



4 & 5 OCTOBRE 2021 - RENNES



www.congres-idrrim.com

Citoyens, Professionnels, Décideurs :
face aux transitions, quel engagement collectif
pour les infrastructures de mobilité ?



Les impacts des transitions *écologique, climatique, numérique,* *énergétique* sur les infrastructures et l'aménagement

Fabienne Anfosso Lédée

Département Matériaux et Structures - Université Gustave Eiffel



INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ

Plan

- Les différentes transitions, climatique, écologique, numérique
- Quels impacts sur les infrastructures et l'aménagement urbain ?
- Quelques exemples sur leur prise en compte dans la recherche & développement
 - Les matériaux
 - L'adaptation des infrastructures
 - La surveillance et l'entretien du patrimoine
 - L'innovation



Un monde en transitions

Les transitions

Transition = changement profond, durable et irréversible de l'organisation socio-économique de la société

- Elle peut s'imposer de façon relativement urgente (ex. changement climatique ou transition numérique)
- Mais elle doit être suffisamment progressive pour garantir son acceptabilité sociale et économique (\neq crise)

Climatique

Energétique



Ecologique

Numérique

Les transitions

Un corpus de textes de référence nombreux ces dernières années

Dans le monde :

- Les rapports du GIEC (depuis 1990, publication du 6^{ème} rapport en 2021)
- Les 17 Objectifs de Développement Durable (ODD) de l'ONU (2015)
- Accord de Paris sur le Climat (2015)
- European Green Deal (2020)

Comme en France :

- Loi de Transition Energétique pour la croissance verte (2015)
- Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) (2015, révisée en 2019)
- Loi Energie et Climat (2019)
- Loi Climat et Résilience (2021) qui reprend une partie des propositions de la Convention Citoyenne pour le Climat
- Loi d'Orientation des Mobilités (LOM) (2019)

Transition climatique

Réchauffement de l'atmosphère
sous l'effet de l'**augmentation**
des **émissions de GES**

Augmentation des évènements climatiques (*pics de chaleur, sécheresses, inondations, submersions, incendies de forêts, tempêtes, ...*)

- **Plus fréquents**
- **Plus intenses**

- **Adaptation** : anticiper et limiter les conséquences
- **Atténuation** : réduire les émissions



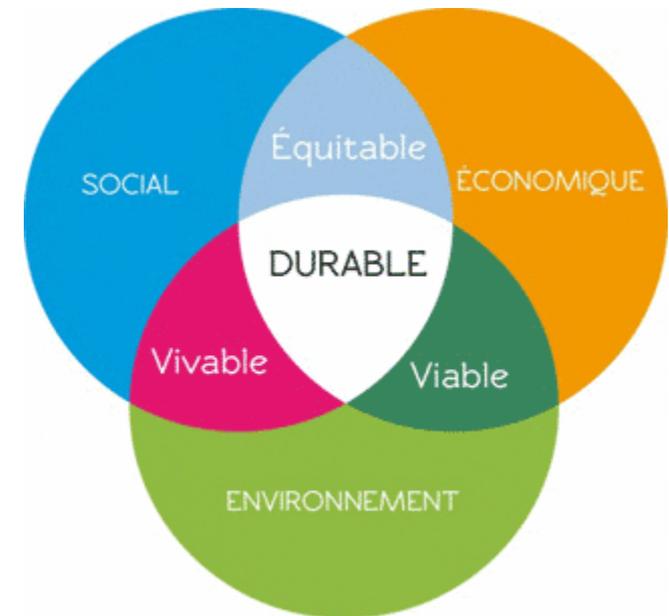
Transition énergétique

- Abandonner les **énergies fossiles**
 - - 30 % d'ici 2030
- Développer les **énergies renouvelables** (solaire, éolien, hydraulique, biomasse...)
 - 40 % de la production d'électricité et 32 % de la consommation énergétique en 2030
 - Part du nucléaire à la moitié de la production d'électricité.
- Diminuer la **consommation finale** d'énergie
 - - 20 % d'ici 2030 puis - 50 % d'ici 2050
- Réduire les **émission de GES**
 - - 40 % des GES en 2030 (référence 1990)
- Lutter contre la **précarité énergétique**
- **Neutralité carbone en 2050** (*loi énergie climat, 2019*)



Transition écologique

- Reprend les grands enjeux climatiques et énergétiques
- S'appuie sur les objectifs de développement durable (ODD)
- Biodiversité
- Impacts sanitaires environnementaux
- Préservation des ressources
- Réduction des déchets
- Promotion d'une économie circulaire
- Lutte contre la pauvreté



Transition numérique

Développements très rapides

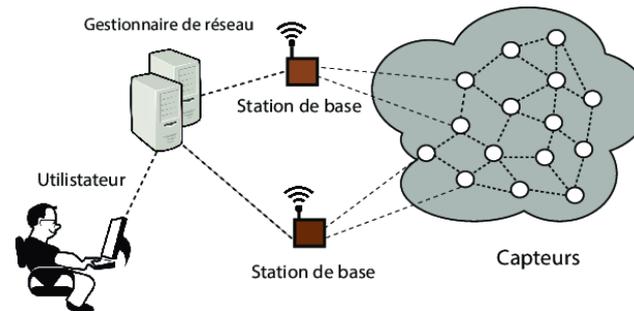
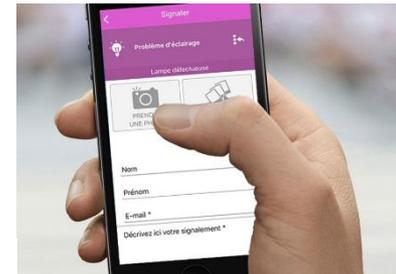
- Nouvelles technologies de **l'information et de la communication**
- Nouveaux **capteurs** aux capacités démultipliées
- **Réseaux** de capteurs
- Capteurs « **bas-coût** » déployés en grand nombre
- Technologies d'**intelligence artificielle**



➤ *Production de données massives, disponibles en temps réel, à tout endroit*

➤ *Automatisation de certaines tâches*

➤ *Participation citoyenne*





Quels impacts pour les infrastructures

Titre intervention | Nom intervenant

Impact des transitions

Impact direct

La conception, la construction, l'entretien et la fin de vie des infrastructures doivent prendre en compte les objectifs des transitions :

- **Adaptation** face aux événements extrêmes du CC,
- **Economie circulaire** : préservation des *ressources non renouvelables*, *sobriété énergétique*, limitation des *déchets*,... tout au long du cycle de vie
- **Réduction des émissions des GES** et de **polluants**
- Intégration des **technologies du numérique** pour surveiller et gérer le patrimoine

Impact indirect

- Adapter l'**exploitation** aux évolutions du trafic, aux nouvelles formes de mobilités (électrique, connectée, partagée, ...)



Prise en compte de ces impacts dans la R&D : quelques exemples

Concevoir ou entretenir les infrastructures avec des matériaux écologiques (1/3)

Enjeux :

- Réduire l'utilisation de ressources non renouvelables
- Diminuer la quantité de déchets de démolition
- Avoir recours à des procédés d'élaboration plus sobres en énergie



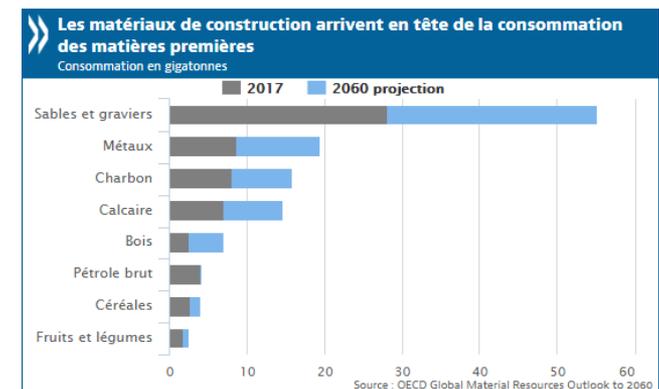
36 Mt d'enrobés bitumineux produits en France chaque année.
Routes de France 2018



5 à 7 % des émissions mondiales de CO₂ pour la production de ciment



240 Mt déchets de la construction en France. *Ademe 2020*



Concevoir ou entretenir les infrastructures avec des matériaux écologiques (2/3)

Des exemples :

Projet Biorepavation :

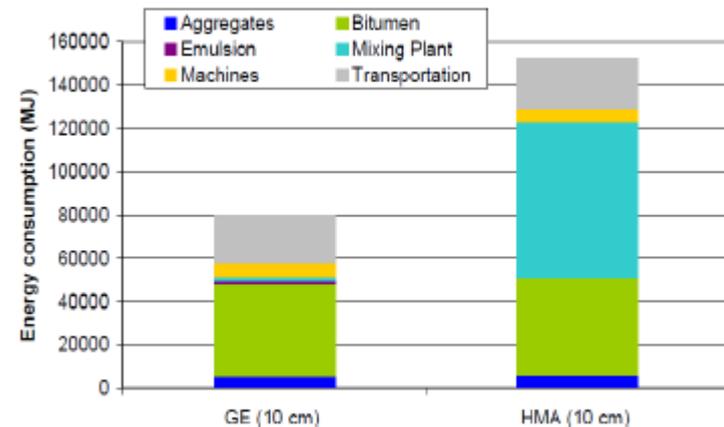
Enrobés à base d'agrégats recyclés et de liant issu de la biomasse



Bétons de géopolymères en remplacement du ciment de Portland



Projet National FastCarb sur le piégeage du CO₂ dans les granulats de béton recyclés



Goyer, S., M. Dauvergne, L. Wendling, V. Gaudefroy, et C. Ropert. 2012.

Les Enrobés à froid à l'émulsion de bitume nécessitent 2 fois moins d'énergie que les enrobés traditionnels à chaud

Concevoir ou entretenir les infrastructures avec des matériaux écologiques (3/3)

Verrous :

Recréer le référentiel, avec pour préalable :

- Comprendre les mécanismes
- Optimiser la formulation ou le procédé
- Déterminer les lois de comportement
- Adapter les méthodes d'essais
- S'assurer des performances et durabilité

et aussi :

- Vérifier l'acceptabilité environnementale
- Analyse du cycle de vie
- Vérifier la viabilité économique

Anticiper les risques liés au changement climatique pour le patrimoine

Un exemple : les affouillements

Une cause d'effondrement des ouvrages, notamment lors de crues majeures



P. Gondret, laboratoire FAST, Orsay.

Projet SSHEAR (ANR) :
vise à dépasser la simple connaissance empirique des phénomènes d'affouillement



- Produire des connaissances sur les mécanismes
- Développer des méthodes d'observation et de modélisation
- méthodes optimisées de diagnostic, d'alerte et de gestion

Surveiller le patrimoine grâce au numérique (1/2)

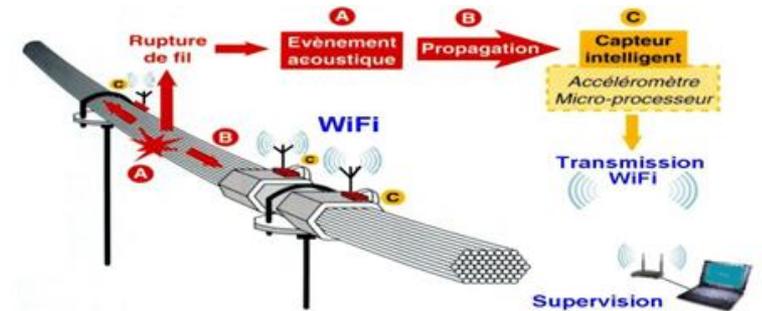
Enjeux :

- Profiter des nouveaux outils technologiques pour surveiller l'état des structures et infrastructures
 - à grand rendement, réseaux de capteurs, capteurs bas-coût
 - Mesure en continu dans le temps et dans l'espace

Des exemples :



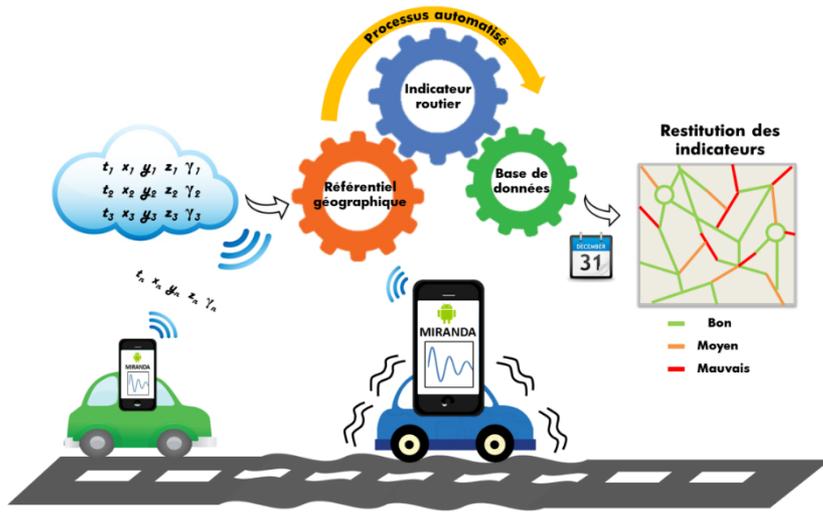
Aigle 3D : auscultation de l'état des chaussées à grand rendement.
Cerema



Capteurs acoustiques pour la surveillance des câbles

Surveiller le patrimoine grâce au numérique (2/2)

Des exemples :



Mesure d'Indicateurs
Routiers Automatisée par
appareils Nomades
D'Auscultation

Verrous :

- Technologiques : synchronisation des capteurs, alimentation électrique, vieillissement métrologique, etc.
- Validation des systèmes, des données
- Placement optimal des capteurs
- Analyse des données produites !

L'innovation au service de la transition énergétique

(1/4)

Route électrique : alimentation électrique dynamique des véhicules

Enjeux : La décarbonation du transport routier

- Objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050.
- Augmentation de 27 % des émissions du transport routier de 1990 à 2018
- Objectif réglementaire* de réduire les émissions de CO₂ des PL neufs de 15 % en 2025 et de 30 % en 2030 (ref. moyenne UE 2020)
- En Europe, PL, bus et cars = 27 % des émissions du transport routier, les VUL 12 % ; respectivement 24 % et 20 % en France**.

Parmi les solutions envisageables : biogaz, bio diesel, électrique hydrogène, batteries et **ERS** (*Electric Road System – Route électrique*), cette dernière semble très pertinente

* Règlement 2019/1242

**Sources: EuropeanEnvironmentAgency 2020 et CITEPA)

L'innovation au service de la transition énergétique (2/4)



Système par caténaire.
Siemens



Système par conduction au sol. *Par ex. Alstom*



Système par induction
Par ex. Electreon

Verrous :

- Rendements
- Impact sur l'intégrité des structures et durabilité des systèmes
- Résistance aux éléments extérieurs (foudre, conditions hivernales, ..)
- Sécurité routière
- Alimentation en électricité
- Modèle économique

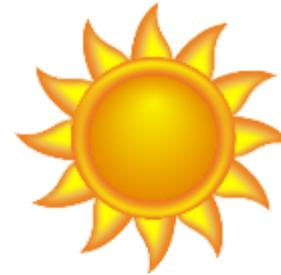
L'innovation au service de la transition énergétique

(3/4)

Route solaire : exploiter les surfaces existantes pour collecter de l'énergie

Irradiance solaire en France:
1274,1 kWh/m²/an

Réseau routier français:
965446 km x 6m
→ Capacité de **7644,6 TWh/an**
(consommation de la France:
475 TWh/an)



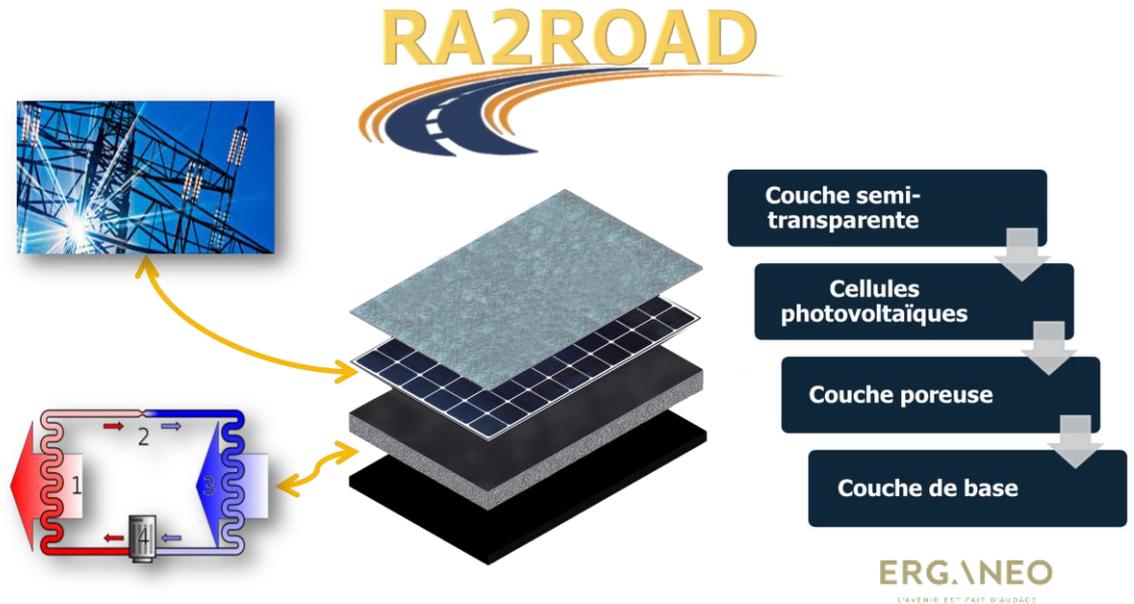
Route photovoltaïque 25/50m²
→ alimentation électrique d'une
famille de 4 personnes pendant 1 an



Echangeur de chaleur
→ Collecte d'énergie et
amélioration de l'efficacité

L'innovation au service de la transition énergétique (4/4)

Projet RA2ROAD :
système hybride



Verrous :

- Supporter le trafic
- Garantir l'adhérence du véhicule
- Protéger les cellules solaires
- Permettre le passage du rayonnement solaire
- Maximiser les transferts de chaleur entre les couches

MERCI pour votre attention

Remerciements à :

Assia Djerbi, Fabien Menant, Emmanuel Chailleux, Eric Gennesseau



Citoyens, Professionnels, Décideurs :
**face aux transitions, quel engagement collectif
pour les infrastructures de mobilité ?**

