

**CONTRIBUTION DE L'IDRRIM A
LA STRATEGIE
« DIGITALISATION ET
DECARBONATION DES
MOBILITES »**

FÉVRIER 2021

INTRODUCTION

Dans le cadre de la préparation de la 4^{ème} édition du Programme d'Investissements d'Avenir, plusieurs stratégies d'accélération ont été identifiées pour préparer les investissements dans des filières et technologies émergentes.

Parmi celles-ci, la stratégie d'innovation « *Digitalisation et décarbonation des mobilités* » vise comme objectif de participer à la décarbonation du secteur et d'améliorer les déplacements au quotidien, avec un accent mis sur les démonstrateurs et pilotes de systèmes et services.

Cette stratégie d'innovation pré-identifie neuf thématiques parmi lesquelles deux concernent les infrastructures routières. La consultation par le Ministère de la Transition Ecologique de l'écosystème des acteurs des infrastructures routières s'est appuyée sur l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM), comme organisme tête de réseau visant à recueillir les avis de l'ensemble des acteurs de cette filière.

Le présent document, réalisé par l'IDRRIM, est la contribution de ces acteurs à la construction de la stratégie d'innovation « *Digitalisation et décarbonation des mobilités* » pour le secteur des infrastructures routières.

A. Contexte actuel et enjeux pour les infrastructures routières

1. Place du secteur des infrastructures routières au niveau national

Le réseau routier français est constitué de plus d'un million de kilomètres de routes et de plus de 200 000 ouvrages d'art, ce qui en fait l'un des plus denses du monde. Les infrastructures routières sont le support de 87 % des déplacements de voyageurs et 89 % des transports de marchandises (données 2020).

La gestion de ce réseau est répartie entre de nombreux acteurs :

- Les Sociétés Concessionnaires d'Autoroutes (CSA) – Réseau autoroutier : 9 170 km
- L'État via le réseau des Directions Interdépartementales des Routes (DIR) - Réseau Routier National Non Concédé : 11 681 km
- Les Départements - Réseau départemental : 377 890 km
- Les Intercommunalités (EPCI) et Communes – Réseau communal : 704 999 km

Le secteur des infrastructures routières occupe par ailleurs une place importante dans le dynamisme économique de la France, avec un investissement public important pour la gestion de ce patrimoine et un tissu économique d'entreprises de taille très diverses procurant un nombre important d'emplois locaux non délocalisables.

Ainsi, au niveau national, les dépenses de voirie des administrations publiques représentaient près de 15 Mds d'euros en 2018, dont plus de 8 Mds d'investissement (représentant près de 70 % de l'investissement national sur ce réseau), consacrées à la gestion et au développement de ces infrastructures.

Au niveau des entreprises de travaux publics, principales réalisatrices des travaux de construction et d'entretien de ces infrastructures, ce secteur représente un chiffre d'affaires de 44,5 Mds d'€ en 2019, avec plus de 8 000 entreprises sur le territoire national représentant 310 000 emplois.

Par ailleurs, ces entreprises sont également fortement présentes au niveau international, où elles réalisent 33,5 Mds d'€ de chiffres d'affaires. Cette présence internationale est une vitrine du savoir-faire français dans le domaine de la construction et de l'aménagement du territoire, leur permettant d'exporter les innovations développées et testées en France où se situent la majeure partie des structures de recherche et asseyant ainsi leur position dans un secteur de plus en plus concurrentiel.

2. Enjeux actuels et à venir du secteur des infrastructures routières

La crise de la COVID-19 a rappelé l'importance vitale d'avoir des infrastructures de transport suffisamment nombreuses et en bon état pour pouvoir assurer la continuité des services à la population, maintenir les échanges et l'activité économique, et notamment organiser les chaînes logistiques. De plus, cette crise a renforcé le rôle des infrastructures routières en accélérant le développement de nouveaux usages de mobilité, notamment concernant les modes actifs (piétons, vélos, ...).

Aussi, dans la recherche des meilleurs leviers de relance économique utile consécutivement à cette crise, le secteur des infrastructures apparaît-il comme celui où les investissements participeront non seulement à une relance immédiate de l'économie dans tous les territoires, mais aussi tout particulièrement à la réussite des transitions écologique, climatique, environnementale, numérique... tant attendues par la planète et par la société.

En effet, le secteur des infrastructures fait aujourd'hui face à de multiples transitions (écologique, énergétique, climatique, numérique) nécessitant une adaptation des organisations et pratiques professionnelles et des process de construction et de gestion de ces infrastructures dans l'objectif de répondre aux attentes sociétales.

Ainsi, les investissements dans les infrastructures et leurs équipements sont essentiels pour atteindre les objectifs du développement durable, en permettant notamment l'augmentation de la productivité et des revenus. Afin de réaliser cet objectif, l'ONU recommande de mettre en place des infrastructures de qualité, fiables, bien entretenues et résilientes pour favoriser le développement économique et le bien-être de l'être humain. Cela passe, à l'horizon 2030, par la modernisation des infrastructures (incluant leurs équipements) et l'adaptation des industries afin de les rendre durables, avec une utilisation plus rationnelle des ressources et un recours accru aux technologies et procédés industriels propres et respectueux de l'environnement. L'atteinte de ces objectifs ne sera toutefois possible qu'en encourageant l'innovation et en accroissant les dépenses publiques et privées consacrées à la recherche et au développement.

Cette modernisation des infrastructures passe aussi par le fait de les rendre de plus en plus connectées, afin de permettre une optimisation des opérations et donc des coûts, grâce à une digitalisation des process de gestion.

De plus, la trajectoire dressée par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) pour mener la transition écologique et solidaire de la France vers la neutralité carbone en 2050 comprend un volet spécifique concernant les transports, deuxième secteur économique en termes d'émission de GES avec des objectifs ambitieux à atteindre d'ici à 2030.

En réponse à ces multiples transitions, les acteurs des infrastructures se sont récemment engagés au travers d'un pacte d'engagement des acteurs des infrastructures de mobilité¹, signé le mercredi 20 janvier en présence du Ministre en charge des Transports, M. Jean-Baptiste Djebbari.

A l'horizon 2030, ce « Pacte d'engagement des acteurs des infrastructures de mobilité » doit permettre de porter une vision commune de l'avenir des infrastructures de mobilité et d'apporter des réponses, concrètes et soutenables aux enjeux posés par les transitions que connaît notre société, autour de 3 axes majeurs :

- Des infrastructures inscrites dans les transitions climatique et écologique ;
- Des infrastructures inscrites dans la transition numérique ;
- Des infrastructures conçues et gérées à l'écoute des citoyens.

Orienté autour de 14 engagements forts, ce pacte d'engagement constitue donc la feuille de route des acteurs de la filière des infrastructures de mobilité pour répondre aux enjeux posés par ces différentes transitions et s'inscrit pleinement dans les objectifs inscrits à la 4^{ème} édition du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA).

Enfin, la période actuelle de crise de la COVID-19 réaffirme les attentes de la société vers le développement de modèles économiques en faveur des territoires et respectueux de l'environnement. Promulguée par la Loi LTECV, confirmée par la loi AGEC et le projet de Loi Climat, l'économie circulaire est le levier d'action pour répondre à ces attentes.

Dans le domaine des techniques routières, la gestion des ressources, le réemploi et le recyclage des déchets ont fait l'objet de nombreuses initiatives. Les acteurs des infrastructures de mobilité sont maintenant prêts à accélérer ce changement, en généralisant les pratiques afin d'en mesurer les bénéfices, en mettant à disposition des méthodes et des outils nécessaires à la planification des ressources, au développement de l'offre de matériaux secondaires dans une logique de circuits courts.

Ces initiatives innovantes favoriseront le développement de filières locales de la gestion et de la transformation des déchets et participeront à l'ambition nationale du découplage de 30 % entre le PIB et la consommation intérieure de matière d'ici 2030.

¹ www.idrrim.com/evenements-idrrim/pacte-engagement/

Modalités de consultation

La consultation pour le domaine des infrastructures routières a été confiée par le Ministère de la Transition Ecologique à l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité. Cette consultation visait deux thématiques particulières de la stratégie d'innovation « Digitalisation et décarbonation des mobilité » :

- Eco-conception, recyclabilité et multifonctionnalité énergétique des infrastructures routières ;
- Automatisation du transport routier de personnes et de biens.

A. Qu'est-ce que l'IDRRIM ?

L'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM) est une association partenariale public-privé agissant dans le domaine des infrastructures de mobilité. Reconnue d'intérêt général depuis 2012 par le ministère en charge de l'environnement, cette association a pour mission principale de fédérer et mobiliser les acteurs de ce domaine d'activité et de produire des documents de référence.

L'IDRRIM regroupe aujourd'hui 49 membres représentatifs des organisations publiques et privées du domaine des infrastructures de mobilité et espaces urbains, réparties en 5 collèges, ainsi que 70 membres adhérents à titre individuel (collectivités locales, entreprises, sociétés d'ingénierie et ingénieurs). Cette répartition en 5 collèges permet d'assurer la représentativité de l'ensemble des composantes des infrastructures de mobilité :

- Maîtrise d'ouvrage ou donneurs d'ordre : Etat, associations d'élus ou de collectivités territoriales, organismes représentant les réseaux d'infrastructures nationales ;
- Secteur de la construction : associations, fédération et syndicats professionnels ;
- Ingénierie : associations, fédérations et syndicats professionnels, et organismes publics ;
- Organismes de recherche et de formation ;
- Associations partenariales publiques et privées agissant dans le domaine des infrastructures de mobilité.

B. Consultation des acteurs

La consultation effectuée par l'IDRRIM s'est appuyée sur deux relais :

1. Comité opérationnel Formation-Recherche-Innovation de l'IDRRIM

Le comité opérationnel Formation-Recherche-Innovation de l'IDRRIM est l'instance de travail chargée de travailler sur les problématiques liées à la formation, la recherche et l'innovation dans le domaine des infrastructures de mobilité.

Présidé par M. Dominique Jaumard, DGA au Conseil Départemental de l'Hérault, il réunit plus d'une vingtaine de membres représentatifs des acteurs engagés sur ces thématiques. Sa composition est disponible sur le site internet de l'IDRRIM : www.idrrim.com/comites-operationnels_groupes_travail-idrrim/formation-recherche-innovation/membres.htm.

Une réunion du comité a ainsi été organisée le jeudi 18 février 2021 afin de travailler à cette contribution.

2. Association de l'ensemble des membres de l'IDRRIM

En réponse à la demande du Ministère de la Transition Ecologique de réaliser cette consultation, l'IDRRIM a sollicité l'ensemble de ses membres pour les inviter à participer à cette démarche et à transmettre leur contribution.

En complément de cette consultation numérique, une réunion d'échanges a été organisée le mercredi 17 février 2021, réunissant plus d'une trentaine de participants, représentatifs des acteurs de l'écosystème des infrastructures de mobilité (Cf. Annexe A).

Cette réunion d'échanges a permis de répondre aux interrogations des participants quant aux objectifs de cette consultation et construire, à partir de leur retour, les briques d'innovations prioritaires.

La présente contribution est le fruit de ce travail partenarial et collectif de l'ensemble des membres de l'IDRRIM.

Briques d'innovation

1. Briques d'innovation et critères de priorisation

Les enjeux nationaux législatifs ou réglementaires ci-dessous ont été identifiés pour la définition et la priorisation des briques d'innovation :

- Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), notamment sur l'enjeu de la décarbonation des mobilités ;
- Stratégie Nationale en Intelligence Artificielle ;
- Loi d'Orientation des Mobilités ;
- Loi Energie-Climat ;
- Loi relative à la lutte contre le gaspillage et l'économie circulaire ;
- Projet de Loi Climat et résilience.

A. Eco-conception, recyclabilité et multifonctionnalité énergétique des infrastructures routières ;

Priorité n°1 : Digitalisation et sobriété des infrastructures au service d'une optimisation de leur gestion

- Développement de méthodes de conception (notamment en dimensionnement) et d'entretien plus sobres et plus durables pour une augmentation de la durée de vie des infrastructures et une réduction des opérations d'entretien.
- Optimisation des méthodes de gestion de patrimoine pour une meilleure connaissance du réseau et in fine une meilleure sécurité de l'utilisateur :
 - Inspections à grand rendement du réseau ;
 - Instrumentations des ouvrages ;
 - Développement du big data et de l'intelligence artificielle (IA).
- Numérisation des infrastructures pour une optimisation de leurs conceptions et techniques d'entretien, notamment au travers du développement du BIM infrastructures et du concept de « carnet d'entretien » numérique (analyse de cycle de vie, amélioration performancielle de l'entretien, ...).
- Développement de nouveaux types de capteurs sur infrastructures permettant de mieux connaître les sollicitations des infrastructures (et donc leur durée de vie prévisionnelle) et les risques de surcharge (entrée de pont par exemple).
- Développement d'équipements de connectivité sur les véhicules métiers (patrouilleurs) afin d'augmenter la sécurité des agents et l'efficacité des opérations.
- Favoriser une gestion patrimoniale des infrastructures en intégrant les solutions fondées sur la nature et les enjeux de biodiversité :
 - Repenser les infrastructures en coût global sur leur durée de vie avec prise en compte des externalités en matière de biodiversité.

Critères de priorisation / justification :

- Impact attendu en termes de réduction des émissions de gaz à serre sur l'ensemble du cycle de vie de l'infrastructure et d'économie budgétaire pour les gestionnaires, du fait d'une réduction du nombre d'opérations réalisées et d'une optimisation de ces opérations.
 - Optimisation de l'utilisation des ressources naturelles liées à la construction et à la rénovation des réseaux.
 - Optimisation des planifications d'interventions et diminution de la gêne aux usagers.
 - Augmentation de la sécurité des usagers de infrastructures (état général des réseaux, systèmes d'alertes intelligents, ponts connectés...)
 - Capitalisation sur des démonstrateurs pour conduire une évolution de la doctrine technique permettant de durablement modifier les pratiques du secteur (par exemple sur la définition d'indicateur de durabilité intégrant des critères environnementaux)
 - Caractère innovant démontré et niveau 4 à 6 de TRL => Des premiers démonstrateurs ont été réalisés et les résultats actuels de la recherche permettront de renforcer l'innovation dans ce domaine.
 - Marché important attendu en France car répondant à la principale attente des gestionnaires d'infrastructures. Ces innovations répondent par ailleurs à des enjeux identifiés dans l'ensemble des pays développés à l'international (exemple avec l'accident du viaduc Morandi en 2018).
 - Potentiel d'emploi important (non quantifié) et territorialisé car répondant à une attente de l'ensemble des gestionnaires du territoire national.
 - Développement de nouvelles compétences et de nouveaux métiers au niveau du numérique, dynamisation de la recherche, à la fois sur l'IA et sur les connaissances et techniques constructives.
- Deux axes principaux à développer à ce stade :
- La compilation et la mise en forme des données pertinentes
 - Le développement de preuves de concept à des échelles territoriales
- L'apport du soutien public permettra d'accompagner la réalisation des démonstrateurs et sites pilotes permettant de vérifier l'apport des briques technologiques développées et de modifier durablement les pratiques des acteurs. En particulier, le financement de la recherche appliquée dans le domaine de l'IA et de la maintenance prédictive via des appels à projet dédiés permettra le lever les freins existants et d'aider à la mise en œuvre de ces solutions.

Priorité n°1bis : Développement de services de production, stockage et distribution de l'énergie au travers des infrastructures routières

- Démonstrateurs en environnement sécurisé de systèmes d'alimentation électrique des véhicules en circulation par l'infrastructure routière :
 - Recharge par caténares ;
 - Recharge par rail au sol ;
 - Recharge par induction.

- Procédé de stockage de l'énergie, via l'infrastructure et ses équipements.
- Infrastructures de recharge alternatives :
 - Gestion intelligente des flux énergétiques ;
 - Gestion intelligente de l'alimentation afin de mieux appréhender la gestion des pics de demandes ;
 - Lien à prévoir avec l'information remontant des véhicules (optimisation des parcours en fonction des points de recharges disponibles et optimisation de l'offre et de la demande en alimentation électrique).

Enjeux nationaux législatifs ou règlementaires :

- Stratégie Nationale Bas Carbone : Trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre sur la mobilité et objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050.
- Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE).
- Loi d'Orientation des Mobilités : Développement de la mobilité électrique.
- Stratégie Nationale de la Recherche sur l'Energie.

Critères de priorisation / justification :

- Impact attendu en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en accompagnant le développement de la mobilité électrique (notamment sur le transport de marchandises) et en optimisant la gestion du réseau de recharge électrique sur le réseau routier.
 - Réduction substantielle des émissions de CO₂, NO_x, etc. du transport routier de marchandise (TRM), réduction de l'ordre de 6 à 12 millions de tonnes de CO₂/an sur 137 Mt au total pour le TRM ;
 - Réduction de la facture carburant des transporteurs routiers ;
 - Réduction du trafic routier sur les axes secondaires et à travers les villes de province.
- Capitalisation sur des démonstrateurs ou projets pilotes pour identifier l'apport socio-économique des systèmes d'alimentation électriques par l'infrastructure routière, déjà en cours de développement dans plusieurs pays à l'international (Suède, Allemagne, Etats-Unis, ...).
- Participation à la réponse au besoin de flexibilité et de continuité de l'approvisionnement électrique, en proposant une gestion décentralisée et des circuits de production plus courts.
- Démonstrateurs, expérimentations ou projets pilotes pour identifier l'apport de ces infrastructures pour le réseau électrique national (stockage puis distribution pour aider à la gestion des pics de demandes).
- Caractère innovant démontré et niveau 4 à 5 de TRL => Des premiers démonstrateurs sont en cours de réflexion et le soutien public permettra leur réalisation et la précision de leur modèle économique.
- Marché important attendu au niveau international et dans un contexte concurrentiel où plusieurs pays ont pris de l'avance ces dernières années. Ces technologies permettront ensuite un déploiement international car contribuant, pour les pays, à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre.
- Impact positif attendu sur l'emploi :

- Directs sur les travaux d'infrastructure : 9 Mds € sur 10 ans pour les travaux (9 000 km)
 - $9 \text{ (emplois/M€)} \times 9\,000 \text{ M€} = 81\,000 \text{ emplois sur 10 ans} = 8\,100 \text{ emplois permanents pendant 10 ans.}$
 - Directs sur la production d'électricité : 2 Mds € de recettes d'électricité, 18 TWh/an d'électricité décarbonée (à terme)
 - => 6 000 emplois permanents (production : 4 500 + exploitation : 1 500)
 - Total emplois directs : 14 000
 - Indirects : 2 fois les emplois directs.
- L'apport du soutien public sera important compte-tenu du coût estimé de déploiement de ces technologies pour la réalisation d'un démonstrateur.

Priorité n°2 : Multimodalité des infrastructures routières

- Équipements et solutions cyber-sécurisées, évolutives, économes en énergie, encourageant la multimodalité et le partage dynamique de la voirie, notamment en milieu urbain :
 - Aménagements des voies cyclables ;
 - Gestion optimisée du trafic, prenant en compte l'ensemble usagers (piétons, vélos... Et en particulier les usagers vulnérables) ;
 - Développement de nouveaux modes de gestion de l'infrastructure (voies dédiées, priorité des bus aux carrefours et aux intersections) pour augmenter l'efficacité et l'attractivité des transports en commun à même développer le report modal des véhicules personnels vers les transports collectifs et les modes doux, en agissant sur la disponibilité de l'infrastructure ;
 - Aménagements souples de la voirie (réversibilité ou adaptabilité d'usages en fonction du trafic).
- Démonstrateurs de stratégies de gestion des flux à échelle macroscopique (agglomération, région) pour tous types de mobilité (logistique, professionnelle, personnelle, ...).

Enjeux nationaux législatifs ou règlementaires :

- Stratégie Nationale Bas Carbone : Trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre sur la mobilité et objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050.
- Loi d'Orientation des Mobilités.

Critères de priorisation / justification :

- Contribuer à l'objectif d'un transport routier propre et participer au report vers les modes vertueux en améliorant les fonctionnalités de l'infrastructure routière pour la rendre intelligente, connectée, plus sûre.
- Capitalisation sur des démonstrateurs pour conduire une évolution de la doctrine technique permettant de durablement modifier les pratiques du secteur.
- Impact fort attendu en termes de modifications des pratiques de la mobilité, en agissant sur la disponibilité de l'infrastructure.
- Besoin d'accompagnement des collectivités et gestionnaires, à la fois dans le développement de solutions physiques et numériques.

- Caractère innovant démontré par de premiers démonstrateurs et nécessité du soutien public pour approfondir ces premières réalisations et permettre le déploiement de nouvelles technologies.
- Marché important attendu en France car avec un déploiement possible dans l'ensemble des aires urbaines françaises. Potentialité d'une exportation à l'international, ces enjeux n'étant pas propres à la France.
- Potentiel d'emploi important (non quantifié), avec des solutions déployables sur l'ensemble du territoire français et sur de nombreux pays à l'international.
- L'apport du soutien public permettra d'accompagner la réalisation de démonstrateurs et l'analyse de l'apport de ces technologies pour répondre aux enjeux identifiés.

Priorité n°2bis : Infrastructures et économie circulaire

- Matériaux et techniques de construction « bas carbone » ou permettant de réduire l'empreinte environnementale de l'infrastructure et de ses équipements (éco-conception, recyclabilité, utilisation de matériaux alternatifs ou bio-sourcés, abaissement des températures de productions des matériaux de construction, ...).
- Développement d'énergie alternative (hydrogène) pour l'alimentation des engins de chantier et des usines de production.
- Recyclage, ré-usage ou réemploi des matériaux et/ou des déchets (terrassements, chaussées, ...) :
 - Amélioration et optimisation des process actuels ;
 - Développement de nouvelles solutions technologiques pour améliorer le recyclage de produits aujourd'hui considérés comme des déchets car non recyclables avec les process actuels.
- Approche système pour l'éco-conception des infrastructures, de leurs équipements et de leurs dépendances (matériaux, capteurs, ...).
- Traçabilité des matériaux sur tout le processus de recyclage (du chantier de déconstruction à la plateforme de recyclage puis à sa réutilisation en chantier) :
 - Lien avec la numérisation des infrastructures ;
 - Amélioration des connaissances des caractéristiques environnementales et techniques des déchets recyclés et réutilisés sur les chantiers.
- Planification des ressources, dans une vision générale de gestion intégrée d'un patrimoine routier.

Enjeux nationaux législatifs ou réglementaires :

- Stratégie Nationale Bas Carbone : Trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre sur la mobilité et objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050.
- Loi Economie Circulaire : Appui à la mise en place d'une dynamique d'économie circulaire.

Critères de priorisation / justification :

- Impact fort attendu sur l'amélioration du recyclage des déchets issus de la déconstruction des infrastructures, source majeure de la production de déchets en France.

- Limitation des impacts environnementaux induits par la production de ressources nouvelles (granulats, bitume, béton, ciment...).
- Optimisation des process actuels pour améliorer leur performance et in fine leur sobriété énergétique.
- Le soutien public permettra d'accompagner les acteurs publics et privés dans une modification durable de leurs pratiques.
- Approfondissement attendu de la connaissance scientifique.
- Besoin d'un soutien financier pour le développement industriel sur les sites de productions et de recyclage.
- Potentiel d'emploi important (non quantifié) et territorialisé car répondant à une attente de l'ensemble des gestionnaires du territoire national.

Priorité n°3 : Résilience des infrastructures au changement climatique et développement d'une ville durable et résiliente

- Matériaux ou techniques à faible albédo permettant de limiter les effets d'îlots de chaleur.
- Développement de nouvelles solutions d'éclairage public dans les villes et pour les ouvrages souterrains (déploiement de LED, ajustement de l'éclairage en fonction du trafic, télégestion), permettant de limiter la consommation électrique et la pollution lumineuse (notamment dans les villes mais aussi les ouvrages souterrains) et faciliter la gestion.
- Solutions de désimperméabilisation des surfaces revêtues ou de stockage des eaux de ruissellement en milieu urbain. Ces solutions doivent permettre de construire une méthode différenciée de gestion des eaux pluviales permettant de lutter contre les effets d'îlots de chaleur (par l'évapotranspiration par exemple).
- Evaluation de la résilience des infrastructures existantes, dans une logique de gestion patrimoniale de ces infrastructures.
- Solutions d'adaptation au changement climatique (confortements rocheux, ouvrages d'art, techniques routières, ...).

Enjeux nationaux législatifs ou règlementaires :

- Objectif national de la zéro artificialisation nette.
- Adaptation du cadre règlementaire pour permettre le développement de nouvelles solutions techniques plus globales au niveau de l'aménagement du milieu urbain (loi sur l'Eau par exemple).
- Programme National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC).

Critères de priorisation / justification :

- Impact fort attendu sur le développement d'une ville durable et résiliente aux effets du changement climatique.

- Impact attendu pour permettre l'accélération du déploiement de démonstrateurs, permettant de conduire une adaptation de la doctrine technique en matière de méthodes de conception et d'aménagement des espaces urbains.
- Impact fort attendu sur l'optimisation de la gestion des infrastructures et la limitation des travaux, en travaillant sur leur résilience.
- Marché important attendu en France avec un déploiement possible dans l'ensemble des aires urbaines françaises. Potentialité d'une exportation à l'international, ces enjeux n'étant pas propres à la France.
- Caractère innovant démontré par de premiers démonstrateurs et nécessité du soutien public pour approfondir ces premières réalisations et permettre le déploiement de nouvelles technologies

Autres briques d'innovation identifiées

- Démonstrateurs de routes à énergie positive ou auto-dégivrantes, permettant la production d'énergie en circuits courts pour les zones non desservies par les réseaux d'énergie traditionnels ou la réponse à des besoins localisés (parkings, plateforme multimodale aéroportuaire, ...);
- Captation par l'infrastructure de polluants routiers (CO₂, poussière, NO_x, résidus de pots catalytiques, ...) sans incidence sanitaire ou environnementale, par exemple par les dépendances vertes des infrastructures.

Critères de priorisation / justification :

- Besoin d'approfondir les premiers démonstrateurs réalisés pour améliorer le ratio rendement / coût et préciser les apports des différentes technologies développées.
- Le soutien public permettra le développement de site pilote ou premiers démonstrateurs permettant de démontrer l'apport des technologies développés actuellement.

B. Automatisation du transport routier de personnes et de biens

L'ensemble des briques d'innovation identifiées dans cette partie répondent aux enjeux ci-dessous, avec un niveau de TRL différencié selon la priorité donnée :

Enjeux nationaux législatifs ou réglementaires :

- Loi d'Orientation des Mobilités.
- Réponse à la stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée :
 - Besoin d'une signalisation qualifiée, géolocalisée, mise à jour ;
 - Besoin d'un programme de déploiement national des infrastructures connectées (nécessité d'évaluer l'apport de la perception de bord de route) ;
 - Développer l' « Autonomie Coopérative » au service d'une mobilité autonome collective haut débit sur des tronçons dédiés.

Priorité n°1 : Développement du véhicule autonome – TRL amenant rapidement à un démonstrateur

- Développement d'infrastructures numériques pour le déploiement de véhicules autonomes sur réseau routier.
- Solutions de communication Véhicules-Infrastructure :
 - Solutions de C-ITS (unités de bord de route par exemple) ;
 - Cartographie numérique haute-définition, mise à jour de façon sécurisée en quasi temps réel grâce aux données venant des véhicules et de l'infrastructure ;
 - Augmentation de la perception du véhicule par l'infrastructure par le déploiement de capteurs communicants sur l'infrastructure ;
 - Développement d'équipements routiers dédiés à la communication véhicule-infrastructure ;
 - Développement de solutions de marquage routier tout temps, en lien avec le développement d'outils de caractérisation de leur performance et de leur état ;
 - Développement et déploiement de solutions de connectivité au sein des véhicules d'urgence et des forces de l'ordre ;
 - Développement d'outils à destination des gestionnaires permettant une remontée permanente de donnée sur l'état de l'infrastructure et de ses équipements, en utilisant les données transmises par les véhicules (Exemples d'informations sur des restriction de circulation vers les véhicules (I2V) ou sur l'état de la chaussée et de la signalisation mesurée par le véhicule vers l'exploitant (V2I), ...)
 - Développement d'équipements de connectivité dans les véhicules de transport en commun (dans un but d'augmentation des vitesses commerciales).
- Adopter des approches multicritères par une vision transversale et systémique de l'automatisation, en impliquant l'ensemble des parties prenantes et en tenant compte de l'ensemble des enjeux techniques :
 - S'assurer de l'acceptabilité réelle, sociétale et environnementale des solutions de véhicules autonomes (exemples : prise en compte des impacts énergétiques des data center nécessaires aux procédures dites « AI » ; analyse du risque et de l'impact de la circulation potentielle de véhicules vides ou sous-employés, etc.).

- Développement de démonstrateurs de platooning pour le transport de marchandises.
- Stratégies de gestion de trafic incluant les apports de la connectivité.
- Développement d'équipements de la route, et de systèmes de supervision des trafics routiers et autoroutiers intégrant les plus hauts standards de cyber-sécurité, indispensables pour garantir la sécurité numérique de ces infrastructures d'importances vitales.

Critères de priorisation / justification :

- Innovation avec un TRL permettant le développement rapide de démonstrateurs sur site.
- Besoin d'accompagnement des collectivités et gestionnaires, et plus largement des autorités publiques (dont forces de l'ordre et de secours) dans le développement de solutions à la fois physiques et numériques.
- Caractère innovant démontré par de premiers démonstrateurs et nécessité du soutien public pour approfondir ces premières réalisations et permettre le déploiement de nouvelles technologies.
- Marché important attendu au niveau international et dans un contexte concurrentiel où plusieurs pays ont pris de l'avance ces dernières années. Ces technologies permettront ensuite un déploiement international et contribueront au rayonnement des technologies françaises.

Priorité n°2 : Développement du véhicule autonome – TRL plus bas nécessitant la mise en place de sites pilotes

- Développement de solutions de connaissance fine du trafic et des usages par l'apport de l'IA ou du deep learning
- Simulateurs d'hybridation de supervision à l'échelle macro (agglomération), micro ; supervision conjointe de véhicules de transports publics et de véhicules privés et connectés et prise en compte d'évènement imprévisibles => Logique d'hyperm supervision du trafic.
- Développement du concept d'amer du futur permettant d'aider à la localisation très précises des véhicules et facilitant sa circulation en mode autonome.

2. Enjeux financiers

La consultation réalisée n'a pas permis d'effectuer une évaluation fine des enjeux financiers attendus sur le champ des infrastructures routières, la multiplicité des briques d'innovations et des intervenants n'ayant pas permis d'établir un calcul consolidé à l'ensemble des briques identifiées.

Une évaluation plus fine pourra utilement permettre de faire ressortir les enjeux financiers pour chaque thématique identifiée.

3. Transversalités – Articulation ou adhérence avec d'autres thèmes :

Les briques d'innovation identifiées peuvent s'articuler ou s'intégrer dans les stratégies ou thèmes suivants :

- Stratégie « Hydrogène »
- Stratégie « Recyclage et réincorporation de matériaux recyclés »
- Stratégie « Solutions pour des villes durables et résilientes »
- Stratégie Nationale de Développement de la Mobilité Routière Automatisée

4. Besoins d'accompagnement

- Evaluation d'impact – évaluation socio-économique – suivi de l'acceptabilité

Certaines briques d'innovations identifiées (système d'alimentation électrique, éco-conception et recyclabilité, véhicule autonome) ayant des impacts en matière environnementale, le déploiement de démonstrateurs pourra nécessiter la réalisation d'une évaluation d'impact et d'un suivi de l'acceptabilité environnementale.

De même, certaines innovations demanderont, au-delà de la validation technique, un suivi de l'acceptabilité sociale permettant de garantir leur acceptation par les citoyens, dans la mesure où elles peuvent durablement impacter les comportements de mobilité ou l'aménagement de l'espace public.

- Collaboration inter-acteurs et organisation des écosystèmes

Le fonctionnement du secteur des infrastructures de mobilité repose sur 4 composantes indissociables pour la construction d'un projet :

- Maîtrise d'ouvrage et gestionnaire d'infrastructures, offrant un territoire ou terrain pour l'expérimentation ;
- Entreprises, que ce soit des industriels développant des produits innovants ou des acteurs des travaux publics réalisant des projets et déployant ces équipements innovants ;
- Ingénierie permettant d'accompagner la réalisation du projet et son évaluation technique.

L'ingénierie joue le rôle d'un véritable trait d'union entre les entités créatrices et celles qui réalisent industriellement. Ses compétences à planifier des tâches, à maîtriser un budget et à maîtriser les risques, en font l'acteur naturel de pilotage et d'organisation des actions pour faire aboutir un thème d'innovation depuis son émergence jusqu'à sa parfaite réalisation.

- Des organismes de recherche et de formation agissant dans l'accompagnement scientifique du projet, en collaboration avec un ou plusieurs industriels ;

La participation de ces 4 composantes est à ce titre jugée indispensable pour faciliter l'émergence de projets.

En particulier, l'éligibilité des maîtres d'ouvrages publics aux aides financières (réservée par exemple au financement du surcout lié à l'innovation ou à la gestion du risque en cas de défaillance des démonstrateurs réalisés sur routes ouvertes) serait de nature à faciliter la réalisation des projets. Cela répondrait à une spécificité du domaine des infrastructures où la majeure partie du réseau est gérée par des maîtres d'ouvrages publics.

De même, la place des organismes de recherche, y compris lorsqu'il s'agit d'écoles d'ingénieur intégrant une activité de recherche, est jugée prépondérante dans la construction des consortiums.

- **Adaptation réglementaire et normative**

Certaines briques d'innovations identifiées (système d'alimentation électrique, éco-conception et recyclabilité) ayant des impacts en matière environnementale, le déploiement de démonstrateurs pourra nécessiter une adaptation ou des dérogations réglementaires à certaines règles en vigueur (loi sur l'eau par exemple).

- **Infrastructures de test et démonstration**

La réalisation de démonstrateurs et d'infrastructures de test apparaît indispensable pour vérifier en conditions réelles la bonne tenue de l'innovation et son apport vis-à-vis des enjeux identifiés.

- **Enjeux d'achat public**

Un enjeu fort existe en matière d'achat public dans la mesure où les territoires d'expérimentation sont en grande partie gérées par des maîtres d'ouvrages publics, et donc soumis aux règles de la commande publique.

- **Evolution des compétences**

La mise en œuvre des briques d'innovations identifiées passera généralement par la réalisation de prototypes / sites pilotes / démonstrateurs. Leur capitalisation permettra de faire durablement évoluer la doctrine technique et les pratiques professionnelles actuelles.

Les résultats de ces innovations impacteront donc les compétences requises pour l'exercice des métiers et devront se décliner dans les offres de formations proposées.

De plus, certaines briques d'innovations demandent l'intervention d'équipes multi-disciplinaires à même de traiter l'ensemble des impacts attendus.

- **Valorisation / communication / dissémination / capitalisation**

Un accompagnement dans la capitalisation et la valorisation des démonstrateurs réalisés permettra une adaptation plus rapide des process et méthodes de conception et de gestion de ces infrastructures, et ainsi un déploiement plus rapide des technologies dans les pratiques courantes.

Cela pourrait par ailleurs faciliter la rédaction de guides techniques ou d'évolution normative ancrant durablement ces nouvelles techniques.

5. Remarques transversales / accompagnement

En s'appuyant sur le retour d'expérience de l'appel à projet « Route du Futur » du PIA 3 (2015-2016), les acteurs des infrastructures de mobilité ont identifié les points suivants ayant complexifié leur participation à cet appel à projet :

- Un processus initial de sélection jugé lourd, notamment dans la multiplicité des intervenants et interlocuteurs ;
- La taille minimale inscrite pour le dépôt de projets a été jugé trop élevé par rapport aux projets d'innovation habituels du secteur. Cela a limité le nombre de projets déposés et in fine la participation des entreprises à cet appel à projets ;
- Les entreprises souhaiteraient pouvoir étudier une modification de la répartition entre subventions et avances remboursables dans le soutien financier apporté, les taux de subventions in fine retenus étant bien loin des seuils maximaux présentés et autorisés, que ce soit pour les grands groupes comme pour les startups ;
- Un suivi administratif annuel jugé relativement lourd, notamment vis-à-vis d'autres guichets existants ;

6. Références utiles

- Pacte d'engagement des acteurs des infrastructures de mobilité, IDRRIM. Janvier 2021
- Rapport « Quelle flexibilité pour le système électrique », ANRT. Février 2021.
- Bilan énergétique de la France pour 2017, CGDD. Février 2019
- Contribution spécifique reçue lors de la réalisation de cette consultation et inscrite en annexe B

.....

ANNEXE A

Programme d'Investissements d'Avenir 4 (PIA 4)

Construction de la stratégie d'innovation sur les infrastructures routières

Liste des participants à la réunion du mercredi 17 février 2021

IDRRIM :

- COLIN Didier
- PORRU Patrick

Ministère de la Transition Ecologique :

- BUGAREL Dominique
- DUPAS Sophie
- OLLINGER Eric

Assemblée des Départements de France (ADF) :

- HERSCU Philippe
- ROSSI Augustin

Association Française des Sociétés d'Autoroute (ASFA) :

- BARDOU Nicolas
- BESSOU Laurent
- BROTO André
- LANDAU Pierre

Association des Ingénieurs Territoriaux de France (AITF)

- COURBOT Marc
- SCHANG Jean-Pierre

Association Ingénierie de Maintenance du Génie Civil (IMGC) :

- COLLIN Bertrand
- DUMEZ Pascale

ATEC-ITS France :

- CHEVREUIL Martial

Cerema :

- MOULINE Eric
- ZAMBON David

Centre d'Etudes des Tunnels (CETU) :

- Eric Premat

Centre National de la Fonction Publique Territoriale (CNFPT) :

- LEWIN Marion

CINOV Ingénierie :

- GUINET David

Ecole Spéciale des Travaux Publics, du bâtiment et de l'industrie (ESTP) :

- DONY Anne

Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) :

- CHEVILLARD Dominique
- GOTTELAND Philippe

Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en génie civil (IREX) :

- JACOB Bernard
- ROSPARS Claude

Ponts Formation Conseil :

- SKOUTARIDES Hélène

Routes de France :

- DELAPORTE Brice
- LEROY Christine

Syndicat Français de l'Industrie Cimentière (SFIC) :

- GUIRAUD Patrick

Syndicat Professionnel des Entrepreneurs de Chaussées en Béton et d'Équipements Annexes (SPECBEA) :

- PERO Florence

Syntec-Ingénierie :

- PONS Philippe
- BAUDRY Benoit
- AL FAKIR Khaled
- BLONDELOT Yves
- ZIMMERMANN Anne

Terrassiers de France :

- DAUBILLY Benjamin

Union Nationale des Entreprises de Paysage (UNEP) :

- GUITTON Anthony

Université Gustave Eiffel :

- SIMONIN Jean-Michel

Acteurs externes :

- MILLAN Caroline – Colas

ANNEXE B

Programme d'Investissements d'Avenir 4 (PIA 4)

Contribution spécifique des adhérents de l'IDRRIM à la construction de la stratégie d'innovation sur les infrastructures routières

1. Contribution du Cerema

- a) Autoroute électrique
- b) Intelligence artificielle et maintenance des réseaux

2. Contribution de l'Université Gustave Eiffel

- a) Projet TRÂ{C-E+} – Trajectoires du système Routier en AnthroCènE
- b) Site d'essai instrumenté pour l'étude de l'impact des véhicules lourds sur les chaussées
- c) Développement de solutions pour l'instrumentation et le monitoring des chaussées
- d) De la détection physique à la détection numérique
- e) De l'auscultation vers la prise de décision

3. Contribution de l'Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes (ASFA)

- a) Autoroute électrique
- b) Véhicule autonome
- c) Mobilité électrique

Stratégie d'innovation « digitalisation et décarbonation des mobilités »

Thèmes d'innovation à enjeux prioritaires

I. Autoroute électrique

Description du thème d'innovation identifié et de l'enjeu correspondant en termes d'usages de mobilité :

La thématique de l'autoroute électrique fait l'objet de groupes de travail engagés par la DGITM début janvier, devant fournir leurs conclusions en juillet. Il s'agit de proposer à la DGITM une politique publique en matière de routes électriques après avoir fait la synthèse de la question avec les professionnels du secteur.

Cette synthèse préconisera des expérimentations à petite échelle pour lever les verrous technologiques et des expérimentations en vraie grandeur afin de valider le dispositif retenu.

Maturité :

Démonstrateur, expérimentation ou projet pilote

Impacts attendus sur l'emploi :

Positifs

- Directs travaux d'infra : 9 Mds € sur 10 ans pour les travaux (9000 km) --> 9 (emplois/M€) x 9000 M€ = 81 000 emplois sur 10 ans = 8100 emplois permanents pendant 10 ans.
- Directs production d'électricité : 2 Mds € de recettes d'électricité, 18 TWh/an d'électricité décarbonée (à terme) --> 6000 emplois permanents (production : 4500 + exploitation : 1500).
 - Total emplois directs : 14 000
- Indirects : 2 fois les emplois directs.

Autres impacts attendus ou risques identifiés :

- Réduction substantielle des émissions de CO₂, NO_x, etc. du transport routier de marchandise (TRM), réduction de l'ordre de 6 à 12 millions de tonnes de CO₂/an sur 137 Mt au total pour le TRM ;
- Réduction de la facture carburant des transporteurs routiers ;
- Réduction du trafic routier sur les axes secondaires et à travers les villes de province.

Freins à lever :

Types d'action et modalités à privilégier pour lever ces freins et aider à la mise en œuvre de cette solution :

Engager les expérimentations qui seront préconisées par les groupes de travail.

Enjeux pour la validation ou la réglementation au vu des enjeux environnementaux, sociaux :

Economie d'importation de diesel à hauteur de 4 M TEP (sur un total de 16 M TEP pour le TRM), soit environ 4,5 Mds €/an.

(Ratios issus du Bilan énergétique de la France pour 2017, CGDD, février 2019)

II. Intelligence artificielle et maintenance des réseaux

Description du thème d'innovation identifié et de l'enjeu correspondant en termes d'usages de mobilité :

Si la maintenance curative et la maintenance préventive sont très répandues, les exigences budgétaires et environnementales, ainsi que les évolutions de pratiques et d'usages des réseaux de mobilité, poussent au développement des approches prédictives et prescriptives, qui pourraient être basées sur l'ensemble des données techniques, de trafic, d'usage, socio-économiques... disponibles pour chaque réseau ou gestionnaire. Dans ce type d'approche, l'intelligence artificielle a toute sa place pour permettre de définir de nouvelles règles d'investissement.

L'arrivée de ces nouvelles solutions dites « apprenantes », capables d'optimiser un très grand nombre de paramètres pour construire un modèle très performant spécialisé sur un problème donné, permet deux axes de développement autour de la qualité et la maintenance : améliorer la qualité des productions et optimiser la santé des infrastructures et des équipements, ouvrant ainsi la voie aux approches de maintenance prédictives puis prescriptives.

Maturité :

Preuve de concept ou prototype

Impacts attendus sur l'emploi :

Positifs. Développement de nouvelles compétences et de nouveaux métiers au niveau du numérique, dynamisation de la recherche, à la fois sur l'IA et sur les connaissances et techniques constructives.

Autres impacts attendus ou risques identifiés :

- Optimisation de l'utilisation des ressources naturelles liées à la construction et à la rénovation des réseaux ;
- Optimisation de l'utilisation des budgets des gestionnaires (Etat, collectivités) ;
- Optimisation des planifications d'interventions et diminution de la gêne aux usagers ;
- Augmentation de la sécurité des usagers de infrastructures (Etat général des réseaux, systèmes d'alertes intelligents, ponts connectés...).

Freins à lever :

Deux axes principaux à développer à ce stade :

- La compilation et la mise en forme des données pertinentes
- Le développement de preuves de concept à des échelles territoriales

Types d'action et modalités à privilégier pour lever ces freins et aider à la mise en œuvre de cette solution :

Financement de la recherche appliquée dans le domaine de l'IA et de la maintenance prédictive via des appels à projet dédiés.

Engager le développement d'expérimentations à échelle 1:1 entre le Cerema et l'Inria.

Enjeux pour la validation ou la réglementation au vu des enjeux environnementaux, sociaux :

Sur le périmètre des réseaux routiers, la maintenance représente environ 15 milliards d'euros de dépense essentiellement publique (Etat, collectivités) que l'IA peut permettre d'optimiser pour réduire la « dette grise » et améliorer l'état général des réseaux. Couplée à une approche de résilience et gestion intégrée prônée par le Cerema, ces solutions doivent permettre une optimisation très importante de l'utilisation de ces crédits.

Projet TRÂ{C-E+} – Trajectoires du système Routier en AnthroCènE

Nicolas Hautière

Directeur adjoint & Adjoint au directeur en charge de la R5G
Département COSYS – Université Gustave Eiffel

Synthèse

Cette note propose une réponse technique, financière et organisationnelle aux enjeux de la mobilité de demain, de la décarbonation du transport et de la protection de la biodiversité vis-à-vis entre autres du changement climatique. Le projet TRACE repose sur une vision de rupture. Il consiste à repenser les dépendances vertes et bleues des infrastructures de transport en termes de corridors écologiques et climatiques adossés aux fonctions énergie-mobilité-numérique de la Route de Cinquième Génération (R5G), où l'on mettrait en œuvre de bouquets de solutions de géo-ingénierie. Avec un portage politique de très haut niveau dans le mouvement de refondation de la politique des transports impulsé par la LOM, ce projet a le potentiel de fédérer de nombreux acteurs et de mettre la France en tête des solutions climatiques pour la mise en œuvre de l'Accord de Paris.

Introduction

Le projet « Route 5^e Génération » ou R5G^{MD}, déclinaison française du projet « Forever Open Road » (Lamb, 2012), vise à concevoir des infrastructures routières adaptées aux enjeux du 21^e siècle. Le projet a été découpé en trois phases (Jacquot-Guimbal & Hautière, 2012). La première phase (2010-2015) a été dédiée à l'identification des technologies-clés et à l'élaboration des projets de recherche associés, aboutissant à la publication d'une feuille de route validée par le Ministère chargé de l'environnement et chargé des transports à l'occasion de la COP 21 (Ifsttar, 2014). La deuxième phase (2015-2020) a été consacrée à la réalisation de démonstrateurs de ces technologies-clés. La troisième phase, qui démarre en 2020, vise au déploiement massif des meilleures solutions issues de ces démonstrateurs.

Ce déploiement massif nécessite, soit des financements publics qui, même s'ils sont conséquents, ne permettront de déployer les solutions que de façon incrémentale sur les territoires, soit de concevoir et mettre en œuvre des modèles économiques plus innovants – c'est l'objet de cette note – qui, considérant une R5G adossée à de *nouvelles fonctions écologiques et climatiques*, seront susceptibles d'en accélérer drastiquement le déploiement.

1. Proposition

A. Vision

Par une action sur *l'infrastructure* au sens large, on peut à la fois améliorer la *mobilité* urbaine et interurbaine, améliorer les *écosystèmes naturels* en qualité et en quantité et lutter contre le bouleversement climatique. Cette vision est alignée avec la proposition portée récemment au T20 (groupe d'engagement des *thinks tanks* pour le G20) par Buchoud *et al.* (2020).

La contribution systémique aux enjeux sociétaux de cette R5G élargie, incluant les dépendances vertes et bleues, est illustrée sur la figure 1.

La conception des routes devrait ainsi progressivement passer du modèle Véhicule-Infrastructure-Conducteur (VIC) au modèle Véhicule-Infrastructure-Information-Énergie (VI₂E). La route électrique, la route coopérative, la route à énergie positive et la route évolutive forment quatre technologies-clés qui accompagnent le développement des nouvelles offres de mobilité connectée, électrique, partagée et autonome. Grâce à ces technologies transformatives, l'infrastructure routière va pouvoir proposer de nouveaux services, y compris à son environnement proche. La route (infrastructure et véhicule) devient automatisée (RA) et énergétiquement intégrée (REI). Les dépendances vertes et bleues peuvent bénéficier de l'énergie renouvelable produite et des capteurs de l'infrastructure (RA) pour former un corridor à la fois écologique (CE) et climatique (RÂ, en référence à la divinité égyptienne du soleil ou aux Routes de l'Anthropocène, comme l'on voudra), pour capturer du CO₂ et pour donner à la faune et à la flore des capacités de déplacement à utiliser selon les évolutions du climat.

B. Concept

L'idée-force consiste à transformer, en les *dimensionnant* de façon optimale, les dépendances vertes et bleues des infrastructures de transport – notamment autoroutières et ferroviaires – en *corridors écologiques et climatiques* où l'on met en œuvre de bouquets de solutions de géo-ingénierie (ANR, 2014).

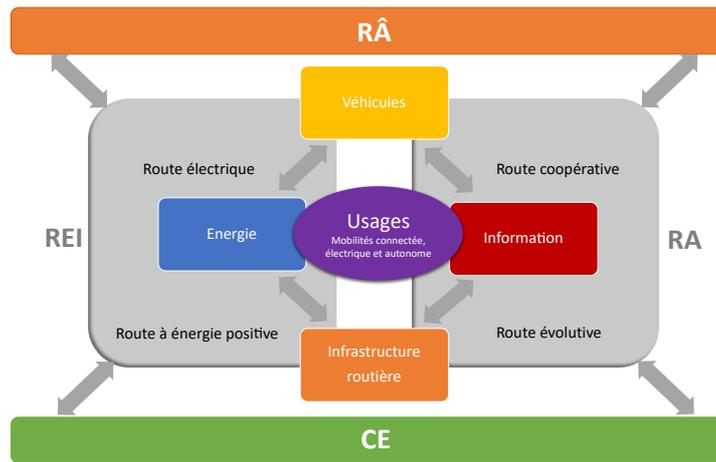


Figure 1. Impact schématisé de la R5G sur l'environnement.

Un tel corridor :

- Constitue un vecteur de biodiversité tout en permettant à la faune et à la flore de voyager pour s'adapter au changement climatique en empruntant des itinéraires de migration *sans coupure*, du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, voir par exemple (Bertrand, 2016).
- Séquestre massivement du CO₂ atmosphérique, par exemple par reforestation ou par augmentation du carbone organique des sols (Batjes, 1998)
- Accueille des unités de production de carburants alternatifs à partir de l'énergie renouvelable qu'il capte (par exemple de l'hydrogène par électrolyse solaire) ou du CO₂ capturé (Graves, 2011)
- Développe une sylviculture et une agriculture qui permet de stocker davantage de CO₂
- Dépollue les cours d'eaux qui traversent ces infrastructures en développant des micro-usines de traitement, par exemple de filtration des particules de freins ou de pneumatiques, mais aussi de micro-plastiques (Wu, 2017) ou de produits pharmaceutiques (Mansour, 2018)
- Produit les bio-ressources pour entretenir les réseaux routiers, comme des micro-algues, dont les résidus peuvent servir à fabriquer des bio-bitumes alternatifs aux bitumes fossiles (Audo, 2015)

Il s'agit de développer des synergies opérationnelles entre les fonctions écologiques du corridor et les fonctions techniques de la R5G pour réduire les coûts tout en constituant un ensemble cohérent et lisible. L'infrastructure R5G télécom et les capteurs du système d'exploitation routier ou ferroviaire, servent au monitoring environnemental du corridor : par exemple, les caméras qui équipent les réseaux analysent l'état de la faune et de la flore et commandent des interventions humaines qui le nécessitent (Graham, 2010) en même temps qu'elles mesurent le trafic et le brouillard (Hautière, 2013). L'énergie électrique et le « smart grid » de recharge des véhicules électriques (recharge ponctuelle en station ou recharge en continu), de même que les équipements de production d'énergie décentralisées (route solaire), alimentent les véhicules et les équipements du corridor (Hautière, 2019), y compris les micro-unités de traitement des eaux et de séquestration de CO₂.

Ce corridor est muni de règles spécifiques de gouvernance (à déterminer entre naturalistes, exploitants de réseaux de transport et gestionnaires du domaine public) qui soient suffisamment attractives pour accroître le périmètre du corridor par adhésion progressive des propriétaires des terres concernées.

Il constitue aussi un véritable laboratoire à ciel ouvert en partenariat avec des équipes de chercheurs qui testent des solutions et comparent, dans des analyses de cycle de vie, les différentes stratégies mises en œuvre sur le corridor.

C. Contrat global de performance

L'objectif serait de construire un ambitieux contrat global de performance avec les sociétés concessionnaires autoroutières (Cour des Comptes, 2019).

Le corridor serait dimensionné pour compenser l'ensemble des émissions CO₂, entre autres, du transport recensées à une date donnée. Les concessionnaires et cofinanceurs du corridor seraient financièrement encouragés à réduire les émissions liées au transport par la construction d'une offre industrielle (carburants, matériaux) pauvre en carbone.

En contrepartie des nouveaux contrats de concession, les exploitants pourraient se voir confier l'adaptation des réseaux urbains et mettre en œuvre des solutions d'adaptation des autoroutes urbaines, comme celles

proposées dans le cadre de la consultation internationale sur le devenir des autoroutes du Grand Paris (Pavillon de l' Arsenal, 2019), susceptibles notamment d'impacter de façon positive la santé des habitants. Par la même, il s'agirait de créer un mécanisme solidaire entre ville et campagne permettant de boucler entre transformation des réseaux autoroutiers urbains, à même de se transformer en *boulevards urbains à haute qualité de vie*, et interurbains, à même de se transformer en *corridors écologiques et climatiques*.

D. Exemples

Illustrons la proposition avec trois exemples.

Les émissions de CO₂ du secteur des transports en France étaient de 160 Mt en 2018. La solution technologique envisagée par une start-up¹ permettra (imaginons) de capturer 100 kt de CO₂ par an pour un OPEX et CAPEX annuel donné, y compris foncier et charges d'entretien du corridor écologique, et occupe une surface de moins d'un hectare. Il « suffit » donc en théorie d'installer un bon millier de telles installations le long des infrastructures existantes pour compenser les émissions du transport, soit une installation toute les 10 kilomètres (pour un réseau de 16 000 km). L'équilibre économique est atteint par la commercialisation directement *sur la route* de la source d'énergie produite par la micro-usine (CO₂ to e⁻ dans cet exemple), complétée par l'allocation de crédits-carbone financés par un pourcentage modéré des nouvelles recettes de péages autoroutiers perçues après l'échéance des actuels contrats de concession (Dallard, 2017).

Les insectes pollinisateurs contribuaient en 2010 à hauteur de « 8,6 % de la valeur marchande de la production agricole destinée à l'alimentation humaine en France » (CGDD, 2016), soit environ 3 Mrd € annuel. Or, comme de nombreux insectes, ceux-ci sont victimes de différentes pressions liées à l'intensification des pratiques agricoles et au développement des réseaux de transport. Les conséquences sur les populations d'abeilles sauvages d'Europe sont telles qu'aujourd'hui plusieurs espèces sont menacées d'extinction. Les infrastructures routières ont leur part dans les pressions qui touchent les populations d'abeilles sauvages. Mais dans des contextes environnementaux dégradés, les dépendances vertes routières (DVR) peuvent apporter des remèdes à certains maux qui affectent ces insectes. En effet, les DVR constituent par endroits les derniers sites d'accueil de la flore naturelle et des insectes associés (François, 2019). Par conséquent, en développant des corridors écologiques le long des axes de transport qui soient adaptés à différentes espèces de faune et de flore, on développe des vecteurs de biodiversité et par la même on propose des solutions à même de doper la compétitivité des pratiques agro-écologiques, secteur lui-même en pleine mutation vers l'AgTech.

La diminution des brouillards en Europe, notamment dus à la pollution, au cours des 40 dernières années contribue à expliquer un réchauffement climatique plus fort que la moyenne de la planète. En Europe de l'Est, jusqu'à 50 % du réchauffement climatique observé au cours des dernières décennies, peut être expliqué de cette manière (Vautard, 2009). Ce constat a fait émerger des propositions ambitieuses (voire dangereuses) de géo-ingénierie, comme pulvériser des tonnes de soufre dans l'atmosphère afin de recréer des noyaux de condensation et de donner naissance à des épisodes artificiels de brouillard (Crutzen, 2006). Pour autant, Météo France n'est pas en mesure de prévoir finement les épisodes de brouillard sur le territoire national. En développant des couloirs écologiques et climatiques instrumentés le long des infrastructures de transport, on participe à la mise au point à de nouvelles boucles mieux résolues d'observation-prédiction du brouillard, par exemple en détournant les images des caméras dédiées à gestion du trafic pour l'observation météorologique (Hautière, 2013). Par la suite, en inversant ces modèles, on pourrait chercher à influencer sur les conditions limites (au sol) d'apparition du brouillard et possiblement aménager le corridor en conséquence, en participant par la même à la résolution des enjeux de sécurité routière associés (100 morts par an) et de circulation des véhicules autonomes par conditions météo dégradées (Tarel, 2012). L'agriculture, notamment fruitière, peut également exploiter le brouillard pour une forme d'irrigation innovante, solution exploitée de longue date dans les vallées Californiennes pour la culture fruitière (Luedeling, 2009).

2. Impact

- Création de milieux pour la biodiversité
- Réduction des émissions CO₂ fossile
- Limitation du recours à l'impôt pour financer des dépenses d'intérêt public
- Amélioration de la qualité des eaux intérieures et des sols
- Création d'emplois
- Dopage de la compétitivité de l'agriculture par des solutions « écotecnologiques »
- Enjeux de la R5G : mobilité, qualité de l'air, congestion, transition énergétique, économie circulaire

¹ Par exemple le canadien Carbon Engineering

- Solidarité territoriale

3. Mise en œuvre

A. Phasage

- Mi-2019 à mi-2020 : préparation d'une feuille de route stratégique avec l'ensemble des parties prenantes
- Mi-2020 à fin 2020 : publication d'un agenda de RDI
- A partir de 2020 : montage des premiers projets partenariaux via Ademe, Horizon Europe, ANR

B. Partenariat au sein du MTES

Outre les partenaires habituels de l'IFSTTAR (dès 2020 l'Université Gustave Eiffel) issus du monde de la mobilité (essentiellement des acteurs des infrastructures et des véhicules) et de l'énergie, le projet RÂ peut associer d'autres établissements du Réseau Scientifique et Technique du MTES. IFPEN a par exemple signé un contrat-cadre de recherche avec le groupe TOTAL sur la séquestration du CO₂. Le BRGM développe des solutions de séquestration du CO₂. L'INRA et l'IRSTEA sont incontournables sur les enjeux d'agriculture, l'AFB et le MNHN sur la biodiversité. L'IGN développe des activités d'inventaire forestier. Météo France a pour mission le suivi climatique.

C. Partenariat avec l'industrie et les SCA

Le gisement d'innovation dans le secteur apparaissant immense, les groupes industriels du secteur des transports, du génie civil et de l'énergie, mais aussi de l'agriculture, seront mobilisés pour constituer un portefeuille de solutions démontrables à court, moyen et long termes. En parallèle, un partenariat d'innovation pourrait être établi avec les SCA pour dimensionner au mieux le contrat de performance au cœur du dispositif.

D. Territoires expérimentaux

Il semble important de conserver une partie de réseau non concédé pour challenger et stimuler par l'exemple les concessionnaires autoroutiers, en expérimentant sur fonds public le corridor écologique et climatique RÂ. A l'occasion des 50 ans du plan routier breton, expérimenter RÂ sur le territoire de la DIR Ouest pourrait être une idée à creuser. En parallèle, la transformation des réseaux transfrontaliers opérés par des sociétés concessionnaires autoroutiers serait amorcée, afin de bénéficier des fonds européens (type MIE) qu'il conviendrait d'orienter sur ces sujets.

Références

- ANR (2014), « Atelier de Réflexion Prospective REAGIR. Réflexion systémique sur les enjeux et méthodes de la géo-ingénierie de l'environnement ». Document de synthèse
- AUDO M., PARASCHIV M., QUEFELLE C., LOUVET, I., HEMEZ J., FAYON F., LEPINE O., LEGRAND J., TAZEROUT M., BATJES NH. "Mitigation of atmospheric CO₂ concentrations by increased carbon sequestration in the soil". *Biology and fertility of soils*, 27:230-235, 1998
- BERTRAND R. et al. (2016), "Ecological constraints increase the climatic debt in forests", *Nature Communications*, vol. 7 (12643)
- BUCHOUD, N., BARTLETT, R., BENITA KERR, L., CROCI, E., DATTA REY, P., HAUTIERE, N., HIJDRA, A., KIRPOTIN, S., KOLESNIKOVA, T., SILVA, M., WUENNENBERG, LB., (2020). "Shaping the new frontiers of sustainable – urban – infrastructure: reviewing the long-term value of infrastructure investments and enabling system change", T20 Policy Brief, T20 2020 Saudi Arabia
- CGDD, « Le service de pollinisation », 2016
- CHAILLEUX E., BUJOLI B. "Subcritical Hydrothermal Liquefaction of Microalgae Residues as a Green Route to Alternative Road Binders." *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, volume 3, issue 4, p. 583–590, 2015.
- COUR DES COMPTES (2019), « Le plan de relance autoroutier », Référé n° S2018-4023
- CRUTZEN PJ (2006). "Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma?" *Climate change*, 77:211
- DALLARD T. (2017), « Quel avenir pour les infrastructures routières ? », PCM, n°884
- IFSTTAR (2014), « La Route 5^e Génération : Feuille de route pour une route à énergie positive », Rapport de recherche
- FRANÇOIS D., LE FEON V., « Abeilles sauvages et dépendances vertes », Collections de l'IFSTTAR, 2017
- JACQUOT-GUIMBAL H. & HAUTIERE N. (2012), « Recherche et perspective : Les routes de cinquième génération », *Administration*, n°234, pp. 84-89.
- GRAHAM E., RIORDAN E., YUEN E., ESTRIN D., RUNDEL P. (2010), "Public Internet-connected cameras used as a cross-continental ground-based plant phenology monitoring system", *Global Change Biology*, n°16, pp. 3014-3023

- GRAVES C., EBBESEN S., MOGENSEN M., LACKNER K., "Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO₂ and H₂O with renewable or nuclear energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:1, pages 1-23, 2011
- HAUTIERE N., BABARI R., DUMONT E., PARENT DU CHATELET J., PAPANODITIS N. (2013), "Measurements and Observations of Meteorological Visibility at ITS Stations", *Climate Change and Regional/Local Responses*, Yuanzhi Zhang and Pallav Ray, IntechOpen, DOI: 10.5772/55697
- HAUTIERE N. (2019), « De la route électrique à la route énergétiquement intégrée », *Revue générale des Routes et de l'Aménagement*, n°962, avril, pp. 38-42.
- LAMB M., COLLIS R., DEIX S., KRIEGER B. & HAUTIERE N. (2012). "The Forever Open Road: Defining the next generation road", *Routes-Roads*, n°352/353, pp. 120-129.
- LUEDLING E., ZHANG M., GIRVETZ EH. (2009) "Climatic Changes Lead to Declining Winter Chill for Fruit and Nut Trees in California during 1950–2009", *PloS one*
- MANSOUR F., AL-HINDO M., YAHFOUFI R. et al. "The use of activated carbon for the removal of pharmaceuticals from aqueous solutions: a review", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 17: 109, 2018.
- PAVILLON DE L'ARSENAL, « Les routes du futur du Grand Paris », 2019
- TAREL JP., HAUTIERE N., CARAFFA L., CORD A., HALMAOUI H., GRUYER D. (2012). "Vision Enhancement in Homogeneous and Heterogeneous Fog", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 4:2, pages 6-20
- VAUTARD R., YIOU P., VAN OLDENBORGH GJ (2009). "Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years". *Nature Geoscience*, vol. 2, pages 115–119, 2009
- WU WM., YANG J., CRIDDLE C.S. "Microplastics pollution and reduction strategies", *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 11: 6, 2017. j

PIA 4 - Stratégie d'innovation « Digitalisation et décarbonation des mobilités »

Propositions de projets

Université Gustave Eiffel – Département MAST – LAMES

1) Site d'essai instrumenté pour l'étude de l'impact des véhicules lourds sur les chaussées

Le projet vise à réaliser une plateforme instrumentée, permettant de caractériser plus finement l'impact des poids lourds sur le comportement mécanique des chaussées. Les applications possibles vont de la caractérisation de l'agressivité de différents types de véhicules à l'optimisation du dimensionnement des couches de surface et des structures des chaussées. Ces applications s'envisagent notamment pour le dimensionnement des chaussées urbaines, des plateformes industrielles (multimodales, portuaires ou aéroportuaires) et l'optimisation à certains contextes (carrefour, zones d'accélération et de freinage virage, ...).

Objectif : un tel site instrumenté permettrait d'étudier et de mieux modéliser l'impact des véhicules lourds sur les chaussées, afin de faire progresser les méthodes de dimensionnement de ces infrastructures. En effet, aujourd'hui, les méthodes de dimensionnement de chaussées, qu'elles soient routières ou industrielles, prennent en compte les charges de manière très simplifiée : les charges sont considérées comme statiques et verticales. Ces hypothèses prennent donc mal en compte :

- Les efforts horizontaux notamment pour des zones spécifiques (accélérations, freinages, virages, giratoire) ;
- Les variations dynamiques des charges liées à l'uni longitudinal et transversal et au profil de la route ;
- La distribution de pressions réelles des pneumatiques et leur impact notamment en champ proche.

Ces limites actuelles ne permettent pas de dimensionner correctement les couches de surface, ou des chaussées soumises à des charges particulières (plates formes industrielles, giratoires, voies de transport en commun, ...).

Les coefficients d'agressivité des véhicules sont estimés de façon très simplifiés en considérant les ensemble d'essieu. Ceci constitue une autre limite des méthodes actuelles. Ainsi, l'agressivité de poids lourds d'un même type (T2S3) peut varier suivant ses caractéristiques propres (types d'essieux, pneumatiques, suspensions, essieux auto-vireurs, ...).

L'objectif serait donc de réaliser une plate-forme instrumentée, dédiée à la mesure des sollicitations réelles de différents poids lourds (ou autres engins lourds) sur les chaussées. Il s'agirait uniquement de mesurer précisément les sollicitations produites par les véhicules à l'aide d'une instrumentation performante, sous un nombre limité de passage. Ce site serait complémentaire des accélérateurs de trafic, comme le manège de fatigue de l'Université Gustave Eiffel, nécessaires à l'étude de la durabilité des structures. Ces mesures issues du site constitueront une base de données dont l'exploitation permettra d'une part, d'améliorer les méthodes de calcul et de dimensionnement des chaussées, d'autre part d'optimiser les configurations de véhicules ou (flottes de véhicules) pour en réduire l'agressivité.

Suivant les dimensions de la plateforme, plusieurs structures seront construites (bitumineuse, en matériaux traités aux liants hydrauliques, béton, ...). Plusieurs zones instrumentées seront également

nécessaires pour étudier les configurations de circulation (en ligne droite, en courbe). La plateforme pourra également servir à tester de nouvelles instrumentations. Le campus nantais de L'Université Gustave Eiffel situé à Bouguenais, dispose de l'espace nécessaire pour accueillir une telle plateforme et des laboratoires de recherche nécessaires à son exploitation et à sa valorisation.

Enjeux :

- Optimisation du dimensionnement des chaussées routières, et en particulier des couches de roulement : économie de ressources et d'énergie, développement de matériaux plus durables.
- Amélioration du dimensionnement et de la durabilité des chaussées spéciales, notamment celles soumises à des charges lourdes (plates- formes multimodales, portuaires, ...);
- Prise en compte dans le dimensionnement de conditions de circulations particulières (giratoires, zones d'accélération et de freinage, virage, ...).
- Amélioration de la conception des véhicules lourds, afin de réduire leur agressivité sur les chaussées : conception de nouveaux véhicules, mais aussi optimisation de l'impact de véhicules automatisés, ou circulant en peloton (espacement des véhicules, balayage transversal, etc..).

Partenaires potentiellement intéressés :

- Maitres d'ouvrages et pouvoirs publics : amélioration de la durabilité des infrastructures et optimisation de leur dimensionnement.
- Entreprises routières : développement de nouveaux matériaux et de nouvelles structures mieux adaptés aux différentes sollicitations
- Constructeurs de poids lourds et transporteurs routiers : réduction de l'agressivité des poids lourds.

2) Développement de solutions pour l'instrumentation et le monitoring des chaussées

Objectif : Développer des solutions opérationnelles pour l'instrumentation des chaussées, pour le suivi en continu de leur comportement sous trafic réel, pour différents cas d'usage (suivi du trafic, du comportement structurel, de chaussées innovantes, etc....).

L'instrumentation des chaussées peut répondre à de nombreux besoins : Validation de concepts de chaussées innovantes (démonstrateurs), amélioration des méthodes de dimensionnement, optimisation de la maintenance, grâce à un suivi continu sous trafic réel. Aujourd'hui, le dimensionnement des chaussées est effectué avec des hypothèses très simplifiées (caractéristiques des matériaux constantes dans le temps, températures constantes ...) et pour un trafic dont l'agressivité réelle est mal connue. A travers des suivis de comportement de chaussées réelles en continu, sous trafic réel, il est possible de beaucoup mieux comprendre les sollicitations réelles subies par la chaussée, d'améliorer les méthodes de dimensionnement, et aussi de surveiller en temps réel l'état structurel des chaussées, pour optimiser leur entretien.

Depuis une dizaine d'année, des progrès importants ont été réalisés dans le domaine de l'instrumentation des chaussées (développement de capteurs, réalisation de démonstrateurs de chaussées instrumentées), notamment à l'université Gustave Eiffel. L'objectif, aujourd'hui, serait de capitaliser cette expérience, et de proposer et tester des solutions réellement opérationnelles. Pour cela, on propose

- d'identifier, avec des partenaires (maitres d'ouvrages, entreprises...), plusieurs cas d'usage où l'instrumentation semble pertinente : instrumentation répartie sur un réseau ou localisée; suivi du trafic, du comportement structurel, des paramètres environnementaux, chaussées routières, aéronautiques, ferroviaires, ... Les possibilités sont nombreuses

- Proposer des solutions opérationnelles dédiées à chaque cas d'usage : capteurs, acquisition de données, transmission des données à distance, création de base de données, partage, outils d'exploitation des mesures.
- Tester ces solutions sur des démonstrateurs.
- Analyser les résultats obtenus, et proposer des nouvelles méthodes de traitement des données : calcul d'indicateurs pertinents, utilisation de méthodes de traitement de données massives (intelligence artificielle).
- Des applications de capteurs communiquant des informations aux véhicules peuvent aussi être envisagées.

Suivant la taille du projet, un nombre plus ou moins important de cas d'usage pourraient être sélectionnés.

Applications possibles de l'instrumentation

- Suivi de structures de chaussées innovantes (nouveaux matériaux, nouveaux procédés de construction, structures intégrant de nouvelles fonctionnalités telles que la récupération d'énergie ou l'alimentation par induction des véhicules électriques.
- Suivi en continu de l'état structurel de sections de chaussées ou de réseaux en vue d'optimiser leur maintenance.
- Amélioration des méthodes de dimensionnement, grâce à une meilleure compréhension du fonctionnement de chaussées réelles.
- Caractérisation des charges produites par le trafic, ou par des véhicules spécifiques (test de nouveaux véhicules).
- Développement et évaluation de capteurs innovants pour l'instrumentation des chaussées (capteurs bas coût, sans fil, communicant ...).

Ces applications peuvent être couplées avec des démonstrations menées dans le cadre du PIA4 pour tester des innovations en termes d'infrastructures ou de véhicules

Partenaires potentiellement intéressés

Cette thématique peut intéresser un nombre important de partenaires :

- Maitres d'ouvrage et pouvoirs publics (meilleure connaissance du comportement et de l'état de leur réseau, optimisation de sa gestion)
- Entreprises routières : évaluation d'innovation, développement de méthodes de monitoring.
- Fabricants de capteurs et de solutions d'instrumentation (pour les chaussées).
- Développeurs d'outils de gestion des réseaux routiers.

Stratégies d'accélération pour l'innovation

La stratégie d'accélération transports inclut tous les moyens de transports terrestres, dans une approche systémique intégrée avec leurs infrastructures, pour proposer une démarche cohérente favorisant l'intermodalité et la faisabilité du déploiement à large échelle.

Cette stratégie ambitionne de faire de la France un leader mondial des transports décarbonés et digitalisés, face à une concurrence internationale accrue qui met au défi nos champions nationaux. Elle vise à renforcer la compétitivité des filières industrielles et servicielles françaises dans le secteur des transports, sur le territoire national et à l'export, créatrices d'emplois et faisant face aux bouleversements induits par la décarbonation et la digitalisation.

La stratégie sera finalisée en avril 2021, et définira les priorités d'accélération de l'innovation dans la décarbonation et la digitalisation des mobilités.

Pour élaborer cette stratégie, des consultations des acteurs publics et privés seront menées.

Contribution Ouvrages d'Art – EMGCU

1. De la détection physique à la détection numérique

Pour accélérer l'innovation, on observe un besoin croissant de démonstrateurs et de plateformes de test, et leurs jumeaux numériques. Pour les ouvrages d'art, cela peut signifier l'utilisation de structures ou éléments de structures, de taille réduite, souvent en conditions semi-contrôlées, et des ouvrages « réels » du réseau permettant de tester capteurs et méthodes en conditions réelles sur des ouvrages vieillissants.

Objectifs :

- Développement de capteurs performants, si possible autonomes et sans fils,
- Développement de jumeaux numériques : modélisation numérique fiable, efficiente des matériaux, des structures et de leurs évolutions,
- Développement de méthodes d'extraction de caractéristiques permettant de caractériser la structure et/ou les phénomènes, en particulier avec des méthodes innovantes telles les ondelettes ou l'IA avec des données volumineuses,
- Prédiction de l'évolution de la structure.
- Evaluation des réparations

Enjeux :

- Suivi des infrastructures à l'aide de capteurs fiables et si possible bas coût (low cost),
- Comparaison/validation des indications entre mesures issues de CND (Contrôles Non Destructifs) et issues de capteurs noyés (Instrumentation) selon les pathologies → adéquation entre information de mesures et comportement de l'ouvrage
- A moyen terme des indicateurs de durabilité des infrastructures pourraient être proposés en regard des mesures temporelles réalisées, des technologies associées et des pathologies concernées. Ceci constituerait non seulement une avancée majeure dans le suivi de l'évolution des phénomènes mais également permettrait de proposer des systèmes d'alerte (early warning sensor) ou d'alarme.

- Conseil pour les gestionnaires à différents horizons en temps, en particulier avec une analyse coût-bénéfice (VoI : value of Information).

Partenaires potentiellement intéressés :

- Gestionnaires d'infrastructures : contacts en cours avec Vinci Autoroutes, DiRIF (Viaduc de Saint-Cloud), CEVM (Viaduc de Millau), Chambre de Commerce et D'Industrie Seine Estuaire (Pont de Normandie, pont du Grand Canal, pont de Tancarville,), ..., MOA dans le secteur de la production d'énergie.
- Sociétés de développement de capteurs : CERTIA, altaroad, Force technology, Sensortec, Ibac, ...
- Bureaux d'études : NECS, ...
- Sociétés d'instrumentation (CND et capteurs noyés) : Sixense, SITES, NECS, ...
-

2. De l'auscultation vers la prise de décision

Actuellement, diverses méthodes d'auscultations permettent de mesurer ou évaluer divers indicateurs. Certains travaux ont permis de lier ces indicateurs et des informations en termes de durabilité. Néanmoins, le consensus européen n'est pas atteint sur ces indicateurs, et les incertitudes associées sont grandes.

Objectifs :

- Lien entre auscultations et prise de décision,
- Développement de méthodes d'auscultation et d'imagerie innovantes, telles les capteurs bas coût générant des données volumineuses (fibre optique, arduino/raspberry Pi) et l'imagerie (drones),
- Traitement de données de mesures et/ou auscultation acquises en continu, et l'alimentation de base de données correspondantes permettant leur exploitation rapide.

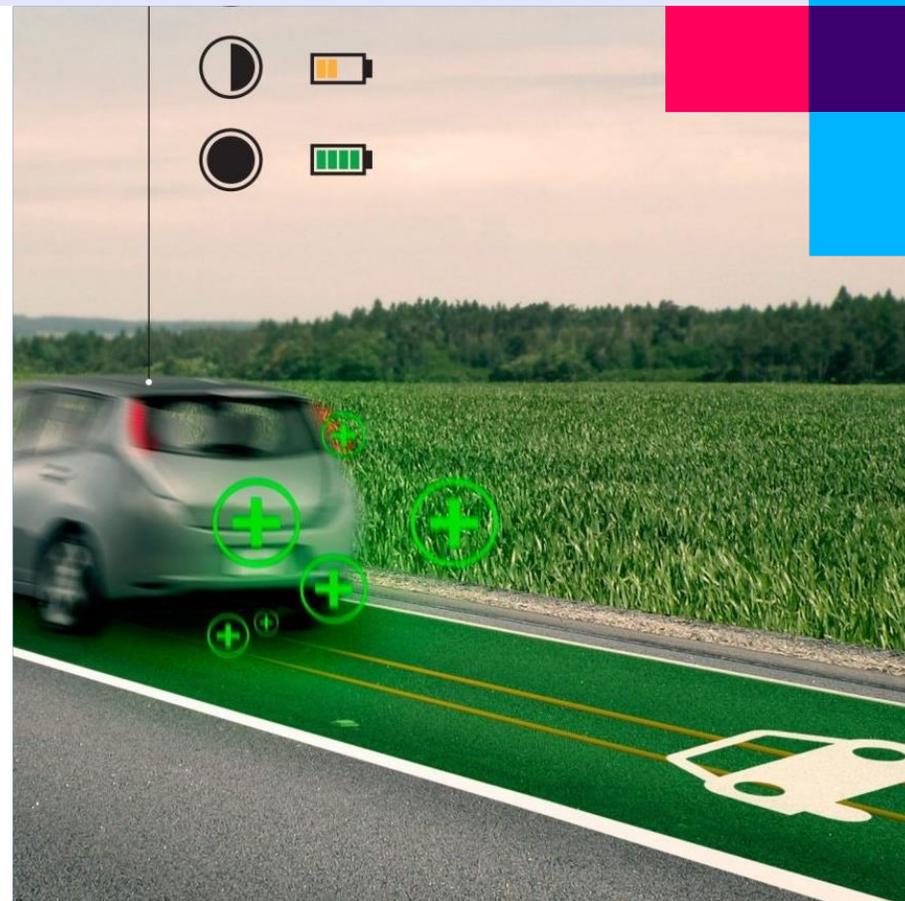
Enjeux :

- Utilisation rapide et efficace de données d'instrumentation,
- Mise en place d'un « Pont connecté » permettant de produire alertes et prises de décision correspondantes.

Partenaires potentiellement intéressés :

- Gestionnaires d'infrastructures : contacts en cours avec Vinci Autoroutes, DiRIF (Viaduc de Saint-Cloud), CEVM (Viaduc de Millau), Chambre de Commerce et D'Industrie Seine Estuaire (Pont de Normandie, pont du Grand Canal, pont de Tancarville), ..., MOA dans le secteur de la production d'énergie.
- Sociétés de développement de capteurs : CERTIA, altaroad, ..., Force technology, Sensortec, Ibac,
- Partenaires industriels et académiques dans le domaine du big data et l'IA, avec en particulier toutes les petites entreprises –voire start up- cherchant et trouvant des débouchés économiques pour les données produites.

L'AUTOROUTE ÉLECTRIQUE



L'AUTOROUTE ÉLECTRIQUE: 3 APPROCHES TECHNOLOGIQUES

3 TECHNOLOGIES COMPARÉES

CHARGE CONDUCTIVE PAR CATENAIRES



AVANTAGES

- › **Hautes puissances de charge**, ratios de transfert élevés
- › Compatible avec plusieurs solutions de pantographes
- › Expérience sur LGV et tramway, **standards existants**

INCONVÉNIENTS

- › **Non interopérable**
- › Impact de la hauteur des câbles sur les infrastructures existantes
- › **Maintenance régulière des câbles**
- › **Pollution visuelle**
- › Risques de chute de câbles

CHARGE CONDUCTIVE PAR RAIL



- › Performances : **hautes puissances de charge**, ratios de transfert élevés
- › Interopérabilité entre véhicules
- › **Pas de pollution visuelle**

- › **Risques de dommages pour le bras articulé**
- › Besoin d'une bobine chauffante pour dégivrage en hiver
- › Nettoyage des rails
- › **Technologie encore prototype**

CHARGE INDUCTIVE



- › **Interopérabilité** entre véhicules
- › Sécurité électrique
- › Faible coût de maintenance
- › **Pas de pollution visuelle**

- › **Sensibilité à la distance entre les bobines et leur alignement**
- › Exposition aux champs magnétiques
- › Dissipation thermique
- › **Pas de standard existant**

=> Technologie inductive retenue comme la solution technique la plus pertinente et au cout complet le moins élevé sur la durée d'exploitation

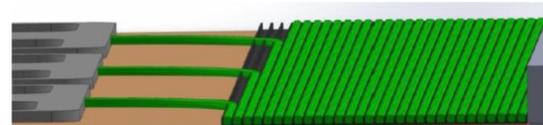
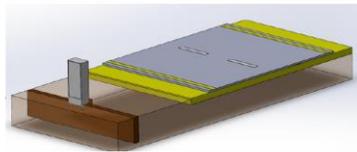
EXEMPLES D' ACTIONS EN COURS

EXPÉRIMENTATIONS EN EUROPE

- > Suède
- > Allemagne
- > France



+ CHALLENGES DE RACCORDEMENTS ÉLECTRIQUES



+ CHALLENGES D'INTÉGRATION DANS LA CHAUSSÉE



CONTRIBUTIONS AUX GROUPES DE TRAVAIL SUR ELECTRIC ROAD SYSTEMS



WORLD ROAD ASSOCIATION



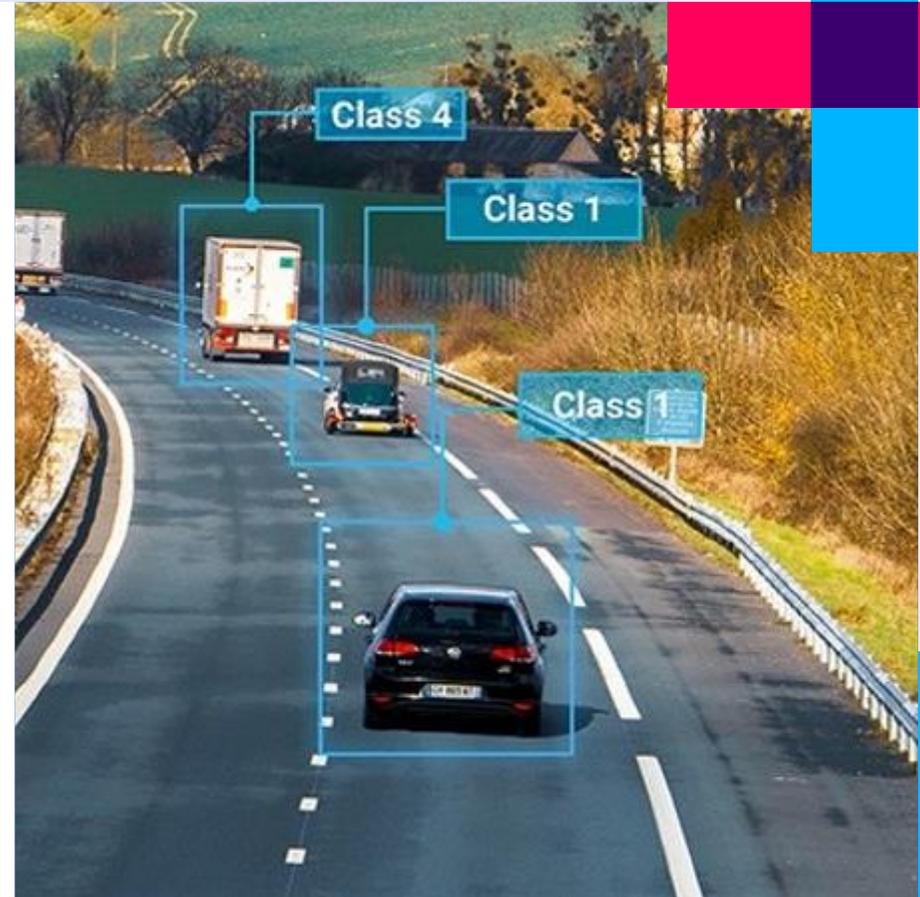
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère
de l'Environnement,
de l'Énergie
et de la Mer

=> Au delà des expérimentations en cours, besoin de soutien de la puissance publique pour accompagner le déploiement des premières sections de charge sur autoroutes

MOBILITÉ CONNECTÉE & AUTONOME



COMPÉTENCES COMPLÉMENTAIRES DU GROUPE VINCI AU SERVICE DES BESOINS DU VÉHICULE CONNECTÉ & AUTONOME



VINCI AUTOROUTES

Expérimente depuis 2017 en partenariat avec des constructeurs automobiles les apports de l'infrastructure aux véhicules autonomes sur autoroute



EUROVIA

Expertise de la conception, la construction et l'entretien d'infrastructures de transport, et des équipements de la route (signalisation verticale, marquage routier...)



VINCI ENERGIES

Expertise en infrastructures de télécommunication et solutions logicielles de gestion de trafic

OBJECTIF: DÉPLOIEMENT D'UNE MOBILITÉ AUTONOME DE MASSE ET SURE GRÂCE AU SUPPORT DE L'INFRASTRUCTURE

CONTRIBUTIONS DE L'INFRASTRUCTURE AU VÉHICULE CONNECTÉ ET AUTONOME

SIGNALISATION VERTICALE / SIGNALISATION HORIZONTALE

CONNECTIVITÉ (C-ITS)

CONNECTIVITÉ + PERCEPTION BORD DE ROUTE

CONNECTIVITÉ + PERCEPTION BORD DE ROUTE + HYPERVISION

Services

Support des équipements et de la cartographie de la route à:

- Localisation
- Navigation
- Guidage

Services C-ITS Day 1 :

- Alertes événements inopinés
- Zones de travaux
 - Véhicule d'urgence
 - Véhicule lent
 - Véhicule arrêté/en panne
 - Contresens
 - Conditions météo difficiles
 - Personnes/objets sur les voies
 - Temps et phases de feu

Services C-ITS Day 2/3 :

- Négociation d'insertion/fusion de voies
- Alerte risque de collision
- Sélection de voie au péage

- Hypervision / téléopération

NIVEAU D'ASSISTANCE CROISSANT DE
L'INFRASTRUCTURE

Equipements

- Marquages intelligents
- Signalisation connectée



- Unités de Bord de Route ITS courte portée



- Perception de bord de route



- Perception de bord de route redondée (multi-physiques)



- Connectivité redondée



Actions à soutenir

Besoin d'une signalisation qualifiée, géolocalisée, mise à jour

Besoin d'un programme de déploiement national des infrastructures connectées

L'apport de la **perception de bord de route** devra être évalué

Développer l' « **Autonomie Coopérative** » au service d'une mobilité autonome collective haut débit sur tronçons dédiés

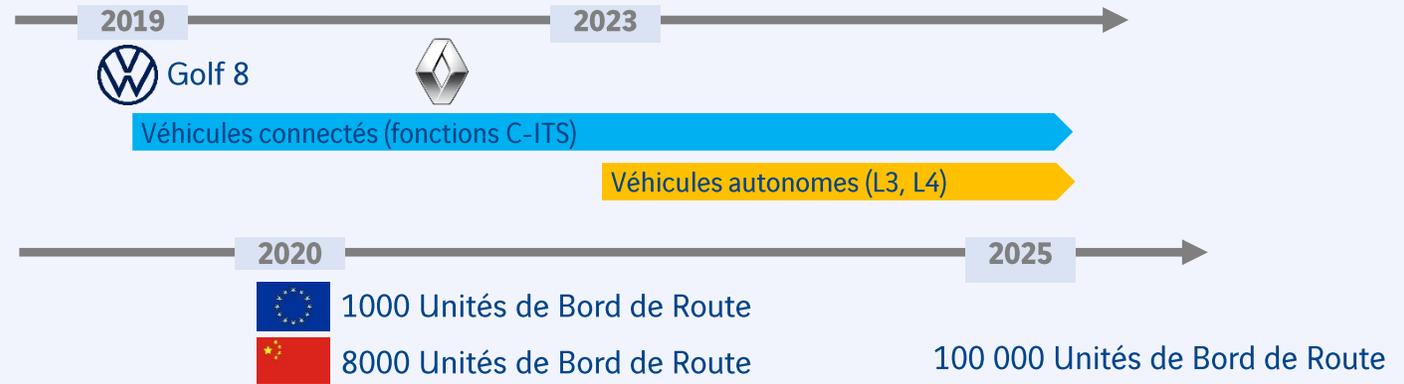
FOCUS SUR LA CONNECTIVITÉ

Contexte


Véhicules connectés et autonomes


Déploiement des infrastructures connectées

Projets Mobilités – Fév. 2019



L'INFRASTRUCTURE-TO-VEHICLE EN ATTENDANT LE VEHICULE-TO-VEHICLE

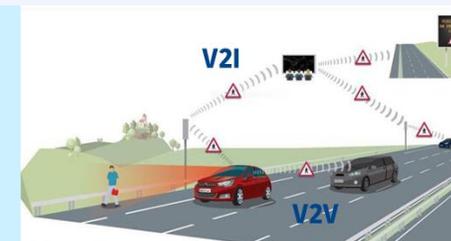
- Envoi d'informations sur les conditions de circulation via une connectivité *Infrastructure-To-Vehicle* (I2V) ou *Vehicle-To-Vehicle* (V2V)
- Permettra aux véhicules d'améliorer leur capacité à anticiper certaines situations à risque

Services pour véhicules connectés et autonomes

- Services Day 1 :** événements inopinés et dangereux (zones de travaux, véhicule d'urgence, véhicule lent, véhicule arrêté, contresens, conditions météo difficiles, personnes/objets sur les voies, phases et temps de feu tricolores...)
- Services Day 2/3 :** négociation d'insertion/fusion de voies, alerte risque de collision, sélection de voie au péage...

- Approche V2V nécessite par une masse critique dans le nombre de véhicules équipés
- Connectivité I2V immédiatement accessible à tout véhicule connecté roulant sur un réseau équipé, produisant immédiatement des bénéfices en matière de sécurité

Modes de transmission



V2V: bénéfices limités par le taux de monte des véhicules

V2I: bénéfices immédiats sur infrastructures équipées

PIA4 MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

Les grands enjeux



17 février 2021

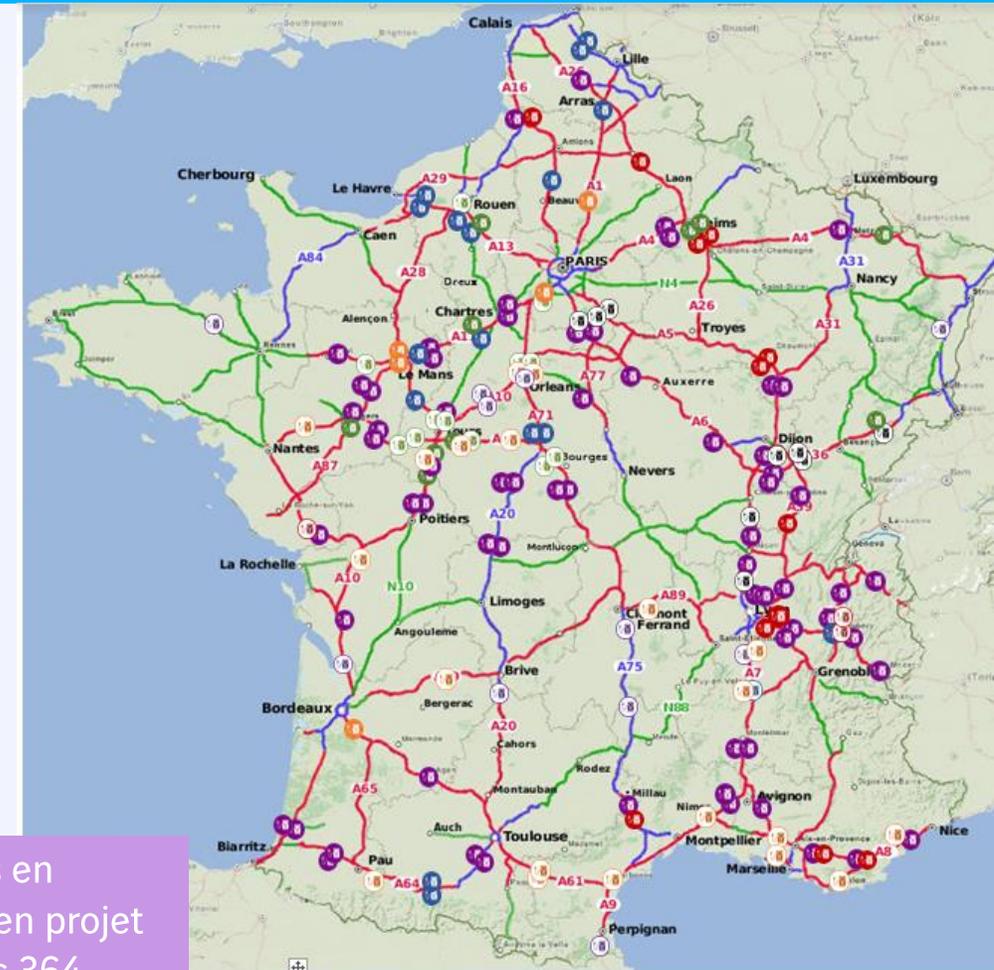
Les défis des infrastructures sur Autoroutes

Le réseau maillé de recharge rapide et ultra rapide national peine à se développer :

- Trafics faibles, fortes pointes et long retour sur investissement
- Les coûts des stations de super chargeurs sont élevés
- Les coûts de raccordement au réseau peuvent être très élevés (> 1 M€)

Malgré la réfaction sur les raccordements, le modèle économique est incertain sur de nombreux sites

- Les opérateurs se concentrent sur les sites les plus rentables
- Le modèle ne peut s'appuyer uniquement sur le prix de la recharge sans décourager les utilisateurs
 - Aides supplémentaires au raccordement ?
 - Subventions CAPEX station ?
 - Grand plan de viabilisation énergétique des aires ?

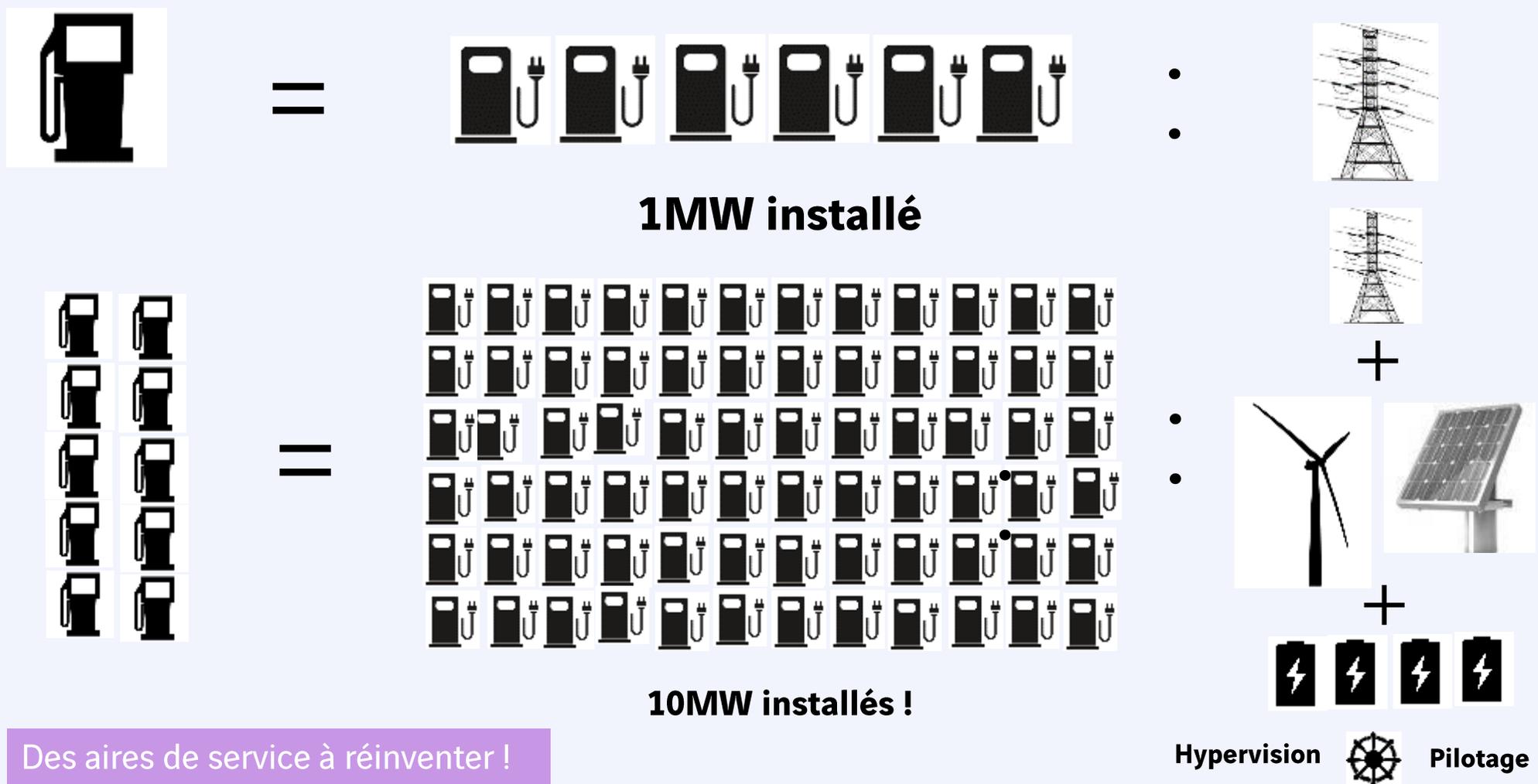


500 bornes en service ou en projet sur 130 des 364 aires de service

Opérateurs	En Service	A venir
IONITY		
IZIVIA		
TESLA		
TOTAL		
FASTNED		
AUTRES		

Projection à 2030

Selon RTE, le système électrique actuel peut absorber le besoin énergétique avec des renforts locaux ponctuels de réseaux pour répondre aux appels de puissance



Des aires de service à réinventer !

Exemple de Projection à 2030

Type de station	Scénario – A <i>(4,8 M de VE en 2030)</i>		Scénario – B <i>(6 M de VE en 2030)</i>		Répartition possible sur un réseau
	Puissance	Nombre de bornes	Puissance	Nombre de bornes	
▪ Petite	▪ 2 MW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 x 50 kW ▪ 10 x 150 kW ▪ 4 x 350 kW 	▪ 2,5 MW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 x 50 kW ▪ 12 x 150 kW ▪ 4 x 350 kW 	▪ 31%
▪ Moyenne	▪ 3,5 MW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 x 50 kW ▪ 16 x 150 kW ▪ 6 x 350 kW 	▪ 4 MW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 x 50 kW ▪ 20 x 150 kW ▪ 8 x 350 kW 	▪ 58%
▪ Grande	▪ 5 MW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5 x 50 kW ▪ 24 x 150 kW ▪ 9 x 350 kW 	▪ 6,5 MW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 7 x 50 kW ▪ 32 x 150 kW ▪ 12 x 350 kW 	▪ 11%

Un plan ambitieux qui aura besoin du soutien des politiques publiques

- Répartition rôles entre sociétés concessionnaires, opérateurs de bornes, gestionnaires du réseau de transport/distribution...
- Question du financement / subventions, dans une logique d'amorçage : TURPE, subventions budgétaires, financement par les concessions d'autoroute, ... ?

- Le véhicule électrique est la technologie la plus mature. L'installation de bornes de recharge ultra rapides à grande échelle sur autoroutes n'est aujourd'hui pas rentable au plan économique. Le développement de la mobilité électrique sur autoroute ne sera possible qu'avec un programme ex-ante de développement de bornes de recharge sur les aires pour assurer une qualité de service comparable à celle du véhicule thermique à un coût acceptable pour l'utilisateur.
- Le financement d'un tel programme par le péage pourrait s'inscrire dans un plan dédié, support de relance et d'emploi.



9, rue de Berri - 75008 Paris - Tél : +33 1 44 13 32 99

www.idrrim.com - idrrim@idrrim.com

Association loi 1901



@IDRRIM



LINKEDIN