

# BATIMENT ET IMMOBILIER : MIEUX MODELISER LA TRANSITION

---

Étude cartographique de l'écosystème  
de modélisation du secteur

---

**SYNTHESE**

EXPERTISES 

Oct.  
2024

# CITATION DE CE DOCUMENT

MARIGNAC Yves, DELARGUILLIÈRE Noé, Institut négaWatt, RIESER Thierry, Enertech, GASPARD Albane, ADEME. ADEME, 2023. Bâtiment et immobilier : mieux modéliser la transition – Étude cartographique de l'écosystème de modélisation du secteur. Synthèse.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

## REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement l'ensemble des personnes qui ont contribué, dans le cadre des réunions de pilotage et de suivi, des entretiens et des ateliers mis en place pour cette étude, ou plus simplement en nous transmettant des informations complémentaires, à la richesse collective de notre réflexion :

Denise ALMEIDA (CSTB), Charles ARQUIN (POUGET Consultants), Rémi BABUT (The Shift Project), Fatoumata BARRY (CSTB), Luc BERCEGOL (DGALN), Rémi BONVALET (Institut négaWatt), Jean BOSVIEUX (FNAIM), Jules BOURGUEIL (CGDD), Béatrice BOUTCHENIK (CGDD), Vincent BRIAND-BOUCHER (Énergies Demain), Gaël CALLONNEC (ADEME), Henri CASELLA (CSTB), Arthur CAZAUBIEL (INSEE), Maxime CHAMMAS (Artelys), Benoît CHAINTREUIL (GRDF), Bernard COLOOS (FFB), Christophe CROCOMBETTE (RTE), Julie DAUNAY (Carbone 4), Fabrice DECELLAS (EDF), Olivier DE GUIBERT (CGDD), Matthieu DENOUAL (Enedis), Rafaëlle DESPLATS (ADEME), Jérémie EL BEZE (CSTB), Emmanuel FERNANDEZ (Énergies Demain), Florent GAUTHIER (Enerdata), Robin GIRARD (Mines Paris PSL), Louis-Gaëtan GIRAUDET (CIRED), Julie GOUSSEN (INSEE), Hadrien HAINAUT (I4CE), Adrien JACOB (Institut négaWatt), Bruno LAFFITE (ADEME), Céline LARUELLE (ADEME), Marie-Hélène LAURENT (EDF), Lucie LEFORT (Artelys), Vincent LEGRAND (Institut négaWatt), Aurélie LE MAÎTRE (GRTgaz), Philippe LÉONARDON (ADEME), Gaëlle LESTAGE (RTE), Thomas LETZ (Association négaWatt), Julie LE VOT (CGDD), Guillaume LHEMET (Artelys), Mathilde LOUËRAT (CSTB), Pierre MADEC (OFCE), Samuel MARTIN (Enertech), Gaëlle MBOCK (Enedis), Nourallah MELLITI (GRDF), Solène METAYER (I4CE), Quentin MINIER (ADEME), Antoine MONNET (GRDF), Alma MONSERAND (ADEME), Kiarash MOTAMEDI (CGDD), Jean-Claude MIGETTE (CODA Stratégies), Christian MOLINA (OID), Morgane MOULLIÉ (OID), André MOUNIER (ADEME/CIRED), Manon NAGY (DGEC), Julien PARC (POUGET Consultants), Marin PELLAN (CSTB/ETH Zurich), Basile PFEIFFER (DGALN), Anna PINEAU (ADEME), Christophe PLANTIER (Enertech), Maximilien PORCHER (RTE), Félix POUCHAIN (AREP), Philippe QUIRION (CIRED), Guillaume RATEAU (CGDD), Emmanuel RAUZIER (Association négaWatt), Florian ROLLIN (ADEME), Marie ROUSSELOT (Enerdata), Didier ROUSTAN (EDF), Bianka SHOAI-TEHRANI (RTE), Romain SOUCHU (Énergies Demain), Sylvain SOURISSEAU (ADEME), Aïda TAZI (Carbone 4), Antoine TEXEIRA (ADEME), Florian TIRANA (DGEC), Nicolas TONNET (ADEME), Jonathan VAVRE (Institut négaWatt), Fanny VICARD (ADEME), Jean-Christophe VISIER (ADEME), Lucas VIVIER (CIRED)

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### Ce document est diffusé par l'ADEME ADEME

20, avenue du Grésillé  
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01  
Numéro de contrat : 2022MA000398

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Institut négaWatt; Enertech  
Coordination technique - ADEME : GASPARD Albane  
Direction/Service : Service Bâtiment

## 1. Objectif de l'étude

---

Notre capacité à prévoir de manière adéquate l'évolution et l'utilisation du parc immobilier est essentielle pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de carbone, et, plus largement, de réduire son impact sur l'environnement. Les modèles utilisés dans ce domaine sont donc essentiels pour établir des trajectoires. Alors qu'une large gamme de modèles a été développée depuis longtemps en France pour soutenir de telles politiques environnementales stratégiques, il n'existe pas de revue de l'écosystème de la modélisation.

Dans cet esprit, l'objectif de l'étude est de :

- **Dresser un état des lieux des capacités de modélisation françaises sur le bâtiment et l'immobilier** au sens large (quelles organisations ? quels modèles ? quels thèmes et/ou leviers d'action de la transition écologique couverts ? ...);
- Analyser dans quelle mesure le corpus de modèles actuels permet, ou non, de couvrir le champ de la transition du bâtiment et de l'immobilier. Il s'agit de **mieux documenter les manques actuels** ;
- **Partager cet état des lieux avec les acteurs de cette modélisation**, mobiliser les organisations qui opèrent les modèles pour leur permettre de mieux se connaître et travailler ensemble à l'avenir ;
- **Formuler des recommandations pour la modélisation** pour permettre une meilleure modélisation de la transition dans le futur.

Bien que la méthode implique d'analyser les caractéristiques de nombreux outils et leur utilisation, cette étude n'a pas pour vocation à émettre un avis sur la qualité des modèles ni sur la pertinence ou non du positionnement de chacun au sein de l'écosystème de modélisation.

## 2. Méthodologie

---

**Le périmètre thématique de l'analyse menée dans cette étude est celui de la démarche prospective *Imaginons Ensemble les Bâtiments de Demain* coordonnée par l'ADEME et le CSTB.** Cette dernière a identifié 22 facteurs clés (voir Figure 1) dont elle juge certain qu'ils auront un impact sur l'évolution du secteur, mais dont l'évolution est incertaine. Ces facteurs, regroupés dans quatre grandes catégories, permettent d'établir un premier panorama des paramètres que doit intégrer, pour apporter un éclairage utile et cohérent, la prospective du bâtiment et de l'immobilier.



Figure 1 – 22 facteurs prospectifs de la démarche *Imaginons Ensemble les Bâtiments de Demain*

La méthodologie a suivi les étapes suivantes :

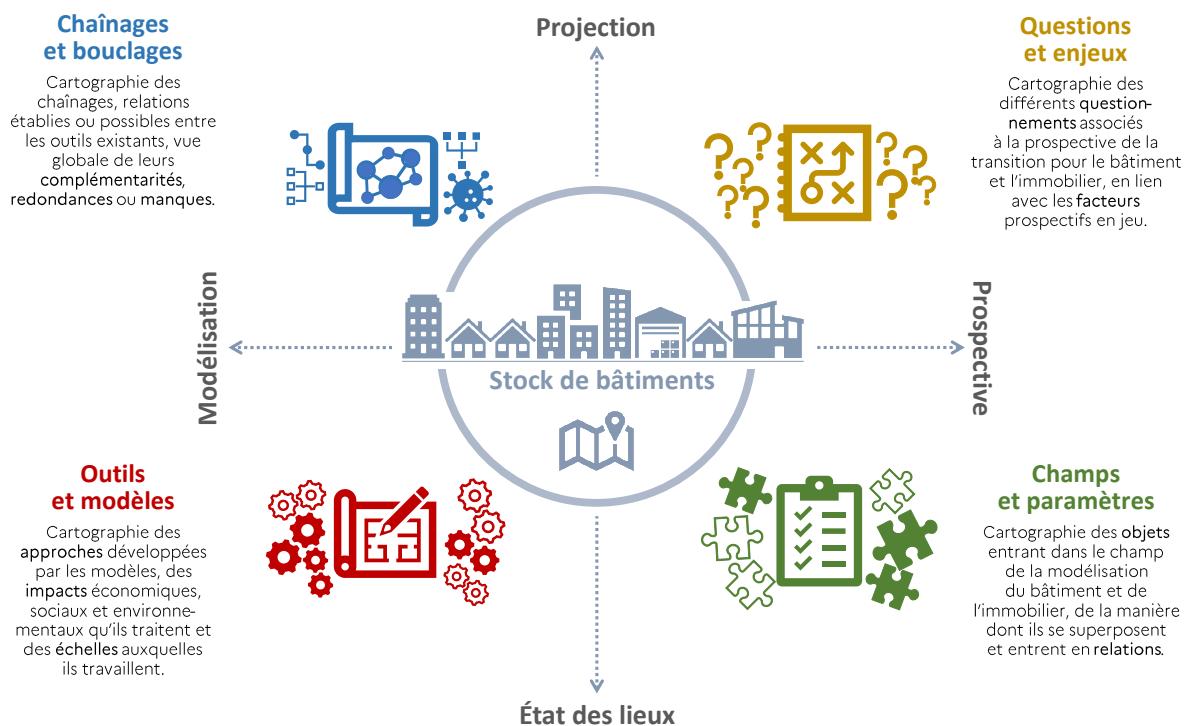
- **Identification des modèles** utilisés dans le domaine de la transition énergétique du bâtiment en France et à mieux les comprendre. La méthodologie s'est intéressée plus précisément aux outils et démarches pouvant être assimilés à un modèle, défini comme « le support "mathématique" [d'un] scénario(...): un ensemble d'équations destinées, sur la base d'hypothèses d'entrée et de processus de résolution, à représenter le fonctionnement d'un système réel (le climat, l'économie d'un pays...) et son évolution au cours du temps » (The Shift Project, 2019), le système considéré étant dans le cadre de cette étude le parc de bâtiments, pris dans son intégralité ou partiellement, et traité isolément ou dans un périmètre économique ou technique plus large. Cette méthode a permis au final de **sélectionner et de traiter 45 (+3) modèles**, divers en termes de nature et de périmètre et représentatifs d'une large palette de porteurs, puisqu'ils sont au total développés par une **trentaine d'instituts de recherche, d'organismes publics, de bureaux d'études privés et d'ONG**, comme indiqué dans le Tableau 1.

	Date	Interlocuteurs	Outil(s)	Porteur(s)
1	16/02/2023	EDF R&D	Modèle demande électrique	EDF R&D
2	21/02/2023	DHUP	OTELO	DHUP / DGALN / Cerema
3	22/03/2023	Rédaction auteurs	ANTONIO	ADEME
4			VIVALDI et Data centers <sup>a</sup>	ADEME
5			USES 2	ADEME
6			MICO	ADEME / CODA Stratégies
7			RENOMAT	ADEME / TBC Innovations
8			CONSOMAT	ADEME / CSTB
9	28/02/2023	CIRED / ENPC	Res-IRF	CIRED / ENPC
10	02/03/2023	Shift Project	Outils PTEF	Shift Project
11			Elioth	Groupement Elioth
12	03/03/2023	Mines Paris	Building Model	Mines Paris
13			SHAPE-Optim	Mines Paris
14	06/03/2023	CGDD	Modèle artificialisation	CGDD
15	07/03/2023	Rédaction auteurs	MODEIRE	ADEME / Association négaWatt
16	07/03/2023	Rédaction auteurs	Modèle SnW	Association négaWatt
17			négaMAT	Association négaWatt
—	08/03/2023	Économiste de la politique du logement		—
—		Économiste de l'immobilier		—
18	09/03/2023	ADEME	Modèle déchets et modèle AFMD <sup>b</sup>	ADEME
19	16/03/2023	CSTB	ZEPHYR	CSTB / ADEME
20			MENFIS	CSTB
21			Décarbo-CSTB	CSTB
22			BTPFlux	CSTB / ADEME
—			Outils divers	CSTB
23	21/03/2023	DGEC	Suite de modèles sectoriels	DGEC
24	23/03/2023	ADEME	Modèle biomasse	ADEME
25	28/03/2023	CGDD	TiTAN	CGDD
26	28/03/2023	POUGET / Carbone 4	Outil étude bâtiment	POUGET Consultant / Carbone 4
27	28/03/2023	Rédaction auteurs	Planiss'Immo	Institut négaWatt
—	29/03/2023	Représentant I4CE		—
28	29/03/2023	Énergies Demain	PROSPER	Énergies Demain
29			Enerter	Énergies Demain
30			Outil cadastral	Énergies Demain
31	30/03/2023	RTE	Amadeus	RTE
32	30/03/2023	Artelys	Modèle demande électrique	Artelys
33			Outils territoriaux	Artelys
34	05/04/2023	INSEE	Omphale	INSEE
35	06/04/2023	ADEME	MatMat et ImpactsConso <sup>c</sup>	ADEME
36	12/04/2023	GRDF / GRTgaz	Outil Perspectives gaz	GRDF
37	12/10/2023	Enedis	Modèle demande électrique	Enedis
38	02/11/2023	Enerdata	EnerMED	Enerdata
39	03/11/2023	Rédaction auteurs	MOSAIC	Enedis
40	—	Rédaction auteurs	ThreeME	ADEME / OFCE
41	—	Rédaction auteurs	Mésange	DG Trésor / INSEE
42	—	Rédaction auteurs	TETE	Réseau Action Climat / ADEME
43	—	Rédaction auteurs	Imaclim-R	CIRED
44	—	Rédaction auteurs	Plateforme R4RE	OID
45	—	Rédaction auteurs	ECLORE	Institut négaWatt

<sup>a, b, c</sup> – Les analyses de ces modèles, reflétées dans les fiches en annexe, ont évolué pour tenir compte de développements relatifs aux outils correspondants dans les travaux de l'ADEME (voir annexes A6, A7 et A10).

**Tableau 1** – Liste des entretiens et de la rédaction par les auteurs de fiches, et répertoire des outils ou modèles couverts par la démarche, par ordre chronologique d'intégration

- **Analyse de chaque modèle**: chacun des 45(+3) outils et modèles a fait l'objet d'une analyse basée selon les cas sur (1) un **entretien** avec un ou des porteurs, complété le cas échéant par des éléments documentaires, (2) une **analyse** menée en interne pour certains des outils dont l'ADEME, l'Institut négaWatt ou Enertech, ou (3) une **lecture de la documentation disponible**.
- **Analyse croisée des modèles via des cartographies**: il a été réalisé **quatre cartographies**, très différentes dans leur approche et se voulant complémentaires.
  - **Questions et enjeux**: face aux principales questions identifiées soulevées par la transition bâtiment / immobilier, quelles sont celles que les modèles actuels semblent mal aborder, voire pas du tout ?
  - **Outils et modèles**: comment les modèles fonctionnent-ils ? Quel est leur périmètre, leurs méthodes de calcul, leur philosophie et leurs résultats ?
  - **Champs et paramètres**: quels sont les éléments constitutifs des modèles ? Comment décrivent-ils la réalité qu'ils visent à documenter ? Quels éléments et paramètres utilisent-ils et quelles relations entre eux explorent-ils ?
  - **Chaînages et bouclages**: quels sont les liens entre les modèles existants et la nature de ces liens ? Peuvent-ils fonctionner comme un écosystème ?



- **Discussion de l'analyse dans deux ateliers**: une quarantaine de personnes, représentant une vingtaine d'organisations porteuses ou utilisatrices directes des modèles ont participé, se répartissant environ à part égale entre les deux sessions. Globalement, l'objectif de ces deux ateliers était double : d'une part, partager les résultats provisoires de l'étude avec la communauté de modélisateurs et les enrichir ; de l'autre, de réfléchir ensemble aux perspectives qu'elle ouvre pour la modélisation faite par chacun et pour la capacité collective à représenter et informer la transition.

## 5. Analyse cartographique

### 5.1. Cartographie « Questions et enjeux »

La première des cartographies concerne les attendus de la démarche prospective, c'est-à-dire la **capacité des modèles à répondre aux différentes questions qui se posent du point de vue de la cohérence et de la pertinence des scénarios**.

Là où les facteurs prospectifs (Figure 1) établissent une liste des incertitudes à prendre en compte dans la construction des réponses qu'apportent les modèles, les questions prospectives envisagées ici cherchent plutôt à compléter la liste des questionnements que ces réponses devraient permettre de traiter (Figure 2).



Figure 2 Base de la cartographie « Questions et enjeux »

Le tableau suivant fournit une représentation des liens les plus directs identifiés pour cette étude entre ces deux grilles de lecture, montrant de nombreuses connexions entre les entrées de l'une et l'autre grille – le tableau signale par ailleurs la nature plus ou moins forte de chaque interaction ainsi identifiée.

		Facteurs prospectifs						Enjeux et questionnements																				
		Contexte			Demande			Offre			Politiques																	
		01 Démographie	02 Répartition nationale	03 Répartition locale	04 Numérique	05 Ressources ménages	06 Risques systémiques	07 Occupation logements	08 Occupation non résid.	09 Financement immo.	10 Rapport / propriété	11 Environn. bâtiments	12 Main œuvre bâtiment	13 Matériaux, produits	14 Filière constr.-réno.	15 Gestion obsolescence	16 Qualité usage	17 Services immobiliers	18 Gouvernance	19 Environnement	20 Logement	21 Urbanisme	22 Technique					
<b>Technique</b>		<b>Questionnements</b>																										
Technique	Analyse cycle de vie																											
Technique	Empreinte écologique																											
Technique	Complétude du parc																											
Technique	Bâti / environnement																											
Socio-éco	Prix, financement																											
Socio-éco	Emplois, compétences																											
Socio-éco	Revenus, ressources																											
Socio-éco	Distribution sociale																											
Sociétal	Modes de vie																											
Sociétal	Évolution population																											
Sociétal	Chgt environnement																											
Territorial	Différenciation																											
Territorial	Articulation échelles																											
Territorial	Territoires spécifiques																											
Crises	Chocs internes																											
Crises	Crise du système																											
Crises	Crise géopolitique																											

Tableau 2 – Croisement des facteurs prospectifs avec les questions et enjeux

D'une manière générale, l'analyse des modèles témoigne d'une grande richesse de l'appareillage de modélisation de l'évolution du bâtiment et de l'immobilier, en quantité et en diversité. Il apporte sur de nombreux aspects, comme les trajectoires de consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre ou la rénovation thermique du bâtiment, un éclairage de grande qualité pour la réflexion prospective.

Pour autant, à la lumière du positionnement des modèles vis-à-vis de ces facteurs et questionnements prospectifs, **des volets importants de l'analyse prospective restent à couvrir ou à renforcer pour intégrer l'ensemble des facteurs prospectifs dans des trajectoires plus robustes.**

En synthèse, l'analyse de la cartographie « Questions et enjeux » permet, tout en soulignant les points forts de l'écosystème de modélisation considéré sur certains enjeux prospectifs bien identifiés et bien intégrés, d'identifier des manques importants et des pistes de progrès.

- En premier lieu, ces enseignements concernent la capacité de la communauté des modélisateurs à intégrer – à la fois explicitement dans la modélisation et implicitement dans son utilisation ou son interprétation – les facteurs qui auront un impact sur le secteur du bâtiment et de l'immobilier au cours des prochaines décennies. De ce point de vue, tout d'abord, **la communauté est bien structurée pour intégrer les évolutions liées aux politiques environnementales, à la démographie et aux activités dans le secteur de la construction et de la rénovation.** En effet, nombre d'entre elles ont été explicitement développées pour

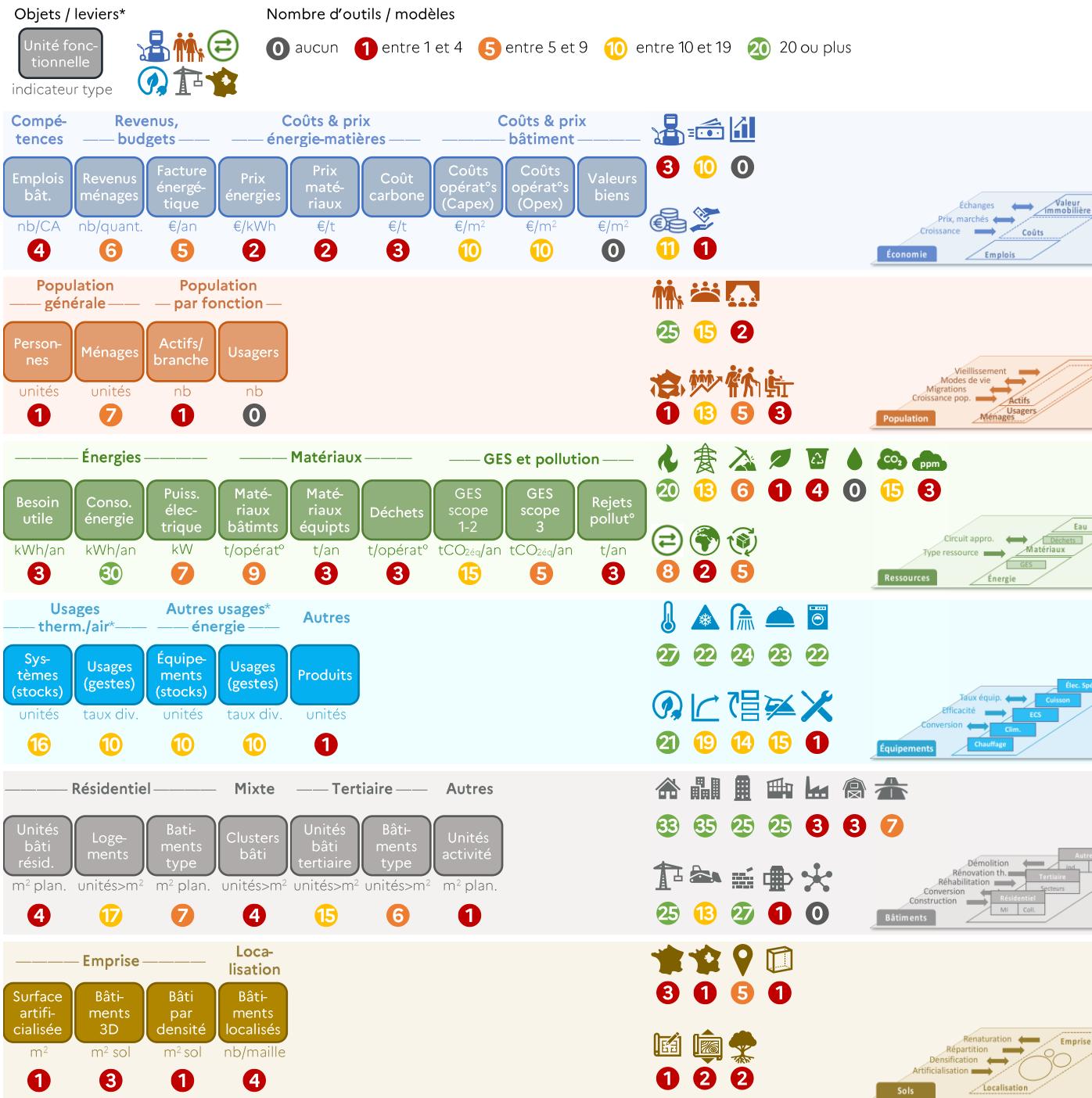
documenter la consommation d'énergie et les émissions de carbone, ce qui fait des politiques environnementales et de l'activité dans le secteur des paramètres clés et de la démographie une donnée centrale.

- La communauté apparaît en revanche moins à même de saisir les évolutions concernant d'autres facteurs clés tels que les politiques d'urbanisme, les bâtiments et leur environnement, les questions de main-d'œuvre ou les ressources économiques des ménages. Elle peine par exemple à interroger la question d'un développement bien coordonné des bâtiments et des infrastructures (de réseaux, de transports, etc.). Ce constat semble d'ailleurs cohérent avec celui qui s'établit sur le panorama des outils au niveau international, selon lequel « davantage de liens avec d'autres modèles sectoriels sont nécessaires pour représenter de manière adéquate la transformation aux échelles urbaines et les approches centrées sur la communauté » (Mastrucci et al., 2023).
- Plus encore, **l'écosystème ne semble pas du tout en mesure de capter les évolutions concernant le rapport à la propriété, le financement de l'immobilier, les services immobiliers, ou de prendre en compte les risques systémiques**. Il semble par exemple difficile de s'en remettre aux modèles pour savoir comment la capacité à réaliser la transition écologique des bâtiments serait-elle impactée par une baisse ou une hausse importante des prix de l'immobilier, ou par de nouvelles crises systémiques (sanitaires, géopolitiques, technologiques...): qui serait touché et comment, et quels ingrédients nécessaires aux trajectoires de transition pourraient en être affectés ? Enfin, intégrer les évolutions dues à la digitalisation de la société, par exemple l'impact du développement de l'Intelligence Artificielle sur les emplois, et donc sur les immeubles de bureaux, nécessiterait sur différents points de s'appuyer sur des projections et des analyses réalisées en dehors de la communauté des modélisateurs des trajectoires bâtiment.

Ces enseignements éclairent également la capacité de la communauté de modélisation à documenter – là encore, à la fois explicitement et implicitement – les principaux défis de la transition. Sous cet angle, la situation est tout aussi contrastée. D'un côté, **la structure des modèles permet de documenter des questions telles que la sobriété ou l'analyse du cycle de vie**, bien appréhendés par leur approche majoritairement physique et techno-explicite. Il apparaît en revanche **plus difficile de saisir les liens entre les dimensions physiques et économiques de la transition** sur des sujets nouveaux, tels que l'impact de la rénovation ou des changements dans les modèles de peuplement sur la valeur des logements), ou **la capacité des bâtiments**(ainsi que de leurs occupants et du secteur professionnel qui leur est associé) **à répondre à une variété de crises**(augmentation des prix des matériaux et des équipements, perturbations de la chaîne d'approvisionnement, etc.). Une autre faiblesse réside dans la difficulté à représenter des évolutions dans des territoires spécifiques, et plus largement à informer la façon dont les différentes échelles territoriales peuvent être articulées.

## **5.2. Cartographie « Champs et paramètres »**

La Figure 3 représente le comptage de la manière dont les différents outils analysés opèrent, dans les différentes dimensions du champ de modélisation considéré. Le comptage porte d'une part sur le nombre de modèles utilisant les différentes unités fonctionnelles repérées, et d'autre part sur le nombre de modèles traitant les différents leviers identifiés.



\* Voir la liste détaillée des objets et leviers représentés par les icônes dans l'annexe.

\*\* On distingue ici les équipements liés à la chaleur et à la qualité de l'air, inclus le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la climatisation et la ventilation, et les autres usages qui englobent la cuisson, l'ensemble des équipements blancs, bruns et autres ainsi que l'éclairage.

**Figure 3 – Cartographie des unités fonctionnelles mises en jeu dans les différentes dimensions de la modélisation par les outils et modèles analysés**

L'analyse de la cartographie «Champs et paramètres» apporte une image relativement complète, et contrastée des modes descriptifs déployés par les modèles dans le champ de la transition du secteur bâtiment et immobilier, permettant de faire ressortir quelques points forts et faiblesses.

Tout d'abord, en ce qui concerne **les paramètres, la communauté des modèles s'appuie sur un nombre relativement limité d'unités fonctionnelles**. Cela facilite le dialogue entre les modèles, mais reflète également une certaine convergence des approches dans les manières de représenter la réalité, ce qui ouvre le risque d'angles morts. Par exemple, dans les modélisations, la consommation d'énergie est essentiellement approchée en croissant dans la dimension «équipements» des unités fonctionnelles liées

aux systèmes(de chauffage, de climatisation...) et aux appareils d'une part, et à leur usage d'autre part (taux d'équipement, taux d'utilisation, taux d'adoption de changement d'usage...), et bien que plusieurs modèles utilisent pour cela une modélisation des stocks d'équipements, un seul exprime la consommation d'énergie sur la base d'une description par les produits : or celle-ci peut permettre une vision plus riche des matériaux nécessaires et, par conséquent, de la consommation de ressources associée aux changements d'équipements.

À l'inverse, certains sujets sont représentés par une certaine diversité d'unités fonctionnelles qui permet d'explorer de multiples dimensions de la transition. Par exemple, dans le secteur résidentiel, l'unité de base est soit le bâtiment lui-même, ce qui permet en principe d'aller vers des calculs sur l'emprise au sol, soit le logement lui-même, ce qui permet des calculs thermiques, soit un bâtiment type, ce qui permet des calculs rapides basés sur une typologie tels que les matériaux nécessaires pour rénover différentes typologies de bâtiments. Cependant, le déploiement de ces différentes approches dans les modèles s'opère souvent de façon dissociée, chaque outil privilégiant l'une ou l'autre sans les croiser, ce qui limite la capacité à articuler ces enjeux. Enfin, seul un nombre limité de modèles s'appuie sur des données localisées, ce qui complique l'analyse territoriale, du moins sa prise en compte à une échelle plus grande que locale.

Plus largement, les résultats de cette cartographie illustrent le biais qu'a pu introduire dans le déploiement de cet écosystème de modélisation ce qui en a probablement constitué le principal moteur, montrant comment les efforts de description dans les modèles se concentrent sur certaines dimensions et certains aspects, essentiellement liés aux enjeux de la décarbonation de l'énergie dans le bâtiment, aux dépens d'autres enjeux pourtant reconnus aujourd'hui comme importants, qu'il s'agisse par exemple de l'artificialisation des sols, des besoins en infrastructures, ou de la cohérence entre transition énergétique et trajectoire immobilière.

Ce constat se retrouve dans la manière dont les modèles appréhendent globalement les leviers d'action. D'une manière générale, la communauté des modélisateurs dispose d'un grand nombre de modèles capables de documenter les leviers clés de la transition énergétique. C'est le cas, dans la dimension bâtiments, des leviers mobilisés pour décrire l'évolution de la performance énergétique de leur enveloppe, qu'il s'agisse d'une rotation du parc liée à la construction neuve (même si davantage de modèles intègrent une description des constructions que des démolitions...), ou surtout de son amélioration par la rénovation. C'est également vrai pour la modélisation de la consommation d'énergie, en particulier pour les leviers qui reposent sur des changements plus facilement appréhendables par les modes de description technique que privilégient les modèles, tels que la conversion vers des équipements énergétiques moins carbonés (chaudières à bois, pompes à chaleur, etc.), l'augmentation de l'efficacité des équipements ou leur dimensionnement. C'est un peu moins le cas dans le champ de la sobriété, pour les actions qui se rapportent plus spécifiquement à une évolution des modes d'utilisation des équipements(durée d'utilisation, taux d'équipement, etc.). De plus, un seul modèle permet explicitement de mettre en œuvre la réparation des équipements. En remontant au niveau des bâtiments, les leviers jouant sur le changement d'usage et la reconversion de locaux(par exemple de passer d'un usage de bureaux à un usage résidentiel)ou la mutualisation (utilisation flexible et partagée de l'espace du bâtiment pour différents usages) sont également très peu intégrés.

Ainsi, l'appareillage de modélisation apparaît moins bien équipé pour représenter les leviers plus largement associés aux enjeux environnementaux, qu'ils soient liés aux économies de ressources matérielles ou au problème d'artificialisation des sols. Ceci fait d'ailleurs écho à la revue des modèles de construction au niveau international (Mastrucci et al, 2023) qui souligne la difficulté de représenter les durées de vie des bâtiments et leur réutilisation.

Plus largement, on peut également noter que si les modèles intègrent des leviers relativement classiques dans leur approche descriptive des champs économique et démographique, ils semblent très peu explorer la possibilité, voire la nécessité de développer dans ces dimensions des leviers spécifiquement adaptés à la description des besoins et à l'articulation de facteurs de changement dans le domaine économique et social avec les leviers de transformation qu'ils activent dans les dimensions plus physiques. Par exemple, les modèles semblent peu préparés à travailler des dynamiques liées à l'évolution des transactions ou des services immobiliers, à l'évolution des besoins en fonction de la pyramide des âges de la population ou encore à une réorganisation de l'articulation entre temps de travail et temps domestiques, faute de disposer d'éléments descriptifs adéquats.

### 5.3. Cartographie « Outils et modèles »

La Figure 4 quantifie la densité de prise en charge dans les modèles des différents éléments relatifs au périmètre, à la mécanique de calcul et aux impacts calculés par les outils. Comme pour la cartographie « Champs et paramètres », ces résultats doivent être interprétés en gardant en tête l'effet de biais de représentation potentiellement induit par la méthode, et le caractère réducteur de cette information quantifiée par rapport à la richesse et à la nuance des outils analysés. Ces résultats apportent toutefois, comme pour la précédente, des résultats suffisamment contrastés pour en tirer quelques enseignements.

Cette analyse par « compte » de modèle permet une première approche globale de l'écosystème. Pour aller plus loin, il serait nécessaire d'analyser les modèles plus en détail pour mieux comprendre si la présence de beaucoup de modèles est un signe de diversité, et, à l'inverse, le fait que certains sujets ne soient couverts que par un ou deux modèles, un signe de fragilité. L'analyse fine de chaque modèle est en dehors du champ de cette étude.

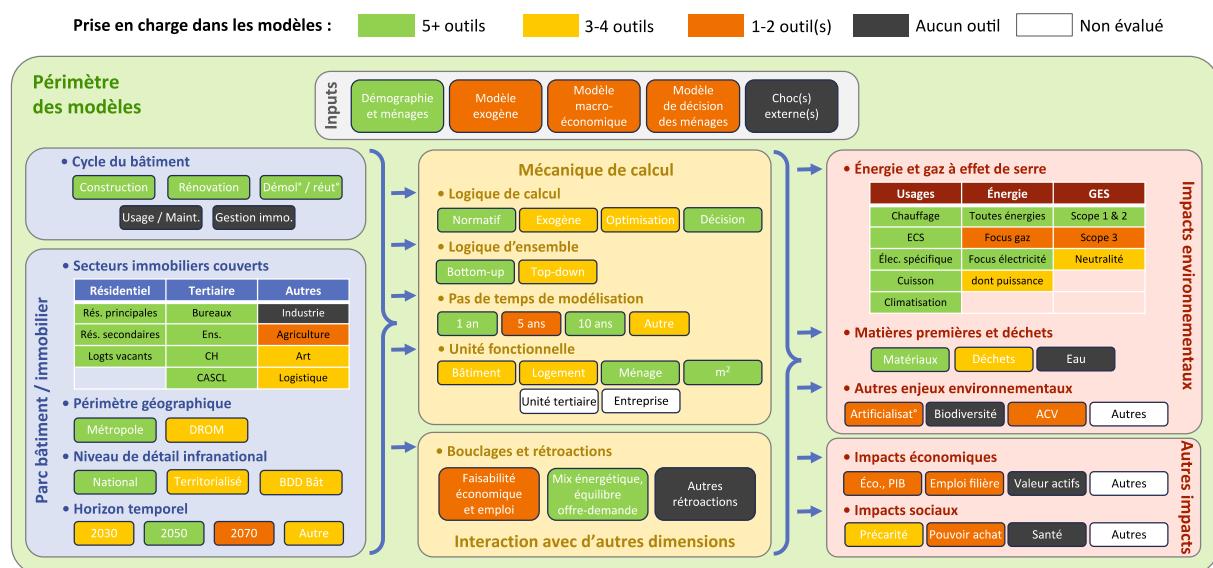


Figure 4 – Cartographie des principales entrées, des principaux modes de calcul et des principaux impacts modélisés par les outils et modèles analysés

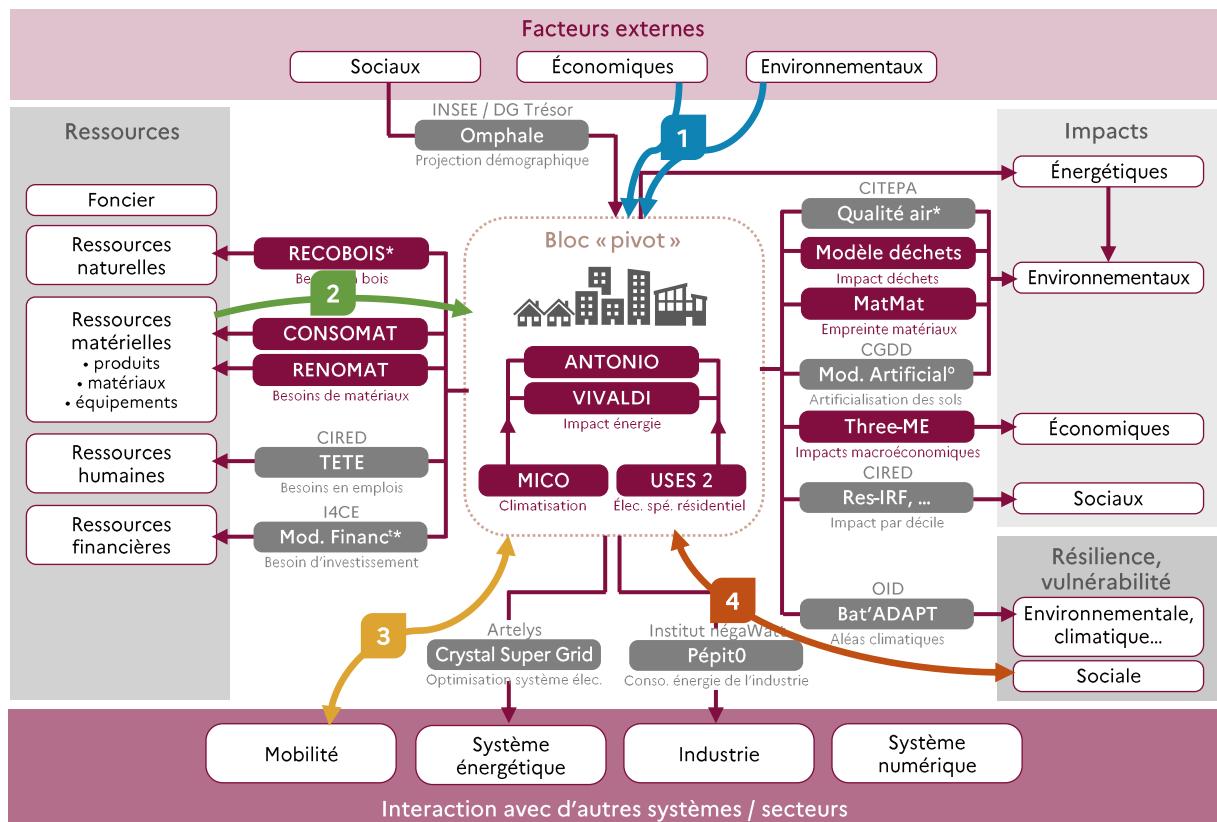
La cartographie « Outils et modèles » témoigne avant tout d'une grande richesse de modélisation. Elle montre que, dans l'ensemble, il existe une réelle diversité de modèles, mais une dispersion limitée.

- En ce qui concerne le **périmètre**, certaines zones sont particulièrement bien couvertes par l'écosystème existant, d'autres non. Par exemple, les secteurs résidentiel et tertiaire sont couverts par de nombreux modèles, là où au contraire, d'autres bâtiments (industriels, agricoles, logistiques) sont moins (ou pas) documentés : cela rend par exemple difficile de documenter l'impact du développement du commerce électronique ou de la consommation d'acier pour les bâtiments (car les bâtiments industriels dépendent fortement de l'acier). Du point de vue temporel, 2050 reste l'horizon principal, très peu de modèles permettant de se projeter plus loin (par exemple, à 2070), ce qui pose la question de la capacité à penser les trajectoires de transformation au-delà de 2050. La territorialisation infranationale est peu couverte et les territoires d'outre-mer sont moins bien représentés. Enfin, les questions de construction et de rénovation sont très présentes, alors que la gestion immobilière semble absente.
- En ce qui concerne la **méthode de calcul**, les modèles présentent une **bonne variété d'approches**. En particulier, par exemple, la rénovation des logements est couverte par des modèles aux philosophies de modélisation différentes, que ce soit à base d'agents, d'optimisation globale, d'approche ingénieur, etc. Cela permet une analyse approfondie du sujet et évite de tomber dans les biais associés à chacune des approches (par exemple, les modèles économétriques à base d'agents sont généralement basés sur l'analyse économétrique de données historiques, ce qui rend difficile la projection du changement, là où les modèles basés sur une simulation ingénieurs projettent plus facilement le changement et l'atteinte des objectifs, mais laissent entière la question des conditions de leur mise en œuvre). La plupart des modèles sont basés sur une agrégation ascendante, mais certains d'entre eux suivent une approche

descendante, et quelques uns développent des approches hybrides. Là encore, cette diversité est intéressante car elle permet à l'ensemble de l'écosystème de ne pas s'enfermer dans les biais bien documentés de l'une ou l'autre approche : en effet, les modèles descendants pêchent en général dans leur capacité à représenter l'impact des nouvelles technologies et des changements perturbateurs, car ils manquent de la granularité nécessaire, alors que les modèles ascendants ont une difficulté à prendre en compte les effets de rebond plus larges.

- En ce qui concerne, enfin, **les impacts, la consommation d'énergie en phase d'utilisation, les courbes de charge électrique, les émissions de GES en scope 1 & 2 et les matériaux sont bien couverts**. Cela ne semble pas propre au développement des modèles en France, ce commentaire faisant écho à la conclusion de la revue internationale réalisée par Mastrucci et al (2023), qui note que les modèles du secteur du bâtiment se sont largement concentrés sur l'évaluation de l'énergie en exploitation, et souligne qu'un nombre croissant de modèles prennent en compte les aspects matériels. En particulier, les modèles ascendants basés sur une approche ingénierie sont de plus en plus combinés avec des méthodes issues de l'écologie industrielle, telles que l'évaluation du cycle de vie et l'analyse des flux de matériaux, pour évaluer toutes les étapes du cycle de vie du bâtiment, la dynamique de rotation des stocks et les aspects matériels. Si ces aspects de la modélisation progressent, il faut toutefois souligner qu'au-delà, les enjeux environnementaux tels que la consommation d'eau ou la biodiversité restent très peu abordés, et que plus généralement les questions économiques et sociales sont comparativement beaucoup moins couvertes.

## 5.4. Cartographie « Chaînages et couplages »



\* Modèles non traités dans le cadre de la présente étude.

Nom

Modèle ADEME

Nom

Modèle apporté par un autre porteur

1 chaînage avec des données d'entrée 2 rebouclage du chaînage pour intégrer les interactions

3 couplage intersectoriel avec un autre système de modélisation 4 besoin de bouclage mais absence de modèle

Figure 5 – Cartographie « Chaînage et bouclage »

À partir de l'analyse de la cartographie « Chaînages et bouclages » des modèles de l'ADEME, les réflexions menées sur les besoins ou potentiels des différents outils analysés et le partage en ateliers permettent de tirer quelques enseignements généraux.

L'exemple de l'écosystème de modélisation mis en place par l'ADEME illustre la possibilité **de nombreuses interactions entre les modèles, ce qui permet une approche plus systémique de la transition**. Dans cet exemple, les deux principaux modèles (pivots) qui calculent la consommation d'énergie dans les secteurs résidentiel et tertiaire alimentent une variété de modèles supplémentaires qui documentent d'autres dimensions de la transition. Par exemple, les sorties concernant le nombre de nouveaux bâtiments et leurs modes constructifs alimentent des modèles qui documentent l'énergie nécessaire dans le secteur industriel pour produire des matériaux et des équipements ou l'occupation des sols. Les résultats sur le niveau d'activité dans le secteur du bâtiment (généré par les activités de construction et de rénovation) alimentent des modèles économiques qui calculent soit les besoins en emploi par une approche ascendante (modèle **TETE**), soit la croissance économique par une approche macroéconomique (modèle **ThreeME**). Cependant, si les chaînages sont nombreux, les bouclages sont encore balbutiants : il reste dès lors difficile de définir une stratégie de transition robuste qui tiendrait compte des boucles de rétroaction (par exemple, faut-il adapter la stratégie de rénovation – et si oui, comment – si le marché du travail n'est pas en mesure de former les gens assez rapidement ?).

Ce cas concret montre aussi comment l'écosystème s'appuie ou pourrait s'appuyer sur des modèles pour documenter l'évolution de l'environnement général des bâtiments (évolution du climat, de la démographie...) qui ne sont pas spécifiques au secteur du bâtiment. **La capacité de l'écosystème de modélisation des bâtiments à intégrer des évolutions économiques, sociales ou environnementales plus larges dépend donc d'autres communautés de modélisation.** Par exemple, tous les modèles s'appuient sur des scénarios de projections démographiques conçus par l'INSEE, mais aucun de ces scénarios n'intègre une augmentation potentielle des migrations due, par exemple, au changement climatique. Par conséquent, aucun organisme de la communauté française de modélisation n'intègre un tel scénario.

Une réflexion systématique sur les liens du bâtiment avec l'organisation territoriale, la politique du logement, les secteurs du transport et de l'industrie est nécessaire pour améliorer les liens avec des outils existants en dehors de la sphère « bâtiment ».

Les entretiens avec les développeurs et les opérateurs de modèles ont mis en évidence l'intérêt d'une démarche plus structurée d'intégration des différents modèles existants, mais aussi pointé **les obstacles et les limites associés à un tel exercice de chaînage et de bouclage**. Parmi ceux-ci, on peut notamment relever la difficulté de relier des modèles conçus séparément (qui mobilisent des unités fonctionnelles, un niveau de détail, des échelles géographiques et des pas de temps potentiellement différents, etc.), le risque méthodologique d'accumuler les incertitudes ou les biais des modèles à mesure que les modèles pivots deviennent centraux, ou la nature chronophage d'un tel processus de chaînage ou de bouclage.

Les discussions au cours de l'atelier ont enfin soulevé des questions plus ouvertes. Par exemple, **jusqu'où l'intégration des modèles doit-elle être poussée en ce qui concerne les avantages attendus**, et pour quel objectif ? En particulier, la question se pose de l'équilibre entre une forme de capacité d'optimisation multicritères produite par cette intégration, et la nécessité de préserver, voire de renforcer la richesse que constitue la diversité d'approche des modèles. Il y a aussi le risque que le développement d'un écosystème de modélisation plus complexe sur la base des outils existants mobilise des ressources aux dépens de nouveaux développements méthodologiques visant à couvrir des dimensions qui semblent par nature trop difficiles à modéliser avec ces outils, comme la résilience sociale aux crises.

## 5.5. Synthèse globale

L'analyse des quatre cartographies montre que l'écosystème français de la modélisation, fort d'un développement parfois foisonnant, dispose d'atouts majeurs pour contribuer à l'élaboration prospective de parcours de transition pour le secteur du bâtiment, parmi lesquels :

- l'existence d'un **très grand nombre de modèles et d'organismes** impliqués dans la modélisation,
- la mobilisation **d'une grande diversité d'approches**, particulièrement marquée sur des sujets clés comme la rénovation des logements, qui permet de les éclairer sous de multiples facettes,
- une **caractérisation fine, voire très fine, du parc immobilier dans certaines de ses dimensions** (typologie, localisation, etc.), notamment dans le secteur résidentiel,

- un **large corpus de modèles technico-explicites**, construits selon une approche bottom-up et donc bien adaptés à l'exploration des trajectoires ainsi qu'à l'évolution permanente des outils.

Dans l'ensemble, donc, l'analyse de l'écosystème de modélisation étudié témoigne d'une **très bonne capacité à simuler et à explorer en détail le rôle du secteur du bâtiment dans la transition énergie/carbone**, en particulier sous l'angle de la contrainte d'atteinte des objectifs climatiques, et de certaines dimensions les conditions de mise en œuvre des trajectoires correspondantes pour le secteur.

Toutefois, l'analyse met parallèlement en évidence des faiblesses, voire des lacunes, pointant les domaines dans lesquels il convient de poursuivre le développement si l'on veut que l'écosystème de modélisation contribue pleinement à optimiser les stratégies de transition et à documenter ses multiples dimensions. En particulier :

- **certaines dimensions environnementales sont encore très peu documentées**, comme la question de la consommation d'eau ou l'enjeu des impacts sur la biodiversité, **ou de façon très fragile**, comme celles de l'adaptation au changement climatique ou de l'occupation des sols, qui ne semblent reposer chacune en l'état que sur un seul modèle, ce qui soulève des questions quant à la dépendance à l'égard des biais inévitables de ces modèles ;
- **certains bâtiments sont moins bien documentés, voire pas du tout** : le résidentiel est de loin le secteur le mieux couvert, le tertiaire l'est également bien mais avec une disparité, et quelques branches moins bien traitées, les bâtiments agricoles et industriels sont pour leur part très mal couverts ;
- au-delà, il existe encore **un large éventail de facteurs et de questions de prospective qui sont mal ou pas du tout couverts**. En particulier, la question de savoir comment les voies de transition peuvent être résistantes aux crises constitue un défi méthodologique clé pour les modèles qui fonctionnent tous selon une logique plutôt continuiste. En outre, une meilleure intégration de la dynamique des marchés immobiliers améliorerait considérablement la capacité à représenter les stratégies des acteurs ;
- enfin, **la prise en compte de la diversité sociale, économique ou territoriale reste un défi**. Les modèles tendent, dans la mesure où ils se concentrent souvent sur les dimensions physiques des trajectoires de transition (bâtiments, équipements, ressources...), à moins bien appréhender les dynamiques sociales, l'hétérogénéité des comportements d'acteurs, et l'évolution des différents contextes économiques, sociaux et institutionnels, et leur diversité locale. Il est dans ces conditions difficile d'élaborer des récits suffisamment complets et cohérents sur la transition auquel les différents acteurs (ménages, entreprises, autorités locales, etc.) puissent se référer.

## 7. Conclusion et recommandations

---

L'analyse de l'écosystème français de modélisation des bâtiments montre que les modèles représentant le lien énergie-bâtiment constituent l'épine dorsale de l'écosystème et permettent de capturer un large éventail de défis techniques et économiques (électrification, création d'emplois...), ainsi qu'un ensemble émergent de modèles axés sur les ressources et la demande de matières premières. Toutefois, l'étude met clairement en évidence la nécessité de poursuivre les développements. Certains, tels que les variations dans les projections démographiques, les projections au-delà de 2050... ne nécessitent que des ajustements mineurs pour que les modèles les prennent en compte. D'autres nécessiteraient un développement plus important, par exemple pour intégrer un plus large éventail d'impacts environnementaux, ou pour introduire des boucles de rétroaction entre les modèles afin de mieux refléter l'interaction entre la demande et l'offre (emplois, ressources...). Enfin, la communauté des modélisateurs doit renforcer sa capacité à contribuer à la réflexion sur la résilience face aux crises ou aux grandes tendances sociales et économiques (numérisation, évolution des marchés immobiliers...).

L'analyse permet de formuler trois séries de recommandations pour l'écosystème français de la modélisation, qui peuvent également s'appliquer à d'autres communautés nationales :

- **Consolider ou à approfondir les éléments déjà couverts par le processus de modélisation.** Il peut s'agir, par exemple, d'organiser un dialogue entre les outils et modèles existants (convergence ou interfaçage des unités fonctionnelles, intégration plus systématique de tous les leviers identifiés), d'améliorer le couplage et le bouclage des outils existants lorsque cela semble facile à mettre en œuvre, de mieux couvrir le parc immobilier ou d'aller au-delà de la barrière de 2050.
- **Renforcement de certaines dimensions de la modélisation, qui semblent mal couvertes aujourd'hui mais pour lesquelles une meilleure couverture semble techniquement réalisable.** Il s'agit, par exemple, de remédier au manque apparent de capacité de modélisation dans le secteur immobilier (changements dans les services immobiliers, valeurs immobilières, etc.), de développer des modèles capables de traiter un niveau plus élevé de diversité sociale ou territoriale, ou de prendre en compte des impacts quantifiables qui ne sont pas encore couverts (par exemple, la gestion de l'eau) ou qui sont mal intégrés (par exemple, les impacts sur la santé).
- **La troisième série de recommandations concerne des questions plus ouvertes, dont la modélisation reste largement à développer dans le cadre d'une approche prospective plus large.** Il s'agit par exemple de coupler les approches entre la réduction de l'impact climatique (bien couverte), la consommation de matériaux (relativement couverte) et l'eau et la biodiversité (à couvrir), ou de renforcer la capacité des modèles à refléter les chocs internes ou externes prévisibles sur les données d'entrée qu'ils utilisent (démographiques, économiques, climatiques...).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- ADEME, 2016, Approche intégrée et multicritères de la modélisation territoriale – Éléments de cadrage pour la gestion des données territoriales.
- ADEME (2019), Prospectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique
- ADEME, 2021, Transition(s) 2050, Agir Maintenant, Choisir pour le Climat, <https://www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/les-scenarios/>
- ADEME, 2022, Modèle ANTONIO (trANsiTiON ecologique des logements), Notice technique, <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5749-modele-antonio-transition-ecologique-des-logements.html>
- ADEME, CSTB, 2021, Imaginons Ensemble les Bâtiments de Demain, <https://batimentdemain.fr/rapport-final/>
- Association négaWatt, 2020, Analyse et concaténation du volet énergie des SRADDET, [https://www.negawatt.org/IMG/pdf/201103\\_rapport\\_analyse-et-concatenation-du-volet-energie-des-sraddet.pdf](https://www.negawatt.org/IMG/pdf/201103_rapport_analyse-et-concatenation-du-volet-energie-des-sraddet.pdf)
- Association négaWatt, 2022, Scénario négaWatt 2022, [https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022\\*](https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022*)
- CIRED, 2024, RES-IRF Technical documentation on Github, <https://cired.github.io/Res-IRF/index.html>
- CGDD, 2019, Trajectoires vers l'objectif « zéro artificialisation nette », Eléments de méthode, [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20%20Trajettoires%20vers%20l%20E%2880%99objectif%20z%C3%A9ro%20artificialisation%20nette.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20%20Trajectoires%20vers%20l%20E%2880%99objectif%20z%C3%A9ro%20artificialisation%20nette.pdf)
- CGDD, 2022, TiTAN, Renforcer l'analyse économique pour réussir la transition climatique, [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/TiTAN\\_03\\_02\\_2022.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/TiTAN_03_02_2022.pdf)
- École nationale supérieure des mines, 2024, Building model technical documentation, <https://gitlab.com/energytransition/buildingmodel>
- Gaspard, A., Chateau, L., Laruelle, C., Lafitte, B., Léonardon, P., Minier, Q., Motamed, K., Ougier, L., Pineau, A., Thiriot, S., 2023, "Introducing sufficiency in the building sector in net-zero scenarios for France", Energy and Buildings, Volume 278, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112590>
- Giraudet, L.-G., Guivarch, C., Quirion, P. (2012), « Exploring the potential for energy conservation in French households through hybrid modelling », *Energy Economics*, 34(2), 426-445.
- Huu Tam Nguyen, A.. Modélisation du parc de bâtiments du secteur tertiaire et simulation énergétique. Energie électrique. Université Paris sciences et lettres, 2021. Français. NNT : 2021UP- SLIM005 . tel-03228301. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-03228301>
- INSEE, 2018, Des projections nationales aux projections locales, Collection « Documents de travail », No H2021-01, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5055862>
- INSEE, 2024, Omphale technical documentation, <https://github.com/InseeFr/Omphale>
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926
- Le Treut, G. Description of the IMACLIM-Country model: A country-scale computable general equilibrium model to assess macroeconomic impacts of climate policies. CIRED working paper n° 2020-85, 2020. <https://hal.science/hal-02949396/document>
- Mastrucci, A., Niamir, L., Boza-Kiss, B., Bento, N., Wiedenhofer, D., Streeck, J., Pachauri, S., Wilson, C., Chatterjee, S., Creutzig, F., Dukkipati, S., Feng, W., Grubler, A., Jupesta, J., Kumar, P., Marangoni, G., Saheb, Y., Shimoda, Y., Shoai-Tehrani, B., Yamaguchi, Y., van Ruijven, B., 2023, "Modelling Low Energy Demand Futures for Buildings: Current State and Research Needs", Annual Review of Environment and Resources, 48:761–92, doi: 10.1146/annurev-environ-112321-102921
- Mathy, S., Fink, M., Bibas, R. Repenser le rôle des scénarios: construction participative de scénarios bas carbone pour la France, *Revue d'économie industrielle*, 148 | 4e trimestre 201424. <http://journals.openedition.org/rei/5934>
- Nauleau, M-L., 2015, L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel français : analyse des déterminants d'investissement et des politiques publiques, Thèse de doctorat en Sciences économiques, École des hautes études en sciences sociales, Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (laboratoire), Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (France)

Thao Khamsing, W., Ceci-Renaud, N., Guillot, L. 2016. Simuler l'impact social de la fiscalité énergétique : le modèle Prometheus (PROgramme de Microsimulation des Énergies du Transport et de l'Habitat pour Évaluations Sociales) - Usages et méthodologie. CGDD, Collection Études et documents, n°138. <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0083/Temis-0083851/22397.pdf>

The Shift Project (2019), Comprendre les enjeux de la modélisation du lien complexe entre énergie, climat et économie. État des lieux et limites de la modélisation énergie-climat au niveau mondial. <https://theshiftproject.org/article/comprendre-modelisation-energie-climat-economie-scenarios/>

Rauzier, E., Verzat, B., Letz, T., Metivier, S., Moteau, S., Rieser, T., Julien, C., ADEME, Institut NégaWatt, ENERTECH, SOLAGRO, 2020, Transition industrielle – Prospective énergie matière : vers un outil de modélisation des niveaux de production, <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/340-transition-industrielle-prospective-energie-matiere-vers-un-outil-de-modelisation-des-niveaux-de-production.html>

Rogau, A., 2020, Vers une approche intégrée d'aide à la planification énergétique territoriale : application à la rénovation énergétique des bâtiments, Thèse de doctorat en Energétique et génie des procédés, Université Paris sciences et lettres, Centre Procédés, Énergies Renouvelables et Systèmes Énergétiques, École nationale supérieure des mines, <https://pastel.hal.science/tel-02969503>

Sorin, E., Tirado, R., Gully, E., Louërat, M., Laurenceau, S., BTPFlux: a building material flow analysis model to enhance the urban metabolism on French territories, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. DOI 10.1088/1755-1315/1078/1/012027

Vivier, L., Giraudet, L-G., 2022, A retrofitting obligation for French dwellings – A modelling assessment, eceee summer study 2022 proceedings

Waisman, et al. 2012. 'The Imaclim-R Model : Infrastructures, Technical Inertia and the Costs of Low Carbon Futures under Imperfect Foresight. *Climatic Change*, Volume 114, Number 1, 101-120

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

## LES COLLECTIONS DE L'ADEME

### FAITS ET CHIFFRES



L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.

### CLÉS POUR AGIR



L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.

### ILS L'ONT FAIT



L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.

### EXPERTISES



L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard

### HORIZONS



L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



EXPERTISES

## BÂTIMENT ET IMMOBILIER : MIEUX MODÉLISER LA TRANSITION

L'analyse de l'écosystème français de modélisation des bâtiments montre que les modèles représentant le lien énergie-bâtiment constituent l'épine dorsale de l'écosystème et permettent de capturer un large éventail de défis techniques et économiques (électrification, création d'emplois...), ainsi qu'un ensemble émergent de modèles axés sur les ressources et la demande de matières premières.

Toutefois, l'étude met clairement en évidence la nécessité de poursuivre les développements. Certains, tels que les variations dans les projections démographiques, les projections au-delà de 2050... ne nécessitent que des ajustements mineurs pour que les modèles les prennent en compte. D'autres nécessiteraient un développement plus important, par exemple pour intégrer un plus large éventail d'impacts environnementaux, ou pour introduire des boucles de rétroaction entre les modèles afin de mieux refléter l'interaction entre la demande et l'offre (emplois, ressources...). Enfin, la communauté des modélisateurs doit renforcer sa capacité à contribuer à la réflexion sur la résilience face aux crises ou aux grandes tendances sociales et économiques (numérisation, évolution des marchés immobiliers...).

*Cette étude analyse l'écosystème français de modélisation du bâtiment et de l'immobilier afin de mieux comprendre sa contribution actuelle aux scénarios de transition écologique du secteur, mais aussi les champs à investir dans le futur.*

