faisant évoluer en parallèle développement du produit et expérimentation concrète, l'Extrême Défi permet de raccourcir les délais dévolus à chacune de ces phases et d'en assurer l'exécution successive à un rythme compatible avec les engagements de neutralité carbone.

Enfin, cette expérience est intéressante en ce qu'elle propose une approche itérative accélérée du développement industriel en mettant en commun les travaux des différents acteurs. Plaçant l'innovation dans une logique de développement *agile*, elle ambitionne de faire émerger efficacement les solutions les plus pertinentes à l'échelle de la filière.

Malgré l'intérêt d'un fonctionnement collaboratif pour le développement d'une nouvelle filière, on peut s'interroger sur la capacité d'une telle organisation à dépasser le cadre d'un unique produit. Dans un contexte de mise en compétition d'entreprises nationales et internationales, l'exigence de rentabilité pour des entreprises matures est sans doute un frein à la mise en place de solutions dans lesquelles la recherche et l'innovation d'un groupe pourrait bénéficier à son concurrent direct. Enfin, cette initiative est récente et l'essai mérite encore d'être transformé par la mise en production de véhicules répondant aux objectifs initiaux et parvenant à trouver un marché d'utilisateurs. Alors seulement cette approche pourra être considérée comme un exercice méritant d'être répliqué.

La Zero Emission Valley, une cible en reconfiguration

Si l'hydrogène est souvent évoqué comme un pilier de la décarbonation des transports, son utilité est particulièrement prononcée pour certains usages intenses et continus (plus grande autonomie et recharge plus rapide par rapport à la batterie). C'est notamment le cas pour les flottes de bus et autocars, de véhicules lourds ou de services mobilisées par les acteurs publics ou privés. Comme pour l'électromobilité, le développement d'un écosystème hydrogène nécessite d'assurer en parallèle le remplacement du parc et son approvisionnement énergétique, garanti par le déploiement de stations hydrogène. L'éclosion d'un écosystème à l'échelle du territoire est ainsi indispensable pour cette énergie.

Parmi les 250 projets et écosystèmes territoriaux répertoriés par France Hydrogène³⁵, permettant de mesurer le déploiement de la filière, le projet « [Zero Emission Valley](#) »³⁶ (ZEV) est emblématique des défis de l'hydrogène pour la mobilité. ZEV est un projet initié dès 2017 par la région Auvergne-Rhône-Alpes et deux industriels : ENGIE et Michelin. Il prévoit initialement le déploiement de 20 stations de recharge hydrogène alimentées par 15 électrolyseurs d'ici 2023 et le financement d'une flotte de 1,000 à 1,200 véhicules. Par son périmètre, il ambitionne de couvrir 25 % de l'objectif annoncé du [Plan Hydrogène](#) porté par le ministère de la Transition. Le projet ZEV est piloté conjointement par la Région et la SAS [Hympulsion](#) qui a la charge de la construction des stations hydrogène. Hympulsion est conçu comme une entreprise hybride, détenue à 49 % par le secteur public³⁷ : la région Auvergne-Rhône-Alpes (33 %) et la Banque des Territoires (16 %), qui appartient à la Caisse des Dépôts et Consignations. Les 51 % restants sont répartis entre trois entités privées : Michelin (22,8 %), ENGIE (22,8 %) et Crédit Agricole (4,6 %).

La ZEV a reçu 24 millions d'euros de subventions, dont 10 millions proviennent des fonds européens. Sur ces 10 millions, 4 alloués à la Région servent de subventions pour l'achat de véhicules et le reste va à Hympulsion pour la construction des stations. Des 14 millions d'euros provenant de l'ADEME, 6 sont destinés à des subventions aux véhicules et le reste à l'aide à la construction de stations.

L'octroi de ces subventions est soumis à trois conditions garantissant le développement coordonné de la ZEV sur le territoire. La première est le déploiement de 20 stations de recharge hydrogène d'ici 2023 sur le bassin de vie. La seconde est l'exigence de lettre d'engagement de cinquante acheteurs potentiels avant la construction de toute nouvelle station³⁸. Enfin, 1,5 tonne d'hydrogène vert doit être produite quotidiennement pour la mobilité hydrogène du territoire d'ici fin 2023.

Le projet initial est en cours de reconfiguration : la demande initiale s'appuyait sur la vente de véhicules électriques Renault Kangoo et Master avec extension hydrogène, et des Toyota Mirai et des Hyundai Nexa ; la production de véhicules Renault a été affectée par un changement de politique de l'entreprise qui est passé de Symbio à PlugPower pour la fourniture de piles à combustibles ; le prix des SUV restait très élevé en dépit des aides accordées.

La Région ne compte, début 2023³⁹, qu'une dizaine de stations opérationnelles. Les volumes consommés⁴⁰ se révèlent trop faibles pour dépasser le seuil de rentabilité⁴¹. Le projet visait initialement le développement d'une demande portée par les véhicules particuliers, via des motorisations de combustion ou électriques à source hydrogène. Malgré des aides conséquentes, la mobilité hydrogène pour les particuliers reste anecdotique et l'acquisition de nouveaux usages⁴², plus adaptés aux spécificités de l'hydrogène, devient impérative pour le maintien de l'écosystème.

³⁵ [France Hydrogène - Trajectoire pour une grande ambition hydrogène](#)

³⁶ Le projet ZEV est décrit et analysé en 2021 dans un rapport de stage de François Tessier d'Orfeuil disponible sur le site de la chaire Énergie et Prospérité. Les données rapportées dans cette section ont fait l'objet d'une mise à jour.

³⁷ Région Auvergne-Rhône-Alpes (33 %), Banque des Territoires (16 %)

³⁸ A l'exception de cinq HRS dits "golden-bulles"

³⁹ [France Hydrogène - Vig'Hy](#)

⁴⁰ 3 stations autour de 200kg/j, le reste sous les 80kg/j

⁴¹ Situé entre 200 et 800kg/j, selon les études

⁴² Flottes captives et mobilité lourde : bus et trains, matériels industriels tels chariots élévateurs

Cette reconfiguration du projet est aujourd'hui soutenue par l'ADEME et la Banque des Territoires au titre du maintien de l'écosystème hydrogène du territoire. Le projet ZEV-II s'appuiera sur les 2 électrolyseurs financés dans le cadre de ZEV-I (Clermont Ferrand et Grenoble) et intégrera notamment 3 nouvelles stations d'avitaillement pour véhicules lourds, 20 remorques à hydrogène pour l'approvisionnement des stations et 54 autocars.

Ce projet est emblématique des projets régionaux de mobilité-hydrogène : l'hydrogène reste une technologie émergente dont les contours, en usage et en coûts, sont encore en partie incertains. En dépit d'avancées importantes, la filière hydrogène (électrolyseurs, stations, véhicules...) n'est pas encore totalement mature et des problèmes de disponibilité de matériel, de maintenance, de sécurité subsistent. L'expertise des pouvoirs locaux sur ces sujets fortement techniques pourrait sans doute être améliorée par l'apport de compétences externes et expertes. Cela leur permettrait de *challenger* les arguments marketing des industriels face au « buzz » observé ces dernières années à propos de l'hydrogène. Ce buzz a quelquefois conduit des élus locaux à s'engager trop rapidement sur des projets en les justifiant par des retombées difficilement quantifiables (attractivité industrielle, emplois qualifiés, contribution à la décarbonation de la Région...).

Il existe un consensus pour dire que les véhicules légers, hors usage intensifs (par exemple pour les taxis), ne sont pas adaptés à l'hydrogène⁴³. Par contre, cette énergie est compétitive pour la mobilité lourde⁴⁴. Dans ces conditions, de nombreux projets hydrogène régionaux ont rencontré des difficultés rencontrées pour projeter la demande de véhicules. L'ADEME demande maintenant des engagements crédibles et conditionne l'octroi de subventions pour l'attribution de subventions pour des stations à la réalisation de ces engagements : 50% des usages de l'hydrogène doivent être sécurisés lors de l'octroi de la subvention.

La mise en place d'une entité juridique⁴⁵ pouvant porter le projet est source de délais importants pour concilier l'ensemble des parties prenantes et décider de l'usage et du contrôle des fonds qui seront apportés, ces délais sont souvent sous-estimés faute d'un partage d'expérience entre régions ; des industriels se sont organisés pour faciliter ce partage d'expérience notamment pour aider les collectivités à établir des plans de transition énergétique pour leurs transport publics.

Logivolt, lever un verrou des bornes de recharge pour la mobilité électrique

L'électrification de la mobilité du quotidien est un élément majeur de la décarbonation des transports. Les véhicules électriques et hybrides rechargeables représentent fin 2022 autour de 2.5% du parc automobile avec 1 million de véhicules⁴⁶, pour environ 20% des immatriculations neuves. L'électrification du parc implique le déploiement en parallèle de bornes de recharges publiques ou privées. Fin 2022, [l'AVERE](#) compte 30,000 stations de recharge publiques pour 82,000 bornes, soit une vingtaine de pourcents en-dessous des trajectoires prévisionnelles⁴⁷. Les points de charge privés sont quatorze fois plus nombreux, autour de 500,000 au sein des entreprises et 700,000 chez les particuliers.

⁴³ [A. Bigo – L'hydrogène dans les transports](#)

⁴⁴ Une bonne compréhension des complémentarités entre la batterie et l'hydrogène devraient permettre de construire des business plans plus crédibles (cf. FCEB versus BEB en fonction des besoins d'autonomie selon leurs circuits pour les transports publics)

⁴⁵ Dans le cas de la ZEV, la double tutelle de la région et de Hymplusion a multiplié les délais.

⁴⁶ 600,000 électriques, 400,000 hybrides rechargeables (<https://www.averse-france.org/>)

⁴⁷ [Enedis - Data - Points de charge](#)

L'accessibilité des bornes de recharges reste pourtant le deuxième frein à la mobilité électrique après le coût d'achat⁴⁸. Pour les IRVE ouvertes au public, la barrière est essentiellement financière : pour une trajectoire de 400,000 bornes supplémentaires d'ici 2030, l'investissement représenterait entre 4 et 10 milliards d'euros. Pour les IRVE privées, les obstacles sont également techniques pour les 30% de logements en copropriété⁴⁹ : si le « 'droit à la prise » a permis de faciliter les démarches, l'augmentation de la part des véhicules électriques doit s'accompagner d'un accroissement de la puissance électrique engendrant des coûts de raccordement importants pour la copropriété et donc difficile à obtenir en assemblée générale.

Ayant identifié ce besoin de financement, la Banque des Territoires a créé début 2021 la société [Logivolt Territoires](#) avec un objectif d'investissement de 150 millions d'euros. Son activité se décline en deux parties : le recensement des installateurs et opérateurs de bornes de recharges électriques et une offre de financement innovante.

Logivolt propose ainsi de financer intégralement la connexion de la copropriété, réalisée par l'opérateur en liaison avec ENEDIS. L'acquisition, au fil du temps, de nouveaux usagers payant un forfait de raccordement permet de rembourser ces frais initiaux. Une fois un seuil de raccordement atteint (30% des copropriétaires, atteignable en principe en quelques années) et l'investissement remboursé, Logivolt cède pour un euro symbolique la propriété de l'installation électrique à la copropriété qui peut éventuellement changer d'opérateur pour assurer le raccordement ultérieur des futurs usagers.

Sur l'année 2022, Logivolt a investi environ 25 millions d'euros pour connecter 1,500 copropriétés pour un total de 23,000 places raccordables. L'ambition affichée est la connexion de 16,000 copropriétés pour un total de 125,000 points de recharge potentiels d'ici 2024. Cet objectif passera par un déploiement amplifié dans l'habitat collectif social dans lequel l'électromobilité est encore limitée. Les contraintes d'ici là pèseront plutôt sur la demande de connexion et son corollaire, la capacité des opérateurs à y répondre, que sur l'offre de financement qui devrait rester importante.

Ce mode de financement répond à plusieurs problématiques. Tout d'abord, il permet de limiter la consommation de fonds propres par les copropriétaires, facteur fortement limitant du déploiement des bornes de recharge. Ce faisant, il réduit fortement le risque de moyen terme pour l'installateur qui, sans cette option, serait incité à ne sélectionner que les bâtiments avec une forte proportion de véhicules électriques. Du point de vue de la Banque des Territoires, cette opération se fait avec un risque de long terme réduit, la part des véhicules électriques dans le parc automobile étant, *in fine*, garantie de devenir prépondérante. Ce financement permet de transformer un risque de court terme pour les opérateurs et les copropriétés, difficilement accordable avec le rythme requis d'électrification, en un risque de long terme plus limité et plus acceptable par l'organisme public. Logivolt devient ainsi un amortisseur temporel des investissements initiaux. Enfin, la sélection des opérateurs par un organisme public permet de limiter le risque de contrepartie pour les copropriétés en y apportant la garantie de l'Etat.

Plusieurs obstacles subsistent malgré ce démarrage encourageant. Le premier est temporel : le référentiel périodique des copropriétés est l'année, suivant la périodicité des assemblées générales. Si le « droit à la prise » a permis de lever la première objection et si Logivolt permet de diminuer l'incertitude quant au choix de l'opérateur ou à l'obtention du financement, les

⁴⁸ [Sondage ODOXA](#)

⁴⁹ [INSEE](#)

délais entre prises de décision et actions dans un contexte associatif restent élevés et limitent le déploiement massif des solutions de recharges et le passage à l'échelle de l'électromobilité.

Un deuxième obstacle tient à l'incertitude des acteurs : Logivolt permet d'en réduire le poids mais le manque de visibilité sur le futur des dispositifs, qu'ils soient réglementaires ou financiers, est sans doute encore un frein au déploiement massif des IRVE privées. Enfin, le troisième obstacle est celui de la répartition des responsabilités : le raccordement touche à de nombreux droits et normes⁵⁰ dont la prise en compte tend à ralentir considérablement le déploiement des bornes.

Apports et limites

Des trois exemples présentés et malgré les différences radicales en termes d'approche, d'envergure et de maturité technologique, plusieurs éléments sont notables.

Le premier est la pertinence d'un engagement de la puissance publique pour amorcer la transition radicale qu'impose l'urgence climatique. Si cet engagement prend souvent la forme d'un financement, permettant de réduire les risques des primo-adoptants ou des entrepreneurs, il ne doit pas s'y réduire. En favorisant la coopération et la coordination des acteurs, voire en agissant sur les normes, l'État reprend un rôle d'arbitre et de boussole du changement technologique longtemps dévolu au « marché ». Par sa simple implication, il oriente l'innovation vers des solutions collectivement désirables (Extrême Défi), assure le maintien d'un cap de long terme, y compris face à des déconvenues (ZEV) et se pose en gage de confiance dans un écosystème dominé par des acteurs privés (Logivolt).

Le second illustre l'intérêt d'une action décentralisée de la puissance publique avec l'inclusion d'acteurs ayant une expertise forte des problématiques de terrain. Ainsi, l'implication des territoires dans les projets Extrême Défi ou ZEV, faisant écho à l'expérience MRN-Renault, et l'approche partenariale entre la BdT et les opérateurs de bornes de recharges (Logivolt) démontrent l'utilité de s'appuyer sur les compétences spécifiques pour atteindre une cible globale.

Si chacun des exemples entraînent des résultats concrets, que ce soit en termes d'innovation ou de création de filières à l'échelle de territoires, on peut s'interroger sur leur capacité à participer aux objectifs globaux de la décarbonation. Si des données chiffrées sont avancées, sous la forme d'objectifs ou de réalisations, elles visent souvent à présenter la réussite ou les obstacles mais rarement à indiquer dans quelle mesure elles participent à la décarbonation de l'économie qui est sans doute le premier objectif de la politique de transition écologique. Un chiffrage public et systématique du coût d'abattement des projets, comme c'est le cas pour les projets d'écosystème mobilité hydrogène, permettrait sans doute un suivi plus fin de la performance des politiques de transition.

⁵⁰ Droit de la propriété relevant du ministère du logement, normes de sécurité incendie relevant des services de sécurité civile