

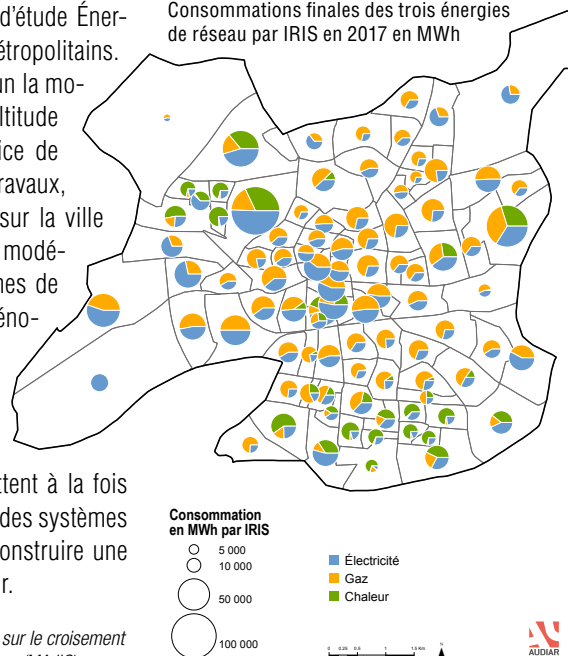
# Modélisation, transition et planification énergétiques : quelle lecture des enjeux à échelles fines ?

## INTRODUCTION

Pour répondre aux enjeux de la ville post-carbone, certaines problématiques doivent impérativement être pensées aux mailles les plus fines possibles. La rénovation des bâtiments, le développement des énergies renouvelables ou la mobilité durable sont autant de défis qui nécessitent d'être appréhendés et optimisés localement. L'échelle globale est indispensable, car elle permet de fixer un cap avec des objectifs structurants, notamment au travers des Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET). Pour autant, la diversité des formes urbaines, des types d'habitats, des périodes de construction ou encore des modes de chauffage nécessite également de penser les enjeux au plus proche du réel. Mais comment faire pour appréhender ces questions alors même que les données sont parfois manquantes, incomplètes ou secrétisées à la maille infracommunale ? La modélisation permet-elle de répondre à l'ensemble de ces besoins ? En 2019-2020, l'Audiar a été associée à plusieurs projets

expérimentaux sur le territoire rennais, en collaboration avec le bureau d'étude Énergies Demain et les services métropolitains. Tous ont comme point commun la modélisation à partir d'une multitude de données<sup>1</sup>, mises au service de plusieurs cas d'usages. Ces travaux, disponibles pour le moment sur la ville de Rennes, illustrent ce que la modélisation peut apporter en termes de planification énergétique, de rénovation des logements ou d'optimisation des déplacements urbains. Ce sont des outils d'aide à la décision pour des sujets complexes, qui permettent à la fois une meilleure compréhension des systèmes actuels, mais également de construire une vision prospective pour l'avenir.

CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES SUR RENNES  
Consommations finales des trois énergies de réseau par IRIS en 2017 en MWh

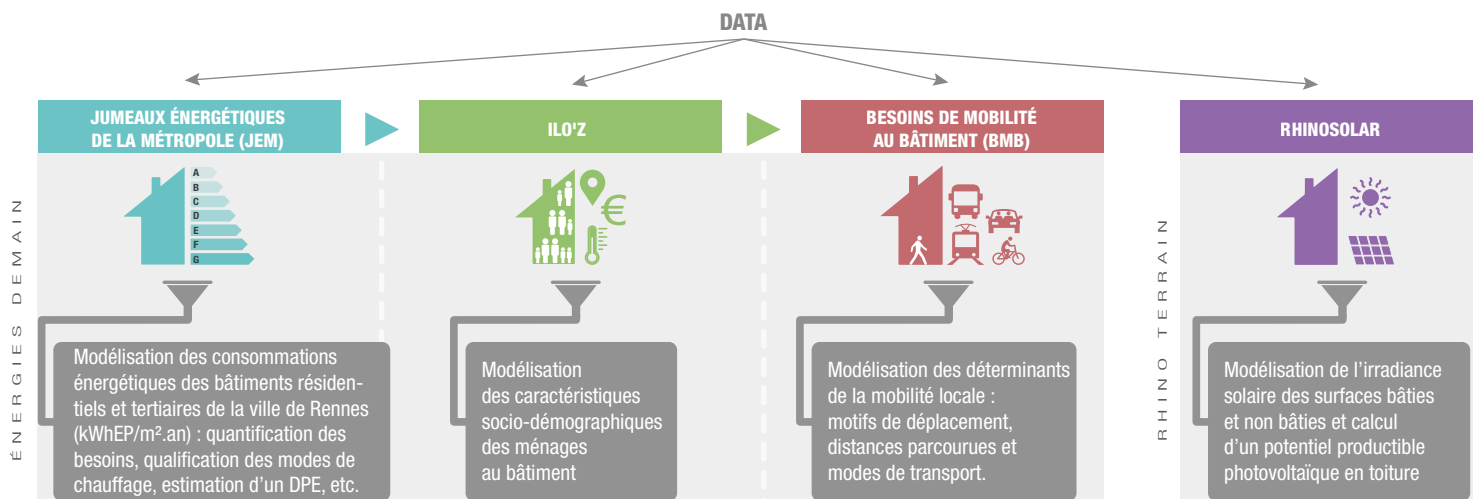


<sup>1</sup> Les modélisations réalisées reposent sur le croisement de données très diverses : fichiers fonciers (MAJIC), fichiers FILOCOM, RP INSEE, fichiers Enedis & GrDF, fichier SIRENE Insee, base commerces Audiar, base bâtiment Rennes Métropole, enquêtes ménage-déplacement (EMD), et autres modèles Énergies Demain (ex : ENERTER).

Sources : GRDF, GRT Gaz, Rennes Métropole - Fond : BD CARTO©  
© IGN 2017 - licence n°2017-DINO-1-29-0003 - Traitements et réalisation : Audiar - Mars 2020.

## La modélisation, une source de données complémentaire pour l'aménagement du territoire

Si certaines données sont progressivement ouvertes à l'échelle des communes ou des IRIS de l'Insee, comme pour les consommations énergétiques (carte ci-dessus), une descente d'échelle est souvent nécessaire si l'on souhaite prendre en compte les particularités urbaines et sociales d'une ville.



# CARACTÉRISER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS POUR PLANIFIER ET OPTIMISER LES RÉNOVATIONS

La trajectoire nationale de neutralité carbone, fixée à l'horizon 2050, a fait de la rénovation des logements énergivores un enjeu essentiel pour les territoires. Rennes Métropole s'en est d'ailleurs saisi avec son Plan Climat, qui fixe comme objectif la rénovation niveau BBC de 6 000 logements par an dès 2025. Rendre celles-ci contraignantes pour les propriétaires de passoires énergétiques<sup>1</sup> est une question régulièrement mise en débat, l'exemple le plus récent étant la proposition<sup>2</sup> de la Convention Citoyenne pour le Climat, remis le 21 juin 2020 à l'ex-ministre de la transition écologique et solidaire, Élisabeth Borne. **Mais combien de logements seraient alors concernés sur la ville de**

1 DPE F ou G.

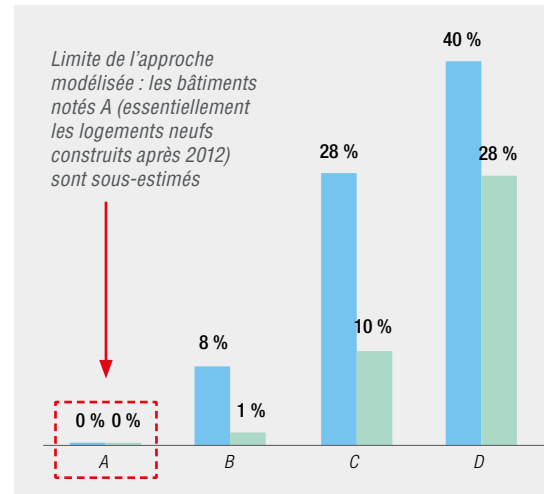
2 Rendre obligatoire la rénovation énergétique des logements pour toutes les copropriétés, logements sociaux et maisons individuelles louées d'ici à 2030 pour les passoires thermiques (étiquette énergétique F ou G) et d'ici à 2040 pour les étiquettes D et E. Pour les maisons individuelles occupées par leur propriétaire, l'obligation de rénovation s'imposerait dès 2024 lors des ventes, héritages ou transmissions, si elles sont moins performantes que A ou B, les meilleures étiquettes énergétiques.

**Rennes ? Où se situent les propriétaires occupants les plus susceptibles de rénover leur logement ? Quels sont les quartiers les plus concernés ?**

## Localiser les bâtiments énergivores

Certaines données récemment ouvertes à l'adresse, comme la base des Diagnostic de Performance Énergétique (DPE) de l'Ademe (carte à gauche ci-dessous), permettent d'avoir une vision partielle de la réalité car ils sont réalisés uniquement sur les logements mis en vente et en location. Un même logement peut ainsi faire l'objet de plusieurs DPE, et la méthode utilisée pour certains diagnostics prend en compte les usages des habitants (DPE sur factures). La modélisation JEM (Jumeau Énergétique de la Métropole) réalisée sur la ville de Rennes (carte à droite ci-dessous) permet, quant à elle, d'obtenir une vision exhaustive à l'échelle des bâtiments, sans doublons et avec une méthode unifiée. La marge d'erreur est certes plus importante (notamment pour les bâti-

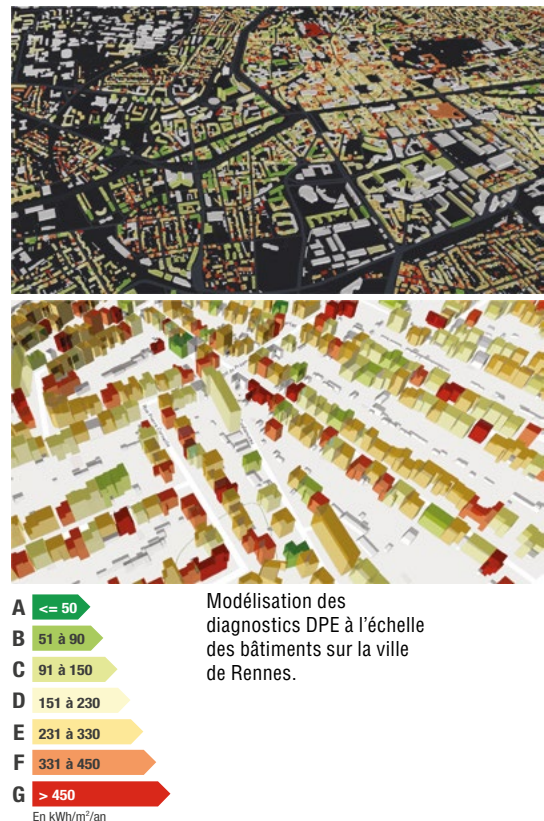
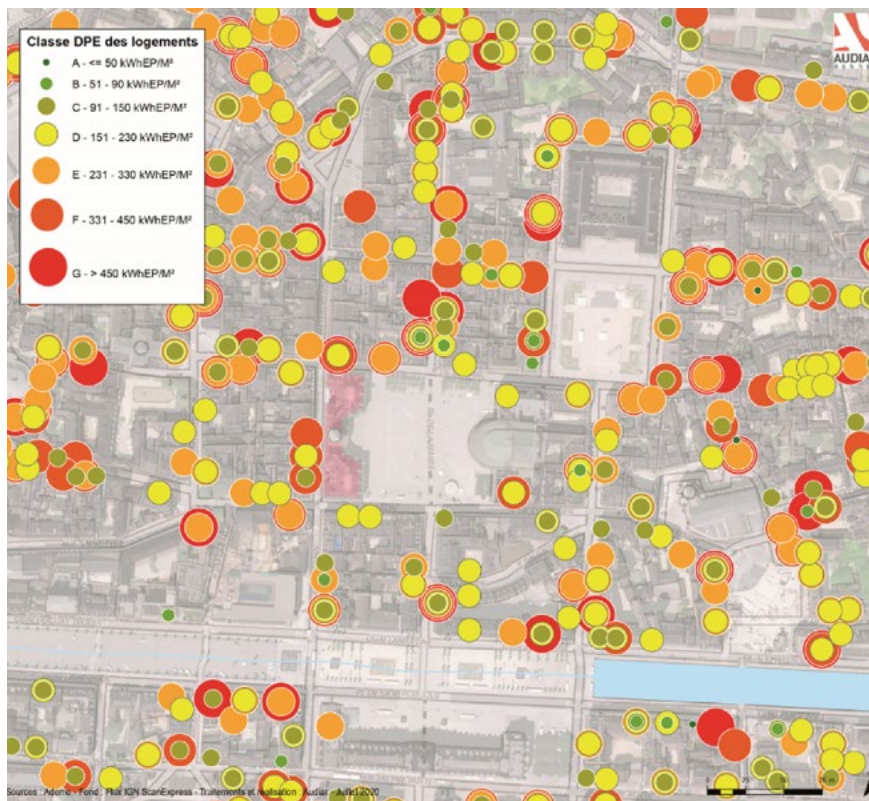
## RÉPARTITION DES LOGEMENTS SELON LEUR CLASSE DPE DAN

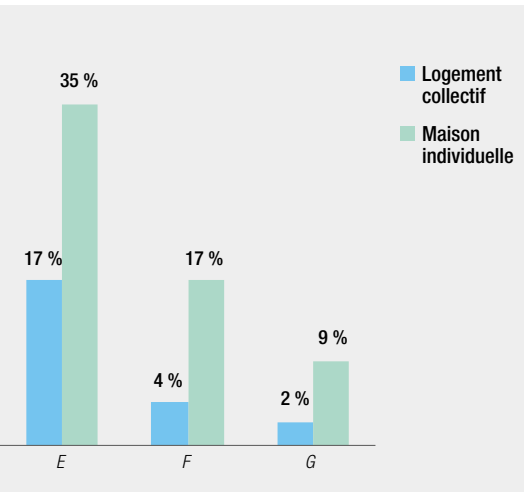


ments neufs pour lesquels on observe une sous-estimation de la performance thermique, mais les deux sources deviennent donc complémentaires, et permettent ainsi d'appréhender la performance énergétique des bâtiments au plus proche du réel. La spatialisation des caractéristiques socio-économiques des ménages, cœur du projet Ilo'Z, a permis dans un second temps de localiser précisément ceux étant les plus à même de rénover sur leur logement (score « profil rénovateur », cartographié ci-contre). Les critères permettant d'identifier

## RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS

Localisation de la base DPE Ademe sur le centre-ville de Rennes





ces ménages se basent sur les résultats de l'enquête TREMI (Travaux de Rénovation Énergétique des Maisons Individuelles), réalisée par l'Ademe en 2017 :

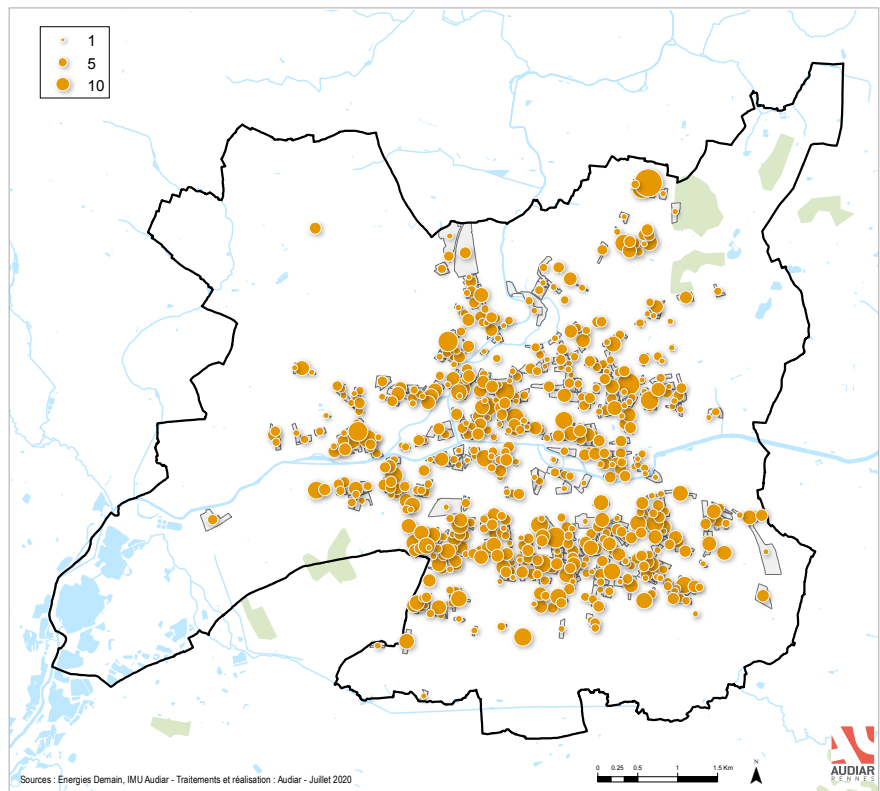
- type d'occupant (propriétaire/locataire) ;
- effectifs dans le ménage ;
- revenus disponibles du ménage ;
- période de construction du logement.

Cette localisation fine des ménages les plus susceptibles de rénover leur bien, lorsqu'elle est croisée avec les caractéristiques thermiques des bâtiments, peut ainsi permettre d'optimiser des campagnes d'incitation à la rénovation, de cibler des rénovations groupées de logements ou encore de moduler certaines aides locales.

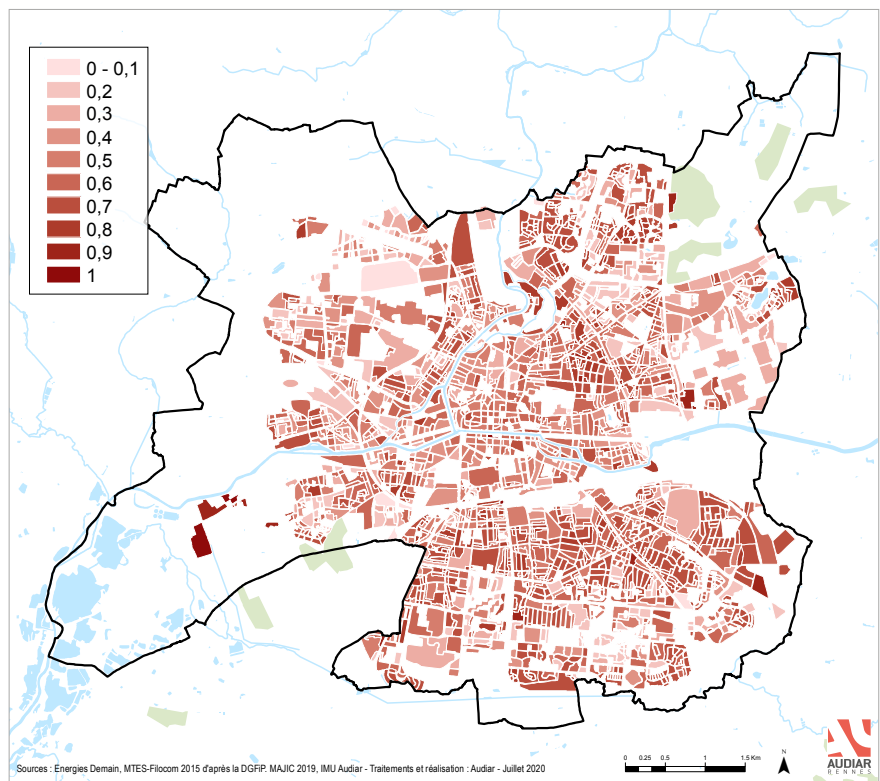
“ **Le projet ILO'Z** s'inscrit pleinement dans la stratégie ambitieuse d'Énergies Demain en matière d'outillage des collectivités territoriales, et vient compléter les développements réalisés dans le cadre du **projet JEM Rennes**, en y ajoutant une vision quartier et énergies renouvelables. De part la forte composante urbaine du projet, il a été nécessaire d'expérimenter sur un territoire riche en données de qualité, tout en étant accompagné par un acteur local aux connaissances pointues sur les cas d'usages envisagés. C'est donc naturellement que nous nous sommes tournés vers l'AUDIAR et Rennes Métropole.

**Emmanuel FERNANDEZ**  
Responsable d'activité,  
Énergies Demain

RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS  
Estimation du nombre de passoires thermiques (DPE F ou G) par îlot



RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS  
Score « profil rénovateur » par îlot



## METTRE EN PERSPECTIVE LES CARACTÉRISTIQUES DES LOGEMENTS AVEC LES VULNÉRABILITÉS SOCIALES POUR MIEUX CIBLER LES ACTIONS DE PRÉVENTION ET LES INTERVENTIONS

D'après la loi Grenelle 2, « Est en situation de précarité énergétique une personne qui éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat ». La problématique requiert donc de croiser les niveaux de revenus des ménages, la qualité des logements ainsi que les modes de chauffage. **Mais comment quantifier le nombre de ménages en situation de précarité énergétique ? Peut-on localiser finement les bâtiments concernés afin d'aider les ménages occupants et planifier des rénovations ?**

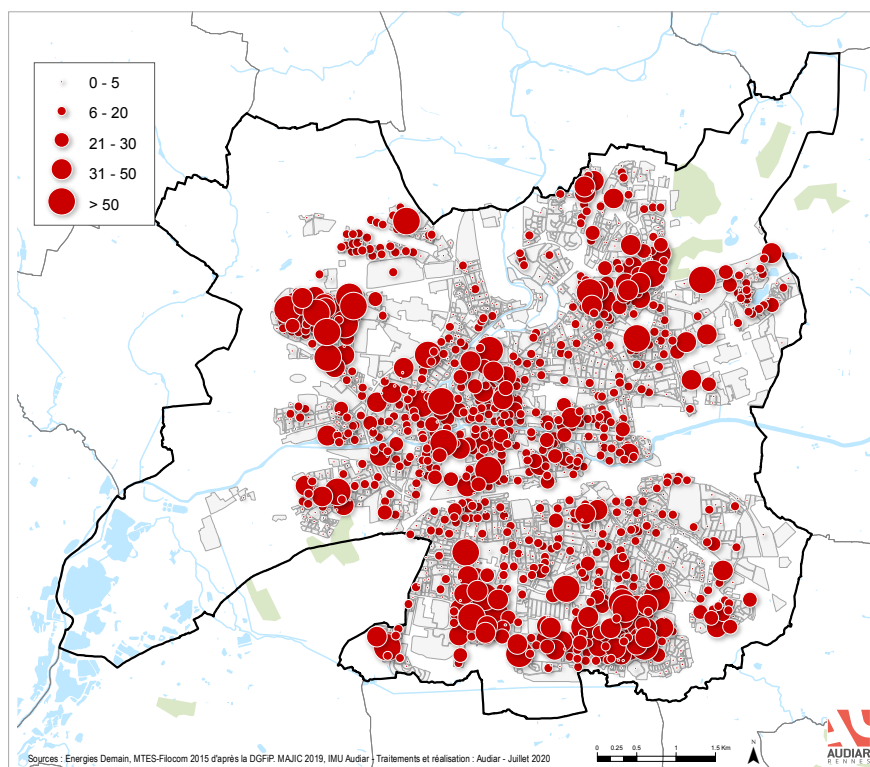
### La précarité énergétique

Les croisements des deux modélisations JEM et Ilo'Z ont permis de travailler ces problématiques. Plus précisément, les ménages disposant de revenus situés dans les 3 premiers déciles nationaux et dont les consommations d'énergie représentent plus de 8 % des revenus disponibles ont été ciblés (indicateur TEE\_8%\_3D). Sur la ville de Rennes, 15 500 logements seraient ainsi en situation de précarité énergétique, soit près de 15 % du parc. Ces apports de connaissance pourront permettre à la collectivité de proposer des outils d'intervention plus opérationnels, tant en termes de rénovation des logements que d'accompagnement social des ménages.

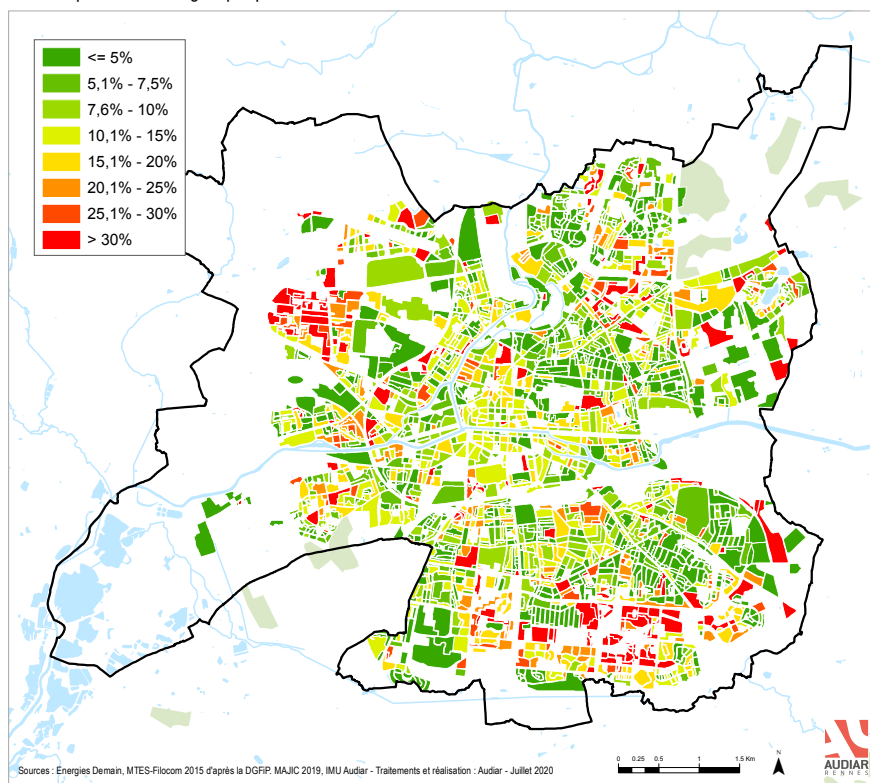


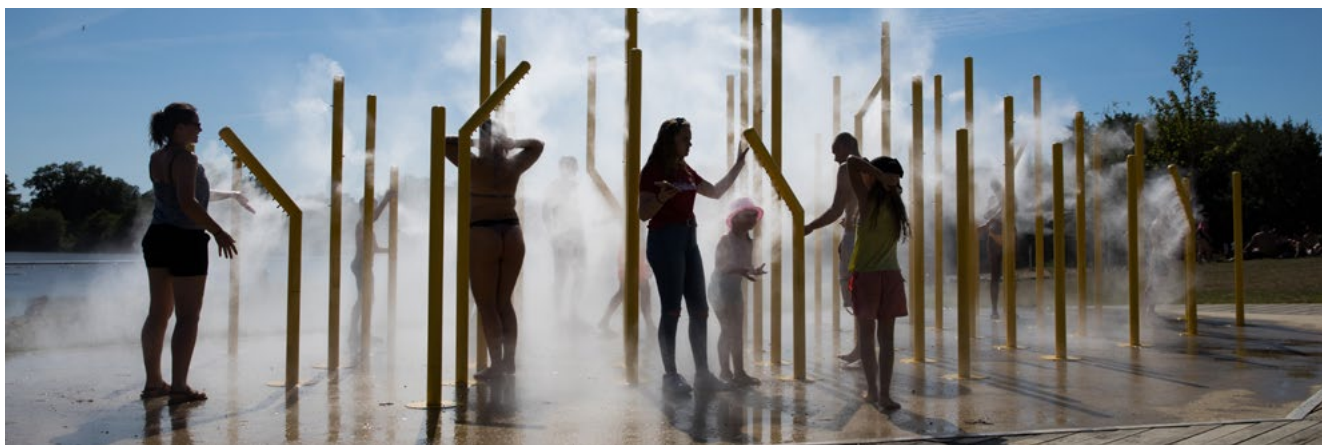
© Avr203 - Rennes, Ville et Métropole.

**PRÉCARITÉ ÉNERGÉTIQUE**  
Nombre de logements en situation de précarité énergétique par îlot



**PRÉCARITÉ ÉNERGÉTIQUE**  
Taux de précarité énergétique par îlot





© Anne-Cécile ESTÈVE - Rennes, Ville et Métropole.

## Santé des populations : le risque lié aux Îlots de Chaleur Urbains (ICU)

Le risque lié aux Îlots de Chaleur Urbains (ICU) est un autre cas d'usage qui a pu être étudié. La cartographie de l'intensité de l'ICU dans la ville de Rennes permet de caractériser l'exposition de certains logements, tandis que les spécificités sociodémographiques permettent de qualifier la sensibilité au phénomène. En effet, lors d'une canicule, une personne âgée sera beaucoup plus sensible qu'une personne jeune, d'autant plus si elle vit seule et que ses revenus sont faibles. Les critères suivants ont donc été retenus pour qualifier la sensibilité des ménages au phénomène d'ICU à l'échelle des îlots, selon trois niveaux (faible, moyen, élevé) :

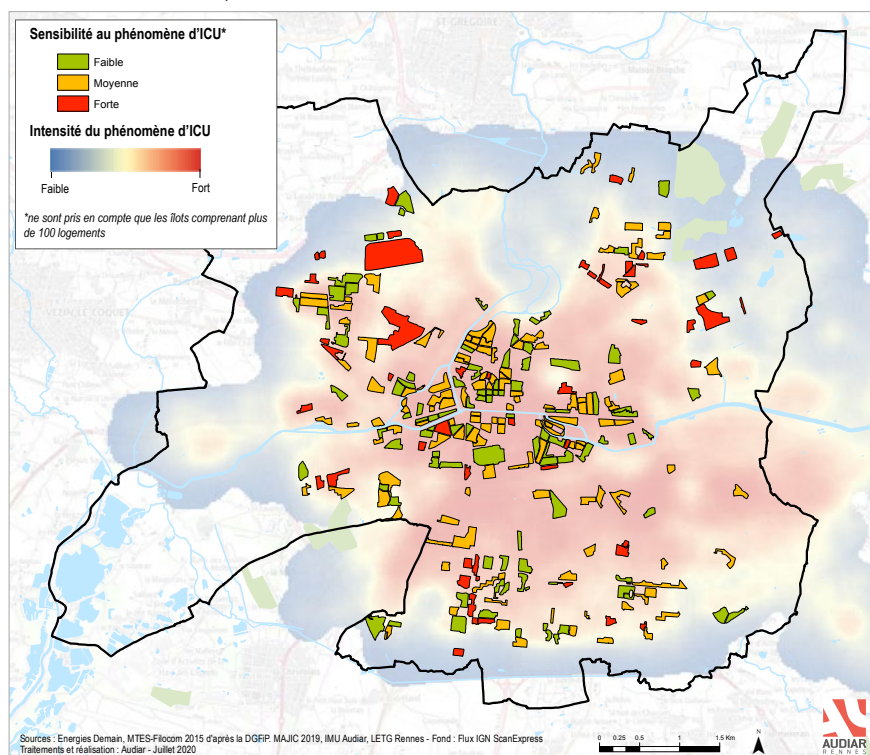
- présence de ménages âgés ;
- présence de personnes vivant seules ;
- présence de jeunes enfants ;
- présence de ménages monoparentaux ;
- niveau de revenus des ménages.

Croisés avec l'intensité de l'ICU, ces résultats permettent finalement d'apprécier les impacts potentiels et donc la vulnérabilité du territoire à la chaleur. À l'avenir, avec l'intensification et la démultiplication des événements climatiques exceptionnels, ces éléments pourront permettre d'optimiser la surveillance et la prévention à destination des ménages les plus vulnérables.

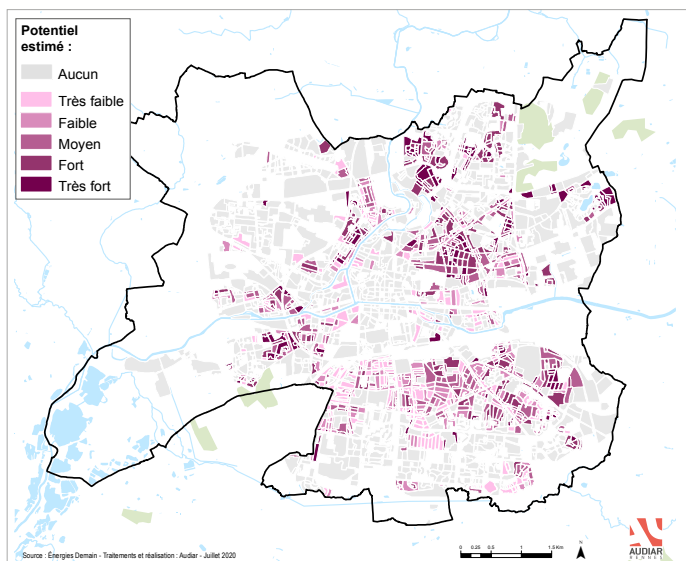
## OPTIMISER LES DÉPLACEMENTS URBAINS, FAVORISER LES MODES ACTIFS ET PEU POLLUANTS

La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les années à venir nécessite de repenser les modes de déplacement urbains. L'électrification du parc de véhicules devrait logiquement progresser, conjuguée à une hausse des modes actifs. Rennes Métropole s'est notamment fixé, avec son Plan Climat et son Plan de Déplacement Urbain, une réduction de 10 % des kilomètres parcourus en véhicules routiers sur le territoire entre 2010 et 2030. Pour comprendre la situation actuelle et accompagner, voire provoquer ces changements en faveur d'une mobilité durable, les acteurs du territoire se reposent sur des outils techniques comme les Enquêtes Ménage-Déplacement (EMD). Très utiles, elles ont néanmoins la particularité d'être très onéreuses, chronophages, rarement mises à jour et les descentes d'échelles sont limitées. Pourtant, sur certains secteurs urbains, la mobilité doit se penser à la maille infracommunale : un quartier, un îlot ou encore une zone d'activités. **Ainsi, comment faire pour estimer les parts modales d'un secteur délimité comme une zone industrielle ou tertiaire ? De quelles communes proviennent les salariés qui y travaillent ? Dans certains quartiers résidentiels, le réseau électrique existant doit-il être renforcé pour anticiper et supporter la charge des véhicules électriques des particuliers ? Les bornes publiques de recharge sont-elles assez nombreuses et bien localisées ?**

SENSIBILITÉ AUX ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS  
Identification des îlots les plus sensibles aux ICU selon trois niveaux sur la ville de Rennes

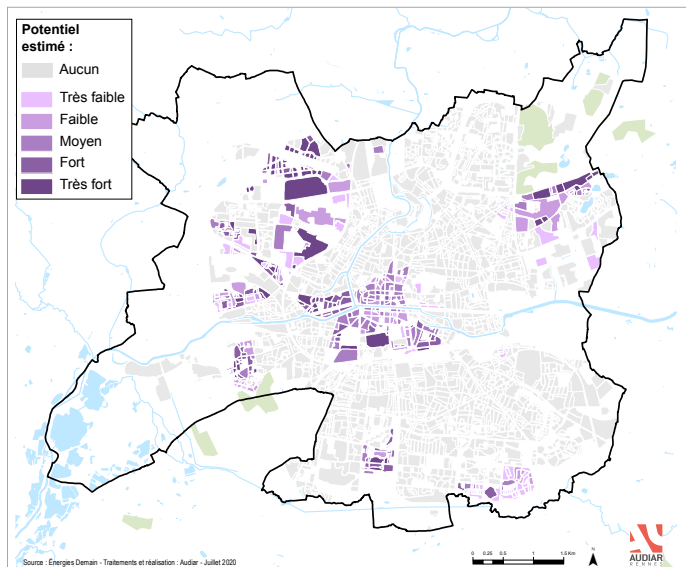


## POTENTIAL D'IMPLANTATION DES INFRASTRUCTURES DE RECHARGE DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES



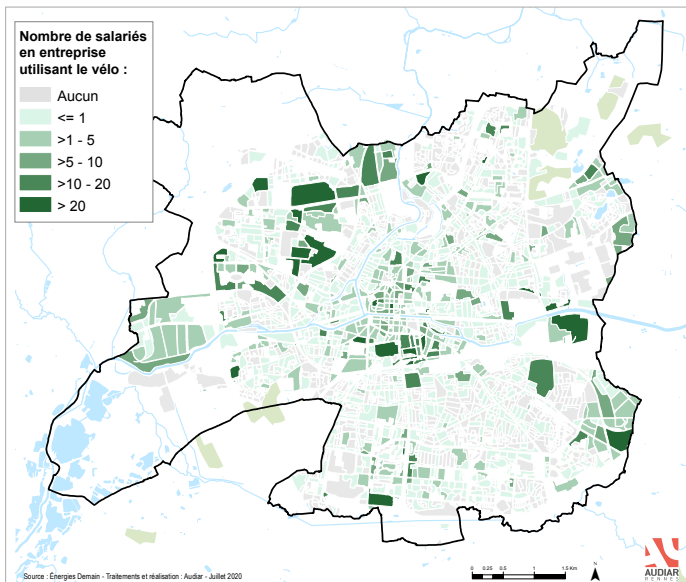
Modélisation d'un potentiel de développement pour les bornes privées à l'îlot.

## POTENTIAL D'IMPLANTATION DES INFRASTRUCTURES DE RECHARGE DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES



Modélisation d'un potentiel de développement pour les bornes publiques à l'îlot.

## TRAJETS DOMICILE-TRAVAIL RÉALISÉS À VÉLO



Modélisation de l'intensité de l'affluence vélo dans les entreprises.

Là où l'enquête ménage touche ses limites, la modélisation peut parfois prendre le relais. C'est le travail qui a été mené avec l'étude Besoin de Mobilité au Bâtiment (BMB). L'équipe d'Énergies Demain a pu, en se reposant sur les travaux précédents d'Ilo'Z, rapprocher les résultats de la dernière Enquête Ménage-Déplacement des informations sociodémographiques, économiques et celles liées aux logements de la métropole. En résulte une modélisation qui peut être exploitée sur des territoires à façon, et qui permet une meilleure connaissance des déterminants de la mobilité sous les angles croisés socio-économiques et urbains.

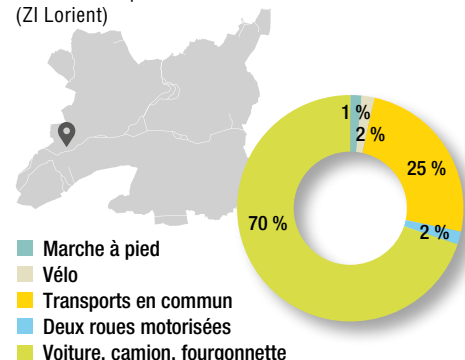
L'analyse des parts modales peut ainsi se faire selon une double approche : soit à partir du lieu de résidence, soit à partir du lieu de travail (comme ci-dessous, avec l'intensité de l'affluence vélo dans les entreprises ou les parts modales estimées dans les établissements de la ZA Ouest pour les navettes domicile-travail). Par ailleurs, deux autres cas d'usages ont pu être testés, en lien avec le potentiel de développement des infrastructures de recharge de véhicules électriques (IRVE), en distinguant les bornes privées et publiques.

## PROVENANCE DES SALARIÉS DE LA ZONE D'ACTIVITÉS OUEST (RENNES)

Principales communes d'origine	Nombre de salariés estimés
Rennes	862
Vezein-le-Coquet	105
Pacé	62
Saint-Jacques-de-la-Lande	52
Le Rheu	51
Bruz	45
Chantepie	36
Cesson-Sévigné	34
Vern-sur-Seiche	34
Mordelles	33
Autres	1 389

Source : BMB, Énergies Demain - Traitements et réalisation : Audiar, Juillet 2020.

## PARTS MODALES ESTIMÉES POUR LES NAVETTES DOMICILES-TRAVAIL dans les entreprises de la Zone Industrielle Ouest (ZI Lorient)



Source : BMB, Énergies Demain - Traitements et réalisation : Audiar, Juillet 2020.

## DÉVELOPPER LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET L'AUTOCONSOMMATION

Mieux connaître les consommations d'énergie des bâtiments et les besoins de chauffage, c'est aussi faciliter la planification et le développement de certaines énergies de réseaux moins émettrices de CO<sub>2</sub>, comme les réseaux de chaleur urbains (RCU). Ceux-ci présentent plusieurs avantages au regard de la transition énergétique, notamment celui de pouvoir valoriser des énergies difficilement exploitables dans d'autres contextes ou de manière moins massive et performante. C'est notamment le cas du bois énergie, dont l'usage en zone urbaine est complexe à l'échelle d'un bâtiment, compte tenu des contraintes d'approvisionnement en combustible, de stockage ou encore de pollution locale. C'est également le cas des eaux usées, qui représentent une source d'énergie « fatale » produite et disponible toute l'année en zone urbaine dense, et pourtant assez rarement valorisée.

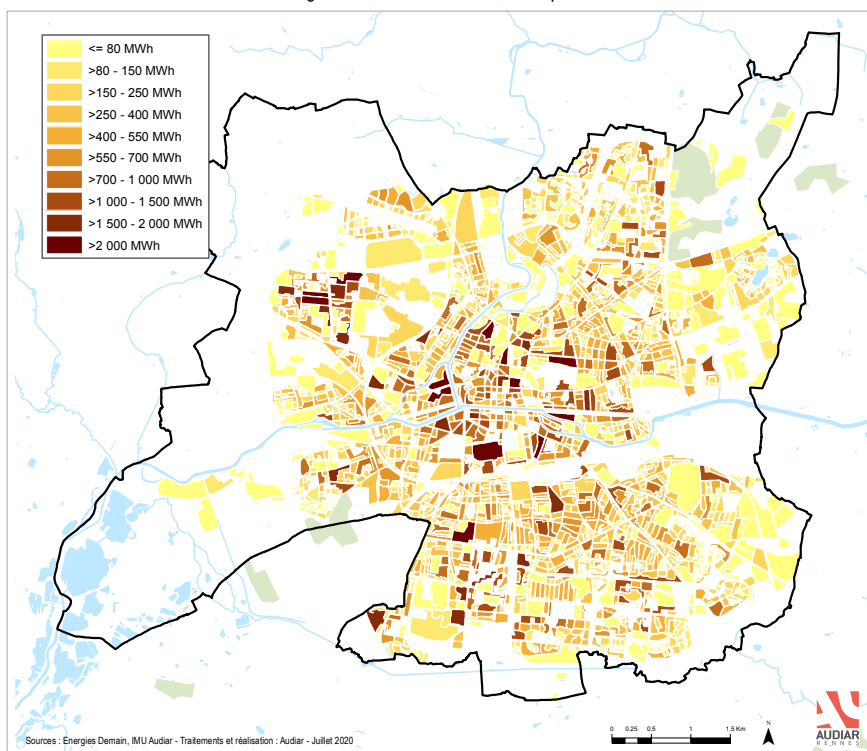
### Les réseaux de chaleur urbains

La métropole, avec son Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur Métropolitain, s'est donc fixée comme objectif de passer de 334 GWh de chaleur vendue en 2017 à 540 GWh en 2040, soit une progression de 62%. **Mais où est-il pertinent de densifier ces réseaux ? Quelles interconnexions peuvent être envisagées sur la ville de Rennes ? Et par où doivent passer les extensions ?** Les projets JEM et Ilo'Z ont permis d'effectuer des calculs de densité thermique sur la ville de Rennes. Ces premiers résultats pour-

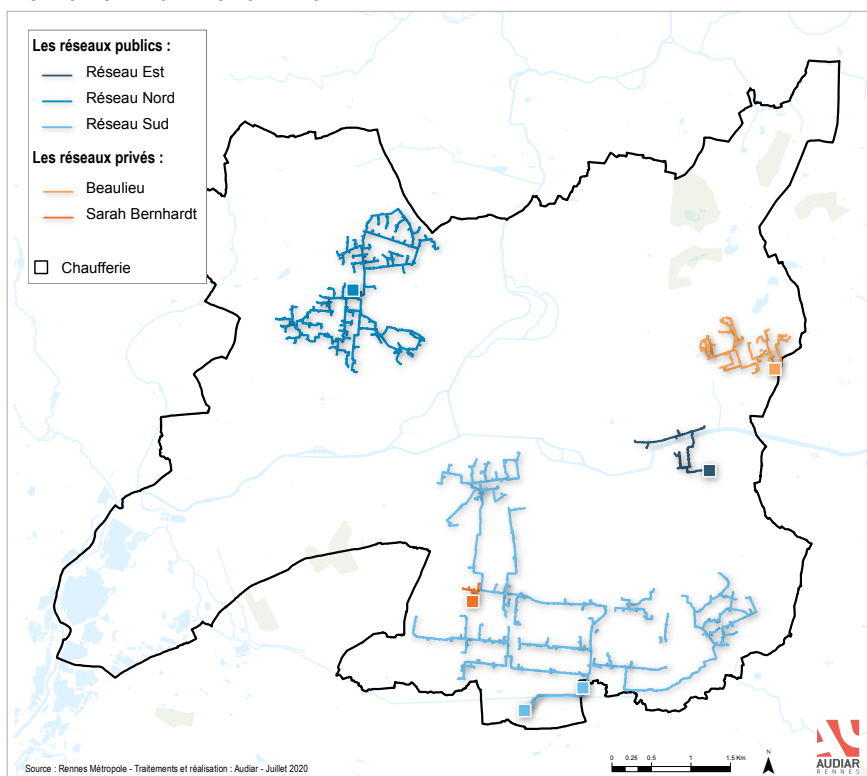
POTENTIELS DE DÉPLOIEMENT DES RCU  
AUTOUR DES STATIONS DE RELEVAGE  
Modélisation d'un potentiel de développement  
pour les bornes publiques à l'îlot



### CONSUMMATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS Modélisation des besoins de chauffage des bâtiments résidentiels par îlot



### LES RÉSEAUX DE CHALEUR URBAINS



ront permettre de donner un ordre de grandeur sur le dimensionnement d'un nouveau réseau ou pour la densification des linéaires existants. C'est une première expertise qui permet d'appréhender plus directement la viabilité économique d'un projet, et qui pourra enrichir les réflexions futures concernant

la jonction entre les réseaux Est et Sud de la ville. Par ailleurs, une méthode expérimentale a également été testée pour identifier les secteurs potentiellement favorables à la valorisation des eaux usées via les réseaux de chaleur, en partant des stations de relevages du réseau d'assainissement.

## Le potentiel photovoltaïque en toiture

L'Audiar étudie également le potentiel solaire en toiture sur l'ensemble des bâtiments de la métropole rennaise. Ce travail repose sur la modélisation de l'irradiance des bâtiments, autrement dit de la quantité de lumière directe reçue par les surfaces en toiture. Cette modélisation repose sur un outil développé par le bureau d'étude RhinoTerrain, et dont la métropole a récemment fait l'acquisition. À terme, l'objectif est de pouvoir qualifier et quantifier, bâtiment par bâtiment, le potentiel réel productible sur toute la métropole rennaise. Les toitures ayant un fort potentiel pourront ainsi être identifiées, puis classées selon les types de propriétaire, de construction, les différents usages... L'ensemble de ces informations faciliteront ainsi la mise en place d'une stratégie de planification



© Arnaud LOUBRY - Rennes, Ville et Métropole.

pré-opérationnelle pour la filière photovoltaïque à l'échelle des 43 communes. Par la suite, les résultats pourront également être mis en perspective avec la modélisation des

consommations électriques des bâtiments (JEM) pour estimer, en considérant les différents usages, un potentiel théorique d'autoconsommation.

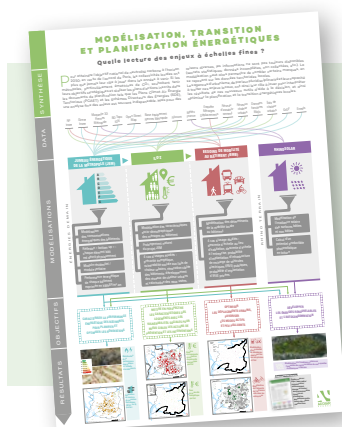
### MODÉLISATION DE L'IRRADIANCE SOLAIRE SUR L'ENSEMBLE DES SURFACES BÂTIES DU SOUS-QUARTIER DE MAUREPAS, À RENNES



Source : Rennes Métropole – Outil Rhinosolar – 2019.

## CONCLUSION

Les données locales en lien avec l'énergie s'ouvrent progressivement au grand public et aux collectivités grâce à la publication de plusieurs décrets successifs. Néanmoins, certains freins subsistent pour l'analyse à l'échelle infracommunale. Cette analyse est pourtant indispensable si l'on souhaite s'extraire du champ stratégique et se concentrer sur la mise en place de plans d'actions opérationnels. Les modélisations, dont certains bureaux d'études ont fait leur champ d'expertise, peuvent permettre de combler certains manques, en extrapolant certaines données globales vers l'échelle locale. Les agences d'urbanisme ont pour leur part leur rôle à jouer dans l'analyse de ces résultats au service de leurs membres et partenaires : avec leur connaissance fine du territoire et leur capacité à traiter des données complexes, ces outils d'aide à la décision peuvent leur permettre d'optimiser leurs travaux en lien avec la planification et la transition énergétique.



### Pour télécharger le poster

« Modélisation, transition et planification énergétiques. Quelle lecture des enjeux à échelles fines ? » rendez-vous sur le lien suivant :

<https://www.audiar.org/publication/environnement-energie-et-foncier/energie/modelisation-transition-et-planification-energetiques-quelle-lecture-des-enjeux-echelles-fines>