

FLORENCE CHARUE-DUBOC
CHRISTOPHE MIDLER

École polytechnique, CRG, Paris



Quand les enjeux environnementaux créent des innovations stratégiques

Le cas du véhicule électrique de Renault

Les politiques environnementales créent des opportunités d'innovation majeures comme le véhicule électrique. Ces projets impliquent d'associer un volontarisme stratégique à une capacité d'apprentissage sur de nouvelles dimensions : infrastructures, comportements des utilisateurs, écosystèmes et modèles économiques. L'article analyse, à partir du cas de Renault, le rôle des expérimentations dans le déploiement de telles innovations : construction d'un écosystème local, support d'un apprentissage multi-acteur, constitution d'actifs récupérables et vecteurs de prescription.

A lors que les approches néo-classiques considèrent que le signal prix (écotaxes, quotas avec permis échangeables) suffit à inciter les industriels à développer des innovations vertes du fait des opportunités de rente qu'ils peuvent saisir, il apparaît que d'autres facteurs, institutionnels et de répartition des connaissances, contribuent au maintien des paradigmes technologiques en place (Kemp, 1994). Smith *et al.* (2010) proposent de combiner l'analyse au niveau des processus de conception des nouvelles technologies avec une perspective au niveau des marchés, des organisations, des réglementations et des infrastructures pour comprendre comment des processus d'innovation conduisent à des transformations des systèmes socio-techniques. Ils mettent l'accent sur les premiers déploiements dans des « niches » et leur rôle dans la structuration des réseaux d'acteurs autour d'une innovation environnementale à une échelle plus large.

La littérature sur les innovations de rupture et le développement de nouveaux produits dans les environnements présentant de fortes incertitudes (Lynn Paulson et Moronne, 1996 ; Loch *et al.*, 2006) insiste quant à elle sur le rôle des expérimentations comme source d'apprentissage (sur les usages, la faisabilité technique, etc.).

Nous nous focalisons dans cet article sur le rôle et les spécificités des expérimentations dans le déploiement d'innovations environnementales en croisant ces deux perspectives. En quoi sont-elles sources d'apprentissage ? Remplissent-elles d'autres fonctions ?

Compte tenu des caractéristiques particulières des niches dans lesquelles les expérimentations sont conduites en quoi favorisent-elles un déploiement global ? En quoi les apprentissages locaux peuvent être transposés à plus large échelle ? Par quels mécanismes ? Telles sont les questions que nous souhaitons approfondir ici.

Nous analysons une innovation en cours de déploiement dans le secteur automobile : le véhicule électrique (VE). L'impact environnemental du VE apparaît favorable, même s'il dépend des performances des moteurs électriques ainsi que des pratiques de recharge et des modes de production électrique. Nous nous centrons sur la démarche mise en œuvre par Renault pour préparer le lancement commercial du véhicule électrique. Renault a déjà investi 4 milliards d'euros dans un ambitieux programme comprenant quatre véhicules présentés au salon de Paris en 2010 dont les premiers seront commercialisés fin 2011.

Le transport est responsable de 23 % des émissions de gaz à effet de serre pour l'Europe des 27 (Agence européenne pour l'environnement, 2009), les transports routiers représentant 90%¹ et pour l'OCDE la voiture contribue environ aux deux tiers de ces émissions (*International Transport Forum*, OCDE, 2007). Il en résulte depuis une quinzaine d'années des actions qui visent à réduire les émissions CO₂ des véhicules et différentes technologies (réduction des cylindrées, *stop-start*, récupération d'énergie au freinage, etc.) sont en développement pour les moteurs thermiques.

1. « Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2005 and inventory report 2007 ». Technical Report No.7/2007. Agence européenne pour l'environnement, 2007 : données pour EU-15 (2005) : totales émissions 4 192 Gg CO₂ eq, émissions secteur transport : 879,7 Gg CO₂ eq, émissions transport routier : 793,9 Gg CO₂ eq.

À côté de ces stratégies d'innovation incrémentale se déploient des initiatives plus radicales avec le véhicule hybride et le programme pionnier de Toyota et les programmes de véhicules 100 % électriques avec l'initiative de Renault (Aggeri *et al.*, 2009). Elles sont à relier à un contexte qui pourrait être propice au déploiement de ce type de véhicules à large échelle.

D'une part, des réglementations fixent désormais des objectifs à atteindre par les constructeurs en Europe et des incitatifs fiscaux sont en cours de définition pour influencer les comportements d'achat. D'autre part, la sensibilité croissante des consommateurs aux questions environnementales pourrait avoir un impact sur leurs comportements. Ainsi, certains constructeurs prennent des initiatives qui visent à valoriser auprès des clients leur engagement dans la réduction des émissions de CO₂ selon des stratégies plus offensives que défensives. Enfin, il faut ajouter les enjeux liés au prix du pétrole. Ils renvoient à l'autonomie et la facture énergétique au niveau des États. Pour les consommateurs, l'augmentation des prix du pétrole renchérit l'usage des véhicules thermiques. D'ailleurs, ces trente dernières années, c'est dans des périodes où le prix du carburant avait rapidement augmenté que les constructeurs ont concentré leurs efforts sur les motorisations électriques (Fréry, 2000).

Le déploiement de ces stratégies de rupture suppose de structurer l'environnement (mode de recharge, négociation de tarifs électriques, équipements publics de recharge). En cela l'analyse de modes de pilotage du véhicule électrique par Renault nous a paru exemplaire pour éclairer notre question de recherche. Nous traitons dans un premier temps les apports de la littérature

et présentons la méthodologie utilisée. Nous développons le cas étudié et précisons les spécificités de la stratégie de Renault. Nous nous situons au niveau des expérimentations et confrontons les pratiques mises en œuvre à la littérature présentée.

I – APPORTS DE LA LITTÉRATURE

Nous exposons d'abord des travaux qui se sont intéressés à des processus de développement de nouveaux produits présentant de fortes incertitudes. Ils insistent sur les expérimentations et les dynamiques d'apprentissage qu'elles permettent. Dans un second temps, nous positionnons une littérature centrée sur des actions conduites dans un objectif de réduction des impacts environnementaux. La diffusion d'innovations ayant une portée environnementale se heurte à des transformations des comportements et des systèmes de valorisation. Ces travaux apportent un éclairage sur ces dynamiques en situant l'analyse au niveau soit de la firme, soit de l'évolution des systèmes sociotechniques.

1. Pilotage de projets présentant de fortes incertitudes

La littérature, en management de projet, met en lumière des modes de pilotage qui articulent la question des apprentissages à mener et la conduite d'un projet focalisé sur le lancement commercial proche. Les premiers concernent des situations où l'incertitude est très forte. Les seconds concernent des projets qualifiés d'exploration qui correspondent à des phases amont des processus d'innovation dans lesquelles il s'agit à la fois d'explorer les usages et la faisabilité technique et qui se distinguent des projets de réalisation. Nous les croisons avec des

travaux qui ont cherché à représenter les processus de conception innovante.

Dans les projets, un type d'incertitude « unknown unknowns » suppose des modes de management spécifiques (Loch *et al.*, 2006). Pour mieux spécifier cette catégorie, on peut distinguer trois types d'incertitudes. Le premier, le plus simple, le risque, correspond à une situation où une activité peut aboutir à différents résultats selon des probabilités que l'on peut anticiper. Dans le second type, qualifié de « knightian uncertainty » ou « known unknowns », on ne connaît pas la distribution de probabilité. Le troisième type, « unknown unknowns » correspond à des situations où l'on ne connaît pas les variables qui influencent le résultat. Les méthodes traditionnelles de management des risques sont pertinentes pour les deux premiers types mais ne sont pas adaptées au troisième.

Deux modes de management spécifiques permettent de répondre à ces incertitudes radicales. Le « parallélisme et sélection » consiste à mener de front différents essais et à choisir *a posteriori* le scénario qui sera retenu en fonction de l'essai qui donne les résultats les plus satisfaisants (McGrath, 2001 ; Sobek *et al.*, 1999). L'« apprentissage par essai-erreur » consiste à s'engager dans un processus d'apprentissage et à ajuster la conception au fur et à mesure en fonction des *feedback* et de la compréhension plus approfondie qui se construit progressivement (Lynn *et al.*, 1996 ; Thomke, 2003). Selon la modélisation de Loch *et al.* (2006), le pilotage par apprentissage est plus adapté dans des situations peu complexes et l'approche par scénarios parallèles aux cas plus complexes. D'autres travaux conduisent à mettre l'accent sur ces deux modes de pilotage, ils s'intéressent à des types de projets

particuliers : les projets d'offre innovante qui visent à étudier la faisabilité d'un nouveau produit ou procédé tout en explorant de nouvelles valeurs d'usage (Lenfle et Midler, 2003). Dans la continuité de ces travaux, Gastaldi (2007) souligne des dynamiques d'exploration concourantes qui se réfèrent à l'idée de création de connaissances sur différentes dimensions (la technologie et les usages) de manière simultanée et collaborative.

La combinaison entre deux modes de pilotage – apprentissage et parallélisme – et l'importance de réalisations concrètes comme des prototypes apparaissent essentiels pour lever les incertitudes y compris dans les phases amont.

Le cadre conceptuel de la conception innovante (Le Masson *et al.*, 2006) peut être mobilisé pour représenter la dynamique d'exploration et apporter des éléments de réponse à une question centrale : comment générer les différents scénarios à poursuivre ? (BenMahmoud-Jouini et Charue-Duboc, 2008). Il modélise le processus de conception comme un double mouvement d'expansion qui conduit à générer de nouveaux concepts, et à évaluer, simultanément, les connaissances nécessaires aux concepteurs pour les développer. Cette distinction entre l'espace des connaissances construites et l'espace des concepts permet de représenter de manière arborescente différents concepts envisagés à partir d'un concept directeur, sur la base desquels conduire des expérimentations, et de mettre l'accent sur des processus d'apprentissage entre des expérimentations menées en parallèle. Ces divers travaux s'intéressent à des situations dans lesquelles l'exploration de l'offre innovante est portée par une entreprise. Qu'en est-il lorsque l'offre innovante

résulte de la combinaison des contributions de différentes organisations dans une offre intégrée ? Les modes de pilotage que nous venons d'évoquer sont-ils accessibles ? Ont-ils des fonctions spécifiques ?

2. Initiatives à portée environnementale. Innovation environnementale

Ayant analysées et comparées les actions conduites dans plusieurs entreprises afin de réduire leur impact environnemental, Aggeri *et al.* (2005) soulignent qu'elles débordent très largement le cadre de l'entreprise et mobilisent une multitude d'acteurs. Ces acteurs, dont les objectifs et modes de fonctionnement diffèrent, et entre lesquels existent des rapports de prescription réciproques, ne sont pas confrontés à une asymétrie d'information mais à des incertitudes partagées (Aggeri et Hatchuel, 1999) où personne n'est capable de définir de façon autonome la nature et la forme des informations qui doivent être produites.

Dès lors, les dynamiques d'apprentissage multi-acteurs et les expériences innovantes sont centrales. Cinq caractéristiques de ces expérimentations sont repérées : elles vont au-delà de la réglementation, se démarquent de celles des concurrents, ont des retombées pour les différents *stakeholders*, s'inscrivent dans le long terme et ne sont pas réductibles à une analyse coûts-avantages.

Ces travaux soulignent le caractère *multi-stakeholder* des actions à portée environnementale, les incertitudes et les enjeux à construire des savoirs permettant à chacun de mieux situer son intérêt. Cependant la question du passage d'une expérience locale innovante à un déploiement plus large n'est pas analysée.

Se situant à un niveau macroscopique, Smith *et al.* (2010) s'intéressent aux dynamiques

par lesquelles des innovations technologiques participent à une transformation des systèmes sociotechniques vers des fonctionnements plus durables. Pour comprendre comment s'articulent les stratégies des firmes en matière d'innovation et de développement durable et les politiques publiques, ils distinguent trois niveaux : les niches, les paradigmes et les paysages (Geels, 2002).

Les « niches » fournissent un espace protégé permettant de mettre en œuvre des initiatives radicalement nouvelles. La protection de ces niches peut reposer sur des marchés précurseurs, des projets subventionnés ou encore des milieux culturellement favorables à l'expérimentation. Si les niches constituent les ferments d'une évolution du régime, il s'agit d'articuler les dynamiques de changement initiées à l'intérieur des niches à un niveau plus large et sur le long terme. Dans ce processus d'extension, les réseaux d'expérimentation en grandeur réelle et l'enrôlement d'acteurs ayant une légitimité sociale forte ou en position de mobiliser de tels acteurs apparaissent déterminants.

Les « régimes » correspondent aux fonctionnements usuellement établis et institués pour remplir une fonction donnée (régime pour la mobilité aérienne pour les communications). Il s'agit de structures qui résultent de l'accumulation et de l'alignement de manière coévolutive de savoirs, d'investissements, d'objets, d'infrastructures, de valeurs, de normes. Les régimes se caractérisent par des interdépendances entre les aspects matériels et institutionnels et évoluent de manière incrémentale. Les ruptures émergent plutôt dans des niches.

Le niveau du « paysage » renvoie à des processus tels les changements démogra-

phiques, de paradigmes scientifiques, de régimes politiques, etc.

Dans la dynamique globale, la pérennisation des niches et leur influence sur les régimes sont déterminantes. Elles dépendent des leçons générées au niveau des niches, de la formulation plus précise et instrumentée d'exigences qui pourraient être réglementaires, de l'implication d'un nombre croissant d'acteurs (comprenant des investisseurs et des utilisateurs). Les acteurs situés dans ces niches doivent donc faire un travail considérable cognitif, institutionnel, économique et politique (Smith, 2007).

Compte tenu des caractéristiques particulières et favorables des niches dans lesquelles les expérimentations sont conduites,

en quoi favorisent-elles un déploiement global ? En quoi les apprentissages locaux peuvent être transposés à plus large échelle ? Telles sont les questions auxquelles nous souhaitons répondre.

II – ANALYSE DU CAS

1. Caractéristiques de la stratégie globale : l'initiative Zéro émission véhicule (ZEV)

Nous soulignons d'abord les différentes dimensions qui nous conduisent à qualifier la stratégie de Renault en matière de véhicule électrique de rupture en insistant sur les spécificités par rapport aux précédentes initiatives.

MÉTHODOLOGIE

Notre travail articule deux approches méthodologiques.

La première vise à appréhender la stratégie de Renault en matière de véhicule électrique. Elle a croisé différents types de sources. Nous avons eu de multiples échanges avec un doctorant directement impliqué dans l'analyse et le suivi du déroulement du programme véhicule électrique de Renault et accès à ses travaux (Beaume et Midler, 2010). Nous avons participé à plusieurs conférences lors desquelles des dirigeants de l'entreprise ont présenté la stratégie en matière de véhicule électrique (Ghosn 9 mars 2010, Université Paris-Dauphine, Pelata, 2 février 2010 École de Paris, Perrin et Tennenbaum, 29 septembre 2009, Journée éco-mobilité École polytechnique). Enfin nous avons suivi la communication de la firme sur ce thème par son site Internet, et les publications dans la presse.

La seconde approche vise à appréhender la dynamique des expérimentations locales et leur maillage. Nous nous sommes centrés sur une fonction spécifique – *business development* VE – créée en juillet 2009 avec pour objectif de mettre en place les partenariats, de développer les infrastructures et l'écosystème nécessaires à la commercialisation à grande échelle du véhicule électrique. Notre compréhension de l'activité de cette fonction s'est construite à partir de l'accompagnement de travaux d'élèves qui y ont réalisé leurs projets de master de septembre 2009 à août 2010 pour l'un puis de septembre 2010 à août 2011 pour un binôme. Par les réunions de suivi avec les opérationnels, nous avons pu avoir accès à une vision large du domaine d'intervention de l'entité et une connaissance plus spécifique de certains projets que nous détaillons dans le texte.

Une première dimension de la rupture renvoie à la motorisation et à la batterie. Les technologies relatives aux batteries se sont fortement développées avec les outils de mobilité (ordinateur, téléphones, consoles, etc.), et des filières industrielles ont été constituées. Ces avancées technologiques permettent de produire des batteries dites lithium ion pour des automobiles qui combinent une plus grande autonomie, la puissance nécessaire et des coûts maîtrisés jamais été utilisées jusqu'à aujourd'hui.

La deuxième spécificité de l'initiative ZEV est la conception de véhicules optimisés pour une motorisation électrique, et non de l'électrification de véhicules thermiques. Les modèles commercialisés en 2011 seront également proposés dans des versions avec motorisation thermique, les suivants uniquement avec des motorisations électriques. Le facteur d'échelle, l'ambition de l'initiative actuelle et l'enjeu affiché (une pénétration du véhicule électrique sur le marché de 10 % à l'horizon 2020), sont tout à fait spécifiques. Le programme comprend la commercialisation entre 2011 et 2013 d'une gamme de quatre modèles (utilitaire, berline, véhicule polyvalent et très petit véhicule).

La troisième rupture concerne le *business model*. Les gains économiques pour l'utilisateur sont faits à l'usage, puisque la consommation électrique a un coût bien moindre que la consommation en carburant pour la même distance parcourue. Pour accéder à ces gains il faut cependant investir dans un véhicule et surtout une batterie dont le coût est bien plus élevé qu'un réservoir de carburant. La stratégie de l'entreprise consiste à vendre le véhicule sans batterie et proposer un forfait comprenant la location de la batterie et éventuellement la

consommation électrique de recharge. C'est là un *business model* radicalement nouveau. La quatrième dimension est l'infrastructure de recharge. Différents types de charge sont envisagés : la prise dont le particulier peut disposer à son domicile, les prises rapides dans des stations où en quelques dizaines de minutes le véhicule peut être chargé et enfin, un dispositif d'échange de batterie permettant en quelques minutes de disposer de nouveau de l'autonomie maximale. Cette dernière modalité est complètement nouvelle, elle a été envisagée initialement par la société Better Place qui la déploie en Israël. Elle génère des contraintes fortes sur la conception des véhicules puisque les batteries doivent pouvoir être déposées très rapidement et un *business model* particulier où le conducteur du VE n'est pas propriétaire de sa batterie mais se voit garanti l'utilisation d'une batterie et facturé un forfait kilométrique.

La dernière dimension sur laquelle des ruptures sont anticipées concerne les modes de mise à disposition du véhicule. Alors que sur différents types de biens la possibilité d'utilisation se substitue à la propriété, on assiste à l'émergence de solutions d'auto-partage et au développement de covoiturage. Ces évolutions sont liées à des contraintes économiques et environnementales et l'on peut anticiper des synergies avec la commercialisation du véhicule électrique.

2. La conduite d'expérimentations en parallèle pour accompagner la structuration de l'écosystème

Nous nous sommes centrés sur les dimensions de cette rupture qui ont trait à l'infrastructure et au *business model*. Proposer une offre complète pour l'utilisation et la recharge de batteries suppose de définir

conjointement avec des partenaires entièrement nouveaux pour le constructeur (en particulier les énergéticiens) des responsabilités, des engagements réciproques, des tarifs de service en fonction de la répartition des rôles qui aura été arrêtée. La démarche déployée combine deux approches. D'une part, des études qui visent à affiner des prévisions sur la base des informations qui peuvent être recueillies et fournissent un cadrage. D'autre part, la conception détaillée de scénarios d'offre sur des zones géographiques délimitées et variées : les expérimentations. Ces scénarios sont construits avec les partenaires intéressés en tenant compte des spécificités locales, de leurs enjeux et en s'appuyant sur leurs compétences.

Des incertitudes irréductibles et la nécessaire implication de partenaires

Les études de marché permettent d'acquérir un certain nombre d'informations sur les distances moyennes parcourues, des segmentations de clientèles, des coûts d'usage, la proportion de personnes disposant d'un garage dans lequel il est possible d'installer une prise de recharge. Cependant différentes incertitudes irréductibles demeurent. Si le véhicule électrique est principalement utilisé pour des trajets récurrents entre le domicile et le travail, une prise électrique dans un parking au domicile et/ou sur le lieu de travail sera une solution totalement satisfaisante. Si les utilisateurs étendent leur usage à des distances plus longues, les besoins de recharge changent. Si le VE est utilisé pour des usages professionnels (taxi, véhicules de livraison) avec un kilométrage quotidien important, alors la charge rapide ou le dispositif d'échange de batterie seront

plus adaptés et demandés, etc. Pour anticiper ces usages, il ne suffit pas de s'appuyer sur les segmentations existantes et les distances moyennes parcourues. S'en remettre aux enquêtes recueillant les points de vue est biaisé tant les réponses, en l'absence d'une « expérience de mobilité électrique », risquent d'être décalées par rapport aux pratiques réelles d'usagers expérimentés.

Malgré ces incertitudes, les offres, en termes d'infrastructure de recharge et de forfait notamment, doivent être dimensionnées pour les premières commercialisations des véhicules électriques. Or le montage de ces offres suppose l'implication d'entreprises qui puissent les opérer ou les garantir. La phase actuelle vise alors à engager un certain nombre de partenaires afin de construire une offre détaillée pour le financement de la batterie et pour la recharge.

Réussir à convaincre des partenaires dans la période économique difficile qui a suivi la crise financière de 2008 et alors que les estimations sur ces marchés nouveaux sont toujours sujettes à discussion n'est pas tâche aisée. Une approche retenue a consisté à impliquer différents partenaires dans des expérimentations. Elle est concomitante à d'autres négociations qui visent à concevoir des offres à plus grande échelle en vue du lancement commercial.

Les expérimentations dans le cadre de la stratégie VE de Renault

Les expérimentations organisent localement, dans une ville, ou un périmètre géographique limité, la mise à disposition des véhicules, une infrastructure de recharge et une proposition commerciale concernant l'usage du véhicule, de la batterie, des équipements, des services et des garanties associés. Un des

enjeux de ces expérimentations est le calcul d'émissions CO₂ à partir des enregistrements réels de distance parcourue et de consommation électrique lors des recharges. Différentes expérimentations sont conduites en parallèle actuellement. Chacune présente des spécificités : des questions qui se posent de manière particulièrement aiguë dans un territoire, les énergéticiens impliqués, les autres partenaires associés pour les bornes

de recharge, pour les infrastructures publiques, les utilisateurs de véhicules prototypes envisagés. Elles présentent aussi un certain nombre de points communs.

Nous détaillons l'expérimentation conduite à La Réunion qui est relativement typique et posait de manière centrale la question des pays à production d'énergie ayant une forte empreinte carbone.

LE PROJET D'EXPÉRIMENTATION À LA RÉUNION : VERT

Les caractéristiques géographiques de l'île de La Réunion en font un lieu dans lequel le véhicule électrique serait particulièrement adapté. En effet, l'île fait moins de 100 km de large, 200 km de circonférence et les contraintes d'autonomie pourraient être très limitées. Les motivations politiques à investir pour des développements innovants sur l'île sont importantes, ainsi J.-L. Borloo a lancé en 2007 le projet GERRI (Grenelle de l'environnement à La Réunion : « Réussir l'innovation »). Enfin, les préoccupations environnementales y sont particulièrement fortes d'une part, du fait de la part du tourisme dans l'activité économique et d'autre part, du fait d'une production énergétique qui repose principalement sur le charbon (50 %). C'est dans ce contexte qu'est né le projet d'expérimentation VERT (véhicule électrique pour une Réunion technologique) avec un fort soutien des hommes politiques locaux. Ceux-ci ont eu un rôle déterminant dans l'implication des différents acteurs autour de ce projet : énergéticiens et constructeurs automobiles mais aussi un pétrolier ayant une compétence dans l'exploitation des stations-services, un financier ayant une activité de financement automobile importante, un industriel de la grande distribution et enfin un installateur de systèmes photovoltaïques.

Cependant, démontrer les apports environnementaux du véhicule électrique dans un contexte de production énergétique fortement carbonée est délicat et beaucoup plus difficile qu'en France métropolitaine où la part de production nucléaire est importante.

Ce challenge est précisément un enjeu clé de ce projet d'expérimentation.

Les émissions des véhicules thermiques sont usuellement mesurées sur le périmètre du véhicule. Une méthode de mesure et un cycle de fonctionnement normalisé (NEDC) sont stabilisés. En appliquant cette norme le véhicule électrique est un véhicule « zéro émission ». Il existe également des mesures pour la production d'électricité exprimées en gCO₂/kWh. Pour appréhender les impacts environnementaux d'un mode de transport dans leur globalité, « du puits à la roue », il faut définir un nouvel outil de mesure qui intègre les étapes de production d'énergie, de son transport et de l'utilisation dans le véhicule. Aujourd'hui, un tel indicateur partagé et standardisé n'existe pas, les acteurs ne se sont pas mis d'accord sur des conventions de calcul qui permettraient que les indices calculés par différentes entités soient effectivement comparables.

Dans une première approximation, il apparaissait que l'impact global du VE à La Réunion se situait à un niveau comparable à celui des véhicules thermiques optimisés. Face à ces taux très élevés, une analyse plus détaillée de l'impact carbone de la production électrique a été menée afin d'envisager des modes d'utilisation du VE qui auraient un impact carbone plus faible. Des variations très importantes de l'impact carbone de la production électrique ont été mises à jour (celui-ci est environ deux fois plus faible en hiver qu'en été et deux fois plus faible de jour que de nuit. Ces effets s'expliquent par une production électrique à partir de sources intermittentes, la bagasse en hiver et le photovoltaïque pendant la journée.) Comprendre ces variations importantes et disposer des données a été possible grâce à la coopération avec l'énergéticien présent localement et intéressé au développement du VE.

Des offres qui favorisent une recharge de jour ont alors été recherchées. Deux manières d'inciter à une recharge de jour ont été considérées. La première est tarifaire et consisterait à fixer des tarifs plus élevés de nuit. La seconde est physique, il s'agirait de mettre à disposition des bornes de recharge dans des lieux fréquentés dans la journée : parking de bureaux, parking de supermarché par exemple. Là encore l'implication de l'énergéticien est cruciale pour définir les tarifs, comme celle d'acteurs de la grande distribution pour expliciter coût et valeur associés à la présence de bornes sur leur parking. La recharge de jour a été mise en cohérence aussi avec les segments de clientèle visés et l'expérimentation a été prévue avec des véhicules de flotte.

Une deuxième voie a été explorée qui consiste à produire, à partir d'énergie solaire l'électricité nécessaire à la recharge de la batterie. L'idée d'équiper les clients conjointement d'un VE et d'une installation photovoltaïque qui alimente une borne de recharge a été envisagée. L'analyse de ce type de solution a été facilitée du fait de la participation au groupe de travail d'un énergéticien et d'un installateur de systèmes photovoltaïques. Désormais, les problèmes à surmonter pour que ce type d'offre puisse être proposé sont identifiés, l'un a trait au montant d'investissement et l'autre aux problèmes de stabilité sur le réseau général d'électricité que le raccordement de ces installations peuvent générer. Des projets sont en cours chez les acteurs du photovoltaïque sur ces questions et sont suivis par le constructeur. Aujourd'hui la mise à disposition de véhicules n'a pas encore eu lieu. C'est donc uniquement de cette phase de préparation et de cadrage dont nous pouvons rendre compte. Sur la base de ces modes de recharge adaptés, l'indice global d'émission CO₂ du puits à la roue estimé a été réduit de moitié, environ, par rapport à l'estimation faite au début de l'initiative, positionnant le VE de manière très intéressante par rapport au véhicule thermique en termes d'impact CO₂.

L'expérimentation comme levier de construction d'un écosystème micro-local

Ce cas montre les enjeux à penser conjointement la conception des modes de recharge et diffusion du VE, et la nécessaire implication de partenaires pour orienter vers des

solutions favorables en termes d'émissions CO₂ et la forte adaptation aux conditions locales de ces solutions. L'expérimentation a favorisé l'émergence d'une coordination entre ces acteurs très différents et qui n'ont par le passé pas eu à coopérer.

Les hommes politiques locaux ont eu le *leadership* pour impliquer différents acteurs autour du projet. Les opportunités de financement associées à ces initiatives politiques et les retombées médiatiques que les contributeurs peuvent attendre ont contribué à fédérer les acteurs autour d'une réalisation concrète inscrite dans un calendrier. Alors que chacun des protagonistes a des anticipations assez différentes quant à l'imminence de l'arrivée sur le marché de véhicules électriques et à l'ampleur de l'adoption, l'expérimentation contribue à les synchroniser. Du fait du caractère géographiquement limité de l'expérimentation, l'engagement des acteurs reste limité. Chacun garde la possibilité d'ajuster sa stratégie en fonction des opportunités ou des difficultés qui pourront être identifiées au cours de l'expérimentation.

Ainsi l'expérimentation constitue un levier de construction d'un écosystème micro-local.

L'expérimentation support d'un apprentissage multi-acteur

Obtenir l'engagement de participer à une expérimentation permet de travailler sur le détail de l'offre, sur les dimensions qui sont essentielles pour le partenaire, sur des opportunités qui pourraient être exploitées ; opportunités qui n'apparaissent qu'en intégrant les compétences du partenaire dans la conception de l'offre.

Les enjeux en termes d'apprentissage sont aussi une motivation des différents acteurs à s'engager dans l'expérimentation. Ainsi, sur d'autres expérimentations qui sont maintenant plus avancées que celle de La Réunion, car les véhicules prototypes sont déjà en circulation, les différents partenaires sont demandeurs d'un certain nombre d'informations sur les usages, dis-

tances parcourues, fréquences et horaires de charges, stations de recharge utilisées, consommation, les besoins de maintenance, pannes, etc. En cela l'expérimentation est source d'apprentissage pour le constructeur, sur les modes d'usage des véhicules sur des phénomènes d'usure et des problématiques de maintenance. Mais elle est également source d'apprentissage pour les autres partenaires.

Au cours de l'expérimentation, il s'agit de répondre aux problèmes qui surviennent qu'il s'agisse de fiabilité des bornes, des batteries, de dispositifs de paiement et de s'adapter aux usages réels qui peuvent surprendre. Cela conduit à focaliser les équipes sur les points qui apparaissent critiques. Ainsi l'expérimentation apparaît réductrice de complexité ; elle contribue à hiérarchiser les sujets prioritaires.

L'expérimentation comme construction d'actif et support de prescription

Au-delà, l'expérimentation enclenche un processus de construction d'actifs en mettant localement à disposition une infrastructure de recharge qui pourra être utilisée de manière pérenne. Cela stimule l'intérêt du partenaire à exploiter et rentabiliser ces actifs à plus longue échéance et donc constitue un moteur dans la diffusion plus large du VE.

Une autre dimension clé des expérimentations est leur pouvoir de communication. L'expérimentation de La Réunion, par exemple, a eu le soutien du président de la République qui est venu officialiser le projet et a pu rouler dans un véhicule électrique à cette occasion. Cette présence a déclenché un « buzz » médiatique important et renforcé la mobilisation des acteurs pour préparer cette visite.

III – DISCUSSION

Le cas étudié met en lumière le rôle de l'expérimentation comme support d'un apprentissage multi-acteur prolongeant les travaux sur les projets à incertitude radicale et ceux sur les initiatives à portée environnementale. Il souligne également que l'expérimentation constitue un levier de construction d'un écosystème (micro-local), une dimension soulignée dans la littérature portant sur les actions environnementales, mais peu dans la littérature portant sur les projets. La troisième dimension que nous souhaitons discuter renvoie à l'articulation entre des expériences « micro-locales » et la structuration d'un écosystème plus large.

La littérature sur le développement de produits nouveaux insiste sur le rôle des prototypes comme support de validation et d'apprentissage. Les étapes qui suivent la réalisation du prototype intègrent les retours obtenus et permettent d'adapter la définition du produit ou du processus de production. Celles-ci sont pilotées au sein de la firme par les équipes de développement (Thomke, 2003 ; Loch *et al.*, 2006). Dans le cas étudié au contraire, le passage d'une expérimentation aux phases ultérieures de déploiement repose sur des mécanismes plus complexes. Il y a même une opposition entre la logique de l'expérimentation et la logique du déploiement global à grande échelle.

L'analyse du cas Vert nous a conduit en effet à souligner que l'expérimentation se construit sur les spécificités locales. Il s'agit d'intéresser des acteurs qui ont une forte position et influence en local. Il s'agit de s'appuyer sur les incitatifs fiscaux et les aides qui peuvent être accessibles localement, d'intégrer les caractéristiques des tra-

jets des utilisateurs notamment dans l'implantation des bornes de recharge. Il s'agit d'adapter les hypothèses de tarification et mécanismes incitatifs aux caractéristiques du mix énergétique et à ses variations horaires et saisonnières. D'ailleurs, d'une certaine mesure, le choix des lieux d'expérimentation résulte de l'identification de configurations particulières qui sont favorables au développement du VE et ce pour des raisons à chaque fois spécifiques. La dynamique de l'expérimentation consiste à s'appuyer sur ce contexte favorable pour coordonner les acteurs et les faire converger sur une proposition qui leur convienne collectivement. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Smith *et al.* (2010) qui soulignent que les initiatives innovantes se développent dans des niches protégées et en tirent parti.

A contrario, la logique de déploiement global de par son facteur d'échelle suppose une certaine standardisation. Dans notre cas, il s'agit de simplifier l'offre commerciale qui sera faite au niveau du réseau commercial du constructeur concernant les forfaits de location de batteries, l'équipement de prises de recharge, les possibilités d'utilisation de prises situées sur la voie publique. Dans le même souci de simplification, on cherche à conclure des accords avec les différents partenaires sur une période relativement longue afin de permettre une certaine stabilité de l'offre.

Une question se pose alors : Comment des expérimentations qui ont un caractère local fort peuvent contribuer à une dynamique d'apprentissage alors que les étapes suivantes supposent un déploiement global et une certaine standardisation ?

Le cas étudié conduit à mettre l'accent sur un certain nombre de mécanismes qui contribuent à dépasser cette tension.

Le premier est que bien que les expérimentations soient inscrites dans des périmètres géographiques très particuliers, et nouées avec des acteurs eux aussi spécifiques, elles impliquent le plus souvent des acteurs d'envergure nationale voire implantés dans plusieurs pays (EDF, Total ou Schneider Electric, ou encore des chaînes de supermarchés). Ainsi la négociation en local dans le cadre d'une expérimentation génère un précédent, une expérience commune.

De plus, parmi les acteurs associés aux expérimentations, certains sont des agences ayant un fort lien avec les politiques publiques en matière de développement durable comme l'ADEME. Celles-ci peuvent contribuer à visibiliser des mesures d'impact CO₂ des véhicules électriques ou à normaliser des manières de mesurer cet impact, par exemple. En cela, elles ont également une influence bien au-delà de l'expérimentation locale.

Le deuxième mécanisme repose sur la conduite en parallèle de différentes expérimentations. Ces expérimentations parallèles permettent d'envisager des accords avec différents producteurs d'énergie, différents équipementiers de prise électriques, d'intégrer une certaine diversité d'incitatifs fiscaux et de contraintes réglementaires. Cette variété d'expérimentations permet de couvrir un spectre de possibles et de faire émerger diverses contraintes. Elle permet de construire des scénarios différents (dans le cas de La Réunion on a vu par exemple des parkings d'entreprise équipés de panneaux solaires ou de prises. Évidemment en France métropolitaine, les solutions vont plutôt s'orienter vers la recharge de nuit, période pendant laquelle le mix énergétique a un très faible impact CO₂). Cette multiplicité permet alors d'appréhender un ensemble de possibilités sachant que le

déploiement peut s'appuyer sur une combinaison inédite ou un compromis différent.

Le troisième mécanisme est la conduite de manière concourante aux expérimentations de négociations d'accords cadres en vue du lancement commercial du VE avec différents partenaires qui contribueront à la mise à disposition de dispositifs permettant la recharge des VE : les énergéticiens, équipementiers, bornes, etc. Contrairement à la dynamique des expérimentations qui a conduit à cristalliser les réalisations concrètes sur des lieux favorables, la démarche est ici systématique, pays par pays, même si seulement certains partenaires potentiels sont finalement approchés. Cette préparation de déploiement à grande échelle est conduite de manière concomitante par les mêmes équipes que celles en charge de la mise en place et du suivi des expérimentations.

Compte tenu de la diversité des partenaires rencontrés et des expérimentations menées, la dynamique de déploiement ne se prépare pas en généralisant le modèle qui aurait donné le plus de satisfaction parmi les différentes expérimentations menées. Il s'agit au contraire de faire émerger de ces expérimentations et des contacts plus systématiques auprès des partenaires, des critères de différenciation et une typologie de situations afin de structurer une gamme d'offres permettant de satisfaire au mieux cette diversité et construite à partir de cette compréhension. Contrairement à ce qui est souligné dans la littérature sur le parallélisme dans les processus de développement (Ward *et al.*, 1999 ; Loch *et al.*, 2006), il ne s'agit donc pas de sélectionner à partir des différents modèles expérimentés dans différents sites celui qui sera généralisé.

Le quatrième mécanisme à souligner est le « produit support » de ces services de

recharge et le programme VE structuré dans l'entreprise. Nous avons ici insisté principalement sur la préparation de l'environnement pour le véhicule électrique, mais les véhicules qui sont mis à disposition dans le cadre des expérimentations sont les vagues prototypes et les préséries du programme véhicule qui a sa dynamique propre en vue d'une commercialisation à large échelle. D'une certaine mesure, le programme « impose » au réseau commercial et aux équipes de *business development* un déploiement global compte tenu des investissements faits.

CONCLUSION

Le véhicule électrique constitue une innovation technologique de rupture du fait des développements novateurs en matière de batterie et de changement d'architecture automobile, il constitue également une rupture en matière d'écosystème impliquant les différents acteurs du système de recharge. C'est en appréhendant cet écosystème dans sa globalité que l'on peut évaluer l'impact du véhicule électrique sur l'environnement et aussi son intérêt économique. La dynamique de déploiement du véhicule électrique analysée combine une stratégie volontariste dans le cadre du programme de développement produit et une stratégie plus exploratoire et émergente pour ce qui concerne les infrastructures, les forfaits de recharge, etc. Nous avons montré le rôle des expérimentations dans cette deuxième logique stratégique, pour construire des écosystèmes « micro-locaux » comme source d'apprentissage pour les différents acteurs de ces écosystèmes, comme levier de prescription à plus large échelle et de construction d'actifs pérennes.

Nous avons ainsi montré que le développement d'une innovation à portée environne-

mentale supposait des démarches de co-conception/exploration dans lesquelles les expérimentations étaient centrales.

Alors que les deux logiques stratégiques, délibérées et émergentes peuvent, de prime abord, paraître antagonistes nous avons souligné qu'elles se renforçaient en inscrivant dans un calendrier serré la réutilisation des acquis des expériences locales pour le déploiement à grande échelle. Les interdépendances entre ces deux logiques sont multiples. Les expérimentations utilisent des véhicules prototypes du programme de développement produit. Les négociations pour le déploiement commercial par pays sont conduites en parallèle du déroulement des expérimentations souvent avec des partenaires avec lesquels il a fallu les construire, certains retours d'expérience peuvent être utilisés. Symétriquement, le choix des lieux d'expérimentation peut résulter de priorités en termes de développement commercial et non d'opportunités et de contextes favorables.

La démarche analysée présente donc des spécificités que nous avons cherché à caractériser. Les résultats que nous mettons en avant apparaissent complémentaires aux travaux sur ces thèmes. En accompagnant en temps réel cette dynamique, nous avons pu mieux cerner les difficultés, les incertitudes, les options possibles au moment où elles se présentent. Il est cependant trop tôt pour évaluer les retombées de ce processus sur l'adoption du véhicule électrique. Les réglementations et les incitatifs fiscaux mériteraient également d'être analysés car on peut anticiper qu'ils aient un impact sur la dynamique d'adoption mais ils sont actuellement en cours de définition. Il s'agit-là de limites de cette contribution comme d'invitations à poursuivre les recherches dans ces directions.

BIBLIOGRAPHIES

- Aggeri F., Elmquist M. et Pohl H., "Managing learning in the automotive industry- the innovation race for electric vehicles", *International Journal of Automotive Technology and Management*, vol. 9, n° 2, 2009, p. 123-147.
- Aggeri F., Hatchuel A., "A Dynamic Model of Environmental Policy. The Case of Innovation Oriented Voluntary Agreement", *Voluntary Approaches in Environmental Policy*, Carraro C. et Leveque F. (Ed.), Kluwer, 1999.
- Aggeri F., Pezet E., Abrassart C., Acquier A., *Organiser le développement durable*, Vuibert, Paris, 2005.
- BenMahmoud-Jouini S., Charue-Duboc F., "Concept generation processes: customer involvement for radical innovation", Best paper proceedings, Academy of Management, Technology and Innovation Management Division, 8-13 août 2008, Anaheim (USA, CA).
- Fréry F., « Les produits éternellement émergent : le cas de la voiture électrique », *De l'idée au marché. Innovation et lancement de produits*, Manceau D. et Bloch A., (éd.), Vuibert Paris, 2000, p. 234-264.
- Gastaldi L., Stratégies d'innovation intensive et management de la recherche en entreprise. Vers un nouveau modèle de recherche concurrente, Thèse de doctorat en sciences de gestion, Université de Marne-la-Vallée et École polytechnique, Paris, 2007.
- Geels F., "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study", *Research Policy*, vol. 31, n° 8-9, 2002, p. 1257-1274.
- Hatchuel A., Le Masson P., Weil B., *Les processus d'innovation – Conception innovante et croissance des entreprises*, Hermès, Paris, 2006.
- Kemp R., "Technology and environmental sustainability: the problem of technological regime shifts", *Futures*, vol. 26, n° 10, 1994, p. 1023-1046.
- Lenfle S., Midler C., "Innovation in Automotive Telematics Services: Characteristics of the Field and Management Principles", *Int. J. of Automotive Technology & Management*, vol. 3, n° 1-2, 2003, p. 144-159.
- Loch C.H., De Meyer, A., et Pich M.T., *Managing the Unknown. A New Approach to Managing High Uncertainty in Projects*, Wiley, New York, 2006.
- Lynn G.S., Morone J.G., Paulson A.S., "Marketing and Discontinuous Innovation. The Probe and Learn Process", *California Management Review*, vol. 38, n° 3, 1996, p. 8-37.
- McGrath, R.G., "Exploratory Learning, Innovative Capacity, and Managerial Oversight", *Academy of Management Journal*, vol. 44, n° 1, 2001, p. 118-131.
- Midler C., Beaume R., "Project-based learning patterns for dominant design renewal: The case of Electric Vehicle", *International Journal of Project Management*, vol. 28, n° 2, 2010, p. 142-150.
- Smith A., Voss J.-P., Grin J., "Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multilevel perspective and its challenges", *Research Policy*, vol. 39, n° 4, 2010, p. 435-448.
- Smith A., "Translating sustainabilities between green niches and sociotechnical regimes", *Technology Analysis and Strategic Management*, vol. 19, n° 4, 2007, p. 427-450.

Sobek D.K. II, Ward A.C., Liker J.K., “Toyota’s Principles of Set-Based Concurrent Engineering”, *Sloan Management Review*, vol. 40, n° 2, 1999, p. 67-83.

Thomke S., *Experimentation Matters*, Harvard Business School Press, Boston, 2003.