

---

# Recherche

Rapport d'activités

# Sommaire

Édito	4
La recherche chez AREP	6
Crédit Impôt Recherche	8
Inventer un futur post-carbone	10
Organisation de la recherche	12
Réseau scientifique et partenaires	14
Dynamique de la recherche en 2024	16
Diffusion et valorisation de la recherche	18
Recherches doctorales	22
Recherche & développement	24
Prototypes	54
Aperçu de la production scientifique récente	56

<b>Dynamique de la recherche en 2024</b>	<b>16</b>
Prospective	16
Biodiversité	16
Imaginaires	16
Frugalité	17
Décarbonation	17
Mobilité	17

<b>Diffusion et valorisation de la recherche</b>	<b>18</b>
--	-----------

<b>Recherches doctorales</b>	<b>22</b>
------------------------------	-----------

<b>Recherche &amp; développement</b>	<b>24</b>
--------------------------------------	-----------

Biodiversité en milieu ferroviaire	25
Architecture et ville low-tech	26
Imaginaires post-carbone	27
RÉAP (RÉemploi APplicable)	30
Connaissances et outils SIG	31
Stratégie de décarbonation des territoires appuyée sur un outil de métrique systémique	33
Confort dans les Espaces Semi-Ouverts (CESO)	34
Gabarits ferroviaires	36
Création de standards de conception EMC2B	37
Atténuer et anticiper les risques inondation en ville	39
Structures bas carbone	40
Gérer, péreniser et moderniser le patrimoine des Grandes Halles Voyageurs	41
Aménager les espaces d'intermodalité dans un contexte d'occupation informelle	44
Prédiction de la consommation des bâtiments	45
Gestion de la consommation des ressources et de l'énergie	46
Nouvelles méthodologies et outils pour l'amélioration des études de flux de personnes	48
Optimiser la conduite de projets sur les nouveaux actifs	49
Études et développements de la stratégie BIM	50
Prédire et améliorer la Qualité de l'Air Intérieur dans les gares souterraines (QAI)	51

<b>Prototypes</b>	<b>54</b>
-------------------	-----------

Abri de quai solaire	54
Réemploi de traverses en bois	55
Solaire réversible sur voie	55

# Édito

Chers lecteurs, partenaires, clients, collaborateurs, amis,

Le R d'AREP bat son plein et continue à éclairer nos démarches de projets ; ce rapport d'activités recherche édition 2024 en est l'illustration. Ces deux dernières années ont été synonymes de maturité pour notre politique de recherche, marquées par une meilleure structuration de son animation et de son pilotage. Cette évolution stratégique favorise l'exploration de nouveaux sujets porteurs et l'émergence de nouvelles questions. Nous souhaiterions vous partager ici une double fierté.

La première vient de la diversité disciplinaire qui caractérise AREP, tout comme nos démarches de recherche. Un atout qui nous offre une pertinence accrue dans les débats scientifiques et prospectifs sur la ville et les territoires, comme en témoigne notre présence aux colloques de Cerisy ou au congrès annuel de l'Association of European Schools of Planning (AESOP).

La deuxième est liée aux nombreuses publications de nos chercheuses et chercheurs qui respectent les standards académiques les plus exigeants, et témoignent de la robustesse de leur dynamique intellectuelle. Nos démarches n'en restent pas moins ancrées dans le réel et trouvent leurs traductions opérationnelles : de la théorie jusqu'à l'expression de solutions manifestes, du concept

jusqu'à sa traduction en standards de conception, de la formulation d'une ambition technique jusqu'au prototypage ; autant de démarches qui viennent renforcer la pertinence de nos solutions architecturales, urbaines et techniques.

La collaboration, les efforts collectifs et l'engagement passionné des équipes AREP et de nos partenaires (plus de 50 laboratoires, institutions publiques, écoles...) sont à l'origine de ces belles réalisations. Nous souhaitons remercier chaleureusement tous celles et ceux qui contribuent à cette émulation intellectuelle.

Organiser la bifurcation de notre modèle socio-économique vers plus de sobriété et de justice sociale nécessite la construction d'une pensée systémique, engagée et critique. C'est dans cet esprit que nous vous invitons à plonger dans ce rapport, à découvrir nos avancées et nos aspirations. Que sa lecture soit pour vous une source d'inspiration, qu'elle fasse germer de nouvelles idées et éveille en vous l'envie de collaborer avec nous pour façonner le futur post-carbone.

Bonne lecture !

Raphaël Ménard, Philippe Bihouix et Nils Le Bot,  
Janvier 2025



# La recherche chez AREP

Chez AREP, nous revendiquons le caractère exploratoire et incertain de nos démarches de projet. Pour inventer un futur post-carbone, nous réinterrogeons nos certitudes, nous renouvelons nos savoirs, nous ouvrons de nouvelles perspectives pratiques et conceptuelles.

La recherche pour nous est une exigence éthique ; un « effort de délicatesse, de raffinement » face aux nécessités du monde. Indépendante et critique, notre recherche participe des débats qui font l'avenir des territoires en transitions.

Qu'elle soit fondamentale ou appliquée, elle vise à définir, élaborer, et tester des hypothèses pratiques et théoriques. Son bénéfice n'est pas directement financier, mais sert plutôt l'excellence et les valeurs de notre collectif.

Nous cultivons l'innovation de manière transverse, en croisant les expertises et les créativité d'où qu'elles viennent.

Agile et réactif, notre désir d'innovation est une des conditions premières de notre résilience et de celle de nos projets.



## EMC2B

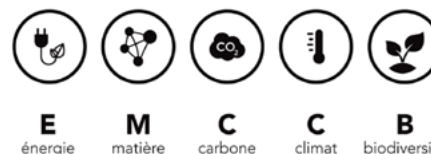
Nous agissons pour bâtir la transition écologique. Pour rendre cette ambition concrète, nous avons imaginé une démarche unique, EMC2B, grâce à laquelle nous concevons et analysons nos projets.

Cette démarche permet tout d'abord de se fixer une série d'objectifs ambitieux autour des 5 piliers Énergie, Matière, Carbone, Climat et Biodiversité.

Elle permet ensuite de mesurer les réponses apportées aux projets, d'évaluer et de comparer la performance des projets à partir d'une quarantaine d'indicateurs éprouvés.

C'est finalement une démarche de pédagogie et de dialogue avec tous les partenaires de projet (maîtres d'ouvrage, exploitants, usagers...) et les parties prenantes (collectivités locales, associations...).

La démarche EMC2B concentre l'ambition de traduire une volonté en indicateurs, en actions et en outils et requiert d'interroger leur efficacité.



### Énergie

Rechercher en permanence l'équilibre entre la diminution de la demande énergétique et la production d'énergies renouvelables.

### Matière

Économiser et améliorer le cycle de la matière par l'emploi de matières renouvelables, biosourcées, ou le réemploi de produits existants avec pour objectifs de réduire les consommations et rejets d'eau et la production de déchets d'activité.

### Carbone

La métrique carbone devient un critère d'aide à la décision tout au long du cheminement de la conception pour contribuer à l'objectif de neutralité carbone à l'échelle planétaire.

### Climat

Participer à la résilience territoriale en créant des îlots de fraîcheur et des refuges climatiques afin d'améliorer le confort sensoriel et la qualité de l'air.

### Biodiversité

Augmenter les services rendus, sensibiliser les usagers, créer de la valeur écologique et maintenir au mieux une place pour toutes les échelles du vivant (végétaux, insectes, animaux, humains) au sein des projets.



# Crédit Impôt Recherche

## De quoi s'agit-il?

Le crédit d'impôt en faveur de la recherche (CIR) se traduit, en France, par une réduction d'impôt calculée sur la base des dépenses de R&D engagées par les entreprises. Il est déductible de l'impôt sur le revenu ou sur les sociétés dû par les entreprises au titre de l'année où les dépenses ont été engagées.

Le taux du crédit d'impôt recherche est de : 30 % pour les dépenses de recherche jusqu'à 100 millions d'euros et de 5 % au-delà. Les subventions publiques reçues pour les projets de recherche ouvrant droit au CIR doivent être déduites des bases de calcul du crédit.

## Regard sur 6 ans

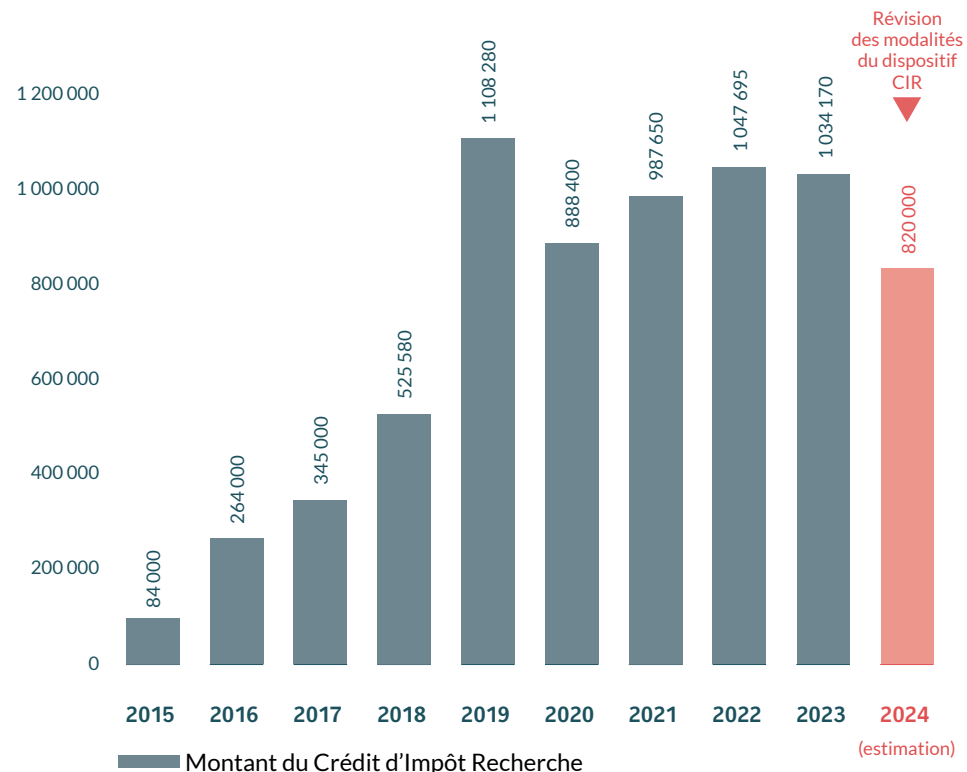
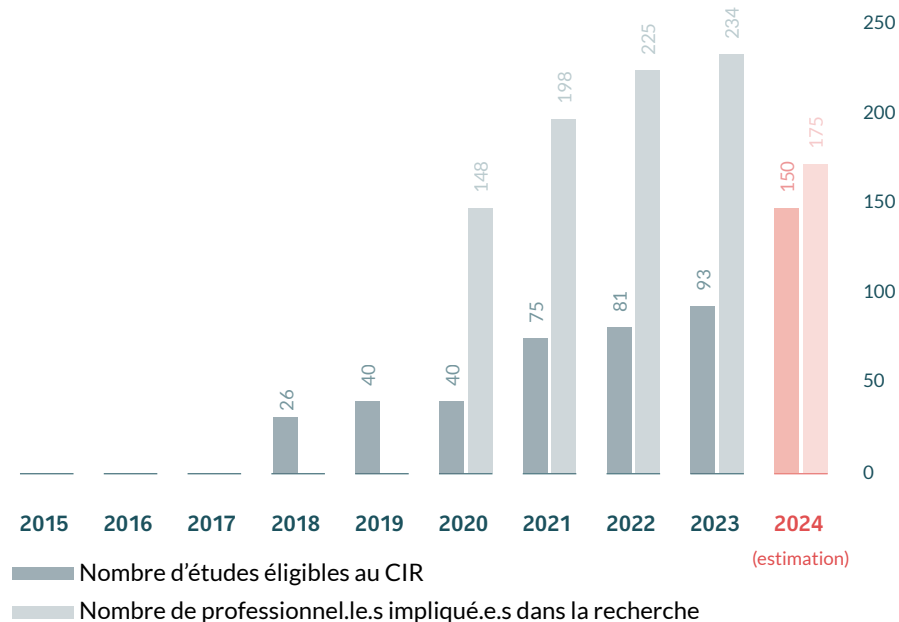
Depuis de nombreuses années, la recherche chez AREP progresse à la mesure de notre engagement à faire avancer les méthodes, les outils et les solutions pour un monde post-carbone.

Nos recherches interrogent à la fois les savoirs fondamentaux et alimentent les projets opérationnels. Grâce à l'implication d'un nombre croissant de personnes et l'augmentation des investissements dédiés, le nombre d'études éligibles continue de progresser.

Depuis 2019, AREP a consolidé un niveau d'investissement significatif, dépassant le nombre symbolique du million d'euros de subvention publique accordée au titre du crédit d'impôt recherche.

L'année 2023 s'inscrit dans la trajectoire d'investissement : les 93 études valorisées se structurent autour de 19 thématiques clés et impliquent près de 234 personnes.

En 2024 les modalités de calcul des investissements éligibles évoluent et notre engagement pour la recherche poursuit son objectif d'« inventer un futur post-carbone ».



# Inventer un futur post-carbone

## 6 thématiques pour inventer un futur post-carbone

Afin de poursuivre les efforts et structurer notre approche nous avons bâti notre programme autour de six thèmes fédérateurs. Ils font écho aux cinq angles de la démarche EMC2B, mais aussi à l'importance des usages, à la question de l'obsolescence, aux enjeux typologiques, ou encore à l'ensemble des réflexions relatives au projet et aux nouvelles façons de l'aborder.

## Axes de recherche

Les 6 thèmes déclinent les sujets sur lesquels nous souhaitons porter un effort supplémentaire, être proactifs.

Ils affirment le positionnement d'AREP et l'importance de la recherche dans sa pratique et incarnent le « R » d'AREP.

L'ensemble des thèmes structure notre quête collective pour concrétiser notre mission commune : « inventer un futur post-carbone ».

1. Ressources et matières
2. Modes d'occupation des sols et biodiversité
3. Énergie et convivialité
4. Représentation et imaginaires
5. Conception et adaptation
6. Architecture et mobilités



*Un intérieur en ville, série des six paysages post-carbone, exposition Énergies Légères  
Raphaël Ménard, illustration : Olivier Campagne, 2023*

# Organisation de la recherche

## Coordination de la recherche

Responsable Nils Le Bot

Adjointe Louise Jammet

### Orienter et valider

#### Comité de pilotage de la recherche

Nils Le Bot

#### Membres permanents

Raphaël Ménard

Philippe Bihouix

Donatien Frobort

#### Membres tournants

Direction métier impliquée

Chercheurs et docteurs

#### Sponsors

Élise Dageons

Hiba Debouk

Léonard Hamburger

Simon Bergounioux

Émilie Hergott

Céline David

Fabienne Couvert

Luc Néouze

### Fédérer et développer

#### Animation des six thèmes de recherche

Nils Le Bot

#### Animateurs recherche

##### 1. Ressources et matières

Jean-Luc Martin

##### 2. Mode d'occupation des sols et biodiversité

Sabine Thomas / Maya Rivera

##### 3. Énergie et convivialité

Benoît Stehelin

##### 4. Représentation et imaginaires

Grégoire Robida

##### 5. Conception et adaptation

Romaric Quentin

##### 6. Architecture et mobilités

Matthieu Goudeau

### Capter et Valoriser

#### Réseau des référents CIR

Nils Le Bot

#### Référents CIR

##### Design

Rémi Guers

##### SIG

Thomas Lannelongue

##### Patrimoine

Véronique Veston

##### Bâtiments indus.

Léonard Hamburger

##### Environnement

Jean-Baptiste

Lefeuvre

##### Architecture

Simon Bergounioux

##### Structure

Jean-Luc Martin

##### Territoires

Hiba Debouk

##### L'Hypercube

Anne Mesureur

##### Programmation

Mélanie Barey

##### Innovation projets

Alistair Lenczner

##### BIM

Marie Chaumaz

##### Numérique

Félix Pouchain

##### MP AMO

Sabine Thomas

##### Flux

Matthieu Goudeau

##### International

Fabien Clavier

### Échanger et diffuser

#### Réseau des doc'

Louise Jammet

#### Docteur.e.s

Alexandre Auvray

Mateusz Bogdan

Julien Dallot

Arnaud Delamarre

Morgane Delarc

Capucine-Marin Dubroca-Voisin

Antoine Hubert

Louise Jammet

Nils Le Bot

Raphaël Ménard

Alexis Sauvageon

Khaled Serrai

Fatima Zreik

#### Doctorant.e.s

Lukas Madl

Pierre Navaro-Auburtin

Martin Paquot

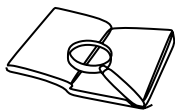
Alexandrina Striffling

Hala Zouad



# Dynamique de la recherche en 2024

## Prospective



### Ateliers prospectifs

Intégrer des méthodes d'urbanisme prospectif dans une démarche opérationnelle, en utilisant des ateliers pédagogiques pour ajuster les objectifs du projet et innover dans l'accompagnement au changement.

## Biodiversité



### Renaturation

Savoirs et méthodes de la renaturation et de la refunctionalisation des sols urbains en vue de développer des référentiels et des outils pour les acteurs de l'aménagement.

### Potentiels et risques de la (dés)artificialisation

Étude des potentiels et des impacts des projets de renaturation ou d'artificialisation de parcelles.

### Atlas bioclimatique

Construire une connaissance parfaite du foncier ferroviaire pour maîtriser le « champ des possibles » de nos interventions.

## Imaginaires



### Représenter le sensible

Collecter, interpréter et représenter des données sensibles pour informer le projet de conception.

### Imaginaires prospectifs alternatifs

Développer une analyse critique de la représentation comme outil de médiation des savoirs et des idées.

### Formes ludiques

Explorer l'apport des formes ludiques dans les pratiques professionnelles du programmiste et dans la détermination des conditions optimales pour leur mobilisation.

## Frugalité



### Pantin Grandes Serres

Expérimentation et test de solutions low-tech pour des bâtiments de bureaux.

### DATA et analyse de la consommation des ressources

Analyse des données de consommation des gares et modélisation d'outils de gestion (éclairage nocturne, eau, gaz).

### Flux des matières dans la construction

Étude quantitative des flux de matière en complément du flux carbone pour établir des ratios par typologie d'ouvrages.

## Décarbonation



### BIM & carbone

Développer des estimations fiables du poids carbone en phase amont de conception dans les outils BIM.

### Prototype SRV

Imaginer et concevoir des systèmes de solarisation des voies ferrées désaffectées, réversibles et mobiles.

### Potentiels et enjeux du linéaire solaire

Étudier le potentiel solaire des emprises et linéaires d'infrastructures ferroviaires.

## Mobilité



### SERM

Accompagnement des métropoles à la mise en place des SERM (diagnostics et conseils) en croisant des données observées et une approche prospective.

### EMC2B & Flux

Recherche sur les liens entre levée des freins à l'usage des transports en commun et modification des pratiques usagères.

### Mobility

Croiser les leviers de décarbonation des mobilités avec les données sur les déplacements de la population afin d'obtenir des résultats chiffrés sur les objectifs de décarbonation.

### Intermodalité et informalité

Planifier l'aménagement de réseaux de transport en commun dans un contexte entre occupations informelles et une forte dynamique foncière.





AREP / Photographie : Véronique Veston

# Diffusion et valorisation de la recherche

## Événements



**Colloque « Prospective pour l'action écologique : vers d'autres récits territoriaux », en juillet 2024 à Cerisy-la-Salle.**

**Dirigé par Hiba Debouk, Isabel Diaz (PUCA), Jean-Baptiste Marie (GIP EPAU) et Nicolas Tixier (Laboratoire AAU, Cresson, ENSA Grenoble).**

La prospective peut-elle servir l'action écologique ? Le changement climatique nous montrant d'ores et déjà ses effets, la construction d'un monde plus résilient et plus soutenable nous invite à penser autrement et collectivement notre rapport au futur. Dans ce contexte les récits des territoires d'avenir peuvent se révéler être de véritables outils pour planifier nos actions tout en inspirant nos imaginaires.

Entre héritages choisis, transitions en cours et ruptures nécessaires, les prospectives passées et actuelles sont examinées à la croisée des savoirs et des actions. À l'heure de la planification écologique nationale, les méthodes d'observation, de projection et d'implication des acteurs dans l'exercice prospectif sont analysées pour évaluer leur contribution aux objectifs nationaux par les territoires.



**Colloque « Gares, bâtiments et infrastructures ferroviaires. Entre modernité(s) et identité(s) territoriale(s) en France et Italie : 1918-1945 », en novembre 2023 à l'ENSA Versailles.**

**Dirigé par Véronique Veston, Nathalie Simmonot (LéaV, ENSA Versailles) et Karen Bowie (ENSA Paris-La Villette, Rails & Histoire).**

Les gares, désormais vecteurs de centralité urbaine, jouent un rôle clé dans la connexion des échelles de mobilité. Durant l'entre-deux-guerres, l'architecture ferroviaire en France et en Italie connaît de profondes transformations : reconstruction des gares endommagées, modernisation des réseaux, introduction du béton armé et adaptation aux nouveaux standards. Étudier cette évolution commune permet de questionner ce qui relève d'une modernisation d'envergure supranationale, révélant une adhésion partagée à une dynamique européenne.



**Table ronde « Patrimoine des itinéraires, des réseaux et des connexions. Les infrastructures au XXI<sup>e</sup> siècle, entre pertes et conservations », en novembre 2024 à AREP.**

**Organisée par Véronique Veston et Arnaud Passalacqua (EUP).**

Comment la patrimonialisation des infrastructures — ferroviaires, routières, postales — est-elle à la fois remise en cause par les défis propres à chaque réseau et, paradoxalement, envisagée comme une réponse pour mieux inscrire ces échanges dans leur écosystème ?



# Colloques



## IBPSA France 2024

L'hypercube était présent à La Rochelle et sur l'île d'Oléron du 13 au 17 mai 2024 — pour présenter des travaux sur l'exposition urbaine à la pluie battante, la méthodologie d'estimation du confort au vent et une méthode de calcul de la contribution solaire au bilan thermique d'un individu.



## Indoor Air 2024

Dans le cadre du co-encadrement d'une thèse CIFRE SNCF sur la qualité de l'air dans les gares souterraines, L'hypercube a participé à 3 contributions présentées à Honolulu, Hawaï, USA, en juillet 2024.



## Transit Data 2024

L'équipe Flux & Mobilités s'est déplacée à l'University College London (UCL) du 1<sup>er</sup> au 4 juillet 2024 pour y présenter des recherches sur la mobilité pour des sociétés décarbonées.



## European Transport Conference 2024

L'équipe a également présenté l'outil Parcours en septembre 2024 à Antwerp en Belgique.



## AESOP 2024

AREP a défendu sa pluridisciplinarité en participant au congrès du 8 au 12 juillet à Paris. Les chercheurs y ont présenté des travaux sur la représentation et la fabrication des images de prospective et des études sur le défi de la massification de la mobilité ferroviaire par les projets de SERM en France.

# Publications



## Énergies légères

Selon trois éclairages (historique, contemporain et prospectif), cet ouvrage explore les relations mouvementées entre formes et énergies, et révèle l'empreinte territoriale et environnementale de ces architectures et invite à imaginer de nouvelles figures de l'énergie, plus légères.

> **Ménard, Raphaël. 2023.** *Énergies légères : Usages, architectures et paysages.* Paris : Pavillon de l'Arsenal.



## La nouvelle nature des gares

L'ouvrage analyse la nouvelle « nature » des gares, en les abordant dans leur rapport à l'écologie et aux transitions, et aux nouvelles dimensionnalités que prennent les flux qui les traversent ainsi qu'aux nouvelles dynamiques socio-environnementales qui les questionnent.

> **Le Bot, Nils, Nacima Baron, et Pauline Detavernier. 2024.** *La nouvelle nature des gares.* Saint-Denis : Presses universitaires de Vincennes.



## Imaginaires post-carbone

Ce double ouvrage aborde simultanément les diverses orientations technico-politiques qui se cachent derrière la notion de « post-carbone » et ouvre un champ de réflexion sur des situations urbaines encore trop peu explorées par la prospective urbaine : les faces arrière des métropoles.

> **Jammet, Louise, et Nils Le Bot. 2024.** *Imaginaires post-carbone. Trajectoires et faces cachées.* Paris : AREP Éditions.



## Transparence et légèreté en architecture.

Par une approche historique, l'ouvrage regroupe des analyses des changements techniques et esthétiques amenés par les transformations successives des façades des bâtiments.

> **Ménard, Raphaël. 2024.** « Transparence, low-tech et réchauffement climatique : vers l'enveloppe post-carbone ». Gollion : InFolio, éd. Matteo Porrino, 304p.

Retrouvez toute la production scientifique récente pages 56 à 58



# Recherches doctorales en cours

## 4 doctorant.e.s en contrat CIFRE

**Striffling Alexandrina**, *Les gares sérielles : reconnaissance et renouvellement d'une pensée systémique transnationale ?*, Université Paris-Est, sous la direction de Virginie Picon-Lefèbvre et Arnaud Passalacqua (depuis 2019)

**Navaro-Auburtin Pierre**, *Optimisation de structure dans un objectif bas carbone et de frugalité de matière*, Marne-la-Vallée ENPC, sous la direction d'Olivier Baverel (depuis 2022)

**Madl Lukas**, *ZAN : Renaturation et refonctionnalisation des sols urbains*, Université Paris-Est, sous la direction de Youssef Diab (depuis janvier 2024)

**Paquot Martin**, *Histoire socio-environnementale de la construction en paille*, EHESS, sous la direction de Geneviève Pruvost et Guillaume Habert (depuis décembre 2024)

## 1 doctorante en partenariat

**Zouad Hala**, *Rafraîchissement des environnements de transit dans l'espace euro-méditerranéen*, Université Gustave Eiffel et Université polytechnique de Valence, sous la direction de Nacima Baron-Yellès (depuis 2022)

# Thèses soutenues en 2024

## Franz Hannah

*Vers une approche intégrée d'évaluation des structures existantes : étude des poutres treillis rivetées dans les halles de gare françaises de 1850-1930*

Université Gustave Eiffel, sous la direction de Lamine Dieng (le 27 mai 2024)



Restauration de la grande halle voyageurs de la gare de Valence, détail du tympan, 2023

Hannah Franz a conduit une recherche à la croisée de l'ingénierie et de l'histoire permettant d'améliorer l'évaluation de la capacité portante des anciennes structures. La thèse favorise des interventions structurales plus frugales et l'adaptation de ces structures aux nouveaux défis climatiques.

## Auvray Alexandre

*Intégration des enjeux de biodiversité dans l'aménagement de quartiers de gare. Analyse des qualités éco-paysagères des quartiers de gares*

Université Paris 1, sous la direction de Pascal Marty et Yohan Sahraoui (le 18 décembre 2024)



Photo Nils Le Bot

Alexandre Auvray explore les quartiers de gare afin d'identifier et d'analyser les contraintes sociotechniques qui interviennent lors des projets d'aménagement à vocation de sauvegarde biodiversitaire. La recherche met l'accent sur l'étude de la connectivité paysagère des habitats naturels.





# Recherche & développement

## Biodiversité en milieu ferroviaire

### Penser l'infrastructure ferroviaire comme support de la réintroduction du vivant.

Les travaux de recherche visent à approfondir les connaissances sur les relations entre les activités humaines et la biodiversité en mettant un accent particulier sur les quartiers à fortes contraintes techniques.

Une thèse associée au programme Frugacité explore spécifiquement les échelles du bâtiment et du quartier. Conduite par Alexandre Auvray, elle met l'accent sur la connectivité paysagère des habitats naturels à partir de l'étude de plusieurs quartiers de gare situés le long d'un gradient de densité urbaine.

Par son implication dans le programme de recherche Frugacité initié en 2019 dans le cadre d'un appel à projets (BAUM) du Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA), AREP contribue au développement d'un outil d'aide à la décision pour la programmation et la conception architecturale et urbaine pour une meilleure connectivité paysagère des quartiers de gare.

Les recherches et leurs applications dans des projets à plusieurs échelles visent à réduire drastiquement les émissions carbone et à adapter les territoires au changement climatique déjà en cours pour préparer un futur décarboné. Le réseau ferré peut s'inscrire durablement dans cette démarche et, de manière plus large, devenir un acteur clé de la transition écologique.



Corridors écologiques dans les quartiers de gare : exemple du chevreuil (*Capreolus capreolus*) à Rambouillet



Aménagement et végétalisation du pôle de la gare de La Verrière, 2024

### Partenaires institutionnels



### Contacts

Dir. Management de projet AMO : Alexandre Auvray  
Dir. Territoires : Hiba Debouk

Recherche en cours depuis 2019

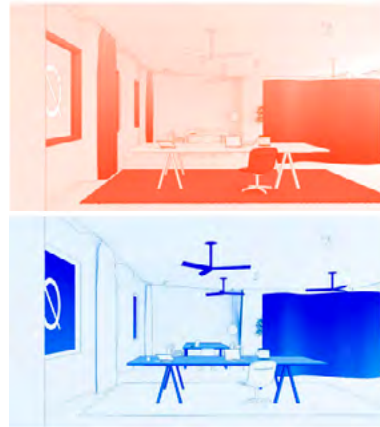


## Architecture et ville low-tech

Inscrites dans la suite du projet Urbalotek porté par l'Institut Paris Région et l'agence AREP, les recherches sur le concept de la ville low-tech sont approfondies par des travaux sur la traduction opérationnelle de la low-tech du bâti à l'échelle urbaine.

La troisième phase du projet Urbalotek, opérationnelle, a permis de construire un outil d'aide à la décision visant la mise en œuvre d'un urbanisme de discernement : *Vers des villes low-tech. Guide pratique à destination des acteurs de la fabrique urbaine.*

Parallèlement, la conception architecturale aidée de modélisations numériques teste des prototypes d'aménagement conciliant des innovations architecturales, l'optimisation énergétique et des études expérimentales pour élever les standards de frugalité énergétique dans les bâtiments tertiaires, tout en améliorant le confort et réduisant l'empreinte carbone des projets de manière significative.



Dispositifs low-tech intérieurs chaud/froid



Urbalotek 2021



Urbalotek 2022



Vers des villes low-tech, 2023



### Partenaires institutionnels et scientifiques



### Contacts

Dir. Stratégie & performance / Recherche : Nils Le Bot  
 Dir. Ingénierie / Environnement : Jean-Baptiste Lefeuvre  
 Dir. Territoires / Urbanisme : Cécile Lelasseux

Recherche en cours depuis 2021

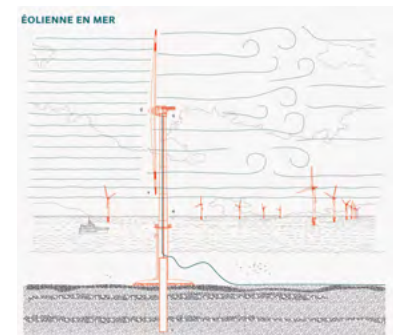
## Imaginaires post-carbone

L'axe de recherche sur les imaginaires prend en charge l'étude de la transformation des territoires dans un avenir post-pétrolier. Pour cela, plusieurs recherches sont engagées : l'analyse des imaginaires des métropoles post-carbone, le développement d'ateliers d'urbanisme prospectifs et une étude des paysages de l'énergie en France.

La recherche sur les imaginaires vise à comprendre les limites et les écueils de la prospective et d'en imaginer une intégrant la complexité du fonctionnement métropolitain et prenant en charge les « faces arrière » comme une ressource pour la transition. Une publication co-éditée avec le PUCA est parue en septembre 2024 : *Imaginaires post-carbone. Trajectoires et faces cachées.*

Les ateliers d'urbanisme prospectif menés dans la ville de Coignières permettent de développer une vision spatialisée et une démarche de co-construction au plus proche des attentes et des besoins des usagers pour favoriser l'atteinte des objectifs de décarbonation à l'horizon 2050.

Une étude de 12 formes contemporaines de l'énergie en France s'est concentrée sur autant de cas d'étude afin de les « peser » et de sonder leur légèreté plurielle (empreinte visuelle, empreinte spatiale, empreinte écologique, etc.). Elle apporte des éléments chiffrés et spatialisés pour appréhender les différentes trajectoires de neutralité carbone imaginées en France.



Les paysages de l'énergie : éolienne en mer



Logiques de mobilités urbaines - ateliers d'urbanisme prospectif



Imaginaires post-carbone

### Partenaires institutionnels



### Contacts

Dir. Stratégie & performance / Recherche : Louise Jammet  
 Dir. Territoires / Urbanisme : Gaëlle Renoncet, Marie Durca, Grégoire Robida

Recherche en cours depuis 2022





# Imaginaires post-carbone

Trajectoires et faces cachées

Louise Jammet  
Nils Le Bot

Préface d'Hélène Peskine et de Raphaël Ménard  
Postface d'Alain Bourdin

AREP éditions



1. Grandes tentées tendances

En plus des attributs attribués et des signifiants partagés, les images de villes du futur ou futur représentent majoritairement des lieux types : centres-villages-ville, espaces touristiques dans les plus grandes métropoles mondiales et parfois des zones périurbaines. La prospectivité s'attache quelquefois à illustrer des situations plus spéculatives, voire se concentre sur des objets ou des services précis symbolisant un événement imaginé du futur, mais ur, mais les espaces urbains restent les espaces privilégiés de l'avenir suggéré des sociétés contemporaines. Les images mêlent : mélangent alors des réflexions sur l'évolution spatiale, économique, omlue, sociale et politique et des représentations de l'évolution relative des conditions environnementales dans ces espaces : certains, certaines projections se concentrent sur un des deux aspects imaginant alors un futur hors dérèglement climatique (où l'on n'en montrant pas les stigmates) ou travaillent les effets conjoints de ces dérèglements sur nos villes actuelles et celles et des choix de transition (fig. 4).

Les scénarios de dios de décarbonation médiatisés révèlent une prédominance du rrice du recours à la technologie pour résoudre l'équation d'une adaptation des sociétés à un nouveau régime climatique et ique et énergétique. Celle-ci s'illustre par des archétypes : les équ : les équipements et véhicules subissent un lifting esthétique repique reprenant les codes hérités notamment de la science-fiction et tction et transposés aux objets réels, la décarbonation est suggérée uggérée par des technologies dédiées intégrées à l'environnement vement urbain (éolennes, panneaux solaires) ; la végétalisation quation quant à elle apparaît par touches sur les façades, en agrément au sol ou comme élément technologique. Ces propositions se comprennent notamment dans le courant d'un urbanisme de la smart city où l'évolution des villes contemporaines est pensée par l'implantation et le développement généralisé des technologies numériques

12. Trajectoires et boussois et boussois pour des mondes post-carbone



fig. 5 « Smart City: the enabling state prospective » © JPM Studio, 2015

Le scénario Smart City s'intéresse aux espaces territoriaux « délimités » et « intelligents » de l'Est Anglie ou Royaume-Uni et imagine comment le gouvernement devient le tremplin d'un « gouvernement propro » à de nouveaux partenariats hors des structures du « marché ». Il prend place dans le contexte d'une crise du logement et imagine comment la dégradation du rôle de l'Etat dans les services publics. L'image propose une représentation d'une ville de 60 000 habitants le long des rives et du bras de mer entre Harwich et Manningtree à la manière de La fresque du bon et du mauvais gouvernement de Lorenzetti.

(parfois hybridées à des usages utilitaires du vivant) et du traitement de grandes quantités d'information dans le but de mettre au point une capacité de contrôle automatisé étendu. Loin de se cantonner à la prospective, la décarbonation par la technologie est un trait partagé jusqu'à la Stratégie nationale bas carbone telle qu'analysée par Aurélien Bigo pour le secteur des transports (2020, p. 134). A contrario, beaucoup plus discrets, des courants opposés proposent plutôt des imaginaires de la sobriété énergétique et de la désintensification numérique et technique des modes de vie. Ceux-ci passent davantage par un ralentissement permettant de s'affranchir de l'obsession de l'optimisation et de l'accélération. Les images font alors apparaître des réponses mettant en avant l'agriculture de proximité, l'artisanat, la réallocation des circuits production-consumation, le recyclage du bâti.

Alors que les visions ancrées dans le solutionnisme technologique contrarient les nombreux travaux sur le changement climatique<sup>4</sup> qui démontrent que les trajectoires de transition capables de faire face au problème environnemental global dépendent d'approches et d'actions qui engagent les dimensions sociopolitiques transversales et totales et non de purs enjeux techniques, les imaginaires alternatifs aux systèmes techniques et politiques en vigueur impliquent souvent une remise en cause de l'urbanisme renouant là avec certains courants « anti-urbains » opposant écologie et urbanisme. Sinon, ils représentent des

4. Les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) illustrent les effets de trajectoires contrastées (ou SSP, « Shared Socio-economic Pathways » pour trajectoires de développement socio-économique communément) reposant plus ou moins sur une transition à forte intensité énergétique (SSP5) ou non (SSP1) (IPCC, 2022).

se multiplient (déjà) pour retirer des colis (fig. 8), acheter des produits en vitrine<sup>8</sup>, emprunter une trottinette ou un vélo (fig. 9), etc. Ces bornes forment un paysage renouvelé de mobiliers urbains<sup>9</sup> ajoutant toujours plus de points de service à ce que la ville offre déjà. D'autres types d'objets observent dans les images illustrant la manière dont des lieux existants se voient augmentés : équipements de production et de distribution d'énergie, espaces de végétalisation et d'agriculture, lieux de convivialité, équipements de stockage (marchandises, eau...), loggias et logements supplémentaires, etc. Ces interventions s'incarnent par la transformation de lieux existants devenus obsolètes (fig. 12) ou par l'occupation de zones publiques plus ou moins adaptées pour des services, voire des habitats d'urgence. Bien qu'éloignées de certaines considérations sur la rentabilité économique et la pertinence sociale, des actions en faveur de l'habitat temporaire et/ou d'urgence aux personnes sans-abri manifestent leur inscription dans un même imaginaire de la ville dense, malléable et intense. En installant des logements dans les espaces non construits, ces actions tentent de répondre à des besoins essentiels (fig. 13, fig. 14), mais sans interroger le rapport à l'espace



fig. 12 Projet de reconversion d'une station-séjour en boulangerie à Vernonnet, France © Laura Kallala, CEBoulangerie



fig. 13 Installation de micro-logements « copine solution d'hébergement d'urgence à Vieux-Genève, France © Agnès Thouvenot, 2021

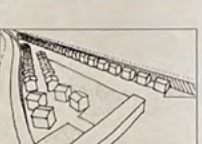


fig. 14 Illustration d'après le projet de village de mini-maisons sur Chandler Street à Los Angeles, Californie, Etats-Unis © Lurie Architects

fig. 15 Le paysage énergétique de la Merivoy © Marie Roux-Bloandier, Thomas Chabert, Renaud Manzi, Rami Morsinet, ENSIACF

fig. 16 Représentation d'un réseau cyclable à la manière des plans de transport en commun, Washington, Etats-Unis © Graham Soderstrom

9. Dalloni, M. (2022). « On a café une « bolle à patates » à l'entrée de l'exploitation, ça a marché tout de suite » à la campagne. L'essor des dispositifs automatisés. Le Monde.fr, 24 septembre 2022. Voir aussi le prototype Mobymart présentée à Shanghai par l'entreprise Wheelays en 2017, cet automate promettait une supérette sur roue autonome et automatisée.

10. À rapprocher des formes historiques de la colonne Morris, des fontaines Wallace, des « journaux » à journaux, des sanisettes, etc.



laissé libre et vide dans des métropoles où l'horizon se dessine comme une accumulation spatiale et fonctionnelle continue.

Le motif de l'intensification s'inscrit dans un constat plus général : l'imaginaire des métropoles post-carbone est souvent prise au piège d'une forme de réalisme économique néolibéral. Dans ce piège, l'avenir est envisagé par l'angle de la compétitivité et d'attractivité propre au régime politique et socio-économique contemporain dominant, des concepts qui ont tendance à édulcorer les effets réels ou externes de ces projets (voir par exemple l'interview de Lise Bourdeau-Lepage dans Dugery [dir.] 2011, pp. 119-120). La dépendance au système productiviste capitaliste se ressent ainsi très largement dans les imaginaires post-carbone qui s'envisagent à l'intérieur des règles du monde actuel, jouant alors sur tous les leviers d'optimisation et de rationalisation permettant de maintenir un plus haut niveau d'usage tout en réduisant à la marge certaines externalités négatives, notamment environnementales.

## 2. Conversion des armatures territoriales

La perspective post-carbone, même si souvent réduite à l'aménagement accessible et interstitiel comme décrit plus avant, s'exprime également inversement par des réflexions à plus grande échelle sur les systèmes et les infrastructures des métropoles. À la faveur de la généralisation des études sur le métabolisme, voir par exemple Barles, 2017 ; ou l'énergie Lopez, 2022 ; et les travaux de la Chaire Logistics City), les imaginaires de la transition post-carbone identifient les armatures territoriales comme des enjeux de réflexion et de débat, ils interrogent les dépendances et les interactions des espaces métropolitains avec d'autres métropoles et avec des régions voisines ou lointaines notamment par les réseaux et les flux qui les connectent : réseaux de transport, chaînes logistiques, réseaux électriques et numériques, réseaux d'eau, etc. (fig. 15). Cette approche traduit un imaginaire où la transition post-carbone se comprend notamment par une intervention sur ces flux et/ou leurs impacts.

Parallèlement, d'autres représentations graphiques visent à indiquer une

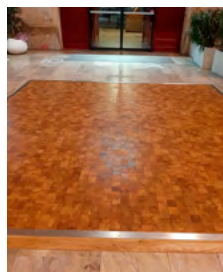


## RÉAP (RÉemploi APplicable)

La recherche établit l'inventaire des artefacts ferroviaires selon leurs contextes spatiotemporels de production et d'utilisation : infrastructures (traverses, ballast), éléments mobiles (charbon, bois exotiques) et conséquences physiques de leur utilisation sur leur environnement (fumées, abords végétalisés) afin de permettre leur valorisation et leur réemploi.

En premier lieu, la recherche inventorie les gisements de rebuts – notamment en bois – afin de les valoriser dans l'aménagement et la modernisation des gares. Appliqué aux gares de Melun et de Nantes, le réemploi a permis la mise en œuvre de bardages avec les traverses et des habillages de façade en gabion de pierres meulières.

En second lieu, elle amorce le développement d'outils destinés à faciliter la mise en place de stratégies de réemploi de matériaux dans les projets de déconstruction. Elle s'inscrit en ce sens dans le programme européen DigitalDeconstruction en testant et participant à la mise au point des outils numériques du programme sur ses propres opérations de déconstruction. Les recherches ont notamment permis d'appuyer les décisions indispensables au bon déroulement des travaux de réemploi par des diagnostics et des tests préalables, des recommandations de dépose soignée et de stockage, nécessaires au réemploi (parquets en chêne, fenêtres, portes intérieures, radiateurs en fonte) pour le projet de dalle routière de la gare de Paris Nord. Certains matériaux ont ultérieurement été réintégrés au sein d'autres opérations de la gare du Nord ou dans d'autres projets. La nouvelle halle à vélos de la gare a également bénéficié de recherches approfondies sur le dimensionnement mécanique des lanterneaux réemployés.



Prototypes de réemploi de traverses pour un parquet en gare



Prototype de mise en œuvre de matériaux de réemploi : bois et pierres meulières en gabion

### Consortium de recherche et financement européen

AREP a rejoint le consortium de projet « Digital Deconstruction » regroupant 15 partenaires européens de 6 pays aux compétences complémentaires : des experts techniques développement IT & bâtiment ; des centres de recherche et experts en innovation durable ; des représentants de collectivités territoriales et pouvoirs publics ; des maîtrises d'ouvrages, bailleurs sociaux et/ou propriétaires de sites pilotes.

### Contacts

Dir. Conception & réalisation / Réap : Valérie Cousturier, Olivier James

Recherche en cours depuis 2019

## Connaissances et outils SIG

Prenant pour socle les systèmes d'information géographique (SIG), la recherche développe des outils et connaissances pour améliorer les pratiques d'aménagement des territoires et des infrastructures ferroviaires.

Depuis ses débuts, elle s'est incarnée dans divers projets : outil Parcours, géovisualisation cartographique (Plateforme®) ; constitution de bases de données (inventaire du patrimoine ferroviaire, diagnostics) ; caractérisation des îlots de chaleur ; intégration du risque hydrique ; prise en compte des contraintes (de sol ou de programme).

En 2023, l'outil de modélisation des effets du réchauffement climatique et d'îlot de chaleur urbain à horizon 2050 a été amélioré et complété par des tests qui ont permis de développer des passerelles entre l'outil ICU CARTO et QGIS. L'outil contribue ainsi au processus de conception et favorise l'anticipation de l'impact des projets AREP sur les îlots de chaleur urbains.

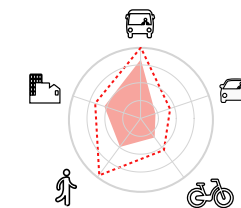
Des travaux sur un outil SIG original ont également permis de mener une étude approfondie sur un grand nombre de gares dans la métropole rouennaise. Du diagnostic d'évaluation aux préconisations et aux scénarios prospectifs, l'outil dédié pour les SERM rouennais a permis de mettre en place une méthode reproductible d'analyse et de comparaison fines des gares sur des critères multiples dans le but d'accompagner les partenaires à mettre en œuvre les SERM.

### Contact

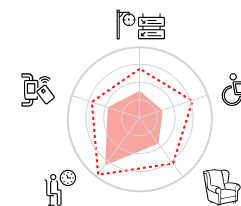
Dir Ingénierie / DATA et modélisation : Thomas Lannelongue  
Dir. Territoires / Flux & mobilités : Matthieu Goudeau

Recherche en cours depuis 2019

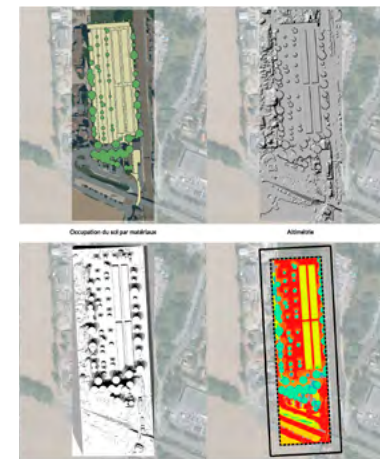
### RADAR Intermodalité



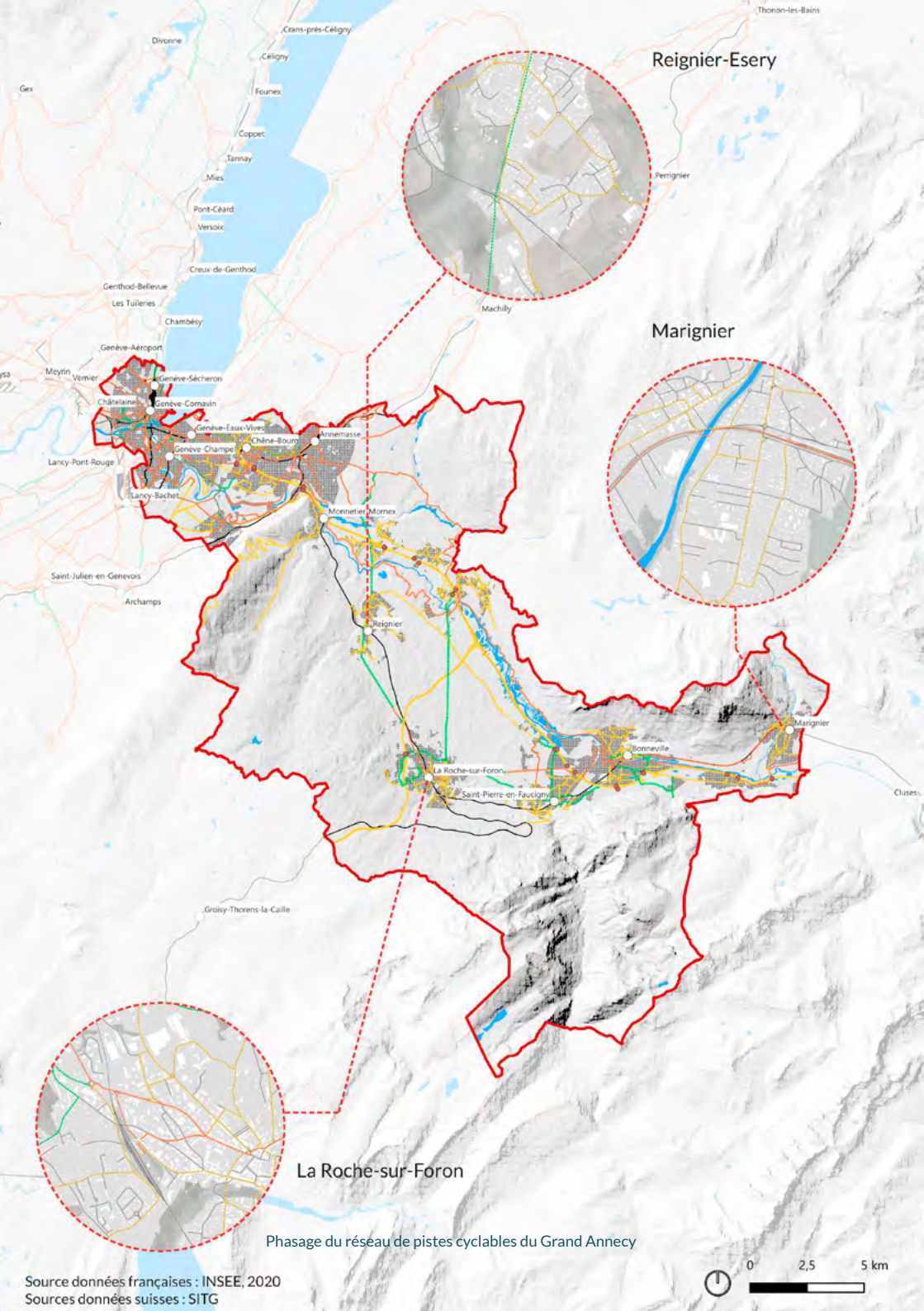
### Services



### Radars de diagnostic multicritères



Étude du score de chauffe dans le projet de PEM Marolles-en-Hurepoix



Phasage du réseau de pistes cyclables du Grand Anancy

Source données françaises : INSEE, 2020  
Sources données suisses : SITG

## Stratégie de décarbonation des territoires appuyée sur un outil de métrique systémique

La recherche vise à développer des outils de mesure des objectifs de décarbonation sur les projets de territoires. Ses objectifs sont de dresser un état des lieux de la région fonctionnelle des cas pris en étude, d'approfondir les connaissances à leur sujet et d'esquisser des scénarios à l'horizon 2050.

À la frontière entre recherche et déclinaisons opérationnelles, les missions « Grand Genève », « Mix'Cit3 » et « Grand Annecy » ont constitué des cas d'étude permettant de faire progresser les méthodes et les outils d'analyse efficaces, tout en les éprouvant sur des enjeux spécifiques.

Le projet « Grand Genève » a exploré les manières de réinvestir le patrimoine bâti et de réduire et décarboner les mobilités afin de répondre à la vision territoriale transfrontalière.

Le projet « Mix'Cit3 » propose différents outils pour compiler et visualiser les données nécessaires à l'objectif de penser et faire des ZAE post-carbone : schématisation des flux de la régénération, estimation carbone, pré-chiffrage et faisabilité économique appuyés sur l'expertise programmatique d'AREP.

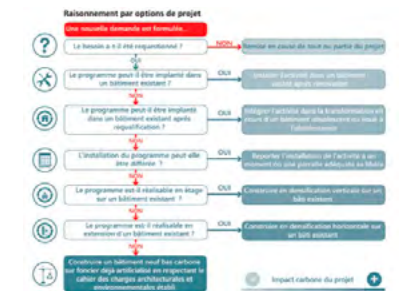
Dans le cadre du projet « Grand Annecy », les recherches ont permis de se focaliser sur la définition des métriques de la transition tout en calculant et analysant les résultats de l'application de ces métriques sur trois trajectoires possibles de projection du territoire dans le futur.



Situations territoriales du Grand Genève



Typologies de tissus agricoles résilients



Logigramme d'évaluation des besoins de construction – MixCit3

### Contact

Dir. Territoires : Hiba Debouk

Recherche en cours depuis 2021

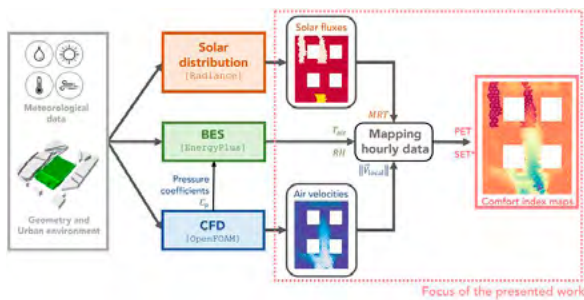


# Confort dans les Espaces Semi-Ouverts (CESO)

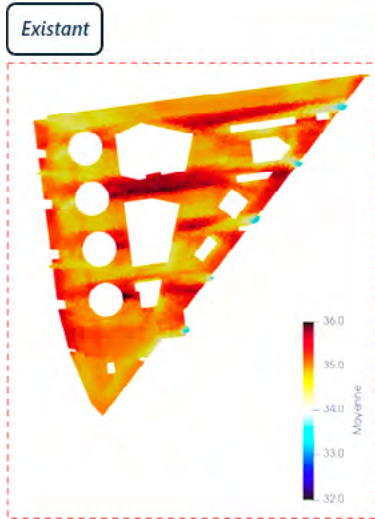
AREP étudie la perception du confort dans les espaces semi-ouverts. La recherche développe des chaînes de simulations, des modèles d'analyse et des approches de représentation des phénomènes physiques au sein des gares et espaces semi-ouverts, en prenant en compte l'ensemble des paramètres concourant à la sensation d'inconfort.

La recherche affine l'hypothèse classique d'une température homogène des pièces par le développement de modèles avec une information spatialisée. Aujourd'hui, elle se déploie à travers des études de confort thermique, de confort au vent ou d'exposition à la pluie battante de nombreuses gares.

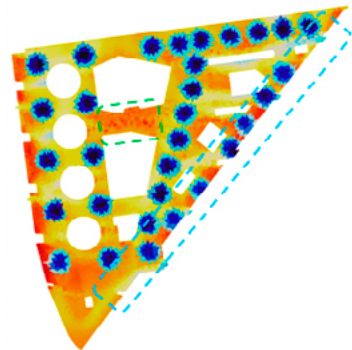
Les travaux récents ont permis de mieux appréhender les phénomènes des vitesses d'air intérieur des gares, notamment dans le but de caractériser l'impact des brasseurs d'air dans un grand volume, en particulier sur le cas de la gare de Rennes. L'évaluation de l'exposition à la pluie est explorée par des simulations et une méthode est mise au point pour évaluer les faiblesses et les points d'attention.



Chaîne de simulation du confort



Gare de Rennes — cartographie du confort ressenti existant (période chaude)



Gare de Rennes — cartographie du confort ressentant avec brasseurs d'air et protections solaires (période chaude)

## Contacts

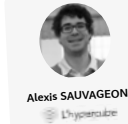
Dir. Ingénierie / L'Hypercube : Alexis Sauvageon, Mateusz Bogdan, Antoine Hubert

Recherche en cours depuis 2015

# Zoom sur la publication...



« Déterminer l'exposition des environnements urbains à la pluie battante : une approche numérique »



L'article d'Alexis SAUVAGEON, publié dans la revue scientifique *Urban Climate* en 2024, présente une méthodologie pour évaluer l'exposition des environnements urbains à la pluie entraînée par le vent, en se basant sur des données météorologiques et des outils numériques. L'ambition derrière cette méthode étant de réduire le nombre de simulations de transport de gouttes de pluie, en s'appuyant sur des outils mathématiques de réduction de modèle. Testée dans divers cadres urbains, cette dernière a montré son potentiel pour des applications en ingénierie et architecture.

Accédez ici à l'article intégral :



## Un enjeu majeur pour la durabilité et la performance des structures extérieures

En présence de vent, les trajectoires des gouttes de pluie sont altérées. Dans un environnement urbain dense, les mouvements tourbillonnaires et les flux aériens complexes redistribuent l'humidité de manière hétérogène sur les façades (figure 1), exposant même des zones que l'on croyait à l'abri. Ce phénomène, acteur principal de l'humidité dans les constructions, précipite l'usure des façades et augmente le risque de dysfonctionnement des équipements, spécialement dans les gares qui s'ouvrent généreusement sur l'extérieur.

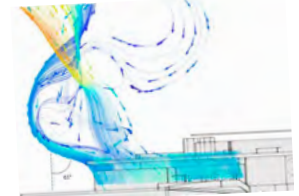


Fig 1 : Trajectoire de gouttes altérées par les courants d'air — gare d'Issy RER.

## Des outils mathématiques de pointe ...

L'établissement de cet indicateur passe par le calcul des cartes d'exposition pour chaque scénario météorologique : direction et vitesse de vent [U], intensité de la pluie [r<sub>h</sub>]. Le caractère original de la recherche repose sur la réduction du nombre de simulations numériques à 40 par direction de vent, là où 400 auraient été nécessaires (figure 2). Pour cela, les 40 cartes d'exposition  $\tilde{V}_{wind}(X, r_h, U)$  issues des simulations (figure 3) sont agrégées dans une matrice, à laquelle une méthode mathématique de « décomposition orthogonale propre » est appliquée. Dans cette représentation simplifiée (figure 4), chaque carte est définie par deux éléments principaux :

- Des modes  $\{\phi_k\}$ , classés par influence sur l'énergie du système, qui illustrent comment celle-ci varie dans l'espace.

Des coefficients  $\{a_k\}$ , basés sur les données météo, qui déterminent l'effet de ces modes sur la réponse du système à la pluie entraînée par le vent.

Pour estimer la pluie battante sous différentes conditions météorologiques, il suffit de déterminer ces coefficients  $a_k$  en interpolant à partir des données de simulation. Cette méthode est d'autant plus fiable que les premiers modes capturés suffisent à conserver une grande part de l'énergie du système, rendant l'approximation très précise avec une complexité réduite. L'article présente ensuite des étapes de validation de la méthode permettant de vérifier son applicabilité à différentes échelles, de préciser le nombre de simulations nécessaires ainsi que la stratégie idéale à appliquer pour minimiser l'erreur d'interpolation.

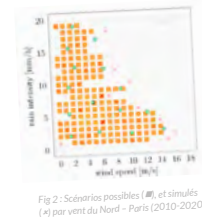


Fig 2 : Scénarios possibles (N) et simulés (X) par vent du Nord - Paris (2010-2020).

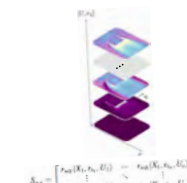


Fig 3 : Cartes d'intensité de pluie, issues des simulations, selon la vitesse du vent, assemblée en matrice pour la POD.

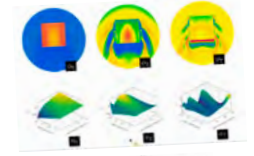


Fig 4 : Représentation du système après POD : modes de variabilité spatiale de l'énergie  $\phi_k$  et coefficients  $a_k$  associées.

## ... au service des projets !

L'indicateur d'exposition à la pluie, ainsi construit, se présente comme une carte du site étudié caractérisant la fraction du temps pluvieux annuel pendant laquelle le site est effectivement mouillé par la pluie. Cette méthode a été appliquée notamment sur les gares de Bondy (figure 5), d'Épônes et d'Évry-Courcouronnes pour caractériser l'efficacité des abris mis en place.

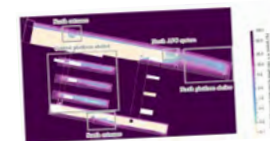


Fig 5 : Exposition à la pluie, gare de Bondy.

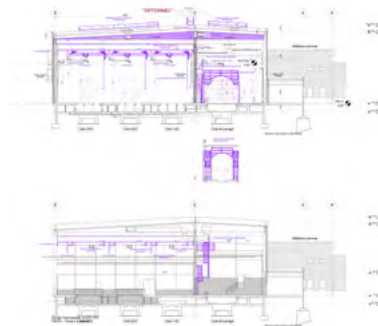
## Gabarits ferroviaires

Les dimensions des gabarits sont régies par des normes nationales et internationales qui permettent d'assurer l'interopérabilité entre les réseaux ferroviaires de différents pays et de faciliter le transport international. La maîtrise des gabarits des trains est alors fondamentale pour la gestion et la sécurité des infrastructures ferroviaires.

En effet, la sécurité des passagers et du personnel ferroviaire dépend directement des analyses permettant de définir et respecter les gabarits en garantissant la conception de matériels roulants et d'infrastructures assurant la circulation des trains librement et efficacement sur le réseau.

En pratique, l'analyse des gabarits est utilisée pour la planification de nouvelles lignes ferroviaires, l'adaptation des trains à de nouvelles routes, et la mise à niveau des infrastructures existantes. Elle joue un rôle clé dans le développement durable du transport ferroviaire, en optimisant l'utilisation des ressources et en réduisant les coûts opérationnels.

La recherche a consisté à automatiser les calculs de gabarits pour construire soit des coupes transversales, soit des objets BIM. La construction des objets BIM gabarits permet ensuite d'automatiser les détections d'interférences avec les ouvrages à construire afin d'assurer une circulation sans risque de collision avec les éléments fixes du réseau ferroviaire, tels que les quais, les tunnels, les ponts, ou encore la signalisation. Elle aboutit également à des préconisations opérationnelles pour le technicentre du Landy et de Joncherolles.



Coupes sur le technicentre de Joncherolles, 2021



Technicentre de Joncherolles : la fosse technique et les rails sur potelets, photo : Maxime Huriez

### Contacts

Dir. Conception & réalisation / DS1 Bâtiments industriels : Léonard Hamburger, Denis Malaquin

Recherche en cours depuis 2023

## Création de standards de conception EMC2B

La recherche vise à développer des méthodes de conception innovantes pour maîtriser et réduire l'impact environnemental des projets de construction.

En 2023, plusieurs études ont été menées afin de perfectionner les outils et développer des standards ambitieux. Par exemple, à l'échelle du bâtiment, des outils comme la moulinette et la calculatrice carbone ont été développés pour estimer l'impact carbone des projets de construction; une analyse comparative des impacts environnementaux de différentes typologies de passerelles a également été effectuée; et un catalogue recense et analyse des solutions d'éco-conception pour accompagner le travail des concepteurs. Par ailleurs, à l'échelle territoriale, une étude des systèmes énergétiques et des flux de matières induits visait à comprendre leur impact environnemental et territorial; une étude de vulnérabilité climatique a évalué les risques climatiques pour les actifs et activités de la SNCF; et le projet Nice Aéroport a mis l'accent sur la végétalisation des abords de la gare pour améliorer la biodiversité et réduire les îlots de chaleur.

Les résultats ont montré l'importance de prendre en compte les enjeux environnementaux dès les premières phases de conception. La démarche EMC2B et ses outils représentent ainsi une avancée significative vers des pratiques de conception et de construction plus durables et respectueuses de l'environnement.

### Contacts

Dir. Ingénierie / Environnement : Jean-Baptiste Lefevre

Dir. International : Fabien Clavier

Dir. Territoires / VRD et paysage : Fabrizio Calosci

Dir. Ingénierie / Data et modélisation : Felix Pouchain / L'Hypercube : Séverine Huet

Dir. Conception & réalisation / DS1 Bâtiments industriels : Lora Saint-Omer

Dir. Stratégie et performance / Recherche : Louise Jammet

Recherche en cours depuis 2020



Répartition de l'empreinte matière associée à la production d'un kWh d'électricité à partir d'un panneau solaire photovoltaïque, d'après le script de régionalisation développé par AREP



Intégration de la démarche EMC2B dans le déroulé de projet grâce à l'appui des différents outils méthodologiques





Plan massé de Dax, état définitif suivant le plan-guide à horizon 2050

## Atténuer et anticiper les risques inondation en ville

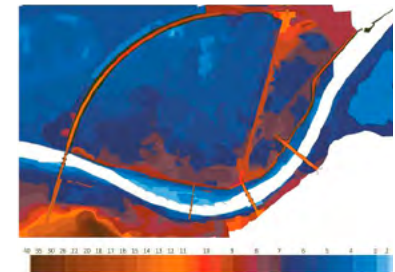
La recherche explore les possibilités de renforcement de la résilience hydraulique du quartier du Sablar à Dax par le remodelage topographique mesuré et la restauration de l'espace de fonctionnement du fleuve.

Lauréat du concours AMITER en 2021, puis mandataire de l'étude de maîtrise d'œuvre urbaine depuis 2023 aux côtés d'Exit Paysagiste associés et Ingetec, AREP développe une étude circonstanciée et approfondie sur les risques spécifiques du secteur en s'appuyant sur les relevés topographiques et l'occupation historique du site et en intégrant le risque hydraulique. Les solutions visent à les minimiser et ainsi à favoriser l'aménagement et la vie du quartier du Sablar.

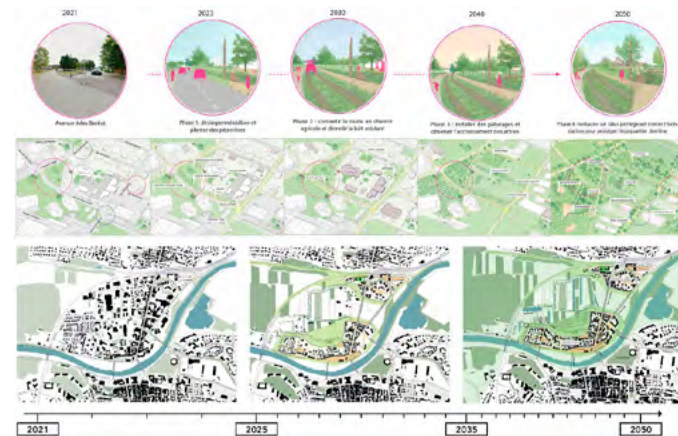
Le plan guide préconise ainsi une intervention sur la circulation routière, une stratégie de dédensification/densification de long terme et une requalification des voies publiques associée à la création de zones publiques refuge en cas de crue. Les deux scénarios proposés ouvrent la voie à un aménagement cohérent avec les évolutions climatiques.



**AMITER**  
Renouvellement  
urbain en secteurs  
inondables  
Concours d'idées



Topographie du quartier du Sablar, Dax



Plan guide du quartier du Sablar à Dax, 2023

### Contacts

Dir. Territoires / Urbanisme : Cécile Lelasseux

Recherche en cours depuis 2020

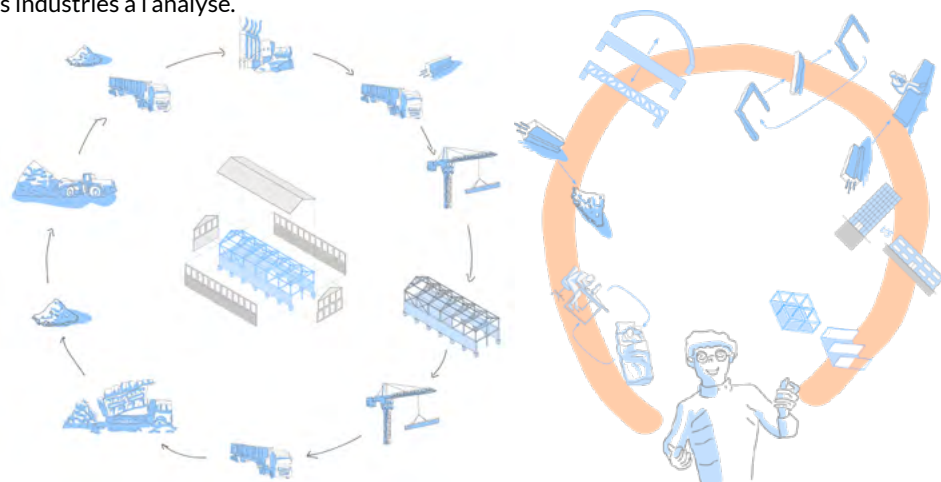


## Structures bas carbone

La recherche a pour objectif d'identifier des leviers pour diminuer l'empreinte environnementale des éléments structurels du bâti par une approche multicritère.

Objet d'une thèse, elle identifie les postes les plus importants dans les structures de bâtiment sur différents indicateurs : réchauffement climatique, impacts sur la biodiversité, santé humaine, consommation de ressources, productions de déchets.

À cette fin, Pierre Navaro-Auburtin développe une méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) approfondie couplée à des calculs de structures. En ciblant différents paramètres significatifs tels que les matériaux, la portée, la trame structurelle et le nombre de niveaux, l'analyse révèle la manière dont ils influencent l'impact environnemental global. L'étude s'intéresse également aux leviers pour réduire ces impacts, notamment les structures en pierre de taille, et intègre les stratégies de décarbonation des industries à l'analyse.



Analyse du cycle de vie des structures, illustration : Pierre Navaro-Auburtin

Étude des leviers et des bonnes pratiques pour la conception, illustration : Pierre Navaro-Auburtin

### Contacts

Dir Ingénierie / Structure : Jean-Luc Martin, Pierre Navaro-Auburtin

Recherche en cours depuis 2022

## Gérer, pérenniser et moderniser le patrimoine des Grandes Halles Voyageurs

La recherche étudie le patrimoine des Grandes Halles Voyageurs (GHV) afin de prévoir leur pérennisation en tenant compte des enjeux de sobriété et de décarbonation, et elle élabore des méthodes et des stratégies de modernisation par le développement de solutions photovoltaïques adaptées aux typologies et structures des GHV d'hier et de demain.

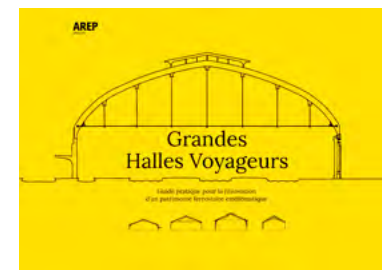
Elle développe des réflexions sur les ambiances, des mesures des potentiels énergétique (photovoltaïque, éolien), nourricier ou hydrique, et plusieurs études de cas avancées combinant rénovation bas carbone, solarisation et optimisation carbone des structures (Angoulême, Lyon Part-Dieu). Une approche de grande échelle vise à étudier le potentiel solaire des terrains du groupe SNCF en inventoriant les sites adaptés et programmer le développement du photovoltaïque.

Elle compte deux thèses. La première, à la croisée de l'ingénierie et de l'histoire, porte sur la rénovation des charpentes métalliques des gares du XIX<sup>e</sup> siècle. En améliorant l'évaluation de la capacité portante de ces anciennes structures, la thèse d'Hannah Franz favorise des interventions structurales plus frugales et l'adaptation de ces structures aux nouveaux défis climatiques. Une seconde thèse questionne l'approche sérielle dans le geste architectural de construire, maintenir, rénover ou restaurer une gare. Alexandrina Striffling étudie la permanence d'activités et d'usages historiques dans les gares de certains pays ainsi que leur disparition dans d'autres afin de déterminer une prospection possible pour envisager la petite et moyenne gare de demain.

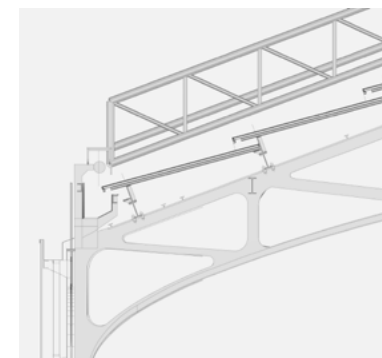
### Contacts

Dir. Ingénierie / Atelier Environnement : Jean-Baptiste Lefeuvre / Structure : Jean-Luc Martin  
Dir. Ingénierie / DATA et modélisation : Félix Pouchain  
Dir. Conception & réalisation : Simon Bergounioux / Patrimoine : Alexandrina Striffling

Recherche en cours depuis 2020



Guide pratique pour la rénovation d'un patrimoine ferroviaire emblématique, AREP, 2023



Détail de construction de la toiture de la GHV d'Angoulême



Tableau analytique de la ligne italienne entre Bologne et Ancône. Réalisation A. Striffling, 2023



## Aménager les espaces d'intermodalité dans un contexte d'occupation informelle

Au travers de deux études menées au Sénégal, AREP met au point des méthodes et des résultats spécifiques sur l'enjeu de l'aménagement urbain en contexte d'occupation informelle.

Un projet porte sur l'implantation et l'aménagement des futures gares du Bus Rapid Transit (BRT) traversant les 13 communes de Dakar. À l'échelle du pays, un projet de Train Express Regional (TER) vise à désengorger la capitale en assurant des connexions entre les villes principales.

La recherche met en œuvre des enquêtes sociologiques et des études de site permettant de caractériser l'occupation informelle des emprises foncières identifiées pour les nouvelles gares. Ce travail participe à informer des stratégies d'aménagement urbain contribuant à la revitalisation économique en contexte spécifique. Ces études sont couplées aux ambitions écologiques bas carbone. Les projets bénéficient d'études approfondies qui permettent de mettre en œuvre un démonstrateur de développement urbain bas carbone, adapté au contexte particulier d'un quartier africain marqué par l'informel, et dont l'objectif est de devenir le pilote d'une génération de changements à venir.



Pôle d'échange de Grand Médine, Schéma de rénovation urbaine, Dakar, Sénégal



Paysage de l'informalité sur un site du futur BRT, Dakar, Sénégal



Principes d'aménagement des espaces publics et du partage de la voirie sur le tronçon Gueule Tapée, Dakar, Sénégal

### Contacts

Dir. Territoires / Urbanisme : Gaëlle Renoncet

Recherche en cours depuis 2017

## Prédiction de la consommation des bâtiments

La recherche a pour but de préciser le cadre d'application du Décret Eco-Energie Tertiaire (DEET) du 1<sup>er</sup> octobre 2019 dans le cas particulier des gares et de le prolonger selon les ambitions du groupe (critères EMC2B).

Cette recherche comporte deux objectifs complémentaires :

- L'accompagnement de SNCF Gares & Connexions pour la transition énergétique et la conformité au DEET de son patrimoine
- Le développement, le déploiement et l'amélioration continue de la « calculatrice énergie » spécifique aux gares

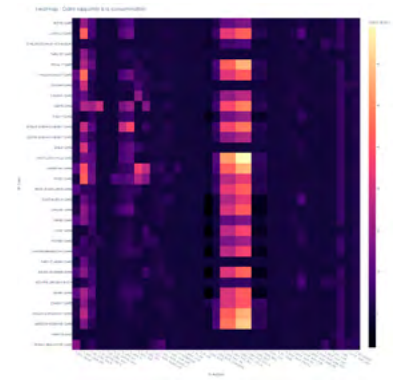
Dans ce cadre, la recherche développe d'une part une méthodologie intégrant des inventaires sur site, des modèles énergétiques simplifiés et des analyses de données capitalisées à la suite des travaux déjà réalisés dans d'autres bâtiments similaires du patrimoine. Le but est d'une part d'identifier les leviers les plus stratégiques dans les projets de gare et d'assurer la performance et les gains énergétiques ; et d'autre part de contribuer à des innovations logicielles pour estimer des consommations énergétiques d'un bâtiment en fonctionnement ou d'un futur bâtiment à partir de la liste des équipements en place et des caractéristiques du projet. Les recherches permettent de cibler les outils les plus pertinents pour assurer une interface utilisateur simple et des calculs complexes et précis.

### Contacts

Dir. Ingénierie / L'Hypercube : Anne Mesureur, Antoine Hubert

Dir. Ingénierie / Atelier Environnement : Jean-Baptiste Lefeuvre

Recherche en cours depuis 2021



Heatmap des gains rapportés à la consommation, par gare et action testées



# Gestion de la consommation des ressources et de l'énergie

La recherche vise à identifier les postes de consommation d'énergie et de ressources dans les gares et à optimiser les dépenses énergétiques des activités de l'entreprise.

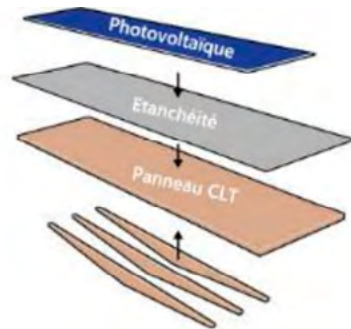
Une étude des types d'éclairages à partir de leurs profils de consommation électrique associée à la gestion de l'éclairage en gare, la recherche permet de réduire la quantité d'énergie utilisée tout en maintenant ou en améliorant la qualité de l'éclairage pour un accès à un environnement bien éclairé, sécurisé et confortable pour les passagers et le personnel.

Des travaux particuliers étudient les ombrières photovoltaïques afin de garantir une conception esthétique restant fonctionnelle et efficace dans les contraintes de l'exploitation ferroviaire.

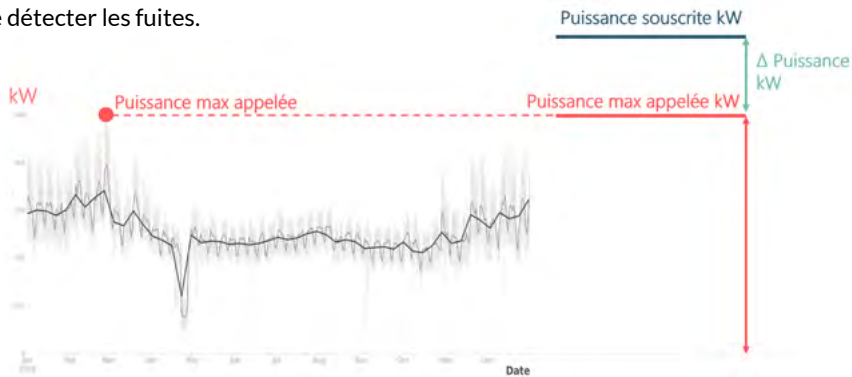
La sobriété en eau est explorée par trois entrées complémentaires : les dispositifs de réduction des consommations, la collecte et la réutilisation des eaux de pluie pour des usages non potables et la surveillance par des capteurs IoT de la consommation d'eau en temps réel afin de détecter les fuites.



Fabrication de l'abri solaire en usine, janvier 2024, photo : Gabriel Robinne



Structure d'ombrière photovoltaïque



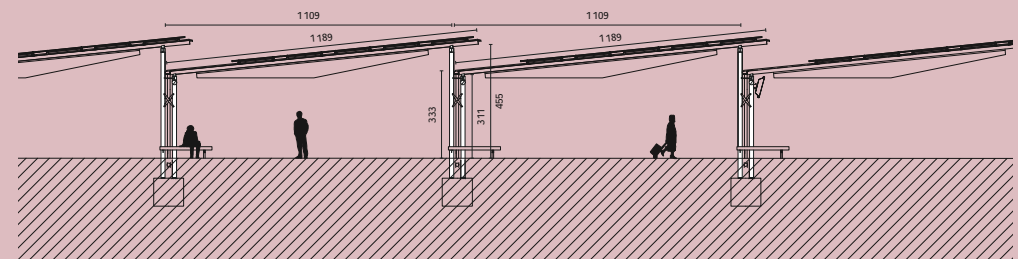
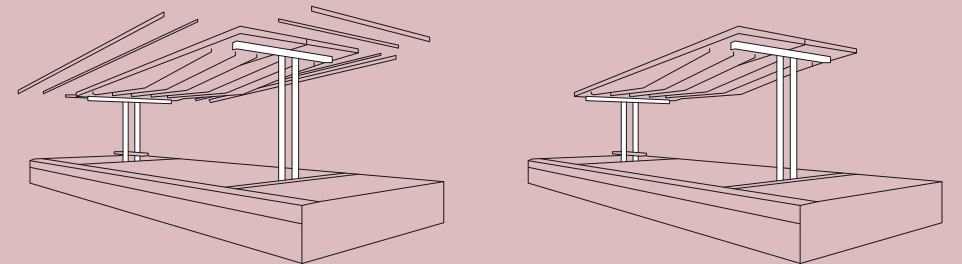
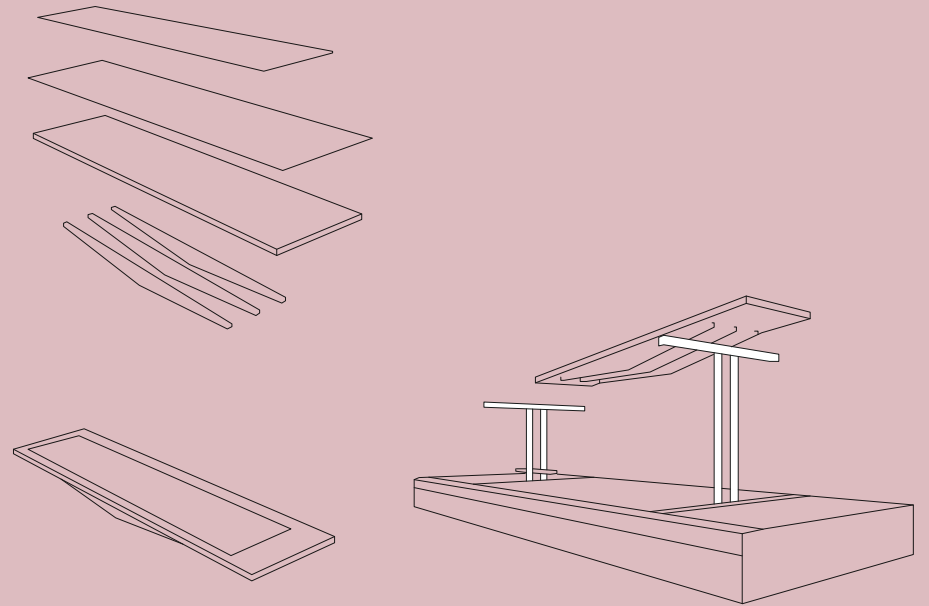
Courbe de charge issue des données extraites de l'outil eCONSO DEEPMI

## Contacts

Dir. Ingénierie / L'Hypercube : Antoine Hubert, Alexis Sauvageon

Dir. Ingénierie / Atelier Environnement : Jean-Baptiste Lefeuvre

Recherche en cours depuis 2022



Abri de quai solaire

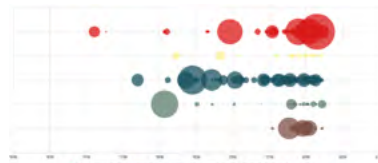
## Nouvelles méthodologies et outils pour l'amélioration des études de flux de personnes

La recherche rassemble trois études menées conjointement.

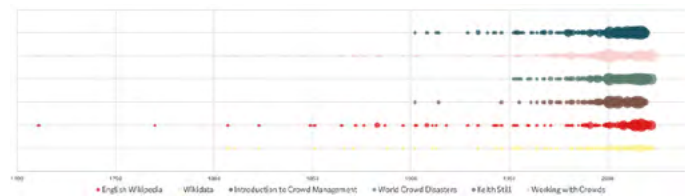
L'étude « Mobility » prolonge les travaux de 2022 pour développer un logiciel d'analyse et de prévision des déplacements individuels, en se concentrant sur les trajets domicile-travail. L'étude « Observatoire des flux » se penche sur les risques, les solutions et sur un diagnostic global de la gestion des flux en gare.

L'étude « Pré-positionnement » analyse les comportements des usagers dans les gares de Douai et du Mans pour optimiser les caractéristiques des quais. Ensemble, ces études visent à améliorer la compréhension et la gestion des dynamiques de mobilité.

Elles ont permis de mieux comprendre les dynamiques de mobilité des usagers et de créer des échantillons représentatifs des déplacements. Les recherches ont révélé des causes récurrentes d'écrasements de foules, soulignant la nécessité d'une base de données centralisée pour améliorer la sécurité ferroviaire. Enfin, elles ont identifié les facteurs influençant le choix des positionnements des voyageurs sur les quais, permettant d'optimiser la répartition des équipements et d'améliorer l'expérience des usagers.



Étude « observatoire des flux » – Nombre de décès liés à des mouvements de foule par année et par catégorie



Étude « observatoire des flux » – Répartition temporelle des événements par source

### Contacts

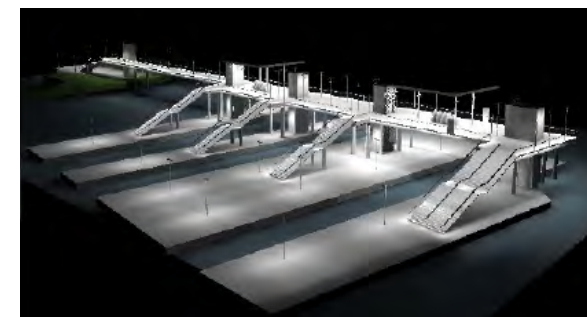
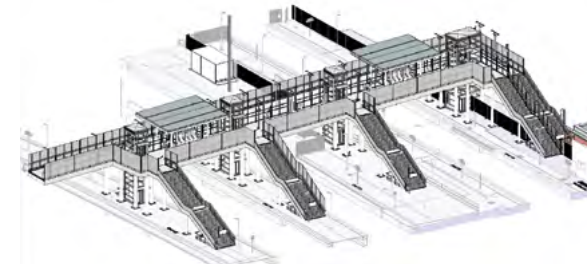
Dir. Territoires / Flux & mobilités : Matthieu Goudeau, Akiko Yoshihara, Capucine-Marin Dubroca-Voisin, Paloma André

Recherche en cours depuis 2021

## Optimiser la conduite de projets sur les nouveaux actifs

En 2020, SNCF Gares & Connexions investit pour rénover le périmètre des quais, des ouvrages de couverture et de franchissement dans les gares ferroviaires de voyageurs dont elle est devenue affectataire.

La recherche vise à améliorer la conduite des projets par une meilleure maîtrise des phases de conception, d'achats et de travaux. Elle a contribué à établir l'inventaire, la valeur patrimoniale et les capacités techniques des grandes halles voyageurs, des abris de quais et des marquises (abris 1972) et à développer une passerelle répondant aux contraintes ferroviaires et environnementales pouvant être déployée sur une multitude de sites à horizon 2030 (Mantes-la-Jolie).

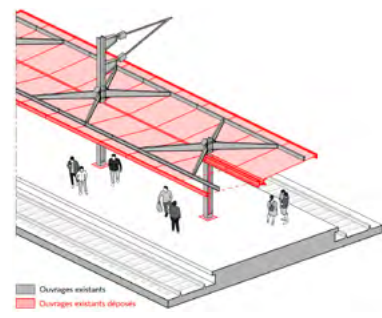
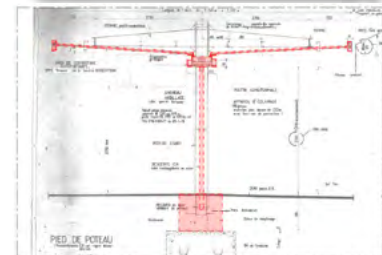


Projet de passerelle et d'éclairage pour la gare de Mantes-La-Jolie

### Contacts

Dir. Conception & réalisation / Studio 6 : Mario Lorenzo / Patrimoine : Véronique Veston

Recherche en cours depuis 2021



Étude patrimoniale et opérationnelle des abris historiques en métal (1972)

# Études et développements de la stratégie BIM

Cette recherche couvre la conception et le développement d'outils BIM et d'une stratégie BIM globale intégrant trois objectifs généraux :

- la conception d'un outil de vérification automatique des maquettes numériques de gestion, exploitation et maintenance (GEM) du patrimoine physique et numérique des gares ;
- l'exploitation des maquettes BIM pour réaliser des estimations d'émissions de carbone complètes des bâtiments visualisés ;
- l'ajout de nouvelles fonctionnalités intégrant des besoins métiers propres au domaine ferroviaire.

L'ensemble des développements permettent de réaliser des calculs de poids carbone tout au long du processus de projet, de faire le suivi de chantier, ou le relevé de dysfonctionnements.

Des études complémentaires ont permis de développer des fonctionnalités BIM, de questionner l'utilisation du BIM au prisme des enjeux de sobriété (organisationnelle, numérique, carbone, matière), de modéliser un système socio-écologique en réseaux multi-niveaux et des outils d'extraction de données efficace.

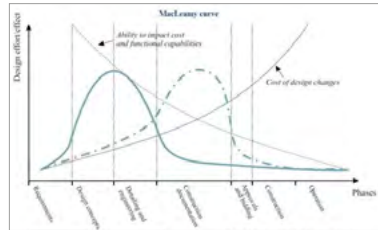
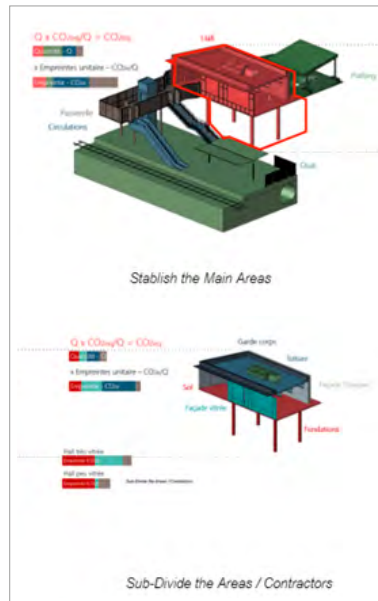


Diagramme des économies de la construction grâce aux efforts en phase amont de conception © Patrick MacLeamy



Démarche de fonctionnement de l'outil BIM & Carbone

Principe de calculs

## Contact

Dir. Ingénierie / BIM & DATA Management : Marie Chaumaz, Mohamed Asli

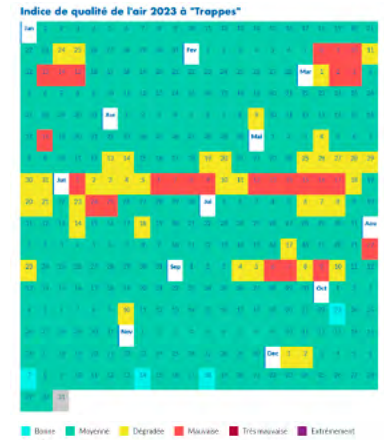
Recherche en cours depuis 2019

# Prédire et améliorer la Qualité de l'Air Intérieur dans les gares souterraines (QAI)

À partir de plusieurs études de cas, parmi lesquelles Trappes et Versailles Rive Droite – École de la Soudure (Ligne L), la recherche développe des outils et modèles de calcul sur la qualité de l'air.

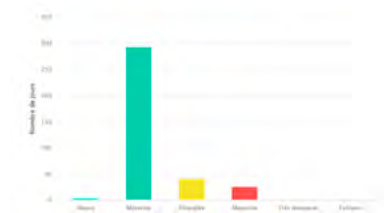
Les travaux articulent les enjeux de confort au vent des espaces extérieurs et souterrains et les problématiques liées à l'accumulation et la stagnation de particules fines provenant du faisceau de voies ferrées. Il s'agit alors de parvenir aux équilibres optimaux, y compris en prenant en compte la qualité des aménagements paysagers, afin de mieux qualifier la qualité de l'air des espaces voyageurs en gare.

Ils sont destinés à optimiser les solutions de filtration de l'air dans les gares (notamment souterraines), à estimer les risques des rejets sur la qualité de l'air, à mesurer l'évolution des concentrations en particules fines ou encore à préciser les connaissances relatives à des événements particuliers (freinage en amont des gares, ventilation naturelle, variations de l'environnement extérieur), voire à concevoir des dispositifs de traitement de l'air.



		Ben	Moyen	Dégradé	Mauvais	Très mauvais	Extrêmement mauvais
Moyenne journalière	PM2.5	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	> 75
Moyenne journalière	PM10	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	> 150
Max Horaire Journalier	NO2	0-40	40-80	80-120	120-230	230-340	> 340
Max Horaire Journalier	O3	0-50	50-100	100-130	130-240	240-380	> 380
Max Horaire Journalier	SO2	0-100	100-200	200-300	300-500	500-750	> 750

Répartition annuelle de l'indice global par qualificatif



Qualité d'air des espaces extérieurs pour la gare de Trappes – sources de polluants

## Contacts

Dir. Ingénierie / L'Hypercube : Anne Mesureur, Mateusz Bogdan

Recherche en cours depuis 2015





*Le quartier pavillonnaire, série des six paysages post-carbone, exposition Énergies Légères  
Raphaël Ménard, illustration : Olivier Campagne, 2023*



# Prototypes

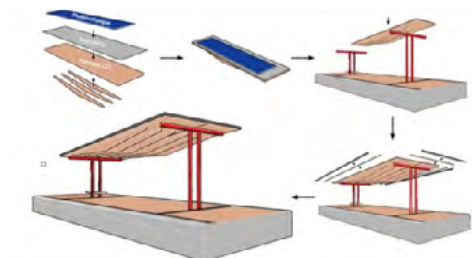
Éprouver des solutions innovantes à grande échelle

## Abri de quai solaire

Conception et réalisation d'un prototype d'abri de quai nouvelle génération équipé de panneaux solaires photovoltaïques.



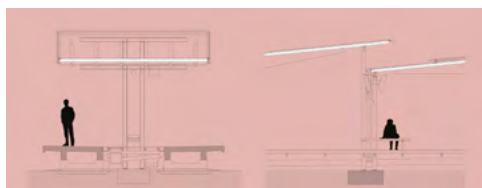
Installation du prototype à La Baule, 2024.



Principe constructif de l'abri



Prototype en situation de test à La Baule, 2024.



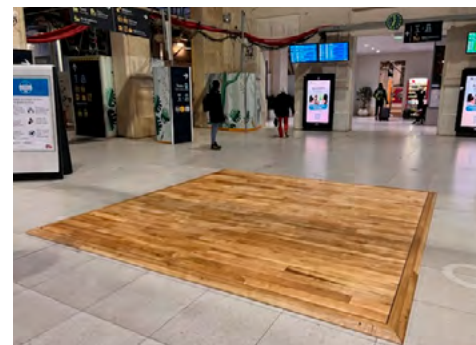
Coupes de principe sur l'abri solaire

## Réemploi de traverses en bois

Projets et mises en œuvre sur site de cas de réemploi de traverses de chemin de fer en bois : test de deux formes de revêtements de sol dans la gare d'Austerlitz (Paris), mise en œuvre de lambris muraux issus du rebut de traverses et de revêtement de plafond dans la gare de Lyon (Paris).



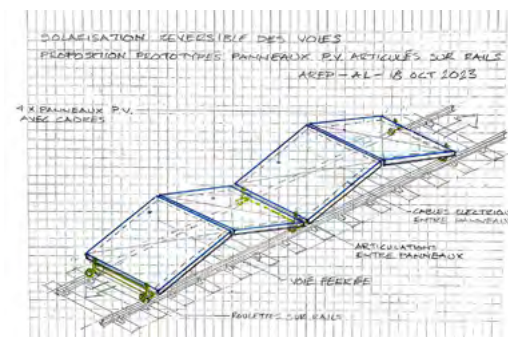
Mise en œuvre de lambris en rebut de traverses bois, Paris, gare de Lyon, juillet 2024, photo : Vincent Jurine



Test de mise en œuvre en revêtement de sol de rebuts de traverses bois, Paris, gare de Lyon, 2024

## Solaire réversible sur voie

Mise au point du principe et réalisation du prototype d'un dispositif mobile et articulé de déploiement de panneaux solaires photovoltaïques sur voies ferrées.



Principe pour un prototype de panneaux photovoltaïques articulés sur rails, octobre 2023, illustration : Alistair Lenzner



Perspective d'un prototype de panneaux photovoltaïques articulés sur rails, octobre 2023



# Aperçu de la production scientifique récente

**Auvray Alexandre, Nils Le Bot, Pascal Marty, et Yohan Sahraoui. 2024.** « La biodiversité des quartiers de gare : systèmes socio-écologique et réseaux multiniveaux ». In *La nouvelle nature des gares*, GéoTraverses, éd. Nacima Baron, **Nils Le Bot**, et Pauline Detavernier.

**Bihoux Philippe. 2023.** « Quelles villes voulons-nous pour demain », *Études*.

**Bogdan Mateusz et al. 2024a.** « A novel method for establishing typical profile of PM concentrations ». *Indoor Air Conference* (Hawaï - États-Unis).

**Bogdan Mateusz , et al. 2024b.** « Daily PM concentrations profiles in some Parisian railway stations ». *Indoor Air Conference*, Hawaï (États-Unis).

**Bogdan Mateusz , et al. 2024c.** « Evaluation of the effectiveness of filtration systems in Parisian underground railway stations ». *Indoor Air Conference* (Hawaï - États-Unis).

**Bogdan Mateusz . 2024d.** « A Novel Method for Establishing Typical Daily Profile of PM Concentrations in Underground Railway Stations ». *Indoor Environments* 1(3) : 100040.

**Bogdan Mateusz , et al. 2024e.** « Profils types journaliers des concentrations en particules dans les enceintes ferroviaires souterraines parisiennes. » *CFA2024 – 37ème Congrès Français sur les Aérosols*.

**Bogdan Mateusz, Edouard Walther et Antoine Hubert. 2024.** « La distribution de Weibull, un outil utile ou dépassé ? Application au confort au vent ». p. 91-99. *Conférence IBPSA France* (La Rochelle - Oléron).

**Chauvet Guillaume, Mina Roncière et Capucine-Marin Dubroca-Voisin. 2024.** « Parcours, a Modelling Pedestrian Tool at the Station Scale Using OpenStreetMap ». *Colloque ETC*.

Detavernier Pauline et **Alexandrina Striffling-Marcu. 2024.** « L'architecture ferroviaire et son réemploi : une histoire par le matériau ». In *La nouvelle nature des gares*, GéoTraverses, éd. Nacima Baron, **Nils Le Bot**, et Pauline Detavernier.

**Dubroca-Voisin Capucine-Marin. 2023.** « How to Navigate Crowd Crushes History? A Compilation of Six Existing Sources ». *Collective Dynamics* 8 : 1-13.

**Dubroca-Voisin Capucine-Marin, Julien Betoule, et al. 2024.** « Analyse multi-critères d'un ensemble de solutions existantes ou innovantes de gestion des flux face à la saturation ferroviaire ». *Rencontres Francophones Transport Mobilité* (Paris).

**Dubroca-Voisin Capucine-Marin, Guillaume Chauvet, Mina Roncière, Fanny Chevalier, Dounia Idorane, Baptiste Frioux, Matthieu Goudeau. 2024.** « Massifying Metropolitan Modal Shift to Trains: Challenges of the SERM Projects in France ». *AESOP* (Paris).

**Dubroca-Voisin Capucine-Marin, et Dounia Idorane. 2024.** « Which Transit Data for Post-Carbon Societies? A Global Approach in French Context ». *Colloque Transit Data* (Londres - Royaume-Uni).

**Franz Hannah et al. 2024.** « Assessment of the rotational stiffness of single-riveted joints in a steel lattice girder by modal analysis ». *Engineering Structures*, 298: 117052.

**Jammet Louise. 2024.** « Métropoles post-carbone : pour un imaginaire des faces arrière ». *Colloque de Cerisy (Cerisy-la-forêt)*.

**Jammet Louise et al. 2024.** *Faire la transition dans son salon ? La transformation du logement et ses contraintes*. Leroy Merlin Source, Laboratoire PAVE, Laboratoire Espi2R. [en ligne]

**Jammet Louise et Nils Le Bot. 2024.** *Imaginaires post-carbone. Trajectoires et faces cachées*. Paris : AREP Éditions.

**Le Bot Nils et al. 2023.** *Urbalotek 2 : Cahier d'inspirations de la ville low-tech*. Paris : ADEME

**Le Bot Nils. 2024.** « Flux et fonctionnalités métaboliques des systèmes-gares : entre idéologie et expérimentations ». In *La nouvelle nature des gares*, GéoTraverses, éd. Nacima Baron, **Nils Le Bot**, et Pauline Detavernier.

**Le Bot Nils, Nacima Baron, et Pauline Detavernier. 2024.** *La nouvelle nature des gares*. Saint-Denis : Presses universitaires de Vincennes.

**Le Bot Nils, Nacima Baron, et Pauline Detavernier. 2024.** « Pour une perspective critique et interdisciplinaire de l'écomodernisation des gares. Retour sur le colloque "La nouvelle nature des gares" ». *Natures Sciences Sociétés*.

**Le Bot Nils et Louise Jammet. 2024.** « Alternative Futures : Between Conformity and Radicality ». *AESOP* (Paris).

**Madl Lukas. 2024.** « Renaturation ou restauration des sols ? Une définition à éclaircir ». *CD'idées, Caisse des dépôts*, [en ligne].

**Ménard Raphaël. 2023.** *Énergies légères : Usages, architectures et paysages*. Paris : Pavillon de l'Arsenal.

**Ménard Raphaël. 2024.** « Transparence, low-tech et réchauffement climatique : vers l'enveloppe post-carbone ». In *Transparence et légèreté en architecture : Façades, murs-rideaux, enveloppes intelligentes, 1970-2025*, éd. Matteo Porrino. Gollion : Infolio, 304p.

**Navaro Auburtin Pierre, Jean-Luc Martin, et al. 2023.** « Influence of building geometry on the environmental impact of building structures ». *Journal of Physics: Conference Series* 2600 (15) : 152001.

**Navaro Auburtin Pierre, Jean-Luc Martin et al. 2024.** « Going beyond carbon: Influence of structural parameters on the environmental impacts of typical building structures ». *Journal of Building Engineering* 97 : 110879.

**Navaro Auburtin Pierre, Jean-Luc Martin et al. 2024.** « Reducing the Environmental Impact of Buildings through Stone Masonry Structures ». *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2024* « Redefining the Art of Structural Design »

**Sauvageon Alexis, et al. 2024.** « A Simplified Method for Thermal Buckling Verification in Steel-Concrete Composite Elements ». *Journal of Constructional Steel Research* 214 : 108433.

**Sauvageon Alexis, et al. 2024a.** « Assessing long-term exposure to wind-driven rain in urban environments: A computational method ». *Urban Climate* 53 : 101831.

**Sauvageon Alexis, et al. 2024b.** « Facing Wind-Driven Rain : Forecasting Fare System Resilience through Epône Train Station's Example ». p. 529-537. *Conférence IBPSA France (La Rochelle - Oléron)*.

**Walther Edouard, et Mateusz Bogdan. 2024.** « Contribution solaire au bilan thermique du corps humain : un modèle anisotropique simplifié ». p. 613-620. *Conférence IBPSA France (La Rochelle - Oléron)*.

Contact :  
[melina.mulin@arep.fr](mailto:melina.mulin@arep.fr)

2024 • AREP

[www.arep.fr](http://www.arep.fr)

