

La mobilité décarbonée : le premier projet de rétrofit d'autocar, l'expérience normande avec Nomad

Par Thomas TIXIER

Responsable Marketing territorial Transdev Normandie

Amandine ALLARD

Directrice Clients Transdev Normandie

Et Antoine MILLET

Responsable d'exploitation Transdev Le Havre

Initié par Transdev Normandie avec la région Normandie et mené pendant deux ans en coopération avec une douzaine d'acteurs institutionnels, industriels et universitaires, le projet Nomad Car Hydrogène est la première expérience au monde de rétrofit, avec la transformation d'un car thermique diesel en autocar électrique hydrogène.

En contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques, le Nomad Car Hydrogène est une solution de mobilité durable et Zéro émission. Il contribue à l'atténuation du changement climatique et à la protection de la qualité de l'air en région Normandie, tout en ouvrant la voie à une nouvelle filière industrielle de rétrofit opérant à plus grande échelle ainsi qu'à l'allongement de la durée de vie des véhicules lourds.

Par son caractère collaboratif et innovant, ce projet contribue à l'émergence d'un écosystème H₂ en Normandie. En effet, il préfigure les besoins et ressources nécessaires à son développement, tels que la formation des collaborateurs des entreprises du secteur, la connaissance des impacts environnementaux associés au cycle de vie des nouveaux véhicules à hydrogène, l'analyse sociologique des parties prenantes, la reprogrammation des stations d'avitaillement, l'adaptation des cahiers des charges des collectivités, la redéfinition des procédures risques et incidents (en lien avec les services d'incendie et de sécurité (SDIS)), l'élaboration d'une documentation réglementaire et juridique adaptée et l'expertise technique du rétrofit en tant que tel.

Un écosystème normand propice à l'essor de la filière hydrogène

Le plan Hydrogène de la région Normandie

Dans un contexte de changement climatique, le secteur des transports, et notamment le réseau régional Nomad, doit plus que jamais se réinventer et relever le défi de la transition énergétique. L'innovation est un levier essentiel pour rendre les transports plus propres et plus efficaces. Ainsi, en se basant sur leurs différents atouts en matière de savoir-faire, de technologies et d'industrie, les acteurs normands impliqués souhaitent contribuer au développement de nouvelles mobilités bas-carbone efficaces et sécurisées. En Normandie, la Recherche & Développement (R&D) se caractérise par une diversité d'acteurs, de filières et de sites expérimentaux répartis sur tout le territoire. Que ce soit dans la chimie, les matériaux, la mécanique, la santé et, bien sûr, l'énergie, le monde de la recherche et de

l'innovation emploie plus de 16 000 personnes qui mettent leur expertise au service des territoires et des entreprises. Pour accompagner l'innovation, la région Normandie met en œuvre des moyens pour fédérer ces acteurs et leur permettre d'accéder à l'ensemble des outils financiers européens, nationaux et régionaux. Depuis plusieurs années, la région Normandie s'engage en faveur du développement des énergies renouvelables, en tant que facteur de transition écologique et d'attractivité économique. Ainsi, elle encourage et soutient particulièrement l'émergence des nouvelles filières (bois-énergie, biométhane et, bien entendu, hydrogène), à travers son plan Normandie Hydrogène. Sur les 900 000 tonnes d'H₂ produites annuellement en France, un tiers est consommé en Normandie.

Dans l'optique de capitaliser sur les compétences présentes sur son territoire et de faire de l'hydrogène l'une des briques de sa stratégie de transition énergétique, la région Normandie a été la première région française à adopter en octobre 2018 un plan de

soutien à la filière hydrogène. Doté d'une enveloppe de 15 millions d'euros sur trois ans, ce plan poursuit un double objectif :

- accélérer la transition énergétique de la Normandie et la décarbonation de son économie ;
- constituer une filière industrielle d'avenir dans cette région.

Aujourd'hui, les secteurs de l'industrie et des transports sont les principaux contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre (GES). En tant que solution de mobilité Zéro émission pour les transports interurbains, le projet Nomad Car Hydrogène se trouve à la croisée de ces différentes ambitions. C'est avec confiance et intérêt que la région Normandie soutient cette innovation. C'est aussi grâce à ce plan Hydrogène que dix stations hydrogène maillent depuis 2016 le territoire normand, dont celle installée sur le site du SIEGE 27 (Syndicat intercommunal de l'électricité et du gaz de l'Eure⁽¹⁾), à Évreux. Cette station, qui est la seule d'une capacité de 50 kg, a été le déclencheur de cette expérimentation. Sans elle, les surcoûts d'avitaillement afférents au projet Nomad Car Hydrogène auraient rendu impossible la mise en œuvre de celui-ci (voir la Figure 1 ci-après). Par ailleurs, aucun roulage n'aurait été envisageable en 2022, puisqu'aucune station de distribution à destination des bus et des poids lourds n'est actuellement en exploitation en Normandie.

Transdev, un engagement en Normandie au service d'une mobilité durable et décarbonée

Un groupe leader de la transition écologique

Premier opérateur européen de la mobilité avec ses 1 800 bus Zéro émission (chiffre de mars 2022) et pionnier de la mobilité hydrogène⁽²⁾, Transdev est

⁽¹⁾ Le Syndicat intercommunal de l'électricité et du gaz de l'Eure est un établissement public de coopération intercommunale. Il regroupe l'intégralité des communes du département de l'Eure.

⁽²⁾ Depuis juillet 2022, Transdev exploite une flotte de bus hydrogènes pour le compte de plusieurs autorités organisatrices de la mobilité : 6 bus à Tadao Lens, 5 à Auxerre, 5 dessertes de l'aéroport de Toulouse, 24 aux Pays-Bas et 2 en Suède. En Normandie, 11 véhicules sont mis en circulation au Havre et 14 dans la métropole de Rouen.

naturellement engagé dans la lutte contre le dérèglement climatique. C'est un enjeu prioritaire, puisque les transports représentent 22 % des émissions mondiales de CO₂. Le groupe Transdev s'engage à innover sans cesse, à agir au service de l'ambition exprimée dans les territoires et les politiques publiques locales de limiter l'impact des transports sur l'environnement et d'utiliser plus largement les énergies alternatives aux « énergies fossiles » pour réduire l'empreinte carbone de la mobilité. Le groupe s'efforce notamment de développer des systèmes de transport intégrant de plus en plus de véhicules propres roulant aux énergies « vertes » (GNV, bus hybrides, électriques ou hydrogènes). Des efforts qui permettent aujourd'hui à Transdev d'être le premier opérateur européen de la mobilité Zéro émission.

Transdev Normandie, une innovation sur-mesure pour la ligne Rouen-Évreux

L'action de l'opérateur Transdev Normandie s'inscrit pleinement dans la continuité du plan Hydrogène du territoire normand. Des collaborateurs de cet opérateur ont pris l'initiative de lancer le projet Nomad Car Hydrogène (NCH₂), en collaboration avec des acteurs et partenaires régionaux. Une concordance de facteurs favorables a permis le lancement de ce projet. En effet, Transdev Normandie exploite la ligne express Rouen-Évreux⁽³⁾ (voir la Figure 2 ci-dessous) pour le compte

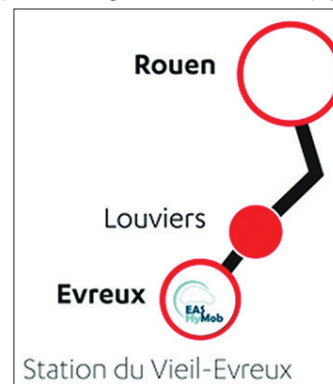


Figure 2 : Parcours de la ligne express Rouen-Évreux (©Transdev Normandie).

⁽³⁾ 380 km parcourus par jour, 35 000 voyages annuels, 17 allers et retours (AR) du lundi au vendredi et 4 AR assurés par jour les week-ends et les jours fériés, et ce 365 jours par an.



Figure 1 : Le réseau de stations Eas-Hymob en Normandie (©Région Normandie).

de la région Normandie. Le service fournit sur cette ligne express correspond à une distance parcourue de 380 kilomètres par jour. L'autonomie actuelle d'un car électrique est de 180 à 200 kilomètres par recharge. La pertinence prouvée d'une motorisation électrique à base d'hydrogène pour couvrir de telles distances suffit à démontrer que l'hydrogène est la solution idoine pour une prolongation de l'autonomie d'un véhicule, elle est en outre la seule option véritablement Zéro émission. Enfin, le terminus de cette ligne est situé à proximité immédiate de la seule station hydrogène de 50 kg en exploitation en Normandie, la Station EAS HyMob du Vieil-Évreux. Les conditions étaient donc réunies pour que la Normandie soit la première région à servir de cadre à cette première mondiale et permettre, à terme, le transport de passagers en autocar à hydrogène sur une ligne régulière interurbaine.

L'arrêté du 13 mars 2020, le texte socle du rétrofit

L'autorisation du rétrofit en France

L'arrêté du 13 mars 2020⁽⁴⁾ relatif aux conditions de transformation des véhicules à motorisation thermique en motorisation électrique à batterie ou à pile à combustible est le texte autorisant le rétrofit en France. Il fixe les conditions de transformation des véhicules thermiques Euro 5⁽⁵⁾ de plus de cinq ans et transfère les obligations réglementaires et sécuritaires du constructeur initial (en l'espèce IVECO) vers le rétrofiteur (IBF H₂) qui devient donc le « nouveau constructeur ». Sans la prise de cet arrêté, le projet du Nomad Car Hydrogène n'aurait pas pu voir le jour. Le véhicule ainsi transformé doit être homologué par le CNRV (le Centre national de réception des véhicules – Service rattaché au ministère de la Transition énergétique) à la suite des essais menés

⁽⁴⁾ JORF n°0081 du 3 avril 2020, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000041780558/>

⁽⁵⁾ Cette norme européenne concerne les véhicules qui ont été mis en service entre le 1^{er} janvier 2011 et le 1^{er} janvier 2015, c'est-à-dire des véhicules qui ont entre quatre et huit ans d'âge. L'homologation de cette norme Euro 5 avait été lancée le 1^{er} septembre 2009.

par l'UTAC (l'organisme technique central du contrôle technique des véhicules). L'homologation porte sur un modèle et sur une série de véhicules précis. Le premier véhicule à produire est donc coûteux, car il supporte toute la charge pécuniaire que représentent l'ensemble des essais nécessaires à son homologation. Le projet de Transdev Normandie repose sur le choix du véhicule le plus courant composant sa flotte et celle de ces confrères en Normandie, soit le car IVECO Crossway/Récréo. Tout l'intérêt du projet réside donc dans une projection d'une possible industrialisation du processus de rétrofit de ce modèle.

Le car à hydrogène n'existe pas

Le rétrofit permet notamment de répondre à l'absence du car à hydrogène des catalogues constructeurs, contrairement au bus à hydrogène⁽⁶⁾. Concrètement, dans le projet Nomad Car Hydrogène, le moteur thermique diesel du car est remplacé par un moteur électrique alimenté par une pile à combustible, qui transforme l'hydrogène en électricité et permet de prolonger l'autonomie du véhicule (voir la Figure 3 ci-après).

L'IVECO Crossway EURO 5

Dans l'objectif d'industrialiser le processus de rétrofit des cars thermiques en cars à hydrogène, il a été choisi, comme précisé précédemment, d'expérimenter cette transformation sur un véhicule IVECO Crossway⁽⁷⁾. Le choix stratégique ainsi fait doit permettre l'homologation du rétrofit du véhicule considéré auprès des services de l'UTAC afin d'ouvrir la voie de ce procédé aux 2 000 véhicules de ce modèle roulant sur l'ensemble du territoire de la Normandie. Plus qu'un simple projet, le Nomad Car Hydrogène se positionne comme une expérimentation d'avenir sur le plan de la mobilité hydrogène.

⁽⁶⁾ Un bus est un véhicule qui évolue dans un périmètre urbain et est dépourvu de ceintures de sécurité, alors qu'un car est utilisé pour des voyages à l'échelle de périmètres interurbains, qu'il roule à une vitesse plus élevée et que les voyageurs transportés sont attachés.

⁽⁷⁾ Transdev Normandie Interurbain opère 1 750 véhicules en région Normandie, dont 580 IVECO Crossway et 200 véhicules conformes à la norme Euro 5.



Figure 3 : Schéma initial d'implantation du kit hydrogène sur un IVECO Crossway (photo©Région Normandie).

L'installation du kit hydrogène

À la suite d'un *sourcing* national, Transdev Normandie a choisi de travailler avec la *start-up* IBF H₂ sur la transformation technique du véhicule. IBF H₂ présentait effectivement une solution éprouvée permettant de gagner plus de six mois en termes de R&D. Le retrofit a été réalisé à partir d'un kit hydrogène complet (voir la Figure 4 ci-après) monté sur un châssis et constitué de composants répondant aux normes européennes (voir la Figure 5 ci-après). S'appuyant sur les meilleures solutions techniques actuellement disponibles (DANA pour le moteur, Ballard pour la

pile à combustible, CATL pour les batteries et Plastic Omnium pour les réservoirs H₂), le banc d'essai conçu a été rôdé sur plus de 1 800 km. Cette proposition clé en main a permis de disposer d'une solution sûre afin de procéder à l'intégration des éléments précités sur le châssis d'un car Crossway vieux de onze ans, et pour des coûts et des délais maîtrisés (voir la Figure 6 de la page suivante). Certaines adaptations ont dû être réalisées à cette occasion, notamment le basculement en toiture des réservoirs d'hydrogène (voir la Figure 7 de la page suivante) afin de libérer les soutes du véhicule.



Figure 4 : Arrivée du kit hydrogène sur le site de transformation, à Amiens (©Transdev Normandie).

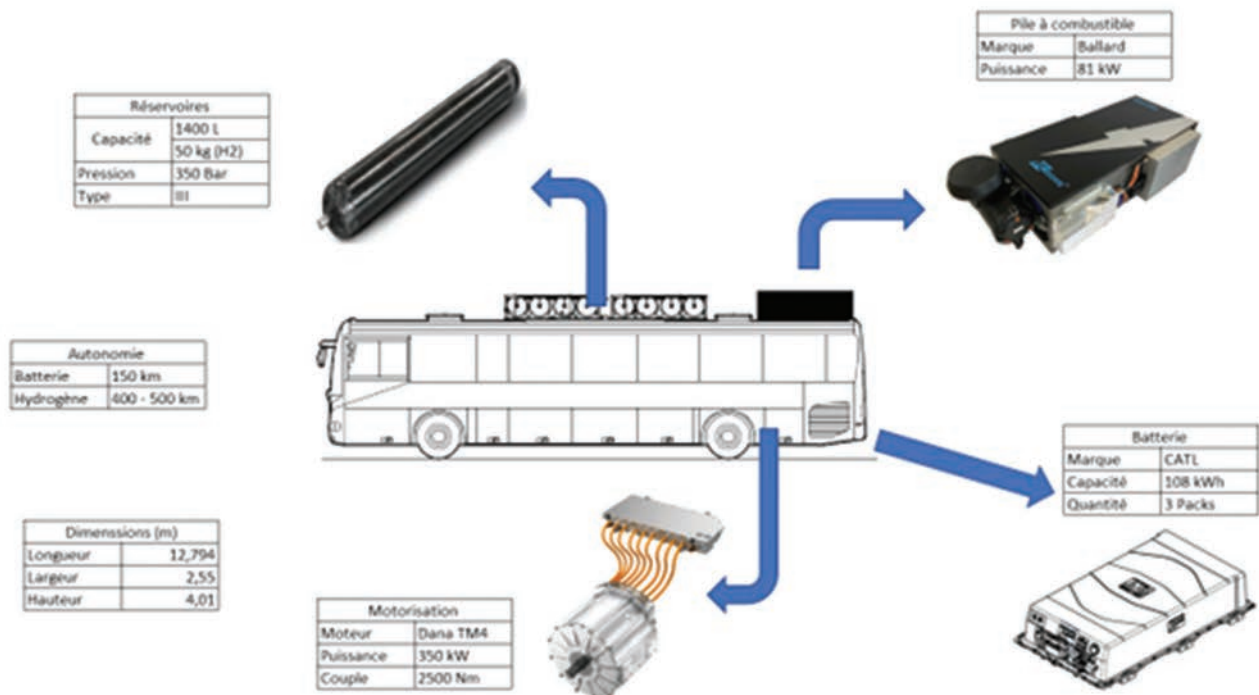


Figure 5 : Composants techniques du kit hydrogène et leur positionnement sur le car (©IBF H2).



Figure 6 : Installation en toiture des bonbonnes d'hydrogène et de la pile à combustible (photo©Transdev Normandie).



Figure 7 : Première sortie de l'atelier du véhicule hydrogène après « rétrofitage » (photo©Transdev Normandie).

Un projet collaboratif d'innovation

Conduit en coopération avec une douzaine d'acteurs institutionnels, industriels et universitaires (voir la Figure 8 ci-après), le projet Nomad Car Hydrogène participe à l'émergence d'un écosystème hydrogène en Normandie au service d'une mobilité durable et décarbonée sur son territoire. Plus largement, outre son caractère collaboratif et innovant, le projet contribue à l'émergence de cet écosystème au travers de la formation continue des collaborateurs des différents acteurs impliqués et d'une réflexion sur les métiers de demain, de la production d'analyses comparatives environnementales de qualité, d'une réflexion sur la question sécuritaire laquelle est omniprésente ou encore sur une participation citoyenne à l'expérimentation pour avoir le ressenti de la population sur la mobilité H₂. Pour mener à bien ce projet, une gouvernance unique a été mise en place avec la création d'un comité de pilotage et six comités thématiques constitués de différents acteurs du Nomad Car Hydrogène.

Valider la faisabilité technique de l'opération de rétrofit d'un car thermique diesel en un véhicule électrique à hydrogène

Le comité Rétrofit et fiabilisation

Durant cinq mois, l'opération de rétrofit réalisée dans le cadre du projet Nomad Car Hydrogène l'a été dans les ateliers d'IBF H₂ à Amiens. Le processus d'intégration du kit hydrogène présenté *supra* est aujourd'hui finalisé, puisque le véhicule roule désormais en utilisant de l'électricité hydrogène. Il est en cours de fiabilisation avant sa présentation auprès de l'UTAC pour son homologation sur la base de tests techniques réalisés sur un parcours d'essai. Pour ce premier véhicule, IBF H₂ a choisi d'opter pour une RTI (réception à titre isolé) pour pouvoir permettre à Transdev Normandie d'accueillir des voyageurs à bord de son car rétrofité dès l'automne 2022. Il sollicitera ensuite l'homologation

du Centre national de réception des véhicules (CNRV), comme l'exige l'arrêté du 13 mars 2020. En parallèle, une veille réglementaire et juridique est assurée par l'IDIT (Institut du droit international du transport) afin de permettre à l'ensemble des partenaires du projet de bénéficier des récentes évolutions législatives françaises et européennes liées au développement de l'hydrogène et du rétrofit.

Le comité Avitaillement

La signature d'une convention entre le SIÈGE 27 et Transdev Normandie a été conclue pour la fourniture de l'hydrogène nécessaire au car rétrofité sur la durée de l'expérimentation. Les premiers essais d'avitaillement ont été réalisés durant l'été 2022 sur la station multi-énergies du Vieil-Évreux qui est exploitée par Engie, avec l'appui du concepteur et du fabricant de la station, Ataway, qui procède notamment à la mise à jour du logiciel pour permettre un remplissage optimum d'un car (temps de compression, durée d'avitaillement, etc.). L'objectif poursuivi par le SIÈGE 27 est de réaliser dès que possible l'approvisionnement de la station du Vieil-Évreux en hydrogène vert produit à partir d'énergies renouvelables et donc une décarbonation totale de cette ligne express.

Expérimenter son exploitation sur une ligne régulière

Le comité Études environnementales

Afin de mesurer les économies de rejet de CO₂ permises par le car rétrofité, le CERTAM⁽⁸⁾ a analysé en août 2021 l'enregistrement, au moyen d'équipements embarqués (voir la Figure 9 de la page suivante), des émissions de polluants du car diesel vieux de onze ans en conditions réelles d'exploitation sur la ligne express Rouen-Évreux. Cette étude a permis de valoriser les émissions directes

⁽⁸⁾ Centre régional d'innovation et de transfert technologique situé en Normandie.



Figure 8 : Les acteurs du projet Nomad Car Hydrogène (photo©Transdev Normandie).



Figure 9 : Tests réalisés dans le cadre de l'étude environnementale conduite par le CERTAM (photo©Transdev Normandie).

qui seront évitées chaque année pour un car à hydrogène assurant cette ligne : cela représente 50 tonnes de CO₂, près de 300 kg d'oxydes d'azote, 200 g de particules et 9 kg d'ammoniac. Cette étude doit permettre de comparer l'impact sur le climat et la qualité de l'air du car hydrogène rétrofité par rapport au car diesel. En parallèle, l'INSA Rouen Normandie a finalisé en fin d'année 2021 une analyse de cycle de vie du car rétrofité portant sur les rejets de CO₂, en fonction de différents scénarii de production d'hydrogène ou de niveau de rétrofit. Les étudiants et chercheurs du laboratoire du CORIA de l'INSA Rouen Normandie ont ainsi évalué le bilan environnemental du prototype : du puits jusqu'à la roue, c'est-à-dire depuis la fabrication du véhicule, de la production de l'hydrogène et de son exploitation jusqu'à sa réforme et son recyclage. Les résultats de cette étude (voir la Figure 10 ci-dessous) confirment que l'économie réalisée en termes de rejets de CO₂ est fonction du mode et du lieu de production de l'hydrogène. Il en ressort que l'hydrogène doit être

vert et produit au plus près du lieu de consommation pour permettre une diminution du bilan carbone global pouvant aller jusqu'à 40 % (par rapport au diesel).

Le comité Risques et formation

Grâce à de nombreuses visites de terrain et aux installations techniques H₂ existantes, un programme de formation des conducteurs est en cours d'élaboration par le CMQ⁽⁹⁾ Industries de la mobilité. Celui-ci porte sur le fonctionnement du car et les modalités de son avitaillement, les modes de production de l'hydrogène et les procédures de sécurité et de prévention des risques afférentes (car et station). Pratique et théorique, cette formation favorisera la bonne prise en main du véhicule rétrofité pendant la phase expérimentale (celle de la réalisation des tests) et durant la mise en exploitation du car avec des passagers à son bord. En complé-

⁽⁹⁾ Campus des métiers et des qualifications « Industries de la mobilité » de Sotteville-Lès-Rouen.

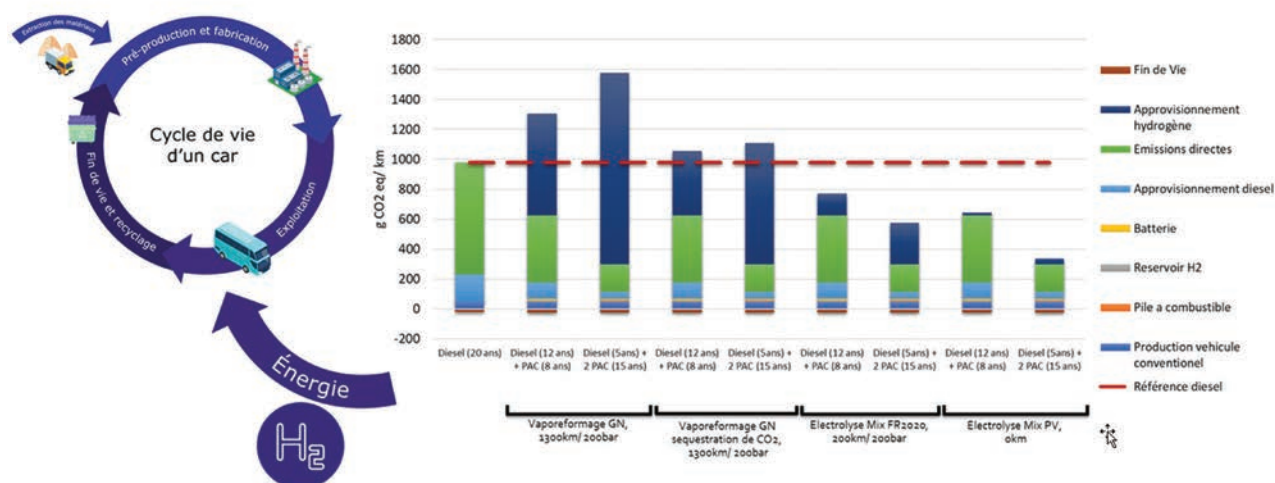


Figure 10 : Analyse du cycle de vie du véhicule rétrofité réalisée par le CORIA (photo©Transdev Normandie).

ment, une procédure de gestion de crise s'adressant à l'ensemble des parties prenantes du projet est en cours de finalisation. Une fiche d'aide à la décision (FAD) est en cours d'élaboration avec les SDIS et LauguiConcept conformément à la norme ISO 17840-2:2019⁽¹⁰⁾.

Le comité Recherche participative

Associé au projet Nomad Car Hydrogène, l'institut sociologique Le Dôme a élaboré un protocole de recherche participative autour de la question : quelle perception a-t-on de la mobilité H₂ ? Tout l'enjeu de cette démarche élaborée sur la base d'ateliers participatifs a été de mobiliser des publics experts et non experts. Les visions « Usagers des transports », « Riverains », « Conducteurs » ou « Usagers de la route » (voiture et mobilités douces) ont notamment été prises en compte lors de trois ateliers (voir la Figure 11 ci-dessous).



Figure 11 : Un atelier participatif Nomad Car Hydrogène animé par Le Dôme (photo©Transdev Normandie).

Un quatrième consacré à la ligne express Rouen-Évreux a été organisé auprès des voyageurs directement à bord des cars et de passants. Ces échanges riches ont abouti aux interrogations suivantes : cela va-t-il coûter plus cher ? Quels impacts cela aura-t-il sur mes horaires ? Comment ça marche l'hydrogène ? Autant de questions d'ordre pratique qui ont été posées

⁽¹⁰⁾ Norme européenne relative aux véhicules routiers. Des informations intéressantes les intervenants de premier et second niveaux et intégrées dans la partie 2 de la fiche de secours élaborée pour les autocars, bus et véhicules commerciaux lourds.

et auxquelles ont été apporté des réponses veillant à éteindre toutes les craintes en termes de sécurité vis-à-vis de la mobilité hydrogène. Les résultats issus de cette analyse citoyenne sont disponibles en *open source* et permettront à la région Normandie d'envisager, notamment, un volet environnemental dans les futurs appels d'offres ouverts pour de nouveaux véhicules à hydrogène rétrofités.

Le comité Valorisation

Pour ce premier projet de rétrofit d'un autocar en hydrogène au monde, le comité Valorisation a élaboré différents outils de communication (création d'un site Internet du projet, de vidéos, de kakémonos, une livrée spécifique pour le car (voir la Figure 12 ci-après), etc.) afin de mettre en avant ce projet unique. Tout au long de cette année, la région Normandie et Transdev Normandie se sont employés à valoriser le Nomad Car Hydrogène en en faisant la promotion lors d'événements, de salons, de tables rondes, de présentations ou en encore en animant des stands conjoints à l'occasion de différentes manifestations. L'ensemble des informations relatives au projet sont disponibles aux adresses Internet suivantes : <https://www.transdev.com/fr/solutions/nch2/>, <https://www.transdev.com/fr/solutions/nch2-etapes/>, <https://www.transdev.com/fr/solutions/nch2-interviews/> et <https://www.transdev.com/fr/solutions/videos-nch2/>

Une expérimentation au service du bien commun

Transdev Normandie travaille quotidiennement avec les collectivités pour concrétiser leurs visions d'avenir. En portant avec la région Normandie et l'ensemble des autres partenaires de l'expérimentation qu'est le Nomad Car hydrogène, Transdev Normandie participe et contribue activement à l'émergence d'un écosystème hydrogène sur le sol normand au profit d'une mobilité durable et décarbonée. Désormais techniquement fonctionnel sur ses volets hydrogène et électrique, le Nomad Car Hydrogène entre dans sa dernière phase d'homologation avec pour objectif de permettre dans les tout prochains mois une mise en service du car en conditions réelles d'exploitation et donc l'accueil à son bord de passagers. Ce projet se veut une innovation Zéro émission au service du bien commun.



Figure 12 : NCH₂, le premier car à hydrogène rétrofité au monde, présenté lors des Journées Hydrogène dans les territoires, le 5 juillet 2022 (photo©Transdev Normandie).