



**HAL**  
open science

# ATLAS TERRITORIAL DES GISEMENTS DE RENOVATION ENERGETIQUE (ATRE) Méthodes et outils d'élaboration

Jacques Autran, Deborah Ayres, Mohamed Belmaaziz, Gianluca Cadoni,  
Rémy Chiodo, Marie Durand, Maxime Duluc, Sylvain Nicol

► **To cite this version:**

Jacques Autran, Deborah Ayres, Mohamed Belmaaziz, Gianluca Cadoni, Rémy Chiodo, et al.. ATLAS TERRITORIAL DES GISEMENTS DE RENOVATION ENERGETIQUE (ATRE) Méthodes et outils d'élaboration. [Rapport de recherche] ADEME, Direction Villes et territoires durables; Laboratoire Project[s]; ENSA MARSEILLE. 2019. hal-03597377

**HAL Id: hal-03597377**

**<https://hal.science/hal-03597377>**

Submitted on 4 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Nov.  
2019

---

# ATLAS TERRITORIAL DES GISEMENTS DE RENOVATION ENERGETIQUE (ATRE)

---

Méthodes et outils d'élaboration

---

## RAPPORT FINAL

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

Equipe : ALEC, Unité de recherche project[s] – ENSA-M, en partenariat avec : BET Sol A.I.R, EnvirobatBDM

## REMERCIEMENTS

**Coordination du projet :** Marie DURAND (ALEC Agence Locale de l'Energie et du Climat Métropole Marseillaise) avec le soutien de Deborah AYRES et Rémy CHIODO

**Coordination scientifique :** Mohamed BELMAAZIZ, Gianluca CADONI et Jacques AUTRAN (École Nationale Supérieure d'Architecture de Marseille – Unité de recherche project[s])

**Partenaires du projet :** Maxime DULUC et Sylvain NICOL (BET SOL.A.I.R). Johan OTHENIN-GIRARD-Girard et Jérémie JOUBERT (EnvirobatBDM)

**Suivi du projet :** Sophie DEBERGUE (ADEME)

**Stagiaires :** Simon MARCHETTI, Sabria M'SIRDI, Adel BENNOUI et Léa PIZZANELLI (ENSA de Marseille / EnvirobatBDM)

## CITATION DE CE RAPPORT

**Jacques AUTRAN, Deborah AYRES, Mohamed BELMAAZIZ, Gianluca CADONI, Rémy CHIODO, Marie DURAND, Maxime DULUC, Sylvain NICOL.** Atlas territorial des gisements de rénovation énergétique (ATRE) : méthodes et outils d'élaboration. 216 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne [www.ademe.fr/mediatheque](http://www.ademe.fr/mediatheque)

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

20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1617C0003

Étude réalisée par Mohamed BELMAAZIZ, Gianluca CADONI,  
Jacques AUTRAN, Deborah AYRES, Marie DURAND, Maxime  
DULUC, Sylvain NICOL pour ce projet financé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Marie DURAND, Mohamed  
BELMAAZIZ et Gianluca CADONI  
Appel à projet de recherche : APR « Vers des bâtiments à  
horizon 2020 » - 2016

Coordination technique - ADEME : DEBERGUE Sophie ingénieur  
Direction/Service : Service Organisations Urbaines



# Table des matières

Résumé.....	8
Abstract .....	8
Introduction.....	9
<b>1. État de l'art .....</b>	<b>11</b>
1.1. Types d'approches et échelles visées.....	12
1.1.1. Approche descendante (top-down) : désagrégation de données globales .....	13
1.1.2. Approche ascendante (bottom-up) : agrégation de données fines.....	13
1.1.3. Approche ascendante par "bâtiment exemple" et par "bâtiment moyen" .....	14
1.1.4. Approche ascendante bâtiment par bâtiment .....	14
1.1.5. Approche ascendante bâtiment par bâtiment et l'utilisation des SIG .....	16
1.2. Méthode d'analyse par typologie.....	16
1.2.1. Périodes constructives considérées : classifications nationales et locales .....	17
1.2.2. Classes de bâtiments/typologies .....	18
1.2.3. Typologies, performance et anatomie des éléments d'enveloppe .....	20
1.2.4. Analyse détaillée des nomenclatures (nationale / locale).....	20
1.2.4.1. Nomenclature nationale TABULA .....	20
1.2.4.2. Nomenclature locale 123 Réno.....	22
1.2.5. Aperçu des approches par typologies pour décrire un territoire .....	23
1.2.6. Synthèse et limites de ces approches .....	24
1.3. Qualité et disponibilité de la donnée .....	25
1.3.1. Concept de Qualité .....	25
1.3.2. Disponibilité de la donnée .....	26
1.3.3. Modélisation du réel.....	26
1.3.4. Sensibilité des paramètres d'entrée.....	27
1.4. Méthodes et outils de calcul permettant l'estimation des consommations énergétiques .....	28
1.4.1. Outils et méthodes mis en œuvre dans le cadre des diagnostics de masse .....	29
1.4.2. Limites des outils et méthodes employés dans les démarches rencontrées .....	29
1.4.2.1. Application des outils simplifiés (conventionnels) aux bâtiments anciens .....	30
1.5. Prise en compte du contexte .....	31
1.6. Évolution des édifices et du territoire .....	32
1.7. Qualité du diagnostic .....	33
1.8. Outils numériques modèles de données utilisés.....	33
1.8.1. Outils numériques .....	33
1.8.1.1. Systèmes d'Information Géographiques (SIG) .....	33
1.8.1.2. Sources de données .....	34
1.8.2. Modèles de données.....	35
1.8.2.1. Modèles de données: City Information Modeling - Building Information Modeling.....	35
1.8.2.2. CityGML .....	35
1.8.2.3. IFC (BIM).....	37
1.8.2.4. Du territoire à l'édifice (et vice-versa) .....	37



1.8.3.	2D versus 3D .....	37
1.9.	Analyse socio-économique des gisements de rénovation .....	38
1.9.1.	Précarité énergétique.....	38
1.9.1.1.	Méthodes d'analyse de la précarité énergétique .....	39
1.9.1.2.	Vulnérabilité énergétique liée aux enjeux d'aménagement du territoire.....	41
1.9.1.3.	Analyse de la vulnérabilité énergétique en région PACA .....	42
1.9.1.4.	Vulnérabilité ou aisance socio-économique .....	42
1.9.2.	Rénovation énergétique.....	44
1.9.2.1.	Études portant sur la rénovation énergétique.....	44
1.9.2.2.	Enquête ménages sur la rénovation énergétique en PACA .....	47
1.10.	Méthode d'élaboration des indicateurs .....	49
1.10.1.	Choix des indicateurs.....	49
1.10.2.	Description des indicateurs .....	49
<b>2.</b>	<b>Orientations de la recherche.....</b>	<b>49</b>
2.1.	Échelles visées et démarche d'élaboration d'un atlas.....	49
2.2.	Méthode d'analyse par typologies.....	51
2.3.	Utilisation des nomenclatures nationale et locale .....	51
2.3.1.	Identification des bâtiments sur le territoire par type .....	52
2.3.2.	Utilisation d'une nomenclature nationale : TABULA .....	53
2.3.3.	Utilisation d'une nomenclature locale : 123 Réno.....	53
2.3.4.	Synthèse .....	53
2.3.5.	Identification des types pour chaque édifice sur le territoire.....	54
2.4.	Précision, qualité et disponibilité de la donnée .....	55
2.5.	Méthode et hypothèses de calcul.....	56
2.5.1.	Outils et méthodes de calcul susceptibles de répondre à l'élaboration d'un atlas .....	56
2.5.2.	Données pertinentes et hypothèses de modélisation .....	56
2.6.	Prise en compte du contexte .....	57
2.7.	Alimentation et mises à jour de l'atlas (atlas dynamique, prise en compte des opérations de rénovation .....	58
2.8.	Précision et qualité du diagnostic.....	59
2.9.	Outils numériques utilisés et modèles de données.....	60
2.9.1.	Systèmes d'information Géographiques (SIG) .....	60
2.9.2.	Modèles de données: City Information Modeling - Building Information Modeling (CIM, BIM) .....	61
2.9.3.	2D versus 3D .....	61
<b>3.</b>	<b>Caractéristiques du parc résidentiel à l'échelle du territoire étudié .....</b>	<b>63</b>
3.1.	Période d'achèvement des logements .....	64
3.2.	Surface du logement .....	65
3.3.	Profil de logement à enjeux énergétiques.....	65
3.3.1.	Définition et analyse.....	65
3.3.2.	Analyse par typologies architecturales .....	66
3.3.3.	Caractéristiques sociologiques .....	67



3.3.4.	Mix énergétique du secteur résidentiel .....	67
<b>4.</b>	<b>Identification des acteurs, choix des zones d'études et d'expérimentations .....</b>	<b>68</b>
4.1.	Actions et mécanismes locaux habitat/énergie .....	68
4.1.1.	Contrat Local d'Engagement contre la précarité énergétique .....	69
4.1.2.	Programme d'Intérêt Général d'amélioration de l'habitat .....	69
4.1.3.	Opérations Programmées d'Amélioration de l'Habitat .....	70
4.1.4.	Marseille Rénovation Urbaine .....	70
4.1.5.	Projet Grand Centre-Ville de Marseille .....	71
4.1.6.	CAUE 13 .....	72
4.1.7.	Agence nationale de l'habitat .....	72
4.1.8.	Opérateurs de médiation habitat/énergie .....	73
4.1.9.	Conclusion .....	73
4.2.	Identification des zones d'études et d'expérimentations .....	74
<b>5.</b>	<b>Création de l'atlas : méthodes et outils .....</b>	<b>75</b>
5.1.	Inventaire des données existantes .....	75
5.2.	Évaluation de la qualité des données spatiales et des fichiers fonciers : étude exploratoire ...	77
5.2.1.	BD TOPO de l'IGN .....	78
5.2.1.1.	Qualité des données spatiales : les attributs géométriques (contour, hauteur, surface et volume)78	
5.2.1.2.	Filtrage des données et extraction des données .....	79
5.2.1.3.	Rejet des annexes .....	79
5.2.1.4.	Hauteur des édifices et prise en compte de la forme des toitures.....	82
5.2.1.5.	Périmètre des édifices et découpage parcellaire .....	83
5.2.2.	Fichiers fonciers .....	84
5.2.2.1.	Géolocalisation des données à la parcelle .....	85
5.2.2.2.	Année de construction /année d'achèvement.....	86
5.2.2.3.	Qualité de la donnée .....	87
5.2.2.4.	Nature, nombre et surface des locaux .....	87
5.2.2.5.	Nature technique des locaux .....	87
5.2.2.6.	Synthèse des difficultés liées à l'usage des FF .....	88
5.3.	Caractérisation des bâtiments par type (archétype) .....	89
5.3.1.	Nomenclatures TABULA et 123 Reno .....	90
5.4.	Croisement de la BD TOPO avec les fichiers fonciers.....	90
5.4.1.	Méthode retenue pour réaliser la jointure entre les deux bases de données.....	91
5.4.1.1.	Assignation des familles de bâtiments par taille et période constructive.....	92
5.4.1.2.	Appartenance à un type par la taille de l'édifice .....	93
5.4.1.3.	Maisons individuelles .....	93
5.4.1.4.	Immeubles de logements collectifs (familles MFH et AB).....	94
5.4.1.5.	Types tours et les barres .....	96
5.5.	Étude de terrain et implémentation des bases de données des fichiers fonciers .....	96
5.5.1.	Méthode de travail sur le terrain .....	97
5.5.2.	Table des Bâtiments .....	99



5.5.2.1.	Désignation de l'édifice .....	99
5.5.2.2.	Type d'édifice .....	100
5.5.2.3.	Historique : travaux de rénovation éventuels .....	100
5.5.2.4.	Nature du contact avec le sol.....	101
5.5.3.	Table des façades.....	102
5.5.3.1.	Identification des façades .....	102
5.5.3.2.	Recueil de données à partir des photographies des façades.....	103
5.5.3.3.	Taux de rénovation des menuiseries vitrées .....	105
5.5.4.	Questionnaires .....	105
5.6.	Caractérisation des éléments d'enveloppes (géométrie, contexte) .....	106
5.7.	Méthodes développées pour caractériser les façades.....	107
5.7.1.	Prise en compte des mitoyennetés.....	107
5.7.1.1.	Identification des bâtiments mitoyens .....	107
5.7.1.2.	Calcul de la superficie des façades de bâtis mitoyens .....	108
5.7.2.	Exposition (orientation) des façades.....	108
5.7.3.	Hierarchisation des façades.....	109
5.7.3.1.	Hypothèses formulées pour la hierarchisation des façades .....	109
5.7.3.2.	Définition des critères de hierarchisation .....	110
5.8.	Association des éléments d'enveloppe au type d'édifice .....	112
5.8.1.	Association des caractères du type aux façades.....	113
5.8.2.	Méthode pour caractériser les planchers bas .....	113
5.8.3.	Méthode pour caractériser les toitures.....	114
5.9.	Caractérisation des enveloppes .....	115
5.10.	Surfaces et volumes employés pour le calcul des déperditions et des apports .....	116
5.11.	Évaluation des gains solaires .....	117
5.11.1.	Couplage entre Sketchup et T4SU .....	118
5.11.2.	Évaluation des flux solaires par façade .....	118
5.11.3.	Prise en compte des épaisseurs des murs et des facteurs solaires des menuiseries ..	120
5.12.	Validation de la méthode d'évaluation des flux solaires .....	121
5.12.1.	Analyse des résultats obtenus .....	122
5.12.2.	Traitement des bâtiments appartenant à un quartier à haute densité bâtie .....	123
5.13.	Bilan des besoins de chauffage .....	124
5.14.	Synthèse des procédures mises en œuvre et de la méthodologie adoptée.....	125
5.15.	Répliquabilité des méthodes de reconnaissance développées et précision du diagnostic .	126
5.15.1.	Précision des données produites et qualité du diagnostic.....	126
5.15.1.1.	Niveau 1: approche automatique .....	126
5.15.1.2.	Niveau 2: approche automatique (croisement des nomenclatures locale et nationale)	127
5.15.1.3.	Niveau 3: approche automatique alimentée par des campagnes de terrain .....	127
5.16.	Validation des hypothèses de modélisation à partir du travail de terrain .....	127
5.16.1.	Reconnaissance des types architecturaux .....	127
5.16.2.	Reconnaissance de la hiérarchie des façades .....	129



5.17.	Résultats obtenus, hypothèses de modélisation et échelles de lecture .....	131
5.18.	Conclusions.....	133
<b>6.</b>	<b>Expérimentation sur la commune de Septèmes-les-Vallons .....</b>	<b>134</b>
6.1.	Évaluation du comportement énergétique des bâtiments dans la commune de Septèmes-les-Vallons. ....	135
6.1.1.	Exploitation de l'atlas à l'échelle du bâtiment .....	135
6.1.2.	Lectures énergétiques à des échelles supérieures .....	135
6.1.3.	Identification des zones à enjeu.....	142
6.1.4.	Analyse thermographique .....	142
6.2.	Projet de réhabilitation de 19 logements par la commune .....	145
6.2.1.	Méthodologie employée, hypothèses de calcul et analyse des résultats .....	145
6.2.2.	Extrapolation des hypothèses de rénovation sur le territoire.....	147
6.2.3.	Étude d'une zone homogène à nord du centre-ville de Septèmes .....	148
6.3.	Hypothèse d'intégration des données de consommation .....	151
6.3.1.	Données collectées sur l'électricité et le gaz à l'échelle d'une rue .....	151
6.3.2.	Données à l'échelle d'un édifice .....	152
6.3.3.	Limites d'utilisation des données de consommation.....	154
<b>7.</b>	<b>Analyse socio-économiques des données appliquée aux terrains d'études .....</b>	<b>154</b>
7.1.	Croisement des différentes bases de données .....	157
7.2.	Limites d'utilisation des données socio-économiques .....	159
	<b>Conclusions et perspectives.....</b>	<b>160</b>
	<b>Annexes techniques : méthodes et procédures pour la réalisation de l'atlas.....</b>	<b>163</b>
	<b>Table des figures .....</b>	<b>201</b>
	<b>Table des graphiques.....</b>	<b>204</b>
	<b>Table des tableaux .....</b>	<b>205</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>207</b>



## Résumé

La massification des rénovations énergétiques du bâti résidentiel existant nécessite d'en traiter la complexité tout en articulant les différentes échelles d'intervention. Pour réduire les consommations énergétiques liées aux bâtiments résidentiels, il est nécessaire d'agir là où les gisements d'économie d'énergie sont les plus importants.

L'objectif du projet de recherche ATRE est de réaliser un atlas géo-référencé des gisements de rénovation. Il s'agit d'une méthode permettant de réaliser un outil opérationnel et dynamique pour les multiples acteurs de la transition énergétique.

La démarche adoptée consiste à mettre à profit les potentialités des outils SIG pour caractériser le bâti résidentiel à travers l'exploitation et le croisement des bases de données telles que la BD TOPO ou les fichiers fonciers. Grâce aux SIG, il est possible de définir un ensemble de données détaillées permettant d'établir le bilan thermique de chaque édifice (parois mitoyennes, orientation et hiérarchisation des façades, surfaces des éléments d'enveloppe, volume, etc.). L'exploitation des données spatiales a aussi pour objectif de contextualiser les bâtiments.

Des méthodes et outils ont été développés et validés sur diverses zones d'étude en partant d'une modélisation systématique à l'échelle de chaque édifice. Lors de la phase dédiée à l'expérimentation l'atlas a été produit sur le territoire de la commune de Septèmes-les-Vallons. L'agrégation des données produites a permis de les cartographier afin de donner une lecture énergétique multi-scalaire du territoire. Cette lecture permet d'identifier les zones à enjeux.

Le croisement de ces données avec des indicateurs socio-économiques permettront de compléter cette lecture afin d'identifier les poches de vulnérabilité voir de précarité énergétique. Dans ce sens, la production d'un atlas dynamique constitue un levier favorisant l'implication de multiples acteurs dans les processus de rénovation énergétique.

## Abstract

In order to massify energy improvement of residential existing buildings, it's important to take into account the complex criteria defining the housing stock and to consider various scales of intervention. To reduce the energy consumption of this sector, it's necessary to focus the action where energy saving is most important. Our ambition consists in developing methods allowing to exploit different residential sector databases in order to generate accuracy energy diagnosis at building scale first, to aggregate them at a higher scale level then. This approach is based on data series implementation in a GIS tool combined with a physical approach.

Indeed, since GIS is not only intended for producing a map, it's possible to exploit its ability to manage spatial data and to produce geometric parameters necessary for energy calculations. These parameters can be enriched or crossed with other data (such as the age of the building, envelope components, climate) to estimate energy consumption and to forecast demand.

Building geometry description is necessary to estimate energy heat balance. The geometrical envelope characteristics can be extracted from the information of building entities present in the BD TOPO spatial database. Some procedures were developed and validated to evaluate the areas of different envelope components: area of external walls, roofs, floors, volume and identify adjoining building surfaces. All these parameters allowed us to calculate the precise orientation of each elevation and to evaluate real solar gains.

The second database used corresponds to data gathered, treated and structured by CEREMA from the complex taxation files of government. Among the different data collection, this database contains information about age, dwelling number and habitable area aggregated at the parcel. This database allowed us to identify archetypes. The TABULA nomenclature was chosen to be used in the framework of ATRE project because it's an exhaustive national classification. The spatial data can be crossed with information about age and size in order to assign TABULA archetypes for all residential buildings composing the stock.

In order to face the problems of fuel poverty, the heating needs calculated by the atlas will be crossed with social databases in order to offer a social, financial and energy knowledge at different scales of the territory.



## Introduction

Dans le contexte actuel lié à la diminution des ressources, à l'augmentation tendancielle du prix des énergies et au réchauffement climatique, se préoccuper de l'efficacité énergétique de nos bâtiments ne fait plus débat comme en témoignent les issues de la COP 21 à Paris. En France, comme dans d'autres pays, le secteur du bâtiment est responsable en grande partie des consommations d'énergie et des émissions des gaz à effet de serre.

Ces dernières années les efforts se sont portés sur les bâtiments neufs, par le biais de réglementations visant à restreindre leurs consommations énergétiques. Pour leur part, les bâtiments existants, notamment ceux construits avant l'avènement des réglementations thermiques, ne sont pas soumis à une réglementation contraignante. Or, l'action doit aussi se porter sur l'amélioration énergétique de ces bâtiments. Le secteur résidentiel représente une part considérable de ce gisement d'économie d'énergie à réaliser.

Avec 33,4 millions de logements<sup>1</sup> (ADEME, 2013), le parc résidentiel français est parmi postes de consommation d'énergie les plus importants en France. A lui seul il représente 30 % (494 TWh) de la consommation totale d'énergie finale<sup>2</sup>. Une grande partie des logements existants (soit 56 %) construits avant la première réglementation thermique 1975 sont responsables d'à peu près 59 % des consommations d'énergie. Or, *“Le parc de logements existants affiche un taux de renouvellement inférieur à 1% par an. Ce faible taux associé au rythme actuel des réhabilitations, ne permet absolument pas d'atteindre l'objectif visé. Par conséquent il n'existe aucune alternative que d'entreprendre, dès aujourd'hui, une campagne de réhabilitation massive et exigeante de nos bâtiments existants.”* (RAGE, 2012, p. 9)

Dans ce contexte, il est aussi intéressant de lire: *“ Depuis 1973, les consommations unitaires moyennes de chauffage par superficie ont baissé de 58 %. Ces progrès ont pu être réalisés grâce aux travaux de maîtrise de l'énergie dans l'habitat existant, aux réglementations thermiques dans le neuf et à un comportement plus économe des ménages ...Ainsi, la consommation unitaire moyenne totale est passée de 352 kWh/m<sup>2</sup> en 1973 à 186 kWh/m<sup>2</sup> en 2011 (- 1,2% par an, en moyenne)... En 2012, le nombre de travaux de maîtrise de l'énergie est en baisse, (12,1 % vs 12,8 % des ménages interrogés en 2011). La majeure partie des interventions concerne l'isolation du bâti, principalement la pose de doubles-vitrages...En 2012, les ménages interrogés considèrent à plus de 80 % le DPE comme un critère important dans l'hypothèse de la location ou de la vente d'un logement...En 2012, le critère économique recule de 3 points par rapport à 2011, mais reste la première raison pour réaliser des travaux... L'amélioration de la qualité thermique du bâti demeure comme l'année précédente le deuxième critère de motivation pour la réalisation de travaux. Ce facteur est en progression par rapport à celui de l'amélioration du confort...”* (ADEME, 2013).

Ce qui ressort de cette étude menée par l'ADEME est la volonté de la population française d'améliorer le comportement énergétique de leur résidence, mais le *“passage à l'acte”* reste encore faible.

Ce projet de recherche souhaite contribuer par les connaissances produites aux réductions des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Pour réduire massivement les consommations dues aux bâtiments résidentiels il semble indispensable d'agir là où les gisements<sup>3</sup> sont les plus importants. En ce sens, afin de stimuler la rénovation énergétique des bâtiments résidentiels, il est nécessaire d'identifier et de localiser les gisements de rénovation sur l'ensemble d'un territoire. Ainsi le choix est né de réaliser un atlas des gisements de rénovation d'énergie (ATRE). À travers ce projet, nous proposons la création de bases de données énergétiques spatialisées croisées à des données socio-économiques permettant de constituer des atlas sur les territoires.

### *Connaître le territoire : un atlas fédérateur partagé*

---

<sup>1</sup> Le parc métropolitain comprend plus de 27,8 millions de résidences principales (selon les chiffres clés du bâtiment publiés par l'ADEME en 2013).

<sup>2</sup> Le poids du parc résidentiel dans les émissions CO<sub>2</sub> relatives aux consommations énergétiques est moins élevé en raison d'une dépendance moindre aux énergies fossiles en comparaison d'autres secteurs comme les transports. Chiffres clés du bâtiment ADEME, 2009.

<sup>3</sup> Gisement : “[Figuré] Ensemble de richesses, d'informations, de faits. Un gisement de renseignements. Un gisement d'événements.”

Partant de l'hypothèse que la massification de la rénovation énergétique ne sera possible qu'en traitant la complexité du territoire et en articulant les échelles d'intervention, le projet a pour objectif de créer un outil opérationnel fédérateur pour les multiples acteurs de la transition énergétique.

La connaissance du parc bâti et du comportement énergétique des bâtiments sur le territoire permettra aux acteurs de la rénovation de mieux viser leurs efforts, de trouver de l'information, d'échanger et, grâce à sa mise en ligne, de contribuer et bénéficier du caractère évolutif et fédérateur d'un atlas.

La production d'un atlas cartographique des gisements de rénovation est l'un des moyens de formaliser, d'organiser et de diffuser cette connaissance. Cet outil peut avoir plusieurs vocations : d'une part il permet une lecture du territoire, apte à aider les décideurs pour d'éventuelles campagnes de sensibilisation et promotion des rénovations énergétiques ; d'autre part il constitue un support à cette promotion. Enfin, il peut rendre lisibles certaines dynamiques sociales de vulnérabilité voir de précarité énergétique, pouvant être localisées de manière plus précise grâce au croisement des données énergétique et socio-économiques.

Cet atlas pourra être fédérateur des différents acteurs de la rénovation, qu'ils soient propriétaires, entreprises, décisionnaires, etc. Il pourrait venir en appui, mais aussi bénéficier de l'apport des futures Plateformes Territoriales de Rénovation Énergétique (PTRE, (Chiodo *et al.*, 2015)), conçues comme des lieux et dispositifs d'échange entre les différents acteurs de la rénovation.

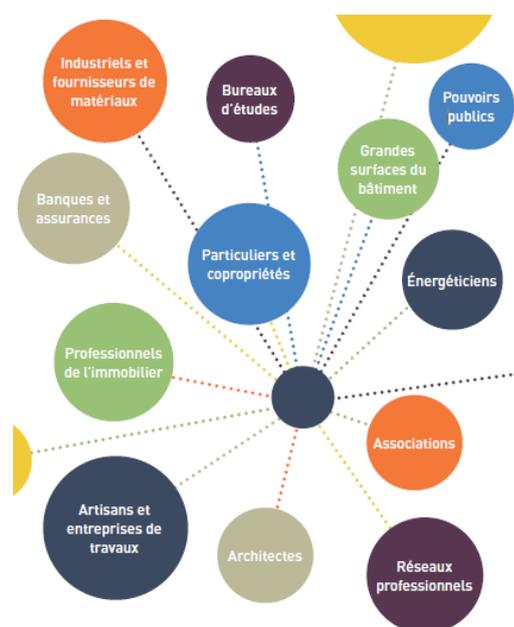


Figure 1. Plateforme de rénovation énergétique (Source: ALEC)

Cela nous amène à nous interroger sur les questions d'échelle, les acteurs concernés et les leviers financiers permettant d'impulser un passage à l'acte.

- L'échelle du territoire : un tel outil permettrait une lecture fine du territoire et orienterait les politiques publiques territoriales (régions, communes ...) via des stratégies prospectives à mettre en place. Cela facilite la définition des priorités d'intervention et des scénarios tendanciels globaux à court, moyen et long terme, conditionnant d'éventuelles aides publiques.
- L'échelle urbaine (ville, quartier) : les éléments manipulés à l'échelle « macro » pourraient alimenter une maille plus fine. Cela permettrait une lecture associant des critères urbains (densité, compacité, typologie, époque de construction, occupation, etc.). L'articulation entre ces deux échelles (territoriale et urbaine) impose de se pencher sur les bases de données existantes pouvant être exploitées. Un diagnostic exhaustif permettrait de hiérarchiser les



priorités, les marges de manœuvre d'intervention et les aides financières pouvant être mobilisées par zone. À cette échelle « intermédiaire », la mise en ligne des données issues du diagnostic urbain aura aussi pour objectif de sensibiliser et d'impliquer des acteurs concernés par la rénovation énergétique (syndics de copropriété, gestionnaires, associations de quartier, locataires, propriétaires, etc.). La mise en ligne de l'outil participerait à la diffusion d'un état des lieux précis quartier par quartier.

- L'échelle de l'îlot : ce dernier maillon de la chaîne « outil » concerne le diagnostic énergétique des bâtiments. À ce stade, les acteurs concernés par la rénovation ont besoin d'avoir des indications sur l'état du bâti et les solutions techniques pertinentes et adaptées en vue d'améliorer leur performance. La diffusion des informations à ce dernier niveau de précision devra être contrôlée ou anonymisée par l'utilisation d'un maillage adéquat.

### *Objectifs et organisation de la recherche*

Cette recherche a pour objectif de proposer une méthodologie d'élaboration d'un atlas, de mettre au point des méthodes et de développer des outils venant en appui de cette démarche.

Tout en ayant le souci de la répliquabilité, le territoire de Marseille-Provence a été le lieu de développement et de validation de ces méthodes. Un premier atlas a été réalisé sur la commune de Septèmes-les-Vallons (territoire d'expérimentation), de manière à évaluer les procédures et juger de la qualité des méthodes et outils développés.

Ce travail débuté en novembre 2016 s'articule autour de quatre phases clés. La première menée par le laboratoire Project[s] et l'ALEC consistait à établir un état de l'art sur les méthodes et outils existants permettant d'élaborer un diagnostic territorial. En parallèle, l'ALEC inventoriait les acteurs locaux intéressés par la mise en place de l'atlas et identifiait des territoires d'expérimentation.

La deuxième phase, la plus lourde en termes d'investissement, a été prise en charge par le laboratoire Project[s]. Elle visait à développer et à valider les méthodes et outils nécessaires à la réalisation de l'atlas géo-référencé en vue de le rendre répliquable. Cette phase comprenait également le travail de relevé in-situ.

La phase 3 conduite en parallèle de la précédente a été menée par l'ALEC. Elle avait pour objectif d'étudier les indicateurs socio-économiques liés à la rénovation énergétique de manière à les intégrer au diagnostic territorial produit.

L'élaboration de l'atlas sur territoire d'expérimentation a fait l'objet de la phase 4. Si le laboratoire Project[s] était en charge de produire l'atlas sur la commune de Septèmes-les-Vallons, tous les partenaires ont participé à la campagne de terrain. L'ALEC pour sa part a mobilisé les gestionnaires de réseau (Enedis et GRDF) pour l'obtention des données de consommations afin de les exploiter pour alimenter le diagnostic territorial. Cette analyse a été approfondie par le BET SOL.A.I.R.

Par ailleurs, l'ALEC a effectué une campagne thermographique permettant de confirmer les besoins de rénovation sur un certain nombre de bâtiments du territoire étudié. Lors de diverses manifestations, la restitution des résultats a pu être présentée à la collectivité.

## **1. État de l'art**

Le présent état de l'art s'articule autour des questions posées par l'élaboration d'un atlas et la façon dont elles ont été traitées ou non dans les études que nous avons pu analyser.



## 1.1. Types d'approches et échelles visées

Les travaux qui s'intéressent à la réduction des consommations énergétiques et à la rénovation des logements existants procèdent selon des approches variées. Celles-ci dépendent des objectifs recherchés et renvoient aux questions liées à l'échelle d'investigation, aux stratégies de modélisation et au public visé.

À l'échelle du logement, voire celle de l'édifice, les investigations peuvent être de l'ordre de l'information, de la sensibilisation ou de l'incitation à l'instar du diagnostic de performance énergétique (DPE) exigible lors d'une transaction immobilière. C'est également le cas pour les campagnes de thermographie aérienne (Guilhem *et al.*, 2010) qui ont pour principal intérêt la sensibilisation des habitants aux problèmes de performance énergétique (Henry *et al.*, 2009). Cependant, leur utilité reste limitée aux traitements d'isolation thermique des toitures des édifices comme le montre la figure suivante.



Figure 2. Thermographie aérienne – Source : Site officiel de la Ville de Marseille Plan Interactif<sup>4</sup>

À cette échelle, il est également question de guides pratiques décrivant les techniques et les pathologies relatives à la mise en œuvre de solutions d'isolation. Il peut aussi s'agir d'outils opérationnels dont le rôle est de proposer des solutions techniques inhérentes à la faisabilité et la mise en œuvre d'une rénovation. Cela est le cas pour les plateformes de rénovation ou d'autres outils à l'image de 123 Réno (SOL A.I.R., HABITAT et SOCIETE, SKALA, 2013) développé dans le cadre du projet européen MARIE (MARIE, 2011). En proposant des bouquets de travaux de rénovation aux particuliers, cet outil d'évaluation générique (Thorel, 2014) accompagne ces préconisations d'une analyse économique permettant d'arbitrer entre les différentes solutions proposées. À cette échelle de résolution spatiale, l'accès aux données de l'édifice permet une modélisation fine.

À une échelle plus large, les études visant à explorer les consommations d'énergie liées à l'habitat sur un territoire (quartier, ville, région, pays, etc.) ont pour objectif de fournir des indicateurs permettant de mieux cerner les enjeux énergétiques en vue d'orienter les politiques publiques en matière de rénovation énergétique. En quantifiant les gisements d'économie d'énergie à une échelle « marco », cela permet de cibler et de hiérarchiser les actions à mener dans le temps.

Ce changement d'échelle d'analyse implique une modélisation qui dépend essentiellement des données disponibles et pouvant être exploitées. Selon que ces données d'entrée servant à la modélisation soient à agréger (en partant du logement et en explorant un ensemble d'édifices résidentiels d'un territoire) ou à l'inverse à désagréger (du territoire au logement), deux orientations méthodologiques sont possibles pour réaliser un audit énergétique (Swan et Ugursal, 2009 ; Kavgica *et al.*, 2010) comme le montre la figure suivante.

<sup>4</sup> <http://carto.marseille.fr/geoweb/portal.do?Tab=thermo&ShowButtons=true>



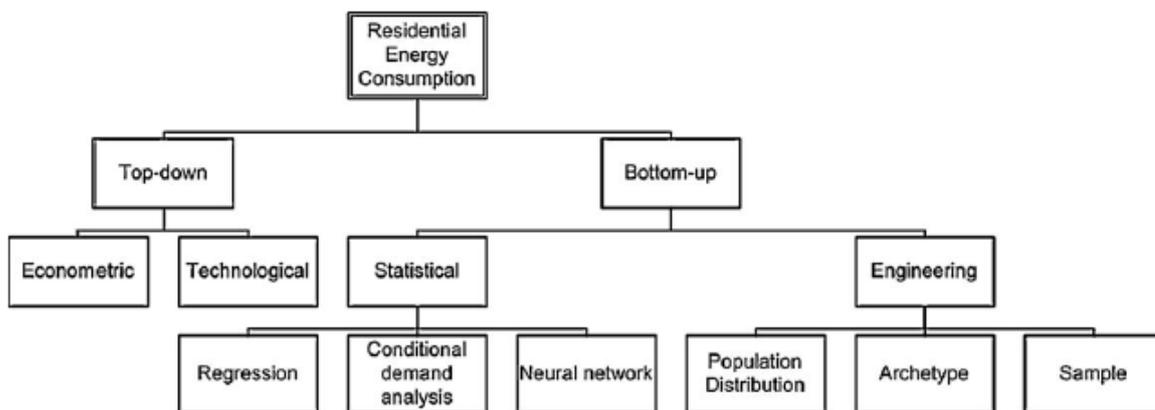


Figure 3. Approches de modélisation de la consommation énergétique des bâtiments à grande échelle (Swan & Ugursal, 2009)

### 1.1.1. Approche descendante (top-down) : désagrégation de données globales

Qu'elle soit "économétrique" ou "technologique"<sup>5</sup>, cette méthode d'analyse se base sur la collecte et l'exploitation de données énergétiques globales provenant de séries d'estimations effectuées à partir de relevés historiques de consommations dont disposent par exemple les opérateurs ou les distributeurs d'énergies. Ces données sont désagrégées puis réaffectées à des échelles géographiques inférieures en fonction d'indicateurs statistiques pertinents. La résolution spatiale à laquelle l'analyse est effectuée conditionne le degré de désagrégation des données disponibles et le niveau de précision des résultats.

Dans le secteur résidentiel, cette précision se heurte aux limites qu'occasionne l'exploitation de ratios globaux (au niveau national, régional, ville, IRIS, quartier) à des échelles plus fines. En effet, en partant du général au particulier, la modélisation par extrapolation de données ne peut prendre en compte la complexité engendrée par les spécificités et l'hétérogénéité qui caractérisent le parc résidentiel. À titre d'exemple, la robustesse de l'approche top-down est généralement mise à mal dès qu'il s'agit de mener des analyses ciblées par famille de logements ou pour tenir compte des postes de consommations correspondant aux usages rencontrés dans l'habitat (chauffage, éclairage, ECS, etc). De même, elle ne permet pas d'explorer une maille de territoire restreint.

### 1.1.2. Approche ascendante (bottom-up) : agrégation de données fines

L'approche ascendante s'appuie sur l'exploitation des données locales en les agrégeant à des niveaux de résolution supérieurs. Partant de la connaissance des consommations par poste de consommation et par logement ou groupe de logements, elle permet d'extrapoler ces données sur un territoire. Contrairement à l'approche top-down, celle-ci se base sur la connaissance réelle du parc résidentiel à travers ses caractéristiques architecturales et constructives qui conduisent généralement à hiérarchiser le patrimoine bâti par typologie (Charlot-Valdieu, 2010). Deux méthodes distinctes permettent d'estimer les consommations selon cette approche.

La première dite "statistique" consiste à exploiter des données issues d'estimations réelles sur l'énergie consommée par des échantillons de logements. Idéalement, les données des fournisseurs d'énergie pourraient constituer une source d'informations et un moyen pour y parvenir, mais cela n'est pas envisageable pour des raisons de confidentialité ou tout simplement parce que ces données ne sont pas disponibles. Pour pallier cette difficulté, ces modèles s'appuient sur des données historiques (consommations enregistrées durant une ou plusieurs années) d'une ou plusieurs habitations représentatives ou peuvent être désagrégées à partir de consommations plus globales.

<sup>5</sup> Deux familles de désagrégation peuvent être mises en avant. La première dite "économétrique" concerne une analyse croisée des indicateurs de consommation avec des critères économiques ou sociaux (prix des énergies, revenus, population) dans le but de produire des indices socio-économiques. La seconde dite "technologique" permet d'explorer les scénarios tendanciels liés à des évolutions technologiques.



Ces données sont croisées avec d'autres issues de questionnaires qui renseignent les caractéristiques des logements (état du bâti, systèmes, etc.) afin d'affiner la part de consommation liée à chaque poste de consommation. Grâce à une analyse statistique (régression linéaire par exemple), cela permet d'obtenir la consommation énergétique globale à des échelles supérieures (Rawlings & al. 2013, Raynaud, 2014). Même si cette démarche permet d'analyser les consommations énergétiques par usage et reflète mieux le comportement des usagers (Swan, 2009), son inconvénient majeur réside dans la disponibilité des données.

La seconde méthode est basée sur la modélisation des consommations à l'échelle du logement (voire celle du bâtiment) par une approche "calcul". Elle utilise des modèles de simulation thermodynamiques ou simplifiés basés sur des fonctions de transferts thermiques. Cette démarche repose sur la connaissance des caractéristiques géométriques et thermophysiques de l'enveloppe, de la puissance des équipements techniques, des scénarios d'utilisation ainsi que des données climatiques. Cependant, elle exige un niveau de détail élevé, mais donne des estimations assez précises.

D'une manière générale, les travaux qui s'intéressent aux gisements d'économies d'énergie du parc résidentiel existant se basent sur cette approche de calcul ascendante. C'est le cas des études menées dans le cadre du projet européen TABULA/EPISCOPE, celles conduites par l'ALEC (de la métropole marseillaise), l'a'urba et Energies Demain. Chaque étude développe une méthode ad hoc en fonction de la problématique traitée, de la disponibilité des données et de la précision de l'analyse. Parmi celles-ci, on peut citer les approches suivantes.

### **1.1.3. Approche ascendante par "bâtiment exemple" et par "bâtiment moyen"**

L'approche par "bâtiment exemple" est une démarche simplifiée qui considère que l'ensemble du parc est constitué de plusieurs types d'édifices et que chaque type identifié peut être représenté par un bâtiment exemple réel dont les consommations sont connues. Partant de ce principe, ces consommations peuvent être affectées à l'ensemble des bâtiments du territoire étudié.

C'est le cas des travaux menés dans le cadre du projet EPISCOPE qui utilise la structure qu'offre la nomenclature et les estimations issues de l'outil TABULA. Un bâtiment "exemple", en référence à un cas d'étude réel censé représenter chaque type parmi les 40 identifiés, a servi à établir un bilan énergétique type. En intégrant des hypothèses de rénovations éventuelles que les exemples définis auraient subies, il est possible d'avoir des estimations globales en multipliant les consommations unitaires par le nombre de logements de chaque type pour une résolution spatiale voulue (quartier, IRIS, commune, ville, etc.).

Le bâtiment exemple n'étant pas forcément représentatif d'une typologie donnée, une seconde approche plus sophistiquée s'appuyant sur l'échantillonnage de logements consiste à faire une estimation sur un bâtiment dit "moyen". Ce dernier est une sorte de modèle virtuel représentatif (issu d'un travail de terrain) qui tient compte de l'ensemble des éléments de l'enveloppe du type. La surface du bâtiment type et celle de son enveloppe sont considérées au prorata des surfaces rencontrées dans le parc. L'affectation de ces bilans à un ensemble d'édifices se fait ensuite à travers des facteurs d'ajustement qui sont alors nécessaires pour se rapprocher des paramètres tels que les surfaces des logements, leur mode de chauffage, etc. La transposition à une plus grande échelle s'opère en multipliant le bilan type représentatif de l'échantillon étudié par le nombre de logements appartenant au type (Loga *et al.*, 2016).

### **1.1.4. Approche ascendante bâtiment par bâtiment**

Cette solution de modélisation peut être considérée comme assez fine, car elle repose sur la modélisation des consommations de chaque logement constituant le parc étudié. Afin de produire des indicateurs plus globaux, cela suppose un niveau de connaissance détaillé de l'ensemble des logements. C'est aussi le cas de la solution proposée par le modèle ENERTER<sup>6</sup> qui repose sur le

---

<sup>6</sup> Le modèle ENERTER a été développé par la société Energies Demain dans le cadre d'un programme de recherche financé par la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction (DGUHC). Il simule les consommations énergétiques du parc bâti résidentiel et permet d'identifier les principaux gisements de réhabilitation. Il permet la reconstitution des Consommations énergétiques du parc bâti résidentiel par usage



classement du parc par types. Grâce à un recouplement des données issues des Recensements de la Population 2006 et celles du recensement de 1999 avec des caractéristiques relatives aux types déterminées (telles que la famille architecturale, la mitoyenneté, la description des compositions des parois déperditives et les coefficients de déperdition surfacique, système de ventilation, hypothèse sur d'éventuelles rénovations antérieure, etc.), il permet d'évaluer les consommations d'énergie bâtiment par bâtiment. La modélisation se fait avec la méthode 3CL utilisée pour élaborer les DPE. Pour des raisons de confidentialité, les estimations sont agrégées à l'échelle de l'IRIS ou à celle de la commune et peuvent être croisées avec des critères socioéconomiques.

Plusieurs travaux visant à mieux comprendre les enjeux liés à la rénovation énergétique ont été conduits ces dernières années en ayant recours au modèle ENERTER. C'est le cas des études réalisées sur les régions Rhône Alpes (Energies Demain, 2008), Centre (Energies Demain, 2011), Ile de France (IAU, 2010) et plus récemment celles qui concernent le territoire de la communauté urbaine de Marseille Provence Métropole (Chiodo et al, 2014) et l'Aire Métropolitaine Lilloise (Energies Demain, 2015).

À titre d'exemple, l'étude menée par l'ALEC de la métropole marseillaise, qui avait pour objectif la caractérisation socioéconomique du parc de logements existants, s'est appuyée sur les résultats des simulations énergétiques issus du modèle ENERTER. Ces derniers ont été croisés avec des données locales telles que les types bâtis régionaux de logements, les coûts relatifs aux bouquets de travaux de rénovation que propose l'outil 123 Réno ainsi que des données sur la situation socioéconomique des ménages. Outre le fait que cette méthode a permis de faire un diagnostic territorial, elle a aussi conduit à faire une évaluation énergétique et économique prospective de la rénovation à l'échelle des communes constituant le territoire étudié pour atteindre le facteur 4.

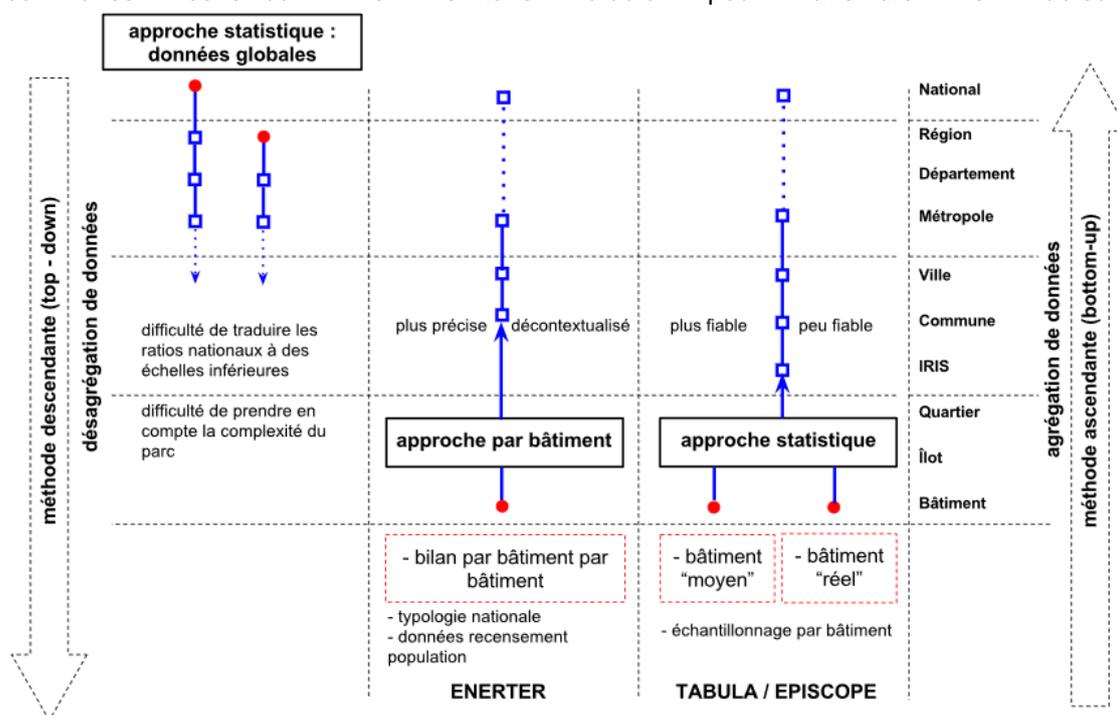


Figure 4. Approches de modélisation des consommations énergétiques à différentes échelles du territoire

Cependant ce genre d'approches aussi détaillées soient-elles, ne peuvent prétendre se faire sur une maille spatiale plus fine. Cette limite est due au fait que les données produites ne peuvent être exploitables qu'à une échelle déjà trop importante pour pouvoir cibler des actions localisées comme

(chauffage, production d'eau chaude sanitaire, cuisson) et par énergie (chauffage urbain, gaz de réseau, fioul, électricité, GPL, charbon, bois) à toute échelle de territoire (IRIS, commune, etc).



cela peut être le cas pour un quartier, un îlot ou un édifice. De surcroît, les évaluations produites ne tiennent pas compte du contexte urbain ce qui a pour effet de réduire la précision du diagnostic.

### **1.1.5. Approche ascendante bâtiment par bâtiment et l'utilisation des SIG**

Les travaux concernant l'analyse des gisements de rénovation énergétique par des approches basées sur des logiciels SIG et des méthodes d'analyse typologique sont nombreux. Dans le secteur du résidentiel, les outils SIG sont généralement utilisés pour analyser les connaissances du parc de logements sur un territoire. Cela peut concerner des données relatives au bâti (âge des édifices par exemple) telles que produites par les outils BATISIG et BATISTATO<sup>7</sup> (DRIEA Ile de France, 2013) développés par la DRIEA (Direction Régionale Interdépartementale de l'Équipement d'Île-de-France). Cela peut aussi concerner un croisement entre des données énergétiques et socioéconomiques en vue de produire et de cartographier de nouvelles données pour faciliter l'identification des enjeux liés à la rénovation énergétique. Globalement, les résultats de ces analyses sont représentés à différentes échelles (quartier, IRIS, commune, intercommunalité, département) ce qui rend possible la lecture du territoire par zones homogènes comme cela est le cas pour les cartes produites par l'IAU pour la région Ile de France.

Dans la lignée des démarches qui ont pour objectif de diagnostiquer le territoire par une approche "bâtiment par bâtiment", une autre alternative consiste à mettre à profit les potentialités offertes par les outils SIG pour établir un bilan énergétique par édifice. En effet, les SIG n'étant pas seulement destinés à produire une cartographie, il est possible d'exploiter leur capacité à gérer des données spatiales en vue de produire des paramètres géométriques (surface, nombre d'étages, hauteur, volume, ...) nécessaires à une simulation énergétique. Une fois synthétisés, ces paramètres peuvent être enrichis ou croisés avec d'autres données (telles que l'âge du bâti, enveloppe, climat,...) pour estimer les consommations énergétiques. La géolocalisation permet par la suite d'affecter les données produites (estimations) pour un affichage à une échelle de l'édifice ou une agrégation à une échelle plus vaste. Parmi, les études qui exploitent la dimension d'analyse spatiale offerte par les SIG, on peut citer les travaux entrepris par l'APUR sur l'évaluation des consommations d'énergie et des GES des résidences principales à Paris, ceux menés par A. Monteil sur la ville de Nantes ou l'étude de Vicentini pour la région de Piémont.

L'avantage de cette démarche basée sur les SIG et les données spatiales réside dans le fait de pouvoir bénéficier du niveau de précision que procure une estimation par édifice qui peut être contextualisée (exemple de la prise en compte de l'ensoleillement dans un contexte urbain). Bien que cela a pour conséquence d'améliorer la qualité d'un diagnostic, cette approche nécessite un temps de collecte, d'analyse et de structuration de données assez long. De plus, un travail de terrain complémentaire semble être nécessaire pour compléter les données manquantes.

Dans la mesure où le recours aux approches SIG rencontrées sont conditionnées par l'identification du bâti à travers une classification par type, il est nécessaire de se questionner sur la manière dont sont construites les différentes nomenclatures et comment elles peuvent être exploitées.

## **1.2. Méthode d'analyse par typologie**

La question de l'identification des gisements de rénovation énergétique sur un territoire étendu implique l'adoption de méthodes et outils permettant d'élaborer un modèle de diagnostic «systématique» des performances des bâtiments résidentiels existants. Si cette démarche permet d'éviter de diagnostiquer chaque logement (ce qui n'est pas envisageable dans le cadre la mise en œuvre de l'atlas) elle se heurte à la complexité qui caractérise le parc résidentiel. En effet, il est nécessaire d'appréhender l'hétérogénéité des logements construits de manière à rendre possible la connaissance de certains paramètres permettant l'estimation du bilan thermique à l'échelle des édifices. Ces paramètres sont inhérents au type de logement (maison individuelle ou immeuble de logements collectifs), à la composition de son enveloppe (qui renvoie à l'âge de l'édifice) ainsi qu'aux équipements de chauffage utilisés (Traisnel, 2001).

---

<sup>7</sup> BATISIG est un outil géomatique construit à partir des fichiers fonciers et couplé à un tableur BATISTATO. Ce dernier qui représente, sous forme de statistiques communales, des données sur l'âge du bâti. L'idée consiste à visualiser l'âge du parc bâti francilien en regard des dates clés du point de vue de la réglementation thermique.



Les études et recherches qui s'intéressent à la caractérisation énergétique du parc résidentiel existant se basent sur des approches qui classent les logements par type. Les classifications existantes sont généralement élaborées en distinguant deux familles de logements que sont l'individuel et le collectif et en s'appuyant sur des périodes constructives avec des degrés de précision plus ou moins importants. L'appartenance d'un logement ou d'un édifice à une période est déterminée en fonction de la date d'achèvement de la construction. Ces périodes sont à la fois définies en fonction de changements remarquables intervenus dans les modes constructifs, des styles architecturaux et des évolutions successives de la réglementation thermique. Une matrice croisant ces critères (famille/période) permet de caractériser les logements existants par types.

### **1.2.1. Périodes constructives considérées : classifications nationales et locales**

La question de la datation permet l'identification du bâti grâce à son appartenance à des périodes constructives significatives et/ou à son identification à la réglementation thermique en vigueur lors de la construction. Il est donc nécessaire d'une part de tenir compte de la diversité des modes constructifs existants et d'autre part de prendre en considération les évolutions ayant jalonné la réglementation depuis son application en 1975. Ces deux échelles temporelles parallèles sont primordiales dans la connaissance fine des performances des édifices. Cependant, pour des besoins statistiques, certaines études regroupent les logements conçus avant l'avènement de la réglementation thermique en 1975 dans la même catégorie (logements énergivores) considérant qu'ils ont les mêmes performances. Les logements post 1975 sont alors classés comme thermiquement plus performants et font partie de la une même catégorie. D'autres études statistiques regroupent les bâtiments résidentiels d'avant 1948 et tiennent compte des périodes constructives d'après-guerre. Enfin, des études plus fines distinguent les logements construits avant la première guerre mondiale de la période de l'entre-deux-guerres. D'une manière générale, les études rencontrées intègrent toutes les évolutions réglementaires à partir de 1975.

En considérant l'ensemble du parc de logements et en tenant compte des dates où des changements significatifs dans les modes constructifs sont apparus, ainsi que les différentes réglementations thermiques depuis leur apparition, dix périodes peuvent être déterminées (Rochard, 2015) : avant 1915, de 1915 à 1948, de 1949 à 1967, de 1968 et 1974, de 1975 à 1981, de 1982 à 1989, de 1990 à 2000, de 2001 à 2005, de 2005 à 2012 et après 2012.

L'étude bibliographique montre que les dates clés qui ont permis de classer les logements sont presque identiques même si l'analyse de l'étendue du parc existant peut varier d'une étude à une autre (RAGE, 2012). En effet, certaines classifications ne s'intéressent qu'aux logements construits jusqu'en 2000 (DHUP 2007, 123 Réno, RAGE, APUR, a'urba, etc.) considérant qu'il est nécessaire de focaliser l'analyse sur cette période étant donné le niveau de performance thermique atteint par les logements plus récents. D'autres s'intéressent à l'ensemble du parc de logements y compris les logements récemment construits (DHUP, 2011; Loga *et al.*, 2012).

Cependant, quelques différences subsistent entre les différentes périodes quant à la datation du bâti pour des périodes charnières d'après-guerre. C'est le cas des travaux qui concernent des territoires spécifiques à l'image de la classification établie par 123 Réno (SOL.A.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA, 2013) et l'APUR (APUR, 2007), qui considèrent l'année 1945, ou 1950 pour l'étude menée par la a'urba (a'urba, 2011) comme une date clé dans l'histoire de l'évolution des procédés constructifs. Par conséquent, ces différences peuvent poser des problèmes pour l'affectation d'un édifice à une période donnée et implique de ce fait une incertitude quant à la caractérisation précise de l'enveloppe du bâti.

Par ailleurs, il est important de signaler que des études menées sur certains territoires (123 Réno, APUR) classent les édifices construits avant 1915 en créant des sous-périodes (figure 05). Ces classifications sont dictées par la nécessité de prendre en charge des types locaux non considérés par les nomenclatures nationales.



## 1.2.2. Classes de bâtiments/typologies

Parmi les classifications les plus exhaustives, on retrouve celles établies dans le cadre des travaux d'analyse détaillée du parc résidentiel existant (RAGE, 2012) et ceux menés dans le cadre du projet EPISCOPE (Rochard, 2015). Le rapport RAGE concerne l'analyse du parc résidentiel sur la base du recensement d'études et données existantes relatives aux types de bâtiments en France. Il s'agit de croiser les informations recueillies afin d'établir une classification permettant de mieux cerner le potentiel de rénovation énergétique et adapter les règles de l'art existantes aux nouvelles exigences du secteur de la rénovation. Cette comparaison porte sur les logements construits jusqu'en 2000.

Il n'est donc pas question, dans le rapport RAGE, de construire une nouvelle typologie, mais de croiser des typologies existantes. Sur cette base, deux grandes familles de bâtiments résidentiels (individuels et collectifs) structurent cette classification en fonction des périodes constructives et des RT, de spécificités architecturales mises en évidence et quelques des critères géographiques. Cela a conduit à établir 10 types de bâtiments en maison individuelle et 16 types en immeuble collectif :

- Maison individuelle d'avant 1914 : maison rurale, maison bourgeoise et maison de bourg,
- Maison individuelle d'avant 1948 : villa éclectique et pavillon de banlieue.
- Maison individuelle « non isolée » 1948-1974 : pavillon de la reconstruction, pavillon 1968-1974
- Maison individuelle « isolée » : pavillon 1975 à 1981, 1982-1989 et 1990-2000
- Immeuble collectif ancien d'avant 1948 : immeuble de bourg, immeuble Haussmannien et assimilés, immeuble éclectique et immeuble type HBM (îlots séparés du reste du tissu urbain, en limite périphérique et regroupés autour de cours très découpées)
- Immeuble collectif non isolé 1948-1974 : immeuble pastiche, immeuble bourgeois, habitat intermédiaire 1968-1974, petit collectif divers 1948-1974, barres 1948-1974, tours 1948-1974
- Immeuble collectif isolé 1975-2000 : habitat intermédiaire 1975-1981, petit collectif divers 1975-1981, barres 1975-1981, tours 1975-1981, immeuble 1982-1989, immeuble 1990-2000.

Ces typologies ont été complétées en 2011 par des données relatives aux consommations énergétiques issues de l'étude menée par la DHUP (DHUP, 2011). Chaque type a fait l'objet d'une fiche caractéristique qui précise :

- la structure du parc (la période de construction, la situation géographique, la représentativité de la typologie dans le parc existant, les consommations énergétiques et les émissions CO<sub>2</sub>),
- les caractéristiques urbaines et architecturales (position du bâtiment sur la parcelle, mitoyenneté, volumétrie et gabarit, rapport vide/plein en façade, compacité du bâti, taux de façade mitoyenne, complexité de la façade,
- les caractéristiques constructives initiales (parois, menuiseries, planchers, perméabilité à l'air),
- des installations techniques actuelles (chauffage, ECS, etc.),
- des indications sur les stratégies de rénovation.

Le projet EPISCOPE quant à lui fait partie des projets européens DATAMINE et TABULA. Ces derniers ont développé une structure de classification commune des bâtiments résidentiels dans les pays européens partenaires du projet.

La typologie considérée dans TABULA est établie à partir d'un classement des bâtiments selon des caractéristiques constructives qui agissent sur la performance énergétique. Sur la base de cette classification, les solutions de rénovation de l'enveloppe et des systèmes sont proposées.

En tenant compte des critères qui ont une influence sur les consommations de chauffage, TABULA classe les bâtiments selon la taille, la compacité (grands bâtiments) ou la mitoyenneté (petits bâtiments). Ainsi quatre classes sont définies : maison individuelle détachée (Single Family House, SFH), maison mitoyenne (Terrace House, TH), petit immeuble de logements collectifs de moins de 10 logements (Multi family House, MFH) et grand immeuble de logements collectifs avec plus de 9 logements (Apartment Block, AB)



Le croisement de ces quatre classes avec les dix périodes constructives allant d'avant 1914 jusqu'en 2012 ont permis ensuite de constituer une matrice typologique de quarante types de bâtiments.

La classification établie par TABULA pourrait faire l'objet de distinctions plus spécifiques des classes en intégrant des critères architecturaux en fonction des périodes de construction (à l'image du rapport RAGE). Cette démarche pourrait permettre d'affiner la classification en tenant compte des caractéristiques constructives par type d'habitat (critères architecturaux) et par période. À titre d'exemple, il serait possible de distinguer entre les tours, les barres et les petits collectifs construits entre 1948 et 1974. De même pour les maisons construites avant 1914 pour distinguer les maisons rurales, de bourg ou bourgeoises.

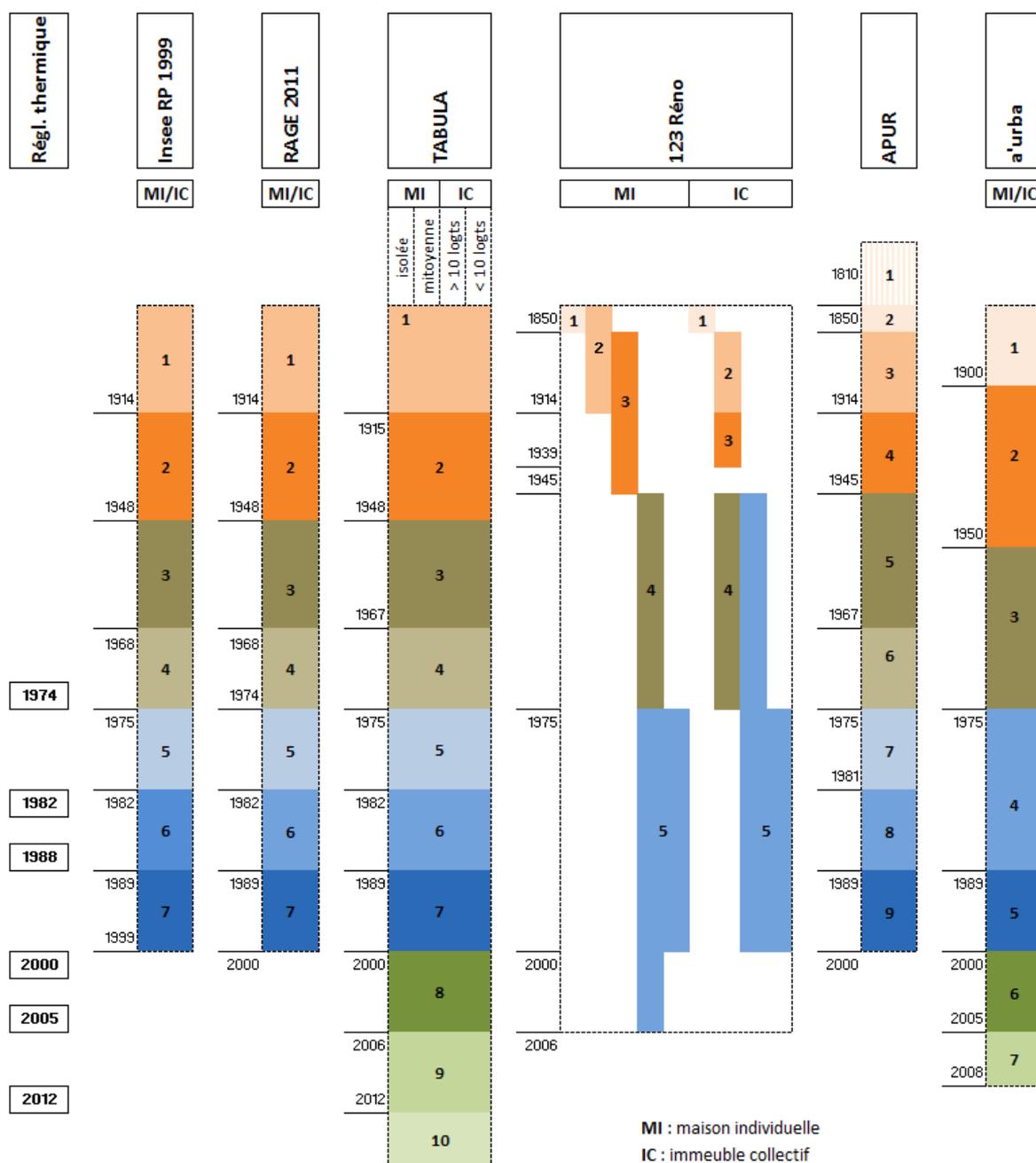


Figure 5. Comparaison entre typologies existantes et périodes considérées dans le classement du parc de logements existants.



### 1.2.3. Typologies, performance et anatomie des éléments d'enveloppe

La pertinence du bilan énergétique d'un logement exige la connaissance détaillée de la composition de l'enveloppe afin d'estimer sa performance thermique. Dans l'optique de l'élaboration de bilans systématiques couvrant un large territoire, le recours à la reconnaissance du bâti par typologie est nécessaire. Cela permet d'identifier l'appartenance d'un logement à une classe d'âge et à un type pour déterminer l'anatomie de son enveloppe. Cependant, les nomenclatures à vocation nationale qui permettent de classer le parc résidentiel existant renvoient à des périodes constructives dont il est parfois difficile d'associer avec précision la composition des enveloppes tant leurs matérialités peuvent être différentes d'une région à une autre. Ce constat est d'autant plus vrai lorsqu'il s'agit des enveloppes d'édifices anciens non isolées datant d'avant l'application de la première RT.

Dans ce sens, le rapport RAGE donne la composition des éléments d'enveloppe et en précise les valeurs de résistances thermiques lorsqu'il s'agit d'un type de bâtiment obéissant à une réglementation thermique. Cependant, pour des édifices plus anciens, cette classification s'appuie sur une description exhaustive de l'enveloppe en évoquant les différentes variantes constructives régionales et de ce fait, elle ne précise pas sa performance ou se contente de mentionner des fourchettes de résistances thermiques lorsque cela est possible. Cette difficulté à harmoniser les performances thermiques peut-être relevée dans la nomenclature établie dans le cadre du projet TABULA. En effet, les enveloppes renseignées ne semblent pas être très exhaustives et représentatives des variations pouvant impacter leur composition.

Les typologies régionales ou locales quant à elles (APUR, 123 Réno, a'urba, projet BATAN) ont tendance à privilégier les spécificités constructives locales et sont de ce fait plus précises sur la description des enveloppes et de leurs performances thermiques.

### 1.2.4. Analyse détaillée des nomenclatures (nationale / locale)

#### 1.2.4.1. Nomenclature nationale TABULA

TABULA est une nomenclature réalisée grâce à un projet européen, l'objectif est de décrire les types de bâtiments dans chaque pays européen afin d'analyser leur performance énergétique. Un outil (tableur Excel) gratuit ayant pour objectif d'établir un diagnostic énergétique d'un logement a été produit à cet effet (EPISCOPE, Publications / Download, 2016). Au-delà des évaluations qui peuvent être faites, ce fichier comporte une base de données permettant d'accéder aux caractéristiques de différents bâtiments qui ont permis de constituer la nomenclature.

Comme mentionné plus haut, pour la France, il s'agit d'une classification en 10 tranches d'âge et 4 familles (figue 06).

Ce qui ressort de cette classification est la volonté des auteurs d'identifier les types de bâtiments décrits par deux données : les familles et les dates de construction sans tenir compte de caractères architecturaux. Cela est dû à la volonté de trouver une méthode de travail commune aux pays européens participant à cette recherche, ce qui impose des simplifications dans la description des bâtiments. De plus, le fait que TABULA est une classification européenne et nationale répondrait pleinement à la problématique de répliquabilité sur le territoire national. Cependant, il apparaît évident que cette simplification pourra difficilement prendre en charge les spécificités des bâtiments régionaux.

D'autres points critiques peuvent être soulevés à ce sujet. Ils concernent :

- Certaines simplifications qui interviennent dans le calcul à l'image de la hauteur sous plafond qui entre en compte dans l'estimation du volume d'air chauffé et les déperditions par renouvellement d'air. La hauteur étant fixée à 2,5 m pour les types bâtis peut avoir un impact significatif sur les bilans.
- L'absence de caractéristiques architecturales permettant de décrire les types. En effet, certains critères (comme la surface vitrée) étant définis à partir d'un échantillon souvent restreint de bâtiments du type peuvent avoir un impact sur les résultats des estimations.

Hormis quelques incohérences constatées à propos de la constitution et la matérialité de l'enveloppe, les échantillons de bâtiments choisis ne peuvent être représentatifs de la réalité constructive régionale.



Classe bâtiment		Maison individuelle détachée SFH	Maison individuelle mitoyenne TH	Petit logement collectif (<10 log.) MFH	Grand logement collectif (≥10 log.) AB
Période constructive					
1	Avant 1915				
2	1915 - 1948				
3	1949 - 1967				
4	1968 - 1974				
5	1975 - 1981				
6	1982 - 1989				
7	1990 - 1999				
8	2000 - 2005				
9	2006 - 2012				
10	après 2012				

Figure 6. Grille de classification de la nomenclature TABULA (Rochard et al., 2015)

Par ailleurs, la démarche de caractérisation de l'enveloppe par type bâti intègre des paramètres qui sont souvent négligés par les approches de calcul utilisant des méthodes simplifiées. C'est le cas de l'estimation des déperditions dues aux ponts thermiques. À défaut de pouvoir identifier précisément les ponts thermiques par un travail in-situ, des facteurs correctifs par type constructif sont déterminés et intégrés dans les calculs comme le montre le tableau suivant.



Classe de pont thermique	W/K par m <sup>2</sup> d'enveloppe	Exemples
Minimum	0	(1) enveloppes de bâtiments anciens sans éléments en acier ou en béton (2) meilleures pratiques en matière de construction neuve avec un minimum de ponts thermique)
Très bas	0,02	(1) enveloppes de bâtiments anciens peu d'éléments en acier ou en béton (2) meilleures pratiques de modernisation avec pont thermique minimisé)
bas	0,05	La transmission supplémentaire due à la pénétration de l'enveloppe par des éléments de construction à conductivité thermique beaucoup plus élevée n'est pas importante
Moyen	0,1	Isolation thermique à l'intérieur de murs dans des bâtiments avec des planchers en bois
Haut	0,15	Les planchers en béton pénètrent dans l'isolation

Tableau 1. Classes des ponts thermiques prises en compte dans les calculs des déperditions (EPISCOPE, Publications / Download, 2016)

#### 1.2.4.2. Nomenclature locale 123 Réno

123 Réno est une nomenclature et un outil web réalisé par la région PACA (123 Réno; SOL.A.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA, 2013). Il s'agit de 14 types divisés en deux grandes familles : les maisons individuelles et les immeubles collectifs.



Figure 7. Classification de la nomenclature 123 Réno, maisons individuelles (SOL.A.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA, 2013)



# IMMEUBLES COLLECTIFS

> Sélectionnez votre type d'habitat



Figure 8. Classification de la nomenclature 123 Réno, immeubles collectifs (SOLA.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA, 2013)

Comme nous pouvons le constater, la nomenclature réalisée obéit à une double logique. Elle est définie par une période constructive qui reste un critère fondamental de classification, mais elle est adossée à des critères architecturaux locaux. La différence avec TABULA paraît évidente puisque certaines périodes ne sont pas identiques. Cette classification est certainement pertinente, mais elle rend difficile la reconnaissance des types sur le territoire. Il faudrait les compléter par des indicateurs de forme (surface, volume, etc.) capables d'être assignés à un bâtiment dans le territoire pour en déduire son type de manière automatique ou semi-automatique.

Enfin, comme TABULA, les données concernant les performances des bâtiments types issues de 123 Réno ont été déduites de l'analyse d'un seul bâtiment.

## 1.2.5. Aperçu des approches par typologies pour décrire un territoire

Dans cette partie il est question d'analyser de manière synthétique les principales études proches des objectifs du projet ATRE afin de faire ressortir les problématiques rencontrées et émettre des hypothèses concernant les verrous scientifiques et la façon dont ils pourraient être levés.

Parmi les recherches utilisant la méthode par typologie, nous pouvons citer celle d'Alexis Monteil (Monteil, 2011). Dans son travail il développe une analyse typologique sur un quartier de la ville de Nantes.

Ce travail de recherche est intéressant dans la mesure où il montre qu'un travail de terrain est nécessaire pour accompagner l'analyse spatiale effectuée à l'aide d'un SIG à partir des bases de données existantes. Même si cela permet de préciser des données de modélisation, cette étape risque de devenir chronophage quand il s'agit d'étudier un territoire étendu (Monteil, 2011, p. 31).

Un autre travail basé sur les typologies est celui mené par l'a'urba (Agence d'urbanisme de Bordeaux Aquitaine) (a'urba, 2011) dont l'objectif est de proposer une méthodologie permettant d'étudier les conditions technico-économiques dans le cadre de la rénovation énergétique du parc de la communauté urbaine bordelaise. En s'appuyant sur des données spatialisées et des SIG, l'étude méthodologique produite se veut être la base pour un travail d'analyse du territoire de la CUB, permettant d'identifier les travaux de rénovation énergétique à entreprendre pour satisfaire le facteur 4. Un outil produit à cet effet permet de mesurer la pertinence de différents scénarios d'actions (publics ou privés).

La méthodologie employée (a'urba, 2008) se résume à :

- l'élaboration d'une typologie permettant de balayer l'ensemble des types existant sur la CUB (soit 14 types divisés par 7 tranches d'âge et la distinction entre habitations individuelles et collectives)
- la réalisation d'un bilan énergétique initial afin de comprendre les limites du modèle
- la proposition de solutions permettant de réduire les consommations par type
- l'évaluation économique des solutions envisagées



- l'évaluation de la mise en œuvre de ces solutions à l'échelle de la CUB

Le travail sur l'ensemble de la communauté urbaine a été possible en utilisant les bases de données de l'INSEE à l'échelle de l'IRIS pour calculer les besoins de chauffage. La base de données MAJIC (fichiers fonciers) a été ensuite utilisée pour répertorier les matériaux de construction des types en fonctions de leur appartenance à des périodes constructives. A ce propos, le rapport méthodologique mentionne que les données relatives aux matériaux issus de la base MAJIC sont susceptibles de présenter des erreurs, car elles sont basées sur des informations déclaratives.

À l'échelle de l'édifice, des fiches typologiques permettent d'évaluer les travaux à effectuer pour atteindre les objectifs de réduction de la consommation énergétique. De plus, le chiffrage des travaux de rénovation prévus permet d'avoir un outil assez complet.

La limite la plus évidente dans le travail mené par l'a'urba concerne les simplifications qui ont été nécessaires pour réaliser les cartographies d'une zone de travail de grande étendue. A ce sujet Marion Bonhomme dans son travail de recherche dit :

*« Le principal inconvénient de ces méthodes est que l'on considère que les individus d'un même type ont un comportement identique. De plus, le niveau de détail dans la description de ces typologies est souvent insuffisant pour répondre aux besoins d'une étude interdisciplinaire d'énergétique urbaine...Il semble donc bien que les bases de données existantes restent un frein à la réalisation d'études pluridisciplinaires. Les quelques exemples cités présentent des inconvénients soit d'échelle, soit de précision. Par ailleurs, aucune de ces méthodes ne permet de prendre en compte la diversité des échelles temporelles impliquées dans l'énergétique urbaine. »* (Bonhomme, 2013, p. 110).

Effectivement le problème soulevé est assez récurrent dans ce type d'approche. Des simplifications sont souvent nécessaires, mais peuvent réduire la crédibilité des recherches elles-mêmes.

Le point positif principal de la méthode employée par l'a'urba est la capacité à étudier un territoire très étendu. Une procédure simplifiée utilisant la méthode de calcul par DJU (Degrés Jour Unifiés) permet de calculer les déperditions des bâtiments. Par contre, les données utilisées sont souvent déclaratives (âge du bâti et matérialité de l'enveloppe) et ne permettent pas de garantir une grande fiabilité.

D'autres études similaires ont résolu le problème de la fiabilité des données en allant chercher des fonctions plus ou moins évoluées présentes dans les logiciels de SIG. Celles-ci ont permis de calculer le coefficient de forme et/ou le Sky View Factor pour traiter la question de l'ensoleillement des toitures et vue d'installer des panneaux solaires.

La méthode mise en place par G. Vicentini (Vicentini, 2013) dans le cadre du projet européen Cities on Power (Cities on Power, 2014), porte sur le territoire de la province de Turin. Il s'agit de mener des analyses statistiques et cartographiques sur le territoire permettant de mieux viser les politiques énergétiques jusqu'à donner au propriétaire un pré diagnostic du comportement énergétique de son immeuble.

Le travail est réalisé avec un logiciel d'analyse (Grass Gis) qui a permis de calculer les surfaces déperditives des bâtiments. De plus, l'auteur explique aussi comment estimer le potentiel de rendement des panneaux photovoltaïques solaires en toiture.

Le rapport vise à expliquer techniquement et de manière détaillée les manipulations à faire sur QGIS et Grass Gis<sup>8</sup> pour produire la cartographie mais ne détaille pas la question des types de bâtiments.

En s'appuyant sur des données statistiques de la population, ce travail est intéressant, car il s'applique à montrer comment parvenir à instaurer une procédure automatique qui utilise la méthode des DJU pour calculer les déperditions des bâtiments, avec le souci d'affiner les bilans produits. Cependant, cette méthode aussi simple soit elle n'intègre pas la prise en compte des apports solaires.

### 1.2.6. Synthèse et limites de ces approches

En partant du diagnostic par bâtiment identifiable par type, l'analyse à grande échelle exige que les édifices puissent être reconnus sur les zones d'étude. Ce verrou peut être levé en assignant un critère

<sup>8</sup> Dans la deuxième partie du rapport relative à ce travail est expliquée la méthode employée pour calculer le potentiel d'ensoleillement des toitures. Pour ce travail le logiciel Grass Gis et l'outil *r.sun* ont été utilisés.



formel à chaque type. Du fait que cet indicateur peut être produit en bénéficiant des avantages que procure l'analyse spatiale des bases de données existantes par un outil SIG, il serait possible de reconnaître l'ensemble des bâtiments pour pouvoir mener un audit énergétique global.

Un autre problème à résoudre concerne la contextualisation du bâti. Plus précisément, il est difficile de mettre en place une procédure « automatique » permettant d'évaluer les effets du contexte sur la précision du diagnostic thermique de l'enveloppe. À l'échelle de grands territoires, rares sont les études qui tiennent compte des questions de mitoyenneté et des apports solaires induits par la forme urbaine et par l'orientation des façades.

D'autres études ont essayé de limiter le temps de saisie, comme dans le cas de la recherche menée par l'a'urba sur la CUB, mais cette approche plus rapide comporte un affaiblissement de la qualité du diagnostic. Dans ce dernier cas, nous pouvons remarquer comme pour l'étude présente des faiblesses concernant la contextualisation des bâtiments. Il n'a pas été évalué le coefficient de forme bâtiment par bâtiment, ainsi que la variation de l'orientation.

Par ailleurs, la méthode par typologie et bases de données adoptée par l'a'urba et l'APUR permet de mener une étude à grande échelle. L'analyse de vastes territoires induit le risque de perdre de la précision. Pour résoudre ce problème, il serait possible de faire des campagnes de relevé sur le terrain, mais cette solution risque d'être trop longue. À ce propos, pour effectuer l'étude sur les consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre lié au chauffage des résidences principales parisiennes l'APUR (APUR, 2007) a dû employer 10 architectes pour faire des campagnes de relevé et lever les incertitudes dues aux informations présentes dans les bases de données.

Globalement il semble que la méthode d'analyse du territoire par typologie soit la plus reconnue pour décrire de vastes zones. Elle permet de faire des analyses détaillées par type de bâtiment et de croiser d'autres données pour approfondir la connaissance d'un territoire (exemple de la précarité énergétique).

Grâce à l'utilisation d'un outil SIG, la méthode mixte par typologie basée sur des données existantes et complétée par des relevés de terrain semble être la plus adaptée à décrire avec précision un vaste territoire. Cependant, il est important de veiller à trouver un bon équilibre entre la nécessité de privilégier la qualité du diagnostic et le temps d'investigation nécessaire à un travail de terrain.

### 1.3. Qualité et disponibilité de la donnée

L'élaboration de l'atlas des gisements de rénovation énergétique prévue dans le projet ATRE procède d'une contrainte forte : la nécessité de prendre en considération des territoires d'étude très étendus<sup>9</sup>. Face à cette obligation, un examen détaillé des édifices résidentiels pour réaliser un diagnostic énergétique n'est pas réaliste : il est donc nécessaire d'envisager la mise en œuvre et la réalisation d'un diagnostic approché, qui sera de ce fait entaché d'incertitude.

#### 1.3.1. Concept de Qualité

« Une information de qualité ne représente pas forcément l'information la plus précise ou la plus détaillée, mais plutôt l'information dont la qualité est en adéquation avec les besoins de l'utilisateur » (Azouzi et al., 1996).

La qualité est une question qui fait l'objet de nombreuses recherches dans le domaine des systèmes d'informations (spatiaux ou autres) (De Runz, 2008). Celles-ci vont dans le sens de la prise en compte de la qualité de la donnée dans les représentations, le stockage et la restitution des données (raisonnement sur des données incertaines, visualisation de l'incertitude, etc.). (GDR MAGIS, 2013 ; Devillers et al., 2004 ; Troispoux, 2010).

Le développement des bases de données spatiales et de leur diffusion ont rendu nécessaire (et obligatoire en cas de diffusion) leur catalogage<sup>10</sup>: les informations sur la qualité (précision spatiale, complétude, etc.) portent sur l'ensemble des données, mais pas sur les instances, considérées comme étant de qualité homogène. Cependant, leur qualité peut varier selon les lieux, elle peut

<sup>9</sup> Territoires à l'image de Marseille Provence, constitué de 18 communes et comportant, dans la BD TOPO de l'IGN, environ 300.000 corps de bâti dans la table « Bâti indifférencié ».

<sup>10</sup> Voir à ce propos la Directive Européenne INSPIRE (Union Européenne, 2010).



également évoluer avec le temps (par exemple de certaines des données de la base de données MAJIC (Borel, 2012)).

L'élaboration des diagnostics est tributaire de la qualité des données utilisées. Ce problème est souvent évoqué dans les études consultées. Les données sont multiples, de sources variées (bases de données existantes, celles résultant d'observation, de mesures ou de simulations) et de qualité différentes. La production de donnée peut être entachée d'erreur (affectation d'un type à un édifice, caractérisation d'un contexte urbain, etc.). Les outils d'observation ou de mesures sont eux-mêmes imparfaits.

Face à cela, les simulations qui peuvent être réalisées et les évaluations comparatives avec des cas réels de consommation, en particulier sur les types bâtis et leur insertion à des contextes particuliers, vont dans le sens d'une réduction de l'incertitude: de nombreuses études témoignent de cette démarche (APUR, 2007 et Monteil, 2011). Cette incertitude n'est toutefois pas totalement éliminée, les outils de traitement des données utilisés pour la production du diagnostic produisant des résultats approchés.

### 1.3.2. Disponibilité de la donnée

L'origine de la donnée est multiple : les études consultées dans cette phase d'état de l'art montrent qu'elle peut être extraite ou déduite de bases de données existantes, obtenue par l'usage d'outils de simulation, résulter de mesures, de relevés, d'observations réalisées sur le terrain ou fournie par l'habitant.

Ces différentes sources d'information peuvent être accessibles ou non, ainsi que certaines des informations qu'elles détiennent. Par ailleurs, les sources de données à disposition peuvent être incomplètes<sup>11</sup>. Leur rythme d'actualisation peut s'avérer insuffisant, étant alors obsolètes. Les campagnes de mesure sont nécessairement partielles, elles ne couvrent pas la totalité d'un territoire. Les observations et relevés sur site peuvent être gênés ou même irréalisables à cause d'obstacles visuels ou de problèmes d'accessibilité.

### 1.3.3. Modélisation du réel

L'atlas cartographique proposé prendra la forme d'une base de données spatiale permettant de produire une cartographie des territoires considérés. L'élaboration d'une base de données procède d'une modélisation du réel. Toute modélisation (aux phases successives ontologie – conceptuel – mise en œuvre physique) est réductrice du réel : elle procède de la volonté de limiter la surcharge d'information face à l'abondance des données disponibles aujourd'hui. Elle est alors une simplification nécessaire à la réalisation de modèles manipulables et compréhensibles. Un juste équilibre entre ce qui est souhaitable et ce qui est réalisable garantit son opérationnalité. Elle est aussi le résultat des contraintes et limites imposées par les modèles formels utilisés (il s'agit le plus souvent du modèle relationnel) qui sont à la base des logiciels utilisés pour l'enregistrement et la gestion de ces informations (SGBD, SIG, outils de simulation). Elle est enfin conditionnée par la qualité de la donnée effectivement observable ou mesurable (la qualité de la donnée impacte ainsi le choix de l'implantation réalisable (ponctuel, linéaire, zonal ou carroyage et taille des cellules). Des outils de modélisation tels que F-Perceptory (Khalfi *et al.*, 2016) permettent aujourd'hui l'expression et la prise en compte de l'imprécision dans la réalisation de schéma de données.

À titre d'exemple, la représentation par extrusion des volumes bâtis, afin de simulation, génère une maquette 2D1/2 dont le niveau de détail est faible (équivalent au LOD 1 de CityGML, voir infra). Il s'ensuit nécessairement une évaluation approchée des caractéristiques produites par simulation. C'est par exemple le cas du Sky View Factor (SVF, facteur de vue du ciel), des ombres portées, dans la mesure où les toitures<sup>12</sup> des édifices ne sont pas décrites (Brasebin *et al.*, 2012). La conséquence sur la qualité du bilan obtenu devra être évaluée.

---

<sup>11</sup> Ainsi, la transformation de la base de données MAJIC en fichiers fonciers par le CEREMA et leur utilisation a permis par exemple d'établir un tableau de chaque attribut spécifiant leur "fiabilité" [http://piece-jointe-carto.developpement-durable.gouv.fr/NAT004/DTerNP/html3/\\_ff\\_descriptif\\_tables\\_image.html](http://piece-jointe-carto.developpement-durable.gouv.fr/NAT004/DTerNP/html3/_ff_descriptif_tables_image.html)

<sup>12</sup> Avec plus ou moins d'incidence selon la typologie de l'édifice (toiture en pente ou toit-terrasse).



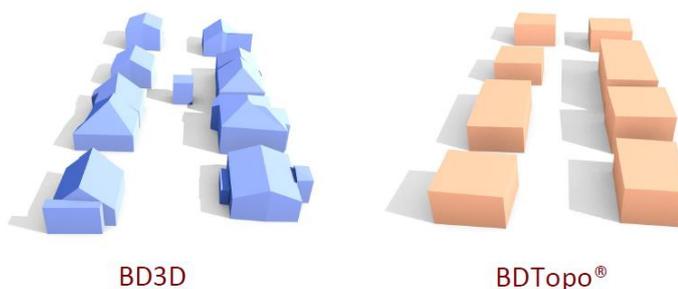


Figure 9. Influence de la qualité des données 3D sur le calcul du SVF (Brasebin et al., 2012)

Le catalogage des bases de données diffusées publiquement, sur la base de la directive INSPIRE, permet de circonscrire la qualité des données résultant de cette modélisation.

Compte-tenu de ces observations, les études réalisées sont accompagnées d'une évaluation de la qualité du diagnostic.

### 1.3.4. Sensibilité des paramètres d'entrée

La détermination des consommations d'énergie par une approche calcul à partir de données d'entrée renvoie à la question du degré de sensibilité des paramètres à manipuler et à leur impact sur l'estimation des bilans à différentes échelles d'analyse. Les données pouvant être mobilisées étant souvent très nombreuses, la masse d'information à traiter peut s'avérer assez lourde dans le cadre d'une analyse étendue. Il est alors fondamental d'évaluer l'influence des différentes données et de les hiérarchiser pour pouvoir éventuellement écarter (ou mettre de côté temporairement) les données superflues.

À l'échelle du bâtiment, les études abordant la sensibilité des paramètres mis en jeu dans la modélisation des consommations énergétiques ont pour objectif de classer ces paramètres en fonction de leur impact sur les estimations. Dans la perspective d'un travail à plus grande échelle, une des stratégies adoptées pour l'analyse des gisements d'énergie consiste à établir des bilans types appliqués à des types bâtis identifiables (approche par typologie) sur un territoire. Ce travail par type étant généralement conduit par bâtiment représentatif du type (ou échantillon de bâtiments) nécessite néanmoins une étude de sensibilité, car en changeant d'échelle d'analyse (quartier, fragment urbain, ville, etc.) des paramètres peuvent devenir prépondérants ou au contraire insignifiants du point de vue de leur influence sur des résultats plus globaux.

Dans ce sens, A. Monteil (Monteil, 2011) a mené une analyse paramétrique permettant d'étudier la sensibilité de certains paramètres intervenant dans l'évaluation des consommations par typologies de bâtis. En prenant pour support un bâtiment réel représentatif de chaque typologie, il s'agissait de tester un à un les paramètres que sont : la mitoyenneté, les conductances des parois, l'épaisseur d'isolation de la toiture, les taux de ventilation d'hiver, les orientations de l'édifice, les températures de consigne de chauffage ainsi que les aspects géométriques (surface et volume habitable). Même si ce travail n'a été mené que sur un quartier et qu'il n'a pas permis d'analyser en détail l'ensemble des paramètres sur toutes les typologies existantes, il met en avant l'importance de la hiérarchisation des facteurs correctifs dans la perspective d'exploitation des résultats à plus grande échelle.

À titre d'exemple, l'influence de la mitoyenneté sur les consommations a été mise en évidence pour un fragment urbain à l'aide de simulations simplifiées faites par le logiciel CitySim sur différentes configurations de maisons individuelles. Les résultats obtenus (tableau 2) montrent clairement l'impact que peut avoir l'organisation urbaine (mitoyenneté : enveloppe et surfaces d'échange) sur les consommations estimées. Cet indicateur pourrait constituer un critère discriminant. Il peut aussi être intégré comme facteur correctif compris entre 0 et 1 en fonction du coefficient de forme de la maison (1 correspondant à l'état de base d'une maison individuelle non mitoyenne et pourrait diminuer selon la situation : mitoyenne par une façade ou en bande). Le coefficient de forme étant calculable à partir de l'exploitation de données spatiales par un SIG permet par la suite de mieux préciser les bilans types en faisant intervenir ce facteur correctif.

Configuration	Consommation énergétique obtenue	Comparaison par rapport au cas « maisons isolées »
Maisons isolées	59438 kWh	/



Maisons mitoyennes 2 à 2	49658 kWh	-16.5%
Maisons en bande	44684 kWh	-24.8%

Tableau 2. Comparaison des consommations énergétiques de différentes organisations urbaines sommaires de maisons individuelles (Monteil, 2011)

## 1.4. Méthodes et outils de calcul permettant l'estimation des consommations énergétiques

Les approches visant à établir le diagnostic thermique d'un bâtiment se font à l'aide de méthodes qui varient en fonction des modes de calcul. Pour les logements existants, hormis l'estimation des consommations réelles à partir des factures d'énergie, les autres méthodes se basent sur la modélisation des paramètres qui entrent en jeu dans l'élaboration d'un bilan énergétique. La finesse du bilan dépend de la robustesse du modèle de calcul, mais aussi de l'exhaustivité et la disponibilité des paramètres à renseigner.

Selon l'objectif recherché, ces estimations peuvent être "prévisionnelles" ou "conventionnelles". Lorsqu'il s'agit d'évaluer les consommations et les conditions de confort effectives, le fonctionnement du logement (scénarios d'occupation, de fonctionnement, etc) est considéré de manière à se rapprocher le plus possible de la réalité. Dans ce cas, les résultats obtenus sont dits prévisionnels. Pour être réalisés, on fait appel à des outils de simulation thermique dynamique (TRNSYS, Pleiades-Comfie, CoDyBa, EnergyPlus, etc.) utilisant des fichiers météo à pas horaire et où l'influence de l'environnement et l'organisation spatiale du bâtiment sont prises en charge. Lorsqu'il est question de calculs réglementaires, comme cela est le cas pour la réglementation thermique des bâtiments existants (Th-C-E ex pour la RT Existante Globale), les méthodes de calcul s'appuient sur des scénarios standardisés prédéfinis (utilisation et l'occupation du bâtiment). De la même manière, ces outils de simulation utilisent des fichiers météo horaires et les estimations des consommations sont qualifiées de conventionnelles.

L'avantage de ces outils réside dans la robustesse des méthodes de calculs employées et par conséquent dans la qualité des estimations. Cependant, ces approches qui exigent un niveau de détail assez important du bâtiment, demandent une connaissance experte, mais aussi un temps de modélisation non négligeable. De ce fait, ils ne sont pas adaptés au diagnostic et à l'évaluation rapide et à grande échelle.

Dans le même registre des approches réglementaires, il existe des méthodes simplifiées qui permettent d'élaborer un diagnostic sur la base d'un bilan des déperditions et des apports thermiques en régime permanent avec des scénarios standardisés pour des conditions climatiques moyennes du lieu d'implantation. Il est donc aussi question de consommations conventionnelles comme cela est le cas pour la méthode 3CL utilisée pour élaborer les diagnostics de performances énergétiques DPE des logements existants (moteur de calcul édité par le CSTB). Cette méthode étant la transposition nationale de la norme européenne EN ISO 13790 concernant la "Performance énergétique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux".

À partir d'un nombre limité de paramètres (surface, orientation, murs, fenêtres, matériaux, etc), le recours à ce type d'outils simplifiés, qui peut prendre la forme d'un tableur, permet de faire un diagnostic afin d'estimer rapidement la consommation énergétique du logement (chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire). En appliquant des scénarios conventionnels, le diagnostic a pour objectif d'affecter les étiquettes de consommation et d'émission de gaz à effet de serre.



### **1.4.1. Outils et méthodes mis en œuvre dans le cadre des diagnostics de masse**

D'une manière générale, l'étude bibliographique montre que les méthodes et outils simplifiés utilisés pour élaborer les diagnostics énergétiques sont mobilisés pour appréhender la rénovation énergétique sur un large territoire. Les temps de calcul, la disponibilité des données pouvant être exploitées ainsi que l'étendue du territoire à étudier induisent le recours à ce genre de méthodes, car elle semble répondre aux contraintes posées par la question de l'échelle d'investigation. De plus, le fait d'appliquer des méthodes conventionnelles permet de hiérarchiser et de comparer les performances des logements de manière objective sur une échelle de consommation en énergie finale et d'émission de gaz à effet de serre.

Qu'il s'agisse de démarches à caractère national basées sur l'exploitation de catalogues des types de bâtiments permettant d'identifier le potentiel d'amélioration énergétique (tels que l'outil TABULA et ENERTER) ou bien d'autres à vocation régionale (tels que l'outil 123 Réno, travaux de l'APUR ou l'a'urba), elles utilisent toutes des méthodes simplifiées conventionnelles.

Par leur caractère prospectif, certains de ces outils permettent aussi de préconiser des solutions technico-économiques de rénovation sous forme de bouquets de travaux (123 Réno). À l'échelle de l'édifice, cela permet d'avoir une idée précise sur le potentiel de rénovation afin d'inciter à procéder à des travaux d'amélioration énergétique. À une échelle plus étendue, l'exploitation des résultats issus des diagnostics de masse permet une meilleure compréhension du parc existant. En disposant de données statistiques ou d'étiquettes énergétiques territoriales, cela permet de cibler ou d'orienter les actions publiques.

### **1.4.2. Limites des outils et méthodes employés dans les démarches rencontrées**

Les limites des outils simplifiés se posent lors de leur application à grande échelle (celle du territoire). Par ailleurs, les méthodes de calculs employées exigent que ces outils soient manipulés avec prudence lors de leur utilisation sur des édifices anciens construits avant 1948.

Même si les méthodes simplifiées ne nécessitent pas un niveau de détail important pour estimer la performance énergétique d'un logement, dans le cadre d'une estimation spécifique en temps réel (Thorel, 2014) elles ne deviennent opérantes qu'à condition de connaître les caractéristiques intrinsèques à chaque logement (source d'énergie, volume, taille, surface, menuiseries, etc.). Se pose alors la question de leur application de façon générique à un territoire étendu composé d'édifices souvent hétérogènes, mais susceptibles d'être classés selon des types prédéfinis. L'approche en temps réel par bâtiment n'étant pas envisageable dans ce cas, la systématisation du diagnostic en vue d'investigations de masse devient alors envisageable en émettant un certain nombre d'hypothèses (ou de simplifications) qui conditionnent la pertinence et la finesse des résultats.

- Les hypothèses de modélisation sont de différents ordres. Elles concernent divers paramètres intervenant dans les bilans énergétiques : les scénarios d'occupation, d'utilisation et la modélisation des systèmes, les caractéristiques constructives des enveloppes, les travaux de rénovation antérieurs, le contexte urbain (mitoyenneté, ensoleillement, climat).
- La modélisation des paramètres géométriques de l'édifice (forme, surface, hauteur, volumétrie) : l'approche par bilan type ou par bilan contextualisé nécessite de faire intervenir des simplifications pour modéliser les considérations géométriques des édifices. Par exemple, dans le cas de l'approche par bilan type, la surface du bâtiment et celle de son enveloppe sont considérées au prorata des surfaces rencontrées dans le parc. Les bilans contextualisés quant à eux se basent sur des données géométriques plus réalistes puisqu'extraits de bases de données cadastrales. Dans ce cas, des coefficients d'ajustement n'interviennent que pour corriger des divergences éventuelles avec la réalité.
- La prise en compte des caractéristiques constructives des enveloppes : quelle que soit l'approche adoptée, une part d'incertitude réside dans la connaissance fine de l'anatomie de l'enveloppe. Seules des enquêtes de terrain ou bien une étude poussée sur les types de bâtiment résidentiels permettent d'affiner les hypothèses de modélisation.
- La prise en compte des travaux de rénovation antérieurs : l'une des difficultés posées par des investigations de masse consiste à savoir précisément si les logements constituant le



parc à étudier ont subi d'éventuels travaux qui ont, au fil du temps, conduit à modifier leur performance thermique par rapport à leur état d'origine (changement des menuiseries, isolation des éléments d'enveloppe, étanchéité à l'air, changement de système...). Dans le cadre des études rencontrées, cette part d'incertitude qui conditionne la finesse des estimations est gérée en introduisant des hypothèses sur des taux de rénovations supposés. En fonction de chaque type, ces facteurs d'ajustement peuvent être issus de données statistiques ou le résultat d'observations de terrain. À titre d'exemple, pour le bâti datant de la période de 1918 à 1938, les enquêtes menées par l'APUR montrent que 30 % des menuiseries vitrées ont été remplacées par du double vitrage.

- L'évaluation théorique par postes de consommation (énergie finale/énergie primaire) et modélisation des systèmes : la question de la systématisation des bilans suppose de disposer de données précises sur les modes de chauffage et d'ECS de chaque type bâti. Dans la mesure où le bilan des déperditions et des apports sont réalisables à partir de données constructives, il reste à déterminer les sources d'énergie, les systèmes de chauffage et ECS. Pour pallier cette difficulté, les études rencontrées font appel à des données statistiques (issues par exemple du fichier FILOCOM ou d'enquêtes) pour appréhender la répartition des postes de consommation par période constructive.

La prise en compte du contexte urbain : en procédant par bilan type, les considérations liées au contexte (orientations des façades, mitoyenneté, etc.) ne peuvent pas être prises en compte d'une manière précise comme cela est le cas pour les travaux conduits avec le modèle ENERTER ou à partir de la nomenclature TABULA. Or, la décontextualisation des bilans a un impact non négligeable sur la finesse des estimations (Bonhomme, 2013). La contextualisation vise à prendre en charge de manière plus précise la question de l'ensoleillement et de la mitoyenneté (APUR, 2007 ; Monteil, 2011 ; Vicentini *et al.* 2013). Par ailleurs, dans aucune des études rencontrées les effets d'îlot de chaleur urbain n'ont été pris en compte dans les bilans alors que des écarts de température d'air non négligeables peuvent exister en fonction du contexte d'implantation (en ville ou en périphérie : densité du bâti). Les estimations sont généralement faites en prenant en considération des données issues des stations météo proches.

Autres facteurs d'ajustement : l'analyse des consommations de chauffage ne peut être dissociée du confort thermique des logements. En effet, la prise en compte de ce paramètre est indispensable si l'on considère que les températures de consigne à appliquer à l'intérieur des logements peuvent fortement varier d'un logement à un autre (en fonction de l'anatomie d'enveloppe et du système de chauffage) (RAGE, 2011). Il est donc important d'ajuster ces températures par type de logement pour réduire les écarts souvent constatés entre les estimations et les consommations réelles. De même, il est important d'intégrer dans les bilans énergétiques des scénarios d'utilisation réalistes pour mieux se rapprocher de l'usage du logement. Dans ce sens, l'étude menée dans le cadre du projet TABULA a adopté des facteurs de correction<sup>13</sup> (en fonction de la performance du type de logement) qui ont permis de réduire ces écarts (IWU, 2006).

#### 1.4.2.1. Application des outils simplifiés (conventionnels) aux bâtiments anciens

Si les outils simplifiés sont aptes à prendre en charge le diagnostic des logements post 1948 (période à partir de laquelle des changements importants sont intervenus dans les modes constructifs qui se sont modernisés et sont devenus de plus en plus industrialisés), ces outils semblent présenter des faiblesses quant à l'évaluation des performances des logements plus anciens.

De par leurs caractères constructifs spécifiques (utilisation de matériaux locaux, procédés constructifs traditionnels régionaux, enveloppes épaisses, adaptation climatique), le comportement thermique du bâti ancien d'avant 1948 reste relativement méconnu alors que la part de logements construits durant cette période constitue près de 33 % du parc existant. Ce constat est révélé par l'étude dédiée à la connaissance des bâtiments anciens et aux économies d'énergie conduite par le CETE de l'Est (DGHUC *et al.*, 2007, DGHUC/ADEME, 2011). Celle-ci avait pour objectif de mieux cerner les éléments qui contribuent au comportement thermique du bâti ancien. En examinant les performances réelles sous le prisme des consommations énergétiques mesurées des logements collectifs ou individuels, elle visait par ailleurs à comparer l'aptitude des méthodes de calculs conventionnelles

---

<sup>13</sup> Ces facteurs d'ajustement sont issus d'une étude menée en Allemagne. Elle compare les consommations théoriques et réelles de plus de 1700 bâtiments. Cela a permis de produire une équation qui permet de calculer la consommation prévisionnelle de chauffage en tenant compte de la valeur théorique et du niveau de performance du bâti.



fréquemment utilisées pour le diagnostic à prendre en charge les caractères particuliers de ces édifices.

Globalement, les conclusions de cette étude montrent un écart important entre les consommations mesurées et les résultats calculés à l'aide de modèles conventionnels. Ces derniers ont tendance à pénaliser les consommations énergétiques des logements anciens (d'avant 1948) en les surestimant. Ces écarts importants qui semblent traduire la difficulté de modélisation du comportement des bâtiments anciens peuvent être expliqués par deux raisons essentielles :

- la nature des modèles de simulations qui reposent sur un calcul en régime stationnaire. Si cette simplification peut être acceptable pour des bâtiments isolés (peu sensibles aux variations climatiques extérieures), elle est discutable pour des bâtiments anciens au comportement plus dynamique en corrélation avec les sollicitations climatiques.
- les difficultés de ces modèles à prendre en compte les spécificités du bâti ancien (les modes constructifs, l'organisation spatiale intérieure, les modes d'occupation et de chauffage, les propriétés thermo-physiques particulières des matériaux anciens telle que l'inertie, la gestion du confort thermique par les habitants, la forte dépendance de l'environnement proche).

## 1.5. Prise en compte du contexte

Le bilan énergétique d'un édifice, s'il est le fruit de ses caractères propres, est aussi le résultat de l'influence du contexte environnant cet édifice : les mitoyennetés, les éléments du voisinage masquant l'ensoleillement, l'ambiance microclimatique résultant des perturbations du climat local par la morphologie des espaces, la couverture de leurs sols et les activités qu'ils accueillent.

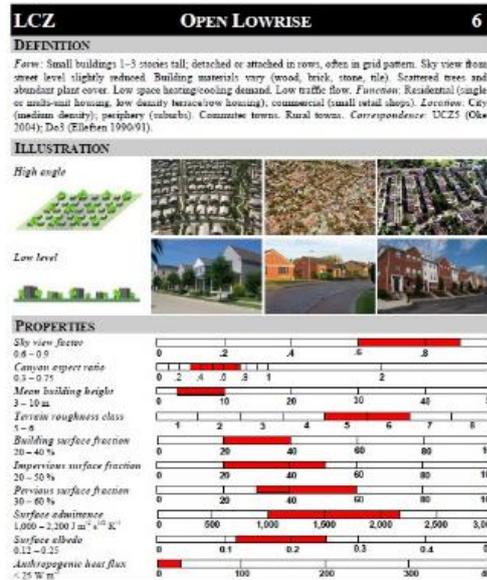
L'approche réunissant l'examen des édifices et du contexte est mise en oeuvre ou déclarée comme indispensable dans plusieurs études : cartographie de Stuttgart (Ali-Toudert *et al.*, 2015), approche dans le cadre de l'extension énergie de CityGml (Benner *et al.*, 2016). Par contre, s'il existe de nombreuses études cartographiques sur le climat et la ville, aucune des études examinées ne prend en compte les effets de l'urbanisation sur les îlots de chaleur urbains dans les bilans énergétiques réalisés sur les édifices.

Parmi les analyses du milieu urbain, l'étude des altérations produites par la morphologie urbaine et l'artificialisation sur le climat local (Adolphe, 2001) et l'apparition des îlots de chaleur en période de canicule (Bigorgne, 2012), comme sur les moyens pour le réduire (Colombert, 2008) tiennent une place importante. Un site web collaboratif permet de produire une cartographie des villes présentant ce phénomène (Bechtel *et al.*, 2015 ; Ching, 2012 ; Ching *et al.*, 2016). Le projet MApUCE (Faraut *et al.*, 2016) a pour objectif pour sa part l'intégration de ces facteurs dans l'élaboration des documents d'urbanisme, adoptant une démarche intégrant la typologie bâtie et ambitionnant la couverture des grandes villes françaises.

Dans la plupart de ces projets, une approche typologique de lecture des territoires est appliquée : la nomenclature LCZ (Stewart *et al.*, 2012) est la typologie la plus couramment utilisée. Définie à l'origine afin de caractériser de façon commune et sans ambiguïté, les mesures réalisées par différents auteurs dans l'approche des ICU (en dépassant la simple opposition ville/campagne), elle est aujourd'hui utilisée comme un moyen de lecture des espaces bâtis ou naturels. Chaque type combine les dimensions morphologiques, de surface et de production de chaleur d'un tissu bâti ou naturel : densité bâtie, surfaces végétalisées, gabarit des voies et facteur de vue du ciel (SVF), artificialisation des sols, albédo des surfaces, chaleur produite par les activités.



## Occupations bâties



Types différenciés par leurs caractéristiques:  
**- morphologiques**  
**- de surface**  
**- de production de chaleur anthropique**

## Occupations naturelles



Figure 10. Nomenclature LCZ (adapté de (Stewart et al., 2012)).

L'étude des masques bâtis comme végétaux, et l'analyse de l'exposition des espaces aux vents dominants complètent l'approche du contexte grâce en particulier à usage d'outils de simulation. (Vicentini, 2013) utilise ainsi les images raster pour calculer le potentiel d'ensoleillement des toitures en vue de la mise en place de panneaux photovoltaïques.

## 1.6. Évolution des édifices et du territoire

La réalisation d'un atlas des gisements de rénovation énergétique de l'habitat se heurte à la question de la prise en compte de l'évolution des édifices et de leur contexte : édifices dans leur état d'origine, vieillissement des ouvrages, interventions de rénovation qui viennent modifier les déperditions ou les apports (changement des menuiseries, des vitrages, isolation des combles, ouverture de baies, etc.). Il en est de même de l'évolution de leur environnement bâti ou naturel (si coupe d'arbres, végétalisation d'une rue, destruction de bâtiments, rehaussements, densifications, etc.). Si les typologies analysées (TABULA, 123 Réno), les études d'édifices (APUR) intègrent bien les interventions passées réalisées sur le bâti, aucune des études analysées ne prend cependant en considération cette évolution à l'échelle de l'environnement de l'édifice. De plus, les bilans présentent une situation de l'état du bâti à un instant donné, sans considérer le plus souvent son évolution future (sauf dans le rapport RAGE où des hypothèses de rénovation passées sur chaque type sont formulées).

La prise en considération de la dimension historique dans les bases de données spatiales (ou non) nécessite le développement d'un schéma de données adapté, ainsi que de fonctions d'exploitation ad hoc. Des outils de modélisation conceptuelle, tel Perceptory<sup>14</sup>, peuvent être utilisés.

Plusieurs solutions ont pu être conçues et/ou mises en œuvre dans le domaine des bases de données :

<sup>14</sup> <http://perceptory.scg.ulaval.ca/>

- mise en œuvre de bases de données millésimées<sup>15</sup> : il s'agit d'une solution simple, mais peu optimale, consistant à décrire des états successifs du territoire. Cette solution est couramment appliquée par exemple dans les bases de données décrivant l'occupation du sol.
- description d'attributs évolutifs : la gestion de l'historique des valeurs successives est complexe à gérer
- création de versions successives d'objets : la modélisation réalisée dans le cadre du travail de recherche OHM BMP relève de cette approche (Autran, 2016) : elle consiste à décrire les interventions subies par les objets (bâtiments, voies, ...), et d'inscrire dans la base de données le nouvel état d'objets en résultant sous forme d'une nouvelle occurrence de table.

## 1.7. Qualité du diagnostic

La qualité finale des diagnostics résulte à notre sens de la réalisation des points précédents :

- une lecture du territoire en allant de l'échelle de l'ensemble du territoire considéré à celle du bâtiment et inversement
- utiliser une typologie adaptée, pertinente et validée, qui simplifie et rend possible l'analyse de grands territoires
- recueillir et réunir des données venant de bases existantes, d'observations, de relevés ou de mesures de terrain, de qualité suffisante pour réaliser un diagnostic fiable, et évaluable pour estimer sa validité
- employer des méthodes et outils de calcul adaptés permettant l'estimation des consommations énergétiques
- prendre en compte le contexte environnant des édifices pour la réalisation de leur bilan
- tenir compte de l'évolution des édifices et de leur environnement, passé comme futur, pour un atlas actualisé "en permanence".

## 1.8. Outils numériques modèles de données utilisés

### 1.8.1. Outils numériques

L'usage d'outils numériques est aujourd'hui incontournable, pour l'exploitation de données à l'échelle d'un édifice comme à l'échelle de grands territoires. Selon l'échelle d'approche, les outils utilisables (et utilisés) sont différents, et quelquefois mis en relation.

#### 1.8.1.1. Systèmes d'Information Géographiques (SIG)

Établi par (Chao, 2010), un état des lieux de référence de l'usage de la cartographie est établi sur une trentaine de projets réalisés depuis les années 1950. Il met en valeur le rôle et l'intérêt de la cartographie dans la constitution de cartes de mesures, d'observation microclimatiques, d'analyse et de recommandations. Il met en exergue également le rôle de la carte comme langage de traduction entre spécialistes du climat et aménageurs. Son étude le conduit à proposer le concept de « climatope », en tant que zones homogènes de combinaison de facteurs climatiques<sup>16</sup>.

On trouvera de nombreuses utilisations de la cartographie dans le domaine de la microclimatique urbaine et de l'approche d'ensembles d'édifices (Bigorgne, 2012 : cartographie des ICU – Paris (projet EPICEA); Katzschner et al., 2004, Steemers et al., 2004, Nikolopoulou, 2004 : étude cartographique du confort des espaces publics ; Blanc, 2001 : atlas solaire; Potier *et al.*, 2014 : potentiel des toitures, cadastre solaire ; Guilhem *et al.*, 2010 : thermographies urbaines; Ching, 2012; Wudapt, 2015 : site

<sup>15</sup> Les bases de données décrivant l'occupation du sol, telles celles basées sur Corine Land Cover (Pageaud, 2009), adoptent cette solution.

<sup>16</sup> À l'échelle de quelques dizaines ou centaines de mètres, donc à la « grande échelle » (1/10.000 – 1/5000).



de recensement et d'accès aux caractérisations LCZ de villes mondiales ; Vicentini *et al.* 2013 : province de Turin ; Krüger, 2012 : atlas énergétique de Berlin).

Echappant à une vision purement cartographique, il faut considérer les SIG en tant qu'outil de construction et de mise en œuvre de bases de données, associées à des capacités d'analyse, et de représentation (en particulier : cartographique). La dimension « système d'information » est donc primordiale car c'est elle qui permet ou non la réalisation d'opérations sur la base de données. La représentation cartographique peut elle-même posséder un pouvoir heuristique, par la visualisation des territoires, la mise en valeur du visible<sup>17</sup> comme la révélation des caractères immatériels, l'utilisateur étant l'interprète de phénomènes non formalisés ; le croisement de caractères différents sur le même lieu (par exemple des mesures de température, humidité, vitesse de l'air avec une caractérisation de la forme urbaine, des usages des espaces publics, ....); conserver et pérenniser, en vue d'une réutilisation ou d'un enrichissement postérieur, des informations localisées ; transmettre des informations à d'autres utilisateurs pour d'autres usages.

Envisager l'usage des SIG, c'est évoquer aussi les bases de données spatiales qui sont utilisées. Elles sont indissociables de toute application des SIG et en constituent le premier carburant, auquel viennent s'ajouter, dans la plupart des usages, les données produites par l'utilisateur ou calculées à partir des informations contenues dans les bases utilisées. L'établissement d'une base de données spatiale des édifices et l'établissement de leur bilan pour la réalisation d'un atlas de rénovation énergétique nécessite, compte-tenu de l'étendue des territoires analysés, un très important recueil d'informations, constructives, d'ambiance, financières, etc.

#### 1.8.1.2. Sources de données

De très nombreuses bases de données sont aujourd'hui disponibles, et la mise en place d'infrastructures de données géographiques (IDG : géoportail IGN, Crige-PACA en région, etc.) ou de serveur de données (data.gouv,..) les rend facilement accessibles. Ces données sont téléchargeables ou exploitables via des protocoles WMS, WFS, .... Elles peuvent être utilisées gratuitement ou pas et faire l'objet de contrôle d'accès (base MAJIC (CNIL)).

Les bases de données peuvent être géoréférencées (PCI, orthophotographie départementale 13 - les informations sont alors localisées ou localisables) ou non (base INSEE à l'IRIS, photos aériennes anciennes, ...). Si leur référencement spatial est nécessaire, il faudra alors les géoréférencer.

Les bases de données spatiales peuvent être vectorisées (bdTopo IGN, OcSol13, etc.). Chaque objet est alors représenté par un point, une polygone ou un polygone et est doté d'attributs qualitatifs ou quantitatifs – l'exploitation de leur géométrie, de leur topologie, de leurs attributs et l'accès à chaque objet décrit est ainsi possible) ou sous forme image (image satellitaire, photo aérienne, carte ancienne, ... - les objets ne sont alors pas identifiables directement- l'interprétation peut être visuelle (Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur (PIAO)) ou (1/2-) automatique).

D'autres sources de données ne constituant pas à proprement parler des bases de données sont utilisables : il s'agit des services de navigation virtuelle tels Google Streetview, Bing Bird's eye, ... qui permettent une identification de certains caractères des édifices (leur type par exemple) ou de leur contexte (nature des végétaux, etc.) via une représentation en 3D.

Les bases de données peuvent être utilisées comme référentiel (constitution de fonds) ou pour leur apport de données (brutes ou paramètres de calculs) nécessaires aux calculs réalisés.

Les sources de données sont documentées et en particulier la définition des classes d'entité, de leurs attributs, la qualité de la valeur qui leur est attribuée, la fréquence de leur mise à jour, etc. sont ainsi connues grâce au catalogue qui les accompagne. Elles sont pour la plupart régulièrement mises à jour, selon un rythme dépendant de l'évolution des données et des moyens d'actualisation mis en œuvre.

---

<sup>17</sup> Souvent, montrer ce que l'on savait déjà, mais en le localisant, en permettant d'en mieux cerner l'étendue et la répartition spatiale.



## 1.8.2. Modèles de données

### 1.8.2.1. Modèles de données : City Information Modeling - Building Information Modeling

Comme tout processus complexe, les pratiques dans le domaine de l'architecture et de l'urbanisme sont l'objet d'approches pluridisciplinaires associant des compétences et responsabilités partagées. Depuis plusieurs années, le problème de l'interopérabilité dans le domaine du bâtiment comme de la ville est abordé : il a pour objet l'établissement de standards de modélisation des données. Les IFC dans le domaine du BIM (Building Information Modeling), CityGML dans le domaine de la ville numérique (City Information Modeling « CIM » (Gil, 2015)) sont les principaux représentants de ces modèles. Ils proposent un mode de description (une ontologie<sup>18</sup>) des édifices et environnements urbains et des informations associées communes aux acteurs concernés, indépendants des producteurs de logiciels. Les fichiers ainsi décrits sont « interopérables » au sens où l'ensemble des informations qu'ils contiennent peut être produit ou exploité par tout logiciel et tout utilisateur de logiciel pouvant importer ou exporter des données en utilisant ce format d'échange.

### 1.8.2.2. CityGML

Diffusé depuis 2008 par l'OGC, CityGML (Gil 2015, Ferries 2014) est un mode standard de description et de structuration des données à l'échelle de territoire jusqu'aux édifices bâtis. Plusieurs échelles sont proposées (Figure 2), définissant des niveaux de description plus ou moins simplifiés des volumes bâtis. Le niveau le plus détaillé correspondrait à la structuration des données selon le modèle IFC.

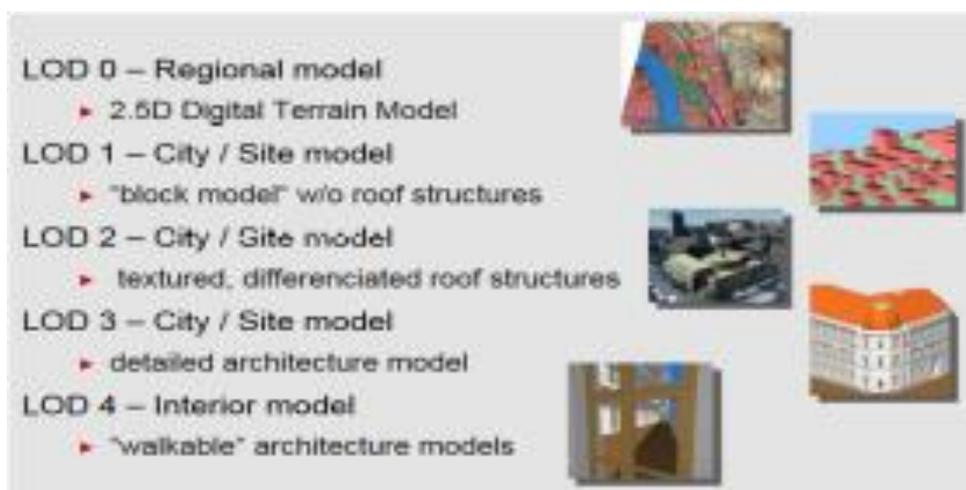


Figure 11. Les 5 niveaux de description dans CityGML.

CityGML propose un noyau descriptif, qui peut être étendu à des domaines d'application spécifiques, grâce à la définition d'ADE (« Application Domain Extension »). Dans le domaine du bâtiment et des énergies, une ADE<sup>19</sup> (Figure 12) est proposée par un groupe d'acteurs européen (Coccolo, Kämpf, 2015; Benner et al, 2016). Il a été utilisé dans certaines études (Berlin, 2012; Coccolo *et al.*, 2015). Des bases de données 3D, telles que BATI3D de l'IGN, sont proposées dans le format CityGML. Les logiciels qui permettent d'exploiter des données dans ce format proposent essentiellement des fonctions de visualisation.

<sup>18</sup> Une ontologie informatique offre un cadre unificateur et fournit des « primitives », des éléments de base pour améliorer la communication entre les personnes, entre les personnes et les systèmes, et entre les systèmes. La démarche « vise à réduire, voire éliminer, la confusion conceptuelle et terminologique et à tendre vers une compréhension partagée pour améliorer la communication, le partage, l'interopérabilité et le degré de réutilisation possible. » (Gandon, 2006).

<sup>19</sup> [http://www.citygmlwiki.org/index.php/CityGML\\_Energy\\_ADE](http://www.citygmlwiki.org/index.php/CityGML_Energy_ADE)



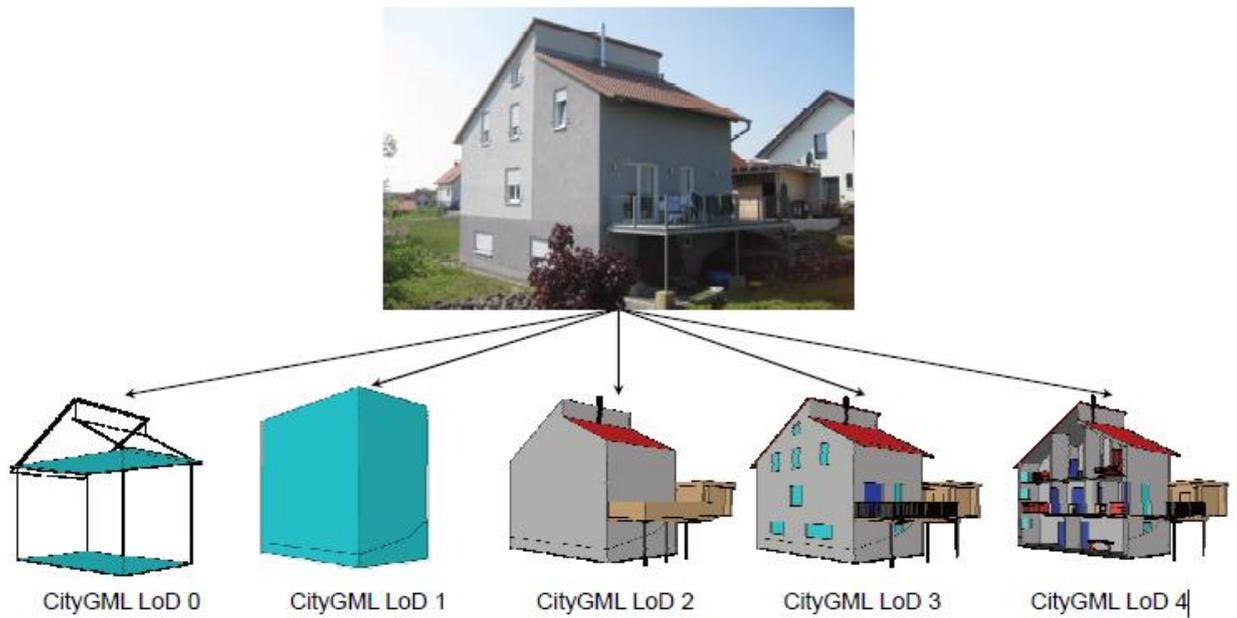


Figure 12. Les 5 niveaux de description dans CityGML Sce: (Benner et al, 2016).

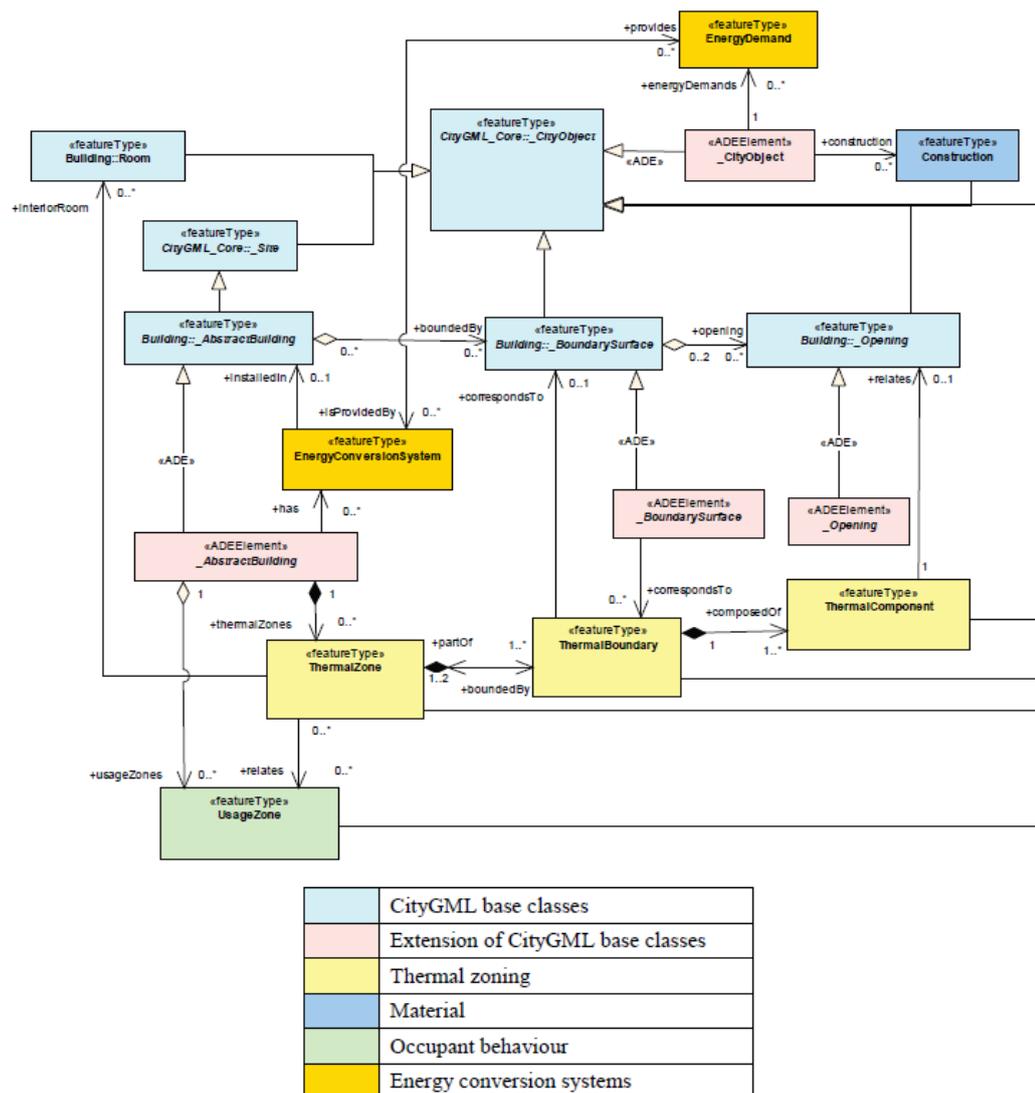


Figure 13. Organisation générale des données de l'ADE "énergie", Sce: Benner et al, 2016.



### 1.8.2.3. IFC (BIM)

Les IFC permettent une description structurée des projets de bâtiments (Figure 3). L'objectif est d'améliorer les échanges d'informations entre acteurs du projet architectural, autour d'une même maquette numérique des édifices projetés, lors de sa conception, de sa réalisation comme de sa maintenance. Plusieurs logiciels de CAO prennent en charge ce format de données.

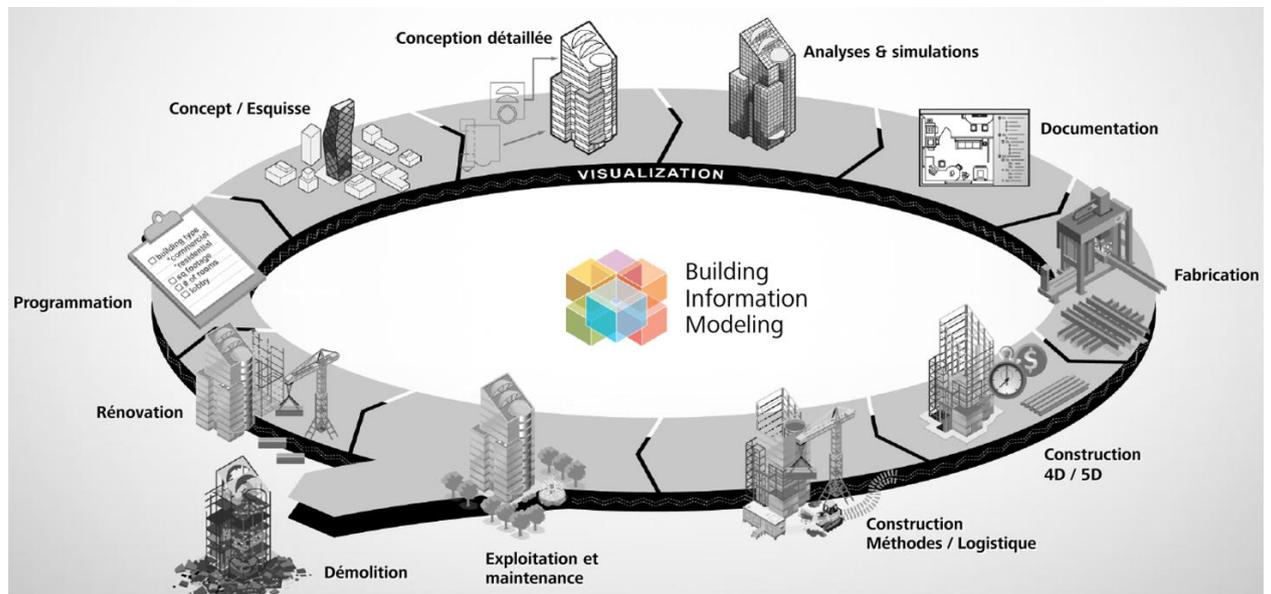


Figure 14. Les principes du BIM (Src : sightline-group.com).

### 1.8.2.4. Du territoire à l'édifice (et vice-versa)

Les approches BIM et CIM ont pour objet l'échange d'une maquette renseignée entre les acteurs intervenants sur le même projet. Plus récemment, la question du lien entre ces deux standards a été posée : il s'agit de faire sauter le verrou existant actuellement entre les échelles territoriale et constructive<sup>20</sup>, afin d'assurer la continuité entre des actions réalisées sur les mêmes objets, et d'améliorer ainsi l'échange entre les acteurs de ces deux mondes<sup>21</sup> (Ferries, Bonhomme, 2014; Mignard, Nicolle, 2014; Halbout, 2016). Pour cela, il s'agit au niveau technique de faire sauter le verrou existant aujourd'hui entre les données et les logiciels des mondes SIG et CAO.

Dans le domaine de l'énergie, des études (Devys *et al.*, 2012; Niu *et al.*, 2015; ) mettent en valeur l'intérêt de partager une maquette numérique commune afin de partager des modèles de simulation de l'environnement urbain.

## 1.8.3. 2D versus 3D

Ces modèles standards, supportés par des logiciels graphiques, permettent de produire et de manipuler les objets physiquement décrits sous forme de visualisation en 3D, accompagnés des caractères associés.

Au-delà du côté séducteur de cette forme de visualisation, tel que l'on peut la rencontrer à profusion aujourd'hui, on peut se poser les questions suivantes :

- « Pourquoi vouloir raffiner (en injectant une nouvelle dimension) aux échelles traditionnelles d'usage des SIG ?

<sup>20</sup> On est proche ici du GeoDesign : "Geodesign is a cutting-edge land design and planning method which couples the creation of design proposals with impact simulations informed by geographic contexts, data, and systems thinking, all of which is supported by digital technology" (<https://geodesign.psu.edu/>).

<sup>21</sup> Cette continuité et la nécessité de sa prise en compte apparaît très clairement par exemple dans la mise en œuvre des procédures AVAP (ex-ZPPAUP), dans la gestion de permis de construire et la répercussion sur l'évolution des cadastres.



- *Pourquoi vouloir compliquer/augmenter en dimension, quand nos capacités cognitives nous contraignent plutôt à opérer des manipulations de réduction de dimension. L'aspect représentation cartographique des SIG consiste plutôt à synthétiser, schématiser, simplifier pour mieux analyser, représenter et retransmettre.*
- *En quoi l'ajout d'une troisième dimension à la donnée géographique s'insère elle dans ce processus ? Un des principaux usages des SIG 3D est la géo-visualisation, mais est-ce le seul ?*
- *Quels sont leurs usages et leurs utilités vis à vis de la cartographie traditionnelle ?»*

Ces quelques questions posées en introduction à une action prospective du GDR MAGIS (MAGIS, 2014a; Ruas, 2013) en 2013 montre bien l'incertitude qui règne sur l'usage de cette représentation et le développement d'outils adéquats à sa gestion.

La réalisation d'un atlas numérique destiné à analyser puis communiquer des informations portant sur le bâti pose la question de l'intérêt de disposer d'une visualisation 3D des objets physiques représentés et analysés (Siret, 2006). Il s'agit de répondre plus précisément, dans l'optique d'élaboration d'un bilan, sur la nécessité d'une géométrie 3D : l'usage d'outils de simulation nécessite de les alimenter en données 3D. Mais quel niveau de détail est nécessaire compte-tenu du caractère approximatif (pré-diagnostic) du bilan visé ? Quel rôle peut-on assigner à la visualisation et la navigation en 3D ?

## 1.9. Analyse socio-économique des gisements de rénovation

### 1.9.1. Précarité énergétique

La précarité énergétique est un indicateur important qui lie les questions architecturales, sociales et énergétiques. Il existe des définitions génériques qui mobilisent toutes trois facteurs principaux pour définir un ménage en situation de précarité énergétique. Ces facteurs considérés sont : le prix de l'énergie, l'efficacité énergétique du bâtiment et le revenu des ménages.<sup>22</sup>

Le risque de précarité énergétique n'est pas le même selon les caractéristiques socio-économiques du ménage, le prix de l'énergie de chauffage et l'état du bâti. Un logement rassemblant les critères suivants : ménage à faible revenu, coûts élevés d'énergie et mauvaise performance énergétique ; sera considéré en situation de précarité énergétique dès lors que le budget énergie du ménage dépassera 10% de son budget global.<sup>23</sup>

En rendant compte du caractère multifactoriel de la précarité énergétique, cette définition permet d'en identifier les formes différentes, pouvant éventuellement conduire à des régimes d'intervention particuliers (individuels, collectifs, territoriaux...).

Cependant, la précarité énergétique peut être vue également avec d'autres indicateurs complémentaires, notamment la distance domicile-travail, les modes de déplacements, la taille du logement, le nombre de personne qui compose le foyer, etc.

L'ensemble des données chiffrées officielles proviennent pour l'essentiel de deux enquêtes très complètes de l'INSEE. L'enquête logement<sup>24</sup> évalue en particulier le taux d'effort énergétique et l'insatisfaction des besoins élémentaires (mesurée par le fait d'avoir ressenti une situation de froid à l'intérieur du logement). Sur la base de ces critères, en 2011 l'INSEE aboutit à deux estimations comparables : 3,8 millions de ménages (14,4%) supportaient un taux d'effort supérieur à 10% et 3,5 millions de ménages (14,2%) déclarait avoir souffert du froid.<sup>25</sup>

<sup>22</sup>PUCA-ADEME-ANAH. (2010). *Précarité énergétique : enseignements d'un programme de recherche et d'expérimentation*. Paris: PUCA.

<sup>23</sup> Vignon, J. (2013, mars). Précarité énergétique : Vigilance et clairvoyance. *CERAS "Revue Projet"*, pp. 6-16.

<sup>24</sup> L'enquête logement donne une photographie détaillée du parc des logements privés et sociaux, leur qualité et conditions d'occupation.

<sup>25</sup> Insee première, n° 1351, mars 2011.



La composition sociale de ces 2 groupes fait ressortir de profondes différences, indicatrices de deux manières d'entrer en situation de précarité énergétique. D'une part une famille dont le référent est encore jeune (moins de 39 ans), salarié, vit en habitat collectif, dans une agglomération de plus de 200 000 habitants prédispose à une précarité « subjective » lié au froid ressenti. D'autre part, une famille dont le référent est âgé de plus de 65 ans, propriétaire, en habitat individuel dans une petite commune prédispose d'un taux d'effort énergétique élevé.

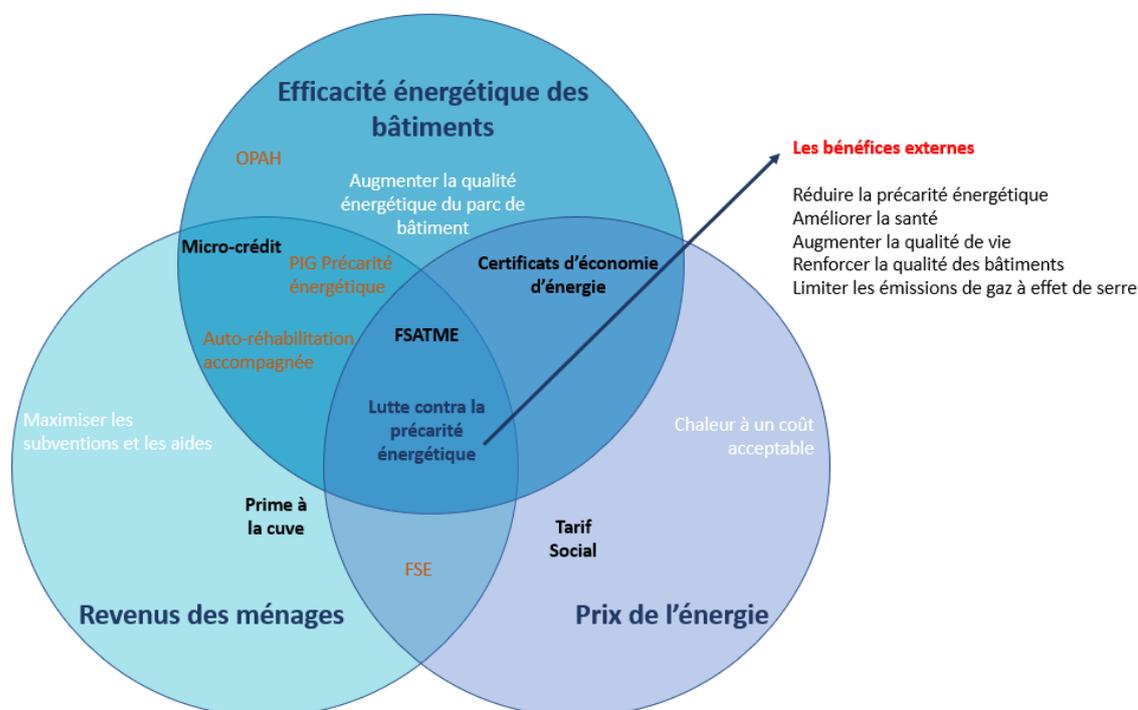


Figure 15. Les composantes de la précarité énergétique. Source : EDIF et ALPHEEIS

Au croisement de ces deux groupes, on trouve un noyau important de ménages sévèrement affectés car touchés par les deux critères sensibles et mesurables<sup>26</sup> :

- les familles monoparentales,
- les ménages dont le référent est âgé et vit seul,
- les ménages où aucun adulte actif ne travaille.

#### 1.9.1.1. Méthodes d'analyse de la précarité énergétique

Le Conseil départemental du Val-de-la-Marne a établi une méthodologie pour faire un diagnostic de précarité énergétique de son territoire. Les données exploitées sont les suivantes : le recensement Population de l'Insee de 2008 ; les données de Bruitparif ; les données départementales sur les fonds de solidarité logement et le revenu de solidarité active ; les données de consommations d'énergies de l'outil CENTER 2005 du Schéma régional climat air énergie (SRCAE). À partir de ces données, des zones à l'échelle de l'IRIS ont été classées en 5 catégories selon des facteurs de risques (de très élevé à très peu élevé) permettant le diagnostic de vulnérabilité potentielle des ménages à la précarité énergétique (Val-de-Marne, 2013).<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Vignon J. 2013

<sup>27</sup> Val-de-Marne, C. G. (2013, septembre). Etude pour le repérage de la précarité énergétique dans le Val-de-Marne. Analyse à l'échelle de l'IRIS, Rapport d'étude. Val-de-Marne: Pôle Architecture et Environnement, Direciton du Développement Durable.



Degré du risque	Caractéristiques du ménage et/ou du bâti
Très élevé	revenus très modestes (ressources inférieures au revenu médian) et au statut d'occupation inadapté (ménage pauvre du parc privé parfois insalubre)
Élevé	locataires du parc social en précarité économique (ressources inférieures au seuil de pauvreté)
Moyen	copropriété ancienne chauffée à l'électricité
Peu élevé	risque peu élevé : propriété pavillonnaire ancienne équipée d'un chauffage central individuel
Très peu élevé	copropriété aux revenus plus élevés que la moyenne départementale

Tableau 3. Caractéristique du ménage et/ou du bâti selon le degré du risque. Source : Pré diagnostics de la précarité énergétique - Diagnostic du Val-de-Marne

D'après le projet FinSH : outils pratiques et financiers pour la diminution de la précarité énergétique<sup>28</sup>, les groupes de ménages les plus vulnérables à la précarité énergétique sont les personnes âgées, les personnes sans emploi ou disposant de faibles revenus, les célibataires, les familles monoparentales, les personnes souffrant de maladies de longue durée, de handicaps physiques ou mentaux et les immigrés récents de faible niveau socio-économique.

Le rapport du Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Ministère de l'Environnement<sup>29</sup>, de l'Energie et de la Mer, en charge des Relations Internationales sur le Climat a publié un rapport de méthodologie pour quantifier les ménages en situation de précarité énergétique. Des profils-types des ménages en précarité énergétique ont été établis à partir du croisement des données énergétiques, socioéconomiques du ménage, du logement et les aides financières. Les groupes vulnérables sont présentés sur le tableau ci-dessous :

	Socio-économique	Logement	Énergie domestique	Comportements	Aides	Mobilité
TEE_3D	Faible taille (1 à 2 pers) Relativement âgés (47% plus de 60 ans) Très peu en activité (30%) Très faibles revenus Chômeurs, étudiants et au foyer surreprésentés Propriétaires pour moitié	Maison individuelle (60%) Avant 1948 (51%) Surface par personne élevée (58m <sup>2</sup> ) Rural surreprésenté F et G (50%)	Chaudière individuelle (54%) Chauffage au fioul surreprésenté (32%) Forte dépense d'énergie domestique (2240€/an)	Restriction et difficulté de paiement pour un tiers environ	TPN : 4% TSS : 5% ANAH : 11%	Moins 1 véhicule Forte dépense en carburant (1300 €/an) Restrictions déplacements (62%) et carburant (27%)

<sup>28</sup> FinSH. (s.d.). Habitat à vocation sociale: sortir de la précarité énergétique. Un guide pour les bailleurs, collectivités et associations. Projet FinSH : outils pratiques, Collection Habitat, Solidarité et Maîtrise de l'Energie, Financial and Support Instruments for Fuel Poverty in Social Housing.

<sup>29</sup> BAIR, S., BELAÏD, F., TEISSIER, O., & DEVALIERE, I. (2017, mars). Quantifier et caractériser les ménages en précarité énergétique. Les ménages et la consommation d'énergie. Le service de l'observation et des Statistiques, Ministère de l'Environnement ; de l'Energie et de la Mer en Charge des Relations Internationales pour le Climat, pages 8-17.



BRD E	Familles avec enfants Relativement jeunes (49 ans) En activité mais forte proportion de chômeurs (18%), au foyer (11%) Faibles revenus par UC Très majoritairement locataires (72%) (plutôt parc privé pour 42%)	Logement collectif (65%) (majoritairement parc privé) Avant 1975 (70%) Surface par personne faible (30m <sup>2</sup> ) IDF et H3 surreprésentés F et G (40%)	Chaudière individuelle (42%) et chauffage électrique (27%) Forte dépense d'énergie domestique (1700€/an)	Restriction et difficulté de paiement pour 40% environ	TPN : 11% TSS : 16% ANAH : 5%	Moins 1 véhicule Forte dépense en carburant (1550 €/an) Restrictions déplacements (64%) et carburant (27%)
	FR_3 D	Familles avec enfants Relativement jeunes (46 ans) En activité mais forte proportion de chômeurs (14%) et au foyer (23%) Femmes surreprésentées Faibles revenus en particulier par UC Très majoritairement locataires (85%) (plutôt parc social pour 45%)	Logement collectif (70%) (majoritairement en parc social) Faible surface par personne (34m <sup>2</sup> ) 1948-1975 (44%) Paris et H1 surreprésentés F et G (42%)	Chaudière collectives (30%) au gaz (42%) Chauffage urbain surreprésenté (10%) Forte dépense d'énergie domestique (1150€/an)	Restriction et difficulté de paiement pour plus de la moitié Température inférieure à la moyenne (19,25°C au de 20 en moyenne)	TPN : 7% TSS : 23% ANAH : 0%

Tableau 4. Profils-types des ménages en précarité énergétique selon les différents indicateurs

### 1.9.1.2. Vulnérabilité énergétique liée aux enjeux d'aménagement du territoire

Pour mesurer les dangers d'une vulnérabilité en spirale qu'une hausse très forte des prix de l'énergie fait peser sur la population, il faut donc cumuler les deux sources de dépenses que sont le logement et les transports et mesurer une précarité énergétique résidentielle.<sup>30</sup>

Catégories	Taux de dépenses énergétiques résidentielles (logement + transport en % de la dépense totale)
Ménages pauvres du premier quintile de revenu	9,6 %
Personnes habitant en grande banlieue	10,5 %
Personnes habitant l'espace rural	11,3 %
Personnes de plus de 70 ans	10,2 %
Personnes chauffées au fioul individuel	12,8 %
Personnes vivant en habitat individuel	10,2 %
Total des ménages (pauvres ou non)	8,4 %

Tableau 5. Groupes de ménages subissant une part élevée de dépenses énergétiques résidentielles.  
Source : INSEE, enquête « Budget des familles » 2006

La facture d'énergie domestique des ménages appartenant au premier quintile (groupe des 20 % les plus modestes) était en 2006 de l'ordre de 75 euros par mois par unité de consommation. L'augmentation des prix fait passer cette facture à 85 euros, puis 90 euros par mois en 2010 et 2012. Étant donnée l'évolution très faible du niveau de vie de ces ménages, le taux d'effort énergétique a dépassé les 10 % en 2010 et n'a cessé de croître depuis.

<sup>30</sup> (Maresca, 2013)



### 1.9.1.3. Analyse de la vulnérabilité énergétique en région PACA

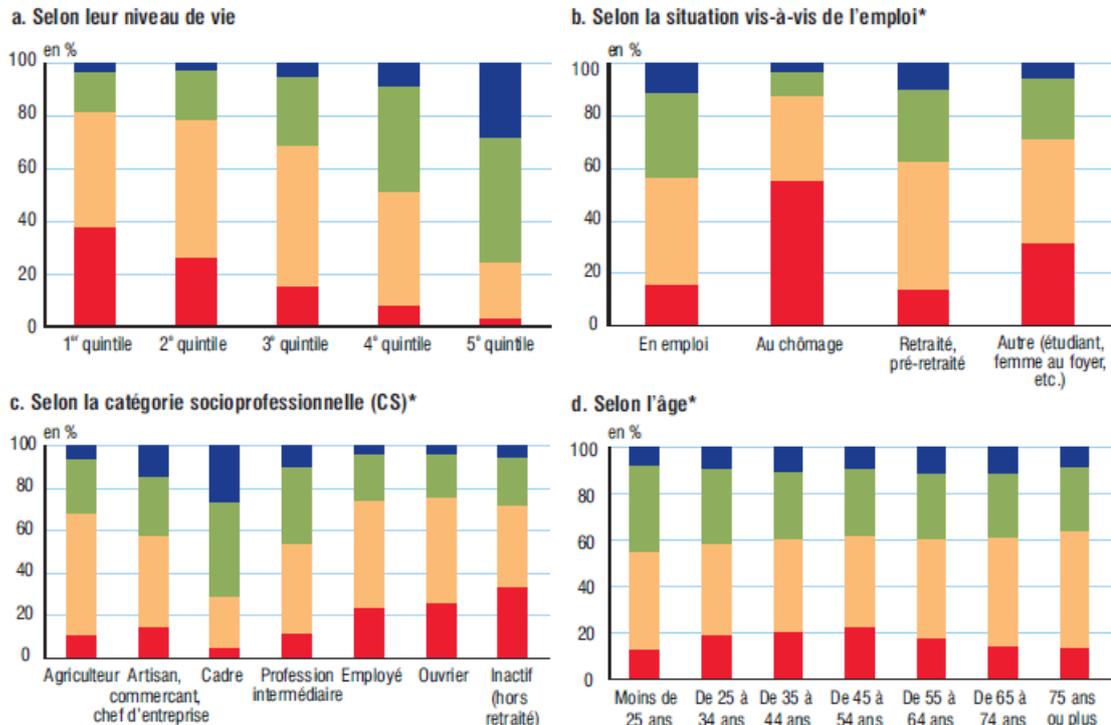
Le phénomène de précarité énergétique a été caractérisé par la région PACA à partir des données sur les revenus disponibles des ménages, l'âge des logements, le type de logement, l'état du logement, la typologie des familles (composition familiale, statut d'occupation)<sup>31</sup>.

À partir de l'analyse des données INSEE comparées aux moyennes nationales, les territoires de ménages vulnérables à la précarité énergétique présentent les caractéristiques suivantes :

- revenus moyens plus faibles que la moyenne nationale, en particulier personnes sous le seuil de pauvreté,
- pourcentage plus élevé de familles monoparentales que la moyenne nationale,
- pourcentage de personnes âgées élevé : en raison du logement d'une taille inadaptée à leur besoin et/ou d'équipements ancien.

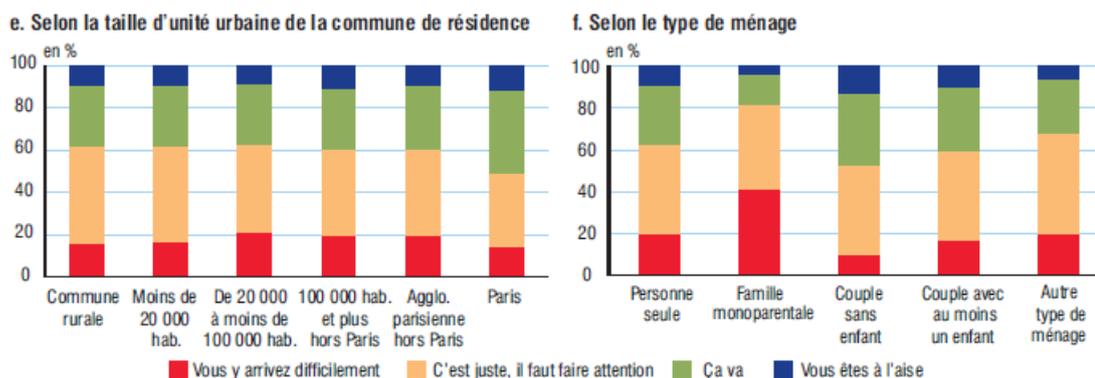
### 1.9.1.4. Vulnérabilité ou aisance socio-économique

Quelles que soient les méthodes, l'analyse de la précarité énergétique nous intéresse d'un point de vue méthodologique pour identifier les différents croisements de données réalisés mis en œuvre afin d'évaluer l'exposition des ménages. Autrement dit, quels sont les indicateurs, les classements et les différents seuils de vulnérabilité des ménages. Cela nous informe sur la pondération des différents indicateurs dans la caractérisation du risque et donc du besoin. Le projet ATRE vise notamment ce point dans la mesure où il vise l'aide à la décision publique pour éviter le basculement vers la précarité énergétique. Cependant, si les indicateurs de la vulnérabilité ou de la précarité énergétiques nous intéressent, ils ne sont pas suffisants pour nourrir ce projet dans la mesure où la connaissance socio-économique des ménages pour caractériser les gisements de rénovation nous intéresse aussi du point de vue du potentiel. Nous entendons par potentiel, la définition d'un contexte socio-économique favorable ou très favorable en fonction de plusieurs critères (âges, niveau de diplôme, niveau de revenus, surface de logement par personne, etc.) influents sur l'engagement dans le processus de rénovation.



<sup>31</sup> (GERARD, BEAL, BALLY, & VIERI, 2012)





\* de la personne de référence.  
 Champ : France métropolitaine, ménages ordinaires.  
 Lecture : en 2011, 38 % des ménages métropolitains du 1<sup>er</sup> quintile de niveau de vie estiment avoir des difficultés avec leur budget.

Gaph. 1. Le sentiment d'aisance financière des ménages. Source : INSEE, enquête budget des familles 2011

On peut donc rapprocher le sentiment d'aisance financière à plusieurs composantes dont la plus prégnante reste le niveau de vie exprimé par l'INSEE en termes de revenu disponible et divisé en 5 niveaux exprimés en quintiles.

Montant annuel moyen par UC (en euros)	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Ensemble
Revenu disponible (RD)	10 080	16 410	21 040	26 750	50 030	24 910
Dépenses pré-engagées	3 300	4 840	6 280	7 780	10 300	6 510
Revenu arbitral	6 780	11 570	14 760	18 970	39 730	18 400
Dépenses pré-engagées (en % du RD)	33	29	30	29	21	26

Note : l'étude permet d'approcher le concept de dépenses pré-engagées sans toutefois en retrouver le contour exact. Ainsi, par exemple, les dépenses d'assurance-vie ne peuvent pas être isolées de l'ensemble des dépenses d'assurance alors qu'elles sont hors champ des dépenses pré-engagées (définitions).

Lecture : en 2003, les ménages les plus modestes (premier quintile, Q1), dépensent en moyenne 3 300 euros par unité de consommation (UC) pour des dépenses pré-engagées, ce qui représente 33 % de leur revenu disponible (10 080 euros en moyenne).

Tableau 6. Dépenses pré-engagées en lien avec le découpage des quintiles. Source : Insee « Budget des familles » 2006

L'impact majeur du niveau de vie sur le sentiment d'aisance financière étant démontré ici, on peut alors définir un seuil de revenu comme seuil d'aisance financière (à l'image du seuil de pauvreté).

Pour catégoriser en trois tranches de revenus les ménages, nous avons pris en référence le seuil de pauvreté à 60% établi par l'Observatoire des Inégalités<sup>32</sup>. La première catégorie considère les revenus inférieurs au seuil de pauvreté. La catégorie des revenus moyen considère un intervalle qui comprend le revenu du seuil de pauvreté jusqu'à son double. Les revenus aisés considérés englobent les revenus supérieurs au double du seuil de pauvreté.

Puisque le seuil de pauvreté est calculé selon le revenu disponible par personne, nous établissons ici les tranches de revenu selon le nombre de personnes occupant le foyer. Ce revenu devient stable à partir d'un taux d'occupation supérieur à 5 personnes.

<sup>32</sup> Les seuils de pauvreté en France. (2017, septembre 12). Récupéré sur Inégalités: <https://www.inegalites.fr/Les-seuils-de-pauvrete-en-France>.

Nombre de personnes occupant le foyer	Revenus au-dessous du seuil de pauvreté	Revenus moyens	Revenus aisés
1	< 12 180 € par an	Entre 12 180 € et 24 360 €	> 24 360 €
2	< 9 138 € par an	Entre 9 138 € et 18 276 €	> 18 276 €
3	< 8 119 € par an	Entre 8 119 € et 16 238 €	> 16 238 €
4	< 7 614 € par an	Entre 7 614 € et 15 228 €	> 15 228 €
5 ou plus	< 7 500 € par an	Entre 7 500 € et 15 000 €	> 15 500 €

Tableau 7. Catégorisation des ménages selon le revenu disponible par personne. Source : ALEC Métropole Marseille

## 1.9.2. Rénovation énergétique

### 1.9.2.1. Études portant sur la rénovation énergétique

D'après l'enquête Phébus<sup>33</sup> réalisée sur la période de 2008-2012, la rénovation de l'habitat est réalisée principalement pour une raison énergétique, pour 79% des ménages qui ont réalisés des travaux. Ceux-ci sont réalisés principalement pour réduire les consommations énergétiques et/ou améliorer le chauffage (41%). La réalisation des travaux dépend aussi de la composition des ménages et des dispositifs financiers (le coût, les financements et les aides). Les travaux sont plus souvent réalisés par des propriétaires que par des locataires mais aussi selon le niveau de vie. Le ménage aisé utilise un budget plus élevé et réalise plus de travaux que les ménages modestes. La rénovation énergétique par les ménages précaires est faible du fait des contraintes de financement et de la difficulté d'accès aux informations.

	Part ayant fait des travaux	pour motif énergétique (%)	Parmi lesquels sont été financés par le ménage occupant (%)	bénéficiant d'une aide (%)	Montant moyen financé par le ménage occupant (€)	
Statut d'occupation	Propriétaire en maison individuelle	51	85	99	50	16153
	Locataire en maison individuelle	31	78	26	6	6556
	Propriétaire logement dans un immeuble collectif	44	76	96	47	6697
	Locataire logement dans un immeuble collectif	26	66	15	1	3265
	Locataire dans le parc social	33	70	22	2	2194
Tranche de revenu	< Q1	35	73	52	19	10093
	Q1-Q2	39	81	70	28	10751
	Q2-Q3	44	82	84	42	12487
	>Q3	48	80	89	48	18191
Ménage en situation de précarité énergétique	Au sens du TEE	36	82	68	34	10781
	Au sens du froid	33	78	46	15	9661
<b>Ensemble des ménages</b>		<b>42</b>	<b>79</b>	<b>75</b>	<b>36</b>	<b>13747</b>

Tableau 8. Caractéristiques et montant des travaux selon les ménages entre 2008 et 2012. Extrait de (Ministère de l'Environnement, mai 2017) - Source données Phébus, volet Clode

<sup>33</sup> (Ministère de l'Environnement, mai 2017).



D'après l'étude réalisé par Dorothée Charlier dans « *Efficacité énergétique dans le bâtiment et paradoxe énergétique : quelles conséquences pour la transition énergétique ?*<sup>34</sup> », les ménages diplômés dépensent plus dans la rénovation énergétique que les ménages sans qualification. Même si le temps de retour sur investissement est favorable à la rénovation ; les ménages locataires jeunes, retraités ou sans emplois qui vivent dans les logements collectifs ne réalisent pas de travaux. Autrement dit, la réalisation de travaux de rénovation dépend du statut d'occupation et de la socio-économie du ménage.

		Logements rénovés avec une analyse coût bénéfice rentable	Logements non rénovés avec une analyse coût bénéfice rentable	Répartition des ménages avec une analyse coût bénéfice rentable
Revenu*	Quintile 1	19,15%	20,46%	20,36%
	Quintile 2	19,52%	19,91%	19,88%
	Quintile 3	20,07%	19,98%	19,99%
	Quintile 4	22,28%	20,58%	20,71%
	Quintile 5	18,97%	19,07%	19,06%
Statut d'occupation	Propriétaire	54,14%	48,3%	51,31%
	Locataire	45,86%	51,7%	48,69%
Type de logement	Maison individuelle	44%	27,77%	28,81%
	Immeuble collectif	55%	72,23%	71,19%
Âge	Moins de 30 ans	8,29%	12%	11,36%
	Entre 30 et 39 ans	19,52%	22,13%	21,94%
	Entre 40 et 49 ans	26,23%	21,51%	21,78%
	Entre 50 et 64 ans	27,54%	24,78%	24,92%
	Après 65 ans	18,42%	19,58%	20%
Marché du travail	En emploi	61,88%	58,96%	59,18%
	Sans emploi	38,12%	41,04%	40,82%
Désir de mobilité	Avec un désir de mobilité	30,94%	39,50%	38,86%
	Sans un désir de mobilité	69,06%	60,50%	61,14%

Tableau 9. Les facteurs incitant à la rénovation différents paramètres. \* Revenu faible (1er et 2ème quintiles), de revenu moyen (3ème et 4ème quintiles) et de revenu élevé (5ème quintile). Source : CHARLIER, *Efficacité énergétique dans le bâtiment et paradoxe énergétique: quelles conséquences pour la transition énergétique?*, 2014

Une deuxième étude réalisée par Dorothée Charlier sur *La rénovation énergétique en France dans le secteur résidentiel privé*<sup>35</sup>, confirme que la rénovation énergétique est directement liée au contexte socio-économique du ménage. Par ailleurs, les foyers les plus enclins à investir dans la rénovation sont ceux dont le logement présente un coût énergétique d'utilisation élevé. En effet, les ménages envisagent une rénovation énergétique pour améliorer le confort et la qualité de l'air du logement

<sup>34</sup> CHARLIER, *Efficacité énergétique dans le bâtiment et paradoxe énergétique: quelles conséquences pour la transition énergétique?*, 2014.

<sup>35</sup> (CHARLIER, *La rénovation énergétique en France dans le secteur résidentiel privé*, 2013) N° 128, p. 395 à 419.



mais également pour faire des économies. Le tableau ci-après constitue une collecte des caractéristiques des ménages face à la rénovation selon certains de ces paramètres.

Ménage		Charlier (2013). Les propriétaires de logement réalisent plus de travaux que les locataires
Situation socio-économique	Aisé	Charlier (2013). Les ménages réalisent plus de travaux et utilisent un budget plus élevé.
	Précaire	Charlier (2013). La rénovation est une contrainte sans les aides financières et aussi à cause de la difficulté d'accès aux informations.
Niveau d'études		Charlier (2013). Les ménages diplômés réalisent plus de travaux que les ménages sans qualification.
Consommation énergétique		Charlier (2013). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une consommation élevée incite les ménages à rénover</li> <li>• Plus les gains énergétiques espérés sont élevés, plus les montants dépensés par les ménages en économie d'énergie sont importants.</li> <li>• En moyenne, les rénovations en économie d'énergie sont effectuées dans des logements dont la consommation énergétique est plus élevée que la moyenne des logements 179 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>
Efficacité énergétique	Ménages à plus de 35 ans	Nair, Gustavsson et Mahapatra (2010). Ils sont plus enclins à entreprendre des travaux majeurs de rénovation en économie d'énergie comme le remplacement des menuiseries et l'isolation des murs extérieurs.
	Personnes âgées	Ils tendent à augmenter la température du chauffage et sont donc moins prédisposés à adapter des systèmes économiseurs à cause de l'incertitude sur la durée d'occupation du logement et puisqu'elles sont moins informés sur les systèmes d'efficacité énergétique.
Caractéristiques du logement		Montgomery (1992, p. 346) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus un logement est ancien, plus la probabilité de rénover est élevée.</li> </ul> Plaut et Plaut (2010, p. 481) <ul style="list-style-type: none"> <li>• La probabilité de rénover est plus élevée dans les maisons individuelles.</li> </ul> Charlier (2013) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus le logement est initialement de mauvaise qualité énergétique, plus les agents investiront.</li> <li>• Les travaux en isolation ont lieu dans les bâtiments anciens construits avant 1974.</li> <li>• Plus l'efficacité énergétique du logement est élevée, plus le niveau en investissement est faible. Les individus investissent uniquement dans des logements de mauvaise qualité énergétique, car ils ont des bénéfices à investir.</li> </ul>
Politiques publiques		Diaz-Rainey et Ashton (2009). Instruments politiques incitent les ménages à la réalisation des travaux

Tableau 10. Les facteurs incitant à la rénovation différents paramètres. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille



D'après l'Observatoire Permanent de l'amélioration Énergétique du logement<sup>36</sup> de 2015 de l'ADEME, le niveau de rénovation énergétique est lié avant tout au type de logement et au statut d'occupation des ménages. L'étude réalisée montre que les propriétaires sont plus enclins à la rénovation que les locataires, 98% des répondants qui ont réalisé des travaux sont propriétaires du logement. Les travaux sont surtout réalisés dans les maisons de superficie moyenne supérieure à 100m<sup>2</sup> avec 4 pièces et plus. La rénovation énergétique est de performance moyenne chez 50% des logements et performante ou très performante chez 8% des logements. Les travaux de rénovation sont surtout réalisés par des ménages aisés ayant un salaire annuel supérieur à 31 700 € (45%). Les ménages à revenus inférieur à 19 000 € annuels représentent 14% des ménages qui réalisent des travaux. D'un point de vue financier, 41 % des ménages ayant réalisé des travaux de rénovation énergétique performante ou très performante ont eu recours à un prêt. La contrainte financière présente un obstacle à la poursuite des travaux de rénovation énergétique, 54% des ménages jugent que leur situation financière ne permet pas la réalisation de travaux de rénovation énergétique.

### 1.9.2.2. Enquête ménages sur la rénovation énergétique en PACA

Le CERC a réalisé une enquête sur la rénovation énergétique des logements en PACA<sup>37</sup> et sur la métropole Aix Marseille, les résultats obtenus sont les suivants :

- 8% des propriétaires occupants ont réalisés des travaux de rénovation énergétique (isolation de la toiture, isolation des murs donnant sur l'extérieur, changements de plus de la moitié des menuiseries, installations de systèmes de chauffage performants, installations de systèmes d'eau chaude sanitaire performants.).
- Parmi les ménages ayant réalisés des travaux, 47% ont obtenu des aides.
- Les principaux facteurs de la réalisation des travaux sont l'amélioration du confort du logement et les économies.

Une analyse technico-financière de la rénovation énergétique en Provence-Alpes-Côte d'Azur de 335 logements a été réalisée à partir des résultats de l'étude 2016 des dossiers « Habiter mieux » de l'ANAH<sup>38</sup>. On observe dans la figure 2 ci-dessous que le gain énergétique après la réalisation des travaux, exprimé en pourcentage, varie selon l'année de construction du logement. Le gain est plus important dans les logements anciens (47%) construits avant la mise en œuvre des réglementations thermiques et moins important (35%) dans les logements les plus récents.

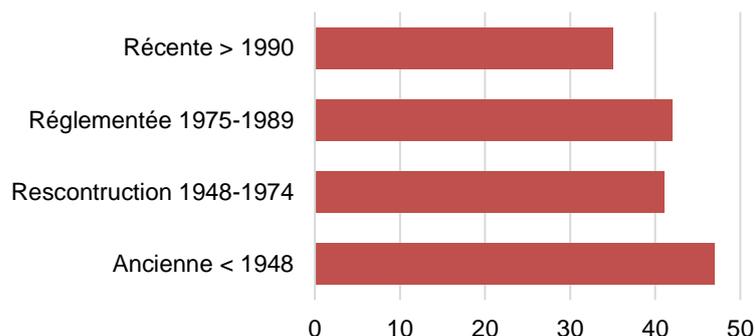
---

<sup>36</sup> ADEME. (2015). Campagne 2015 OPEN, travaux achevés en 2014. *Observatoire Permanent de l'amélioration Énergétique du logement*.

<sup>36</sup> CERC PACA. (2018, février). Enquête ménages sur la rénovation énergétique dans les territoires de PACA. *Fiche territoire Aix-Marseille Provence*.

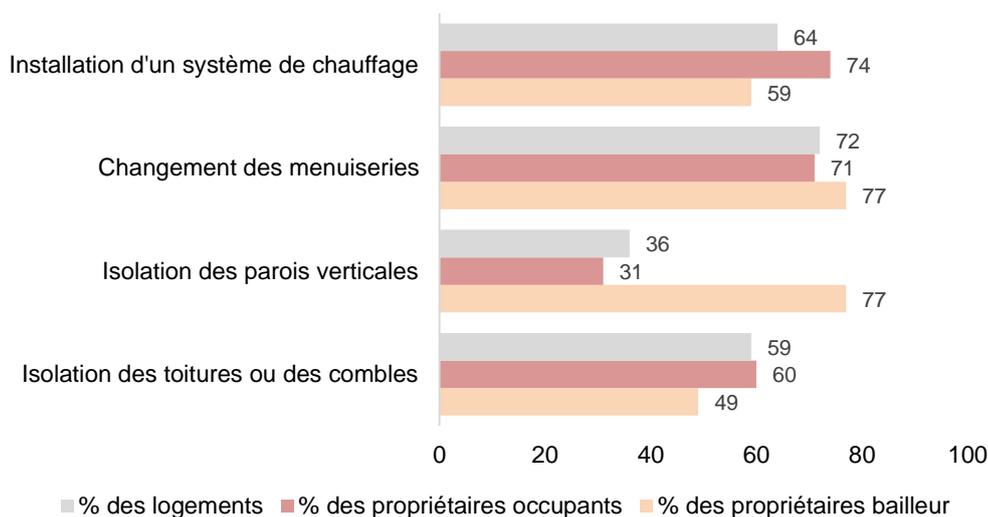
<sup>36</sup> CERC PACA. (2017, avril). Analyse Techno-financière de la rénovation énergétique en Provence-Alpes-Côte d'Azur. *Résultats de l'étude 2016 à partir des dossiers "Habiter mieux" de l'ANAH*.





Gaph. 2. Gain énergétique en % selon l'année de construction

Lors d'une rénovation énergétique, les changements de menuiseries sont les premiers travaux effectués, réalisés dans 72%<sup>39</sup> des logements. Par ailleurs, le statut d'occupation du logement influence le type de travaux réalisés.



Gaph. 3. Parmi les logements rénovés, types de travaux réalisés selon le statut d'occupation du logement en %

Concernant les changements de fenêtres, un tiers des travaux sont performants et une majorité est dans la catégorie moyenne. La majorité des travaux d'isolation des parois verticales ont un niveau de performance faible et seulement 17% sont performants. Les travaux de rénovation et isolation de toiture et/ou des combles présentent le plus grand nombre de gestes performants (47%) et les dépenses sur ce poste sont les plus élevées. Le second poste en termes d'équipements performants est le chauffage (36%).

La variation des prix pour les différents types de travaux de rénovation énergétique est importante. En moyenne les ménages dépensent 9 978 € et les aides permettent une réduction moyenne de 17% des coûts. La rénovation à niveau moyen représente la majorité des travaux réalisés (81%). Les travaux performants et très performants (13%) sont plus réalisés que les rénovations de faible performance (6%).

<sup>39</sup> CERC PACA (2017) Op. cit.



## **1.10. Méthode d'élaboration des indicateurs**

Au regard de ces outils et méthodes existant, le projet ATRE souhaite apporter une lecture enrichie plus fine sur le sujet. En réfléchissant aux différentes informations que peut fournir l'ATLAS, les données disponibles ont été croisées pour établir des indicateurs importants afin de qualifier les gisements de rénovation énergétique. Ces indicateurs présentent le potentiel, les difficultés ou à la non pertinence de rénovations énergétiques. Leurs croisements permettent donc de caractériser les zones à enjeux.

### **1.10.1. Choix des indicateurs**

Il n'y a pas à ce jour un outil dans le domaine de la rénovation énergétique qui englobe toutes les données pertinentes afin d'aider la décision publique. La méthodologie choisie au sein du projet ATRE a été de déterminer les paramètres qui influent la rénovation énergétique au regard des données statistiques qui caractérisent le contexte des ménages, du logement et du marché énergétique et des travaux. La création d'indicateurs jusqu'à présent non-existant se fait à partir du croisement de données dans le but de caractériser le territoire pour cibler les politiques publiques de soutien à la rénovation énergétique. Autrement dit, les indicateurs sont au cœur de l'ATLAS puisqu'ils apportent des renseignements sur le contexte énergétique et socio-économique

### **1.10.2. Description des indicateurs**

En nous inspirant des indicateurs existant pour le domaine de la précarité énergétique, et des diffusions de l'observatoire de l'ADEME et de la CERC PACA, les croisements de données intéressants ont été repris et complétés. Pour choisir les différents indicateurs, nous sommes partis du regroupement des données exploitables disponibles à l'échelle de l'intérêt du projet. En ayant ces informations, le croisement de différentes données a permis d'établir les indicateurs clés pour cette étude des gisements de rénovation.

## **2. Orientations de la recherche**

L'état de l'art présenté précédemment a conduit à recueillir un ensemble de réponses aux questions que nous avons posé en préalable. Nous proposons dans ce qui suit un certain nombre d'orientations pour la définition de démarches, de méthodes et d'outils destinés à la réalisation d'atlas de rénovation énergétique.

### **2.1. Échelles visées et démarche d'élaboration d'un atlas**

L'approche ascendante bâtiment par bâtiment semble la mieux adaptée pour une analyse énergétique multiscalaire. Pour sa mise en œuvre dans le cadre d'un atlas, elle serait structurée selon un processus d'agrégation de données produites à l'échelle de l'édifice. Afin d'être crédible, l'audit énergétique effectué par bâtiment devra bénéficier de l'exploitation des données disponibles à des échelles supérieures telles que IRIS ou la commune (exemple des données de comptage pouvant émaner des fournisseurs d'énergie). Partant de l'échelle de bâtiment, cette approche pourrait s'appuyer sur la désagrégation de ces données (figure 15). Elle vise à préciser les hypothèses de modélisation et restreindre les écarts de consommations entre la réalité et le calcul pour aboutir à des estimations plus fines.



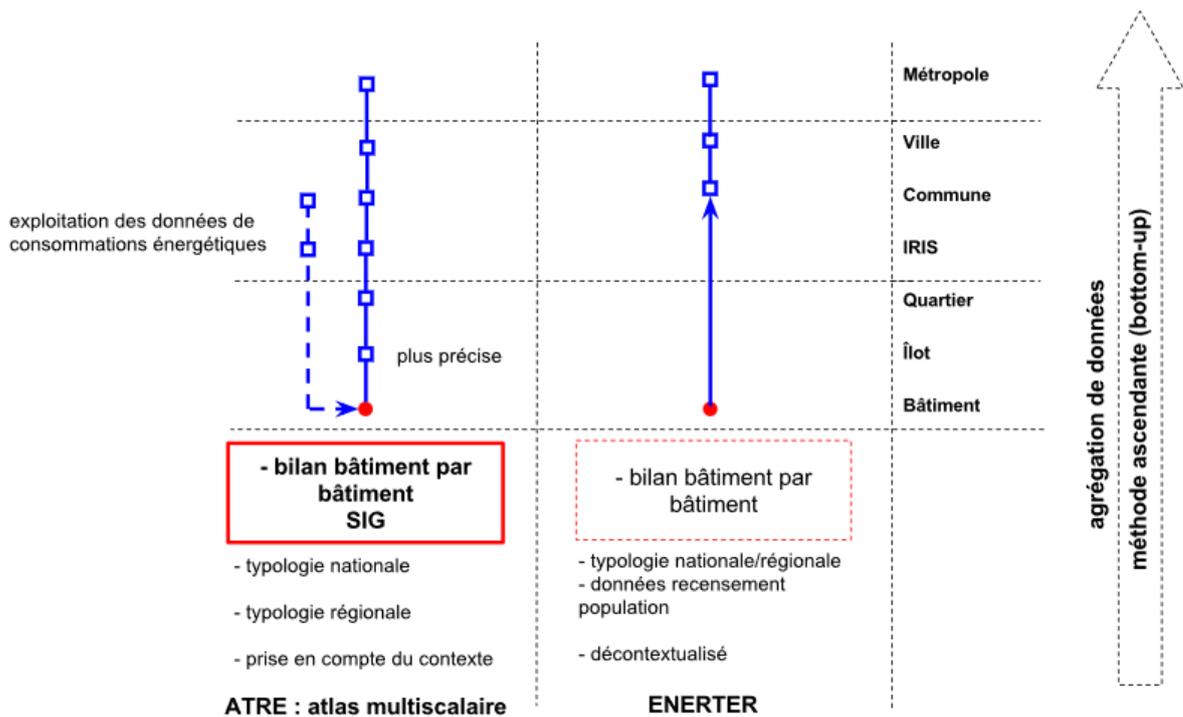


Figure 16. Proposition d'une démarche de modélisation selon une approche ascendante et l'exploitation de données de consommations d'énergie à l'échelle de l'IRIS ou de la commune

Par la constitution de l'atlas visée, nous recherchons à faire émerger des gisements de rénovation énergétique. Ces gisements se concrétiseront sous la forme de concentrations spatiales d'édifices résidentiels susceptibles d'être l'objet d'interventions nécessaires à l'amélioration de la performance énergétique (figure 16).



Figure 17. Structure générale de l'information.

Compte-tenu de l'étendue des territoires à considérer, la démarche que nous proposons n'aborde pas la description de chaque logement, mais s'attache à en décrire les caractéristiques agrégées à l'échelle de l'édifice ou d'unités spatiales plus larges (IRIS par exemple). Chaque édifice est analysé grâce à la description des caractéristiques de son enveloppe (façades, couverture, plancher bas), qui contribueront à la réalisation de son bilan.

Les gisements seront constitués par agrégation spatiale des édifices en fonction de leur bilan.

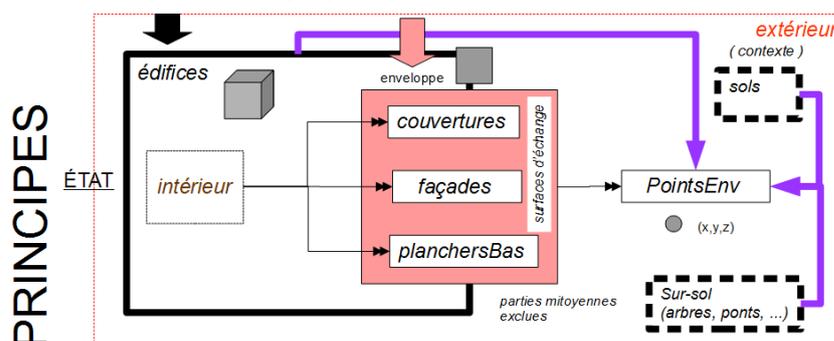


Figure 18. Principes d'organisation de la base de données projetée.

## 2.2. Méthode d'analyse par typologies

Nous partons du principe que la pertinence des données énergétiques pouvant être agrégées au niveau d'un territoire dépend de la qualité du diagnostic élémentaire de chaque édifice. Étant donné que l'aire d'analyse est susceptible d'être composée d'un ensemble d'édifices hétéroclites (âge, taille, etc.), il est nécessaire de reconnaître de manière systématique les caractéristiques de chacun de ces édifices pour pouvoir les appréhender de façon singulière.

La méthode de reconnaissance par typologie semble la plus appropriée à ce genre d'investigations car elle repose sur l'identification du bâti à partir de tranches d'âge et par taille de bâtiment. C'est le cas de la nomenclature à vocation européenne ou nationale TABULA qui par l'adoption de ces deux critères a le mérite d'être applicable sur n'importe quel territoire pour peu que des bases de données spatiales et historiques soient disponibles. Cependant, étant potentiellement répliquable cette nomenclature peine à prendre en charge les particularités architecturales et constructives de certains bâtiments à caractère local. De ce fait, elles ne peuvent prétendre apporter suffisamment de précision pour établir un diagnostic exhaustif bâtiment par bâtiment. Les nomenclatures régionales ou locales, quand elles existent, sont plus précises dans la mesure où leur élaboration s'appuie sur des éléments tangibles qui reflètent la réalité constructive et architecturale des types bâtis locaux. Elles sont donc plus appropriées pour une analyse fine à l'échelle d'un bâtiment, mais reste inopérantes lorsqu'il s'agit de mener un travail de masse. En effet, ces classifications n'intègrent pas de critères morphologiques (dimensionnels) ce qui rend les types bâtis difficilement repérables par les outils d'analyse SIG.

Afin de répondre à l'objectif de répliquabilité des méthodes et outils permettant d'élaborer l'atlas, il n'est pas question dans le cadre de ce travail de recherche de construire une nouvelle typologie exhaustive qui aurait pour ambition la reconnaissance de l'ensemble des types bâtis existants à l'échelle nationale. Il n'est pas question non plus de construire des typologies locales propres à chaque région axée sur des critères morphologiques. Il s'agit plutôt de définir des stratégies permettant de s'appuyer conjointement sur les nomenclatures nationale et locale existantes. Cette démarche hybride "du général au particulier" permet de concilier à la fois entre l'impératif de répliquabilité et la finesse du diagnostic.

La démarche proposée consiste donc dans un premier temps à affecter à chaque édifice résidentiel un type parmi ceux constituant la nomenclature nationale (TABULA). Cette affectation résultera de la connaissance de sa période de construction et des critères morphologiques. Les caractéristiques décrivant les éléments d'enveloppe du type affecté sont ainsi attribuées automatiquement à l'édifice décrit en fonction des spécificités de chaque édifice (superficie au sol, superficie de façades, qualification des façades,...).

Dans un second temps, un travail de validation de terrain visant à rendre les diagnostics plus crédibles permettra d'affiner, lorsque cela sera nécessaire, les types bâtis en leur attribuant des types locaux (issus par exemple de la nomenclature 123 Réno). Les caractéristiques locales, censées être plus précises, permettront ainsi de remplacer progressivement celles à vocation nationale.

## 2.3. Utilisation des nomenclatures nationale et locale

Notre travail de recherche se base sur une approche complémentaire (faisant appel à des nomenclatures nationale et locale) pour décrire un vaste territoire en vue de réaliser l'atlas de gisement de rénovation énergétique. La première nécessité est donc de disposer des bases de données spatiales territoriales géolocalisées (de préférence à vocation nationale) qui permettent d'identifier chaque bâtiment appartenant à un territoire par les caractéristiques d'un type bâti.

La manière dont les bâtiments seront décrits dans les nomenclatures utilisées nous permettra d'assigner les caractéristiques des types aux bâtiments dans le territoire de manière automatique, limitant le plus possible les relevés de terrain.

Dans cette partie, nous allons mettre en évidence les avantages et les inconvénients de deux nomenclatures susceptibles d'être utilisées dans le cadre de notre projet de recherche.

La première nomenclature est celle développée dans le cadre du projet européen EPISCOPE/TABULA et la seconde est une nomenclature locale. Il s'agit de la classification établie dans le cadre du projet MARIE et qu'utilise l'outil 123 Réno. Chacune de ces deux études est établie à partir d'un certain nombre de cas réels de bâtiments qui ont conduit à définir des bâtiments types. Dans ce qui suit, nous parlerons de "bâtiments réels" pour désigner le ou les bâtiments qui ont été la source des données qui ont permis de définir les types.



### 2.3.1. Identification des bâtiments sur le territoire par type

Afin de pouvoir identifier les bâtiments résidentiels par type sur un périmètre d'étude, nous devons tout d'abord définir des critères (ou indicateurs) qui nous permettront de lier ces bâtiments aux types et donc à leurs caractéristiques à partir des nomenclatures.

Pour ce faire, une des pistes envisageables consiste à exploiter les possibilités qu'offrent l'analyse des bases de données spatiales comme la Bd Topo et les informations que pourraient nous fournir les fichiers fonciers (date de création des bâtiments, caractéristiques dimensionnelles telles que la surface habitable, nombre de logements, etc.).

Pour évaluer les déperditions des bâtiments, il sera nécessaire de décrire les performances des enveloppes de chaque type décrit dans les nomenclatures (le coefficient de transmission thermique "U" des parois opaques, des toitures, surfaces des menuiseries, etc.). Les surfaces d'échange et les orientations des façades pourraient être déduites de l'analyse spatiale.

Données nécessaires					
Toiture					
U toiture opaque	% opacité toiture	Uw Menuiseries	Facteur solaire fenêtres	Pente de la toiture	Albédo toiture
Façade principale					
% opacité façade <sup>40</sup>	U façade opaque	Uw Menuiseries	Facteur solaire fenêtres	Épaisseur façade	
Façade secondaire					
% opacité façade	U façade opaque	Uw Menuiseries	Facteur solaire fenêtres	Épaisseur façade	
Façade pignon					
% opacité façade	U façade opaque	Uw Menuiseries	Facteur solaire fenêtres	Épaisseur façade	
Façades résiduelles					
%opacité façade	U façade opaque	Uw Menuiseries	Facteur solaire fenêtres	Épaisseur façade	
Plancher bas					
U plancher bas	% PB sur local non chauffée		% PB sur local chauffé		
Ponts thermiques					
Psi ponts thermiques <sup>41</sup>			Linéiques ponts thermiques		
Portes entrées					
Ratio surface porte d'entrée			U porte d'entrée		

Tableau 11. Données à connaître pour définir une enveloppe type

Dans la partie suivante, nous examinerons comment les nomenclatures décrites dans l'état de l'art peuvent servir à alimenter les méthodes et outils conduisant à réaliser l'atlas.

<sup>40</sup> Cette donnée peut être soit rapportée à la surface de la façade ou à la surface de plancher.

<sup>41</sup> Comme nous verrons plus loin, TABULA emploie une méthode simplifiée pour le calcul des ponts thermiques par rapport aux surfaces d'enveloppe.



### 2.3.2. Utilisation d'une nomenclature nationale : TABULA

Comme précisé précédemment, la nomenclature TABULA a l'avantage de décrire les types de bâtiments à l'échelle nationale. Cette classification est basée sur des familles de bâtiment en fonction de périodes de réalisation ce qui permet de les identifier sur un territoire.

La limite de l'application de cette nomenclature réside dans le faible nombre de bâtiments constituant l'échantillon étudié, ce qui pourrait affecter la qualité des données. Par ailleurs, un autre problème de fond vient du fait que les nomenclatures nationales ne s'appuient pas sur une caractérisation architecturale ce qui conduit à ne pas décrire des types locaux de façon précise. A titre d'exemple, les caractéristiques assignées à certains types de bâtiments qu'on peut trouver sur les fiches typologiques nationales sont évidemment représentatives de certaines régions mais pas d'autres.

### 2.3.3. Utilisation d'une nomenclature locale : 123 Réno

À la différence des typologies nationales, la nomenclature 123 Réno est fortement liée au territoire de la Provence. Comme pour TABULA, cette classification s'appuie sur un nombre limité de bâtiments réels. En analysant les données sources de 123 Réno contenant les informations de base qui ont permis d'évaluer les déperditions de chaque bâtiment type, il en ressort que la qualité des données reste acceptable, dans la mesure où les types se basent sur des édifices architecturaux locaux. Cela contribue à réduire les marges d'erreur permettant de qualifier les enveloppes et leur performance.

Par ailleurs, le problème de cette nomenclature est qu'elle ne peut s'appliquer qu'à un territoire restreint. De plus, il est difficile d'assigner aux bâtiments des caractéristiques du type, car les périodes des différents types se chevauchent. Enfin, les caractéristiques architecturales qui décrivent les types sont difficilement identifiables sans un travail de terrain.

### 2.3.4. Synthèse

TABULA semble pouvoir répondre aux objectifs du projet ATRE, mais la qualité des informations peut s'avérer faible, spécialement pour les bâtiments d'avant 1975, car la classification ne prend pas en considération les types locaux. D'autre part, la nomenclature 123 Réno bénéficie de données plus fiables, mais elle s'avère compliquée à mettre en place dans le cadre d'un atlas.

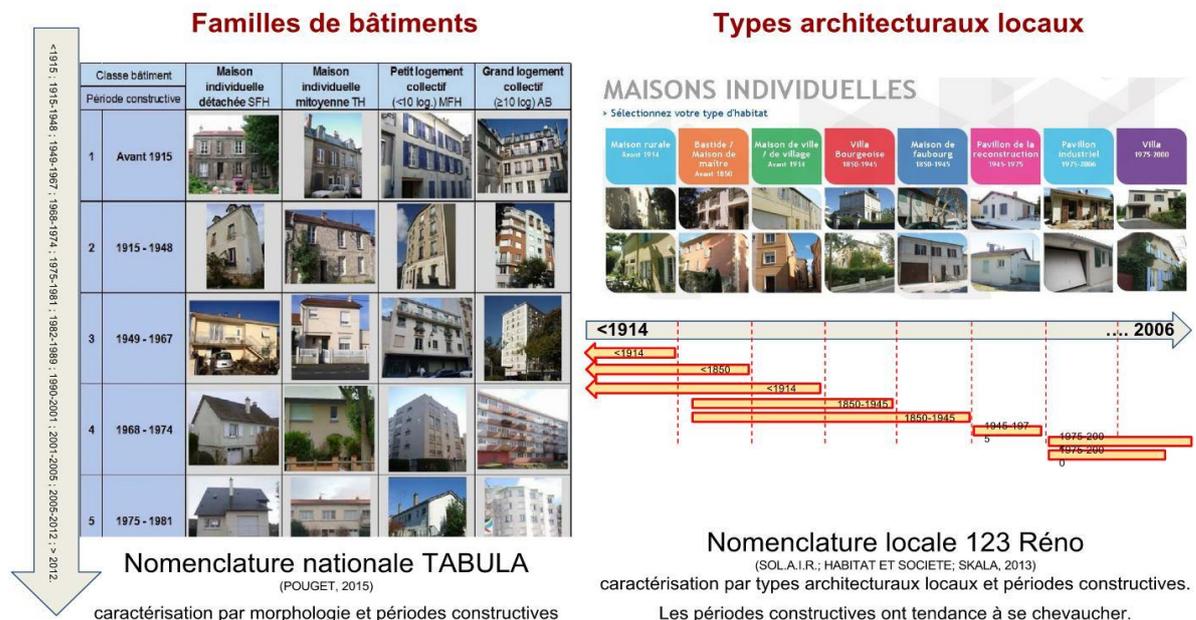


Figure 19. Comparaison des classifications par périodes constructives et famille de bâtiment dans TABULA et 123 Réno

Quoi qu'il en soit, nous ne pouvons pas proposer l'élaboration d'un bilan énergétique valide fondé sur des types de bâtiments issus de l'analyse d'un seul édifice. Pour pallier cette difficulté, l'idée consiste à passer d'une typologie figée à une typologie évolutive puisqu'étant amenée à être affinée. Au fur et à mesure que des bâtiments seront étudiés en détail (par un travail de terrain), ils permettront d'améliorer la "qualité" de l'atlas et pourront affiner la qualité et la pertinence des informations de

chaque type. Dans un premier temps des informations seront saisies à grande échelle, mais avec un niveau de définition faible, puis dans les zones à enjeux la définition sera plus importante et les "relevés de terrain" seront nécessaires.

Un autre point important est à relever à propos des nomenclatures. Il concerne la définition des dates de début et de fin d'une période constructive. Nous sommes conscients que la modification des techniques et styles constructifs se fait progressivement selon un processus "d'extinction et d'apparition" des types comme le montre la figure ci-dessous.

Un affinement pourrait se faire soit à travers des analyses statistiques pour avoir des résultats à grande échelle, soit à travers des campagnes de terrain, permettant de disposer de résultats plus précis.

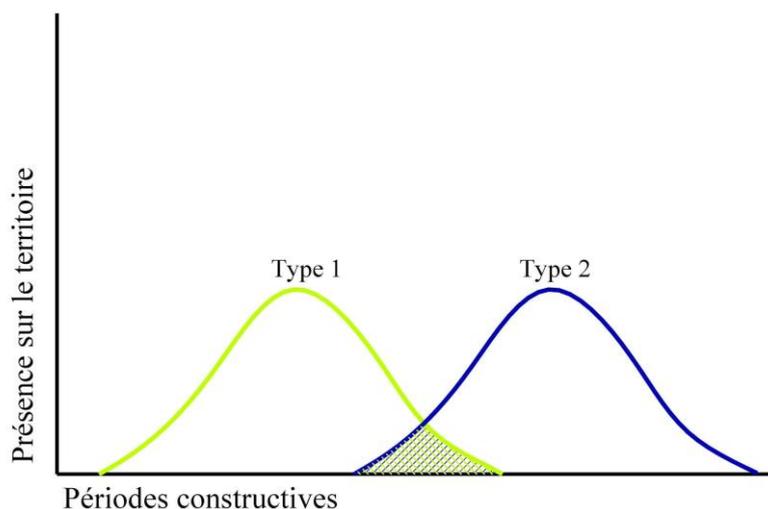


Figure 20. Processus "d'extinction et d'apparition" des types sur le territoire

### 2.3.5. Identification des types pour chaque édifice sur le territoire

Nous avons formulé une première hypothèse sur la manière dont les bâtiments seraient reconnus sur le terrain et identifiables par types en faisant jouer le recours à des nomenclatures nationale et locale. Les questions méthodologiques seront étudiées en détail durant la tâche 2 de la recherche.

Nous nous appuyerons sur des bases de données géolocalisées, qui nous permettront d'identifier la géométrie de chaque bâtiment sur le terrain, sa localisation, forme, altimétrie et la hauteur. La base de données MAJIC (fichiers fonciers (Rutkowsky *et al.*, 2016)), dont la qualité des données doit être évaluée avec attention, servira à recueillir des informations sur la date de réalisation des bâtiments.

Notre objectif est d'assigner un type de manière la plus automatique possible. Appliquer les types TABULA serait, évidemment, la solution la plus simple. À travers la géométrie des bâtiments (taille, nombre d'étages, ...etc), le nombre de logements (fichiers fonciers) et la date de réalisation des bâtiments, nous pourrions couvrir un vaste territoire de manière semi-automatique.

Il est donc envisageable dans un premier temps d'utiliser une nomenclature basée sur la simple date de réalisation de l'édifice (TABULA) sur l'ensemble d'un territoire.

Dans un second temps, les zones où les relevés de terrain permettent de faire ressortir les caractères architecturaux des bâtiments, il serait possible de préciser les types en passant par une nomenclature de type locale comme celle utilisé par 123 Réno.

Comme l'indique la figure suivante, chaque édifice est décrit avec TABULA et ensuite avec 123 Réno pour une approche locale plus détaillée. Les caractéristiques typologiques pourraient être conservées simultanément dans les bases de données produites.



Nomenclature nationale - TABULA

Nomenclatures locales

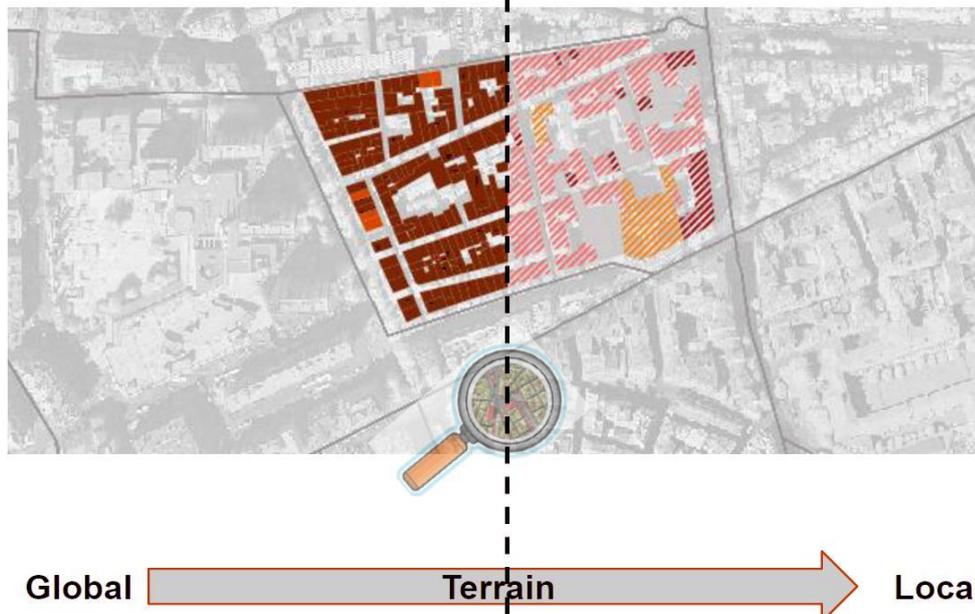


Figure 21. Passage entre nomenclature TABULA et 123 Réno et affinement du diagnostic.

L'utilisation d'une nomenclature "locale" suppose que dans chaque région où l'atlas se développe en France dispose d'une nomenclature locale. Ce problème est partiellement résolu ou en phase de l'être, car les nomenclatures locales sont de plus en plus utilisées et créées par les acteurs de la rénovation énergétique comme outil d'exploration et d'analyse d'un territoire.

Reste à résoudre la problématique de l'assignation des bâtiments des types locaux. Une bonne partie des bâtiments pourraient être identifiés grâce aux informations dont nous disposons : géométrie, datation, usage, ... etc. L'analyse d'autres sources de données spatiales telles que les cadastres anciens (exemple du cadastre napoléonien) pourrait aider à lever certains doutes quant à cette affectation. Il reste tout de même un certain nombre de bâtiments dont l'assignation d'un type précis reste douteuse.

La solution la plus précise serait de relever tous les bâtiments douteux, mais cela reste difficilement applicable sur un vaste territoire.

Une autre solution consisterait à réaliser un atlas dynamique et évolutif. Faisant l'hypothèse qu'il est difficile de réaliser le relevé de l'ensemble des bâtiments d'un grand territoire, nous pensons qu'il serait possible de réaliser un atlas en partant des informations présentes sur une typologie nationale telle que TABULA. Cet atlas pourrait renseigner un grand territoire de manière quasi automatique. Puis, un travail de terrain complémentaire permettant d'affiner l'assignation de types locaux rendrait le diagnostic énergétique de plus en plus précis. De cette manière, il s'agira de créer un effet de zoom en utilisant des informations plus précises, qui contribueront à améliorer le diagnostic.

## 2.4. Précision, qualité et disponibilité de la donnée

Face à l'objectif de produire un diagnostic territorial, il convient de situer la qualité des données existantes ou que l'on peut récolter face aux moyens techniques, humains et financiers mobilisables.

Rappelons tout d'abord qu'il ne s'agira pas dans un atlas tel que celui envisagé de produire un diagnostic détaillé pour chaque édifice résidentiel, mais de réaliser un diagnostic approché pour chacun d'eux de façon à pouvoir, par agrégation, produire une cartographie des gisements de rénovation à l'échelle territoriale.

En ce qui concerne la collecte des données, l'étendue des territoires concernés nous conduit à proposer une méthode d'approche qui échelonne les diagnostics, du plus approximatif, mais étendu sur d'importantes superficies territoriales, au plus détaillé et plus juste mais réservé à des zones à enjeu de superficies limitées ou des édifices particuliers. Les diagnostics approximatifs sont construits sur peu de données et des données approchées, les diagnostics détaillés sur des données recueillies à l'édifice, en particulier sur site.



Face à l'abondance de données dont on dispose aujourd'hui, en particulier dans les bases de données publiées, et éventuellement dupliquées dans différentes bases, et inversement face au manque de certaines données, nous devons faire la part entre les données incontournables dans la réalisation du diagnostic, et d'autres qui peuvent être considérées comme souhaitables ou négligeables, selon leur pourcentage d'effet ("sensibilité") en terme d'apports ou de déperditions<sup>42</sup>. L'étude ou le choix d'une hiérarchisation des paramètres permettrait de mettre en œuvre l'atlas de façon progressive.

De plus, si notre approche propose de réaliser un bilan de chaque édifice, ce n'est que le moyen mis en œuvre en vue d'agglomérer ces résultats sur des ensembles bâtis, ou sur la base d'un carroyage du territoire (par unités de 200mX200m par exemple). Il s'agit de gommer les imprécisions des bilans réalisés à l'édifice, irrecevables pour un non-expert. Le périmètre de ces ensembles pourra être déterminé sur des critères décisionnels.

## **2.5. Méthode et hypothèses de calcul**

L'étude bibliographique concernant les méthodes de calcul montre qu'un certain nombre de contraintes et limites liées à la modélisation sont nécessairement à prendre en compte dans la perspective de la mise en place d'une démarche d'élaboration de diagnostics énergétiques fiables. En considérant que la modélisation systématique bâtiment par bâtiment couplée à un outil SIG est l'approche la plus à même de répondre à la problématique d'un atlas exploitable à différentes échelles spatiales, deux catégories de contraintes ayant une incidence sur la finesse des diagnostics doivent être prises en charge. La première concerne le choix des outils de calcul et leur capacité à traiter la complexité du comportement thermique spécifique de certains bâtiments anciens. La seconde est relative aux données à mobiliser permettant de prendre en charge cette complexité lors de la simulation énergétique.

### **2.5.1. Outils et méthodes de calcul susceptibles de répondre à l'élaboration d'un atlas**

Les outils dynamiques réputés pour leur capacité à simuler de manière fine le comportement thermique et les consommations énergétiques des bâtiments demeurent exigeants en termes de niveau de détail et en temps de calcul. Il n'est donc pas envisageable de les utiliser pour une évaluation de masse. En revanche, la modélisation faite à partir de bilans thermiques simplifiés nécessitant moins de paramètres se prête plus à une approche systématique sur un vaste territoire. Cependant, une certaine vigilance s'impose quant à la validation des résultats issus de cette méthode lorsqu'il s'agit de modéliser des bâtiments anciens.

Dans la mesure où les bâtiments construits avant 1948 sont ceux qui sont les plus difficilement appréhendables par les outils de calcul simplifiés, il conviendrait de contourner cette limite en adoptant un protocole de validation qui ferait intervenir la STD ou la mesure in-situ sur des édifices représentatifs. Cela permettra de définir des critères d'ajustement applicables aux bilans par type de bâtiment.

### **2.5.2. Données pertinentes et hypothèses de modélisation**

En vue d'une estimation énergétique par édifice, le recours aux méthodes simplifiées, nécessite l'utilisation de paramètres de diverses natures : géométrie, contexte, performance de l'enveloppe, équipements techniques, scénarios d'utilisation, taux de rénovation. Certains de ces paramètres peuvent être déduits de manière implicite ou directement évalués à partir de l'exploitation de données disponibles. C'est le cas :

De la caractérisation géométrique de chaque bâtiment qui peut être obtenue grâce à l'analyse des données spatiales que permet le recours à un outil SIG. Les paramètres géométriques pertinents et appropriés à une modélisation simplifiée (surface d'enveloppe et de plancher, hauteur, volume,

---

<sup>42</sup> La qualité des diagnostics qui seront réalisés peut être rapprochée du concept de tolérance. La tolérance dépend de l'échelle de travail et de représentation des résultats.





zones choisies pour réaliser le bilan des édifices, en tenant compte cependant des milieux voisins qui peuvent influencer leur microclimat. Plus que des évaluations précises, et considérant son état de développement, la méthode LCZ doit être considérée comme un moyen de mettre en valeur le rôle des facteurs morphologiques, de surface et anthropiques, sur les écarts de température observables le jour/la nuit, en été/en hiver entre milieux de différentes classes, et donc d'en estimer les conséquences correctives sur le bilan apport/déperdition.

Ceci nécessitera la constitution d'une base de données d'occupation du sol, même si celle-ci a déjà été réalisée pour une partie du territoire de MP (Autran *et al.*, 2014). Il serait possible d'utiliser les outils proposés par WUDAPT pour réaliser cette base de données en utilisant le logiciel SAGA pour une interprétation 1/2 automatique d'images Landsat. Les outils qui seront proposés en libre accès à l'issu de l'étude MAPUCE pourraient également être employés.

Nombre des caractéristiques associées à chaque classe non seulement influent sur la température extérieure, mais permettraient aussi, en première approche, de caractériser d'autres facteurs, comme les ombres portées par les masques environnants sur les enveloppes des édifices, la végétalisation, etc. La caractérisation en LCZ peut donc avoir un spectre d'utilisation plus large que la stricte ambiance thermique.

Disposant d'une géométrie 3D des édifices et de leur contexte, ainsi que d'autres bases de données, des logiciels de simulation (tels que Skyhelios, SAGA, etc.) et des interprétations visuelles ou (1/2) automatiques nous permettront d'obtenir des caractéristiques plus détaillées (évaluation du SVF en différents points des façades, nombre d'heures d'ensoleillement, etc) que l'approche LCZ.

## 2.7. Alimentation et mises à jour de l'atlas (atlas dynamique, prise en compte des opérations de rénovation)

La prise en compte de la dimension évolutive du territoire constituera l'une des particularités originales du projet ATRE, en comparaison d'approches similaires dont nous avons pu avoir connaissance.

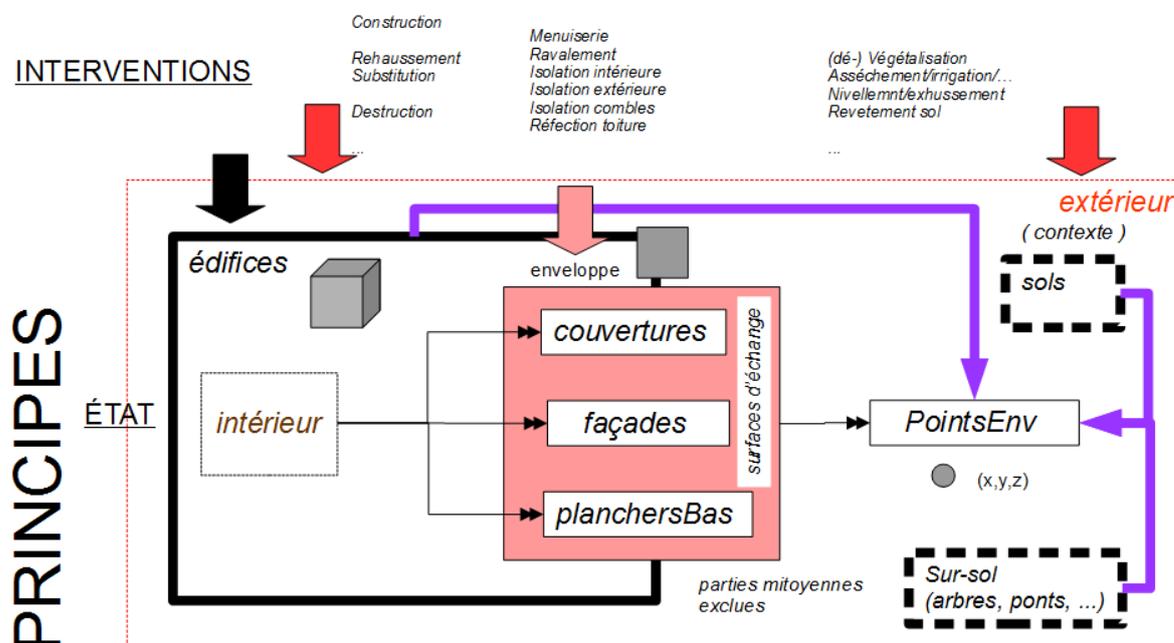


Figure 23. Les interventions et leur impact sur les édifices, leur enveloppe et leur environnement.

Dans le cadre du volet technique du projet ATRE, nous considérons l'enveloppe des édifices (façades, couvertures, planchers bas). Ce sont ces éléments qui permettent d'évaluer les apports et déperditions et de calculer un bilan de l'édifice.



À quel état correspondent les bilans réalisés ? À l'état à l'issue de l'intervention la plus récente, à l'état à la date d'analyse de la zone d'étude ou à l'état d'origine ?

Ce sont ces éléments qui doivent être qualifiés dans leur évolution, soit par vieillissement, soit parce qu'ils ont été l'objet d'interventions<sup>43</sup>. Il s'agira de considérer seulement les interventions différenciant l'édifice du type auquel il appartient, qui ont un impact sur le bilan. Il en est de même pour l'impact du contexte environnant l'édifice sur son enveloppe (masques, mitoyenneté par exemple).

La fréquence supposée des interventions sur les enveloppes et sur le contexte est variable, de même que leur vieillissement peut être plus ou moins rapide. Une fréquence forte peut conduire à réaliser un véritable suivi historique et choisir la solution consistant à dater les objets, alors qu'une fréquence faible pourrait se suffire d'actualisations plus espacées, sous forme de zones d'études millésimées.

- Dans une approche "par millésimes", une date d'actualisation permettrait de spécifier la date de saisie de la version mise à jour de la zone d'étude. Un protocole pourrait définir les périodes d'actualisation : grandes opérations de rénovation, de densification, d'extension urbaine, construction d'ensembles immobiliers, etc.
- Une approche plus globale, fondée sur l'estimation des opérations de réhabilitation réalisées sur chaque type d'édifices (RAGE, 2012), pourrait être mise en œuvre non pas lors de la description de l'atlas, mais lors de son exploitation : chaque sous-ensemble d'édifices de même type d'une zone d'analyse pourrait alors être doté d'un quota d'édifices rénovés, les édifices de l'atlas étant décrits dans leur état d'origine. Un pourcentage d'édifices rénovés peut s'appliquer sur l'ensemble du territoire, ou à des zones d'étude locales. Ce taux est soumis à des variations géographiques (climat, revenus, etc.). Un taux par type d'édifices serait consultable pour estimer le taux sur une zone d'étude.

Dans l'optique d'une approche mixte (interventions décrites ou pas), le taux serait appliqué uniquement au sous-ensemble des édifices "sans intervention".

Une première version de l'atlas ne comporte que la description des interventions ayant eu lieu avant analyse de la zone d'étude, sans l'historique, ni ses "effets", mais décrivant uniquement un état des zones d'études au moment de leur création ou de leur actualisation.

Afin que l'atlas réalisé soit conforme « en permanence » à la réalité, il conviendrait d'enregistrer ces modifications (la mise à jour régulière des bases de données utilisées comme sources d'information, les évolutions constatées sur le terrain rendent compte de ces transformations), et alors recalculer les déperditions et les apports aux édifices environnants.

Face à la complexité qu'ajoute cette dimension historique et à la difficulté de sa mise en œuvre et de son exploitation, faut-il par mesure de simplification, élaborer un atlas décrivant un état à l'instant T, quitte à mettre à jour régulièrement les zones d'étude, ou bien élaborer un atlas intégrant une description de l'évolution des édifices et de leur contexte<sup>44</sup> ? Cette dernière solution permet de connaître et d'analyser l'évolution des zones d'étude considérées, et en particulier d'évaluer l'effet de politiques de réhabilitation conduites dans des périodes déterminées.

De même, si une typologie basée sur des connaissances scientifiques est a priori stable, elle peut évoluer sur des éléments incertains qui peuvent être ajustés par confrontation avec un nombre suffisant de cas réels : il en est ainsi des typologies retenues, dont le nombre de cas de validation paraît insuffisant. L'usage de l'atlas et son actualisation permanente lors d'opération de rénovation devrait permettre de faire évoluer les caractéristiques typologiques, dans le sens d'une meilleure qualité. L'évolution de ces caractéristiques devrait être répercutée sur la base de données décrivant les édifices dans le sens de son actualisation. Ainsi la qualité des diagnostics réalisés devrait évoluer avec l'exploitation de l'atlas.

## 2.8. Précision et qualité du diagnostic

C'est de cette qualité que découlera la crédibilité des bilans présentés dans l'atlas et communiqués aux décideurs.

---

<sup>43</sup> Par souci de simplification, nous intégrons sous le terme d' « interventions » le vieillissement des composants d'enveloppe.

<sup>44</sup> En d'autres termes, plusieurs versions se succèdent, ou bien une version initiale accompagnée de ses transformations successives, permettant de reconstituer des états successifs.



La fiabilité et la crédibilité de l'atlas devra être mesurée afin d'éviter tout malentendu lors de son interprétation. Les processus de prise de décision devront inclure le côté « hypothétique » des diagnostics élaborés, impliquant une prise de risque. Par ailleurs, afin de limiter les erreurs d'interprétation, les futurs utilisateurs devront disposer du même « cadre de référence »<sup>45</sup> que celui des acteurs élaborant le diagnostic.

Nous nous réservons la possibilité de réaliser les premiers diagnostics de façon très approchés, puis d'en affiner peu à peu la réalisation tout au long du travail de recherche, grâce à une conception modulaire de l'atlas. En effet, les outils utilisés (les typologies (chaque type est un indicateur agrégeant des caractéristiques plus détaillées), les procédures de simulation, etc.) pourront évoluer dans le temps de notre recherche, ou lors de l'exploitation de l'atlas en permettant ainsi d'améliorer les diagnostics produits.

Pour le suivi de l'évolution des territoires en matière de travaux de rénovation et donc d'économie d'énergie, l'agrégation de données détaillées permettra de produire des indicateurs plus généraux lors de l'établissement de bilans d'opération.

## 2.9. Outils numériques utilisés et modèles de données

### 2.9.1. Systèmes d'information Géographiques (SIG)

Le projet ATRE, pour ce qui est des SIG, doit être considéré sous 2 angles : l'élaboration de l'atlas des gisements de rénovation ; l'exploitation de cet atlas, en lien avec les PTRE et les acteurs de la rénovation. Dans l'un et l'autre cas, le SIG peut être considéré comme un outil fédérateur, permettant de rassembler autour d'une même maquette numérique représentant les édifices résidentiels et leur contexte, les différents opérateurs de la rénovation, les partenaires de ce travail de recherche. La cartographie dans le projet ATRE sera utilisée pour constituer en premier lieu une base numérique centrée sur les édifices résidentiels.

L'atlas visé est plus qu'un ensemble traditionnel de cartes de mêmes thématiques sur une série de lieux. C'est un véritable système d'informations renseignant les édifices et leur bilan énergétique qui permettra :

- de rassembler les données existantes et pertinentes (volumétrie, hauteurs, âge de la construction, etc.),
- de supporter les observations ou relevés de terrain réalisés in ou ex-situ (accès à Google street view, Bing bird eye's, etc.) (type bâti, travaux réalisés, présence d'espaces ouverts en RDC, ....),
- d'inscrire les interprétations réalisées (PIAO à partir de photos aériennes, cartes anciennes, classification du contexte en LCZ ; estimation des ombres portées ; etc.), et de réaliser des analyses spatiales (densité du bâti, période de construction, etc.) ou morphologiques (compacité du tissu, des édifices, etc.).

Les échelles de caractérisation iront du zonage à grande échelle permettant la caractérisation d'espaces urbanisés homogènes (approche du contexte) à l'édifice (et son enveloppe) caractérisé par leurs attributs propres (type, compacité, exposition, etc.).

Une fois les bilans réalisés et rattachés à chaque édifice des analyses spatiales faisant intervenir en particulier les relations spatiales entre édifices permettront de mettre en valeur des gisements de rénovation (concentration spatiale de gisements d'économie d'énergie et de travaux) supportant la prise de décision. L'atlas pourra être mis en communication avec les PTRE. Les édifices faisant l'objet de projets de rénovation seront enrichis de caractères plus détaillés et de diagnostics plus poussés. Le SIG mis en place, grâce à son caractère pérenne, pourra servir d'outil de suivi des opérations de rénovation et participera à l'évaluation des politiques conduites.

Le projet ATRE sera construit sur la base de l'utilisation du logiciel QGIS et de ses extensions.

---

<sup>45</sup> Le cadre de référence est constitué de l'ensemble des connaissances d'un agent. La communication entre agents est d'autant meilleure qu'ils possèdent une cadre de référence commun (Devillers *et al.*, 2004).



L'exploitation de toutes les sources de données numériques existantes et disponibles est donc à envisager en priorité ; celles-ci seront complétées par des données observées ou mesurées sur le terrain ou toutes informations issues d'autres sources, y compris des habitants. Les bases de données spatiales utilisées seront choisies avec un souci de répliquabilité nationale. Compte-tenu du domaine d'étude du projet ATRE et de l'échelle d'analyse envisagée (25.000 au 1000<sup>ème</sup>) le choix des sources de données et des données pertinentes à exploiter dans ces sources sera réalisé en examinant leur pertinence, leur échelle (qualité), leur actualité, le type d'usage envisagé (comme fond, comme donnée, ...), leur disponibilité (couverture, secret statistique, accessibilité, coût).

D'autres logiciels (en particulier les outils de simulation) seront employés en liaison avec QGIS afin de compléter ses capacités de traitement. Les relevés et observations de terrain pourront être réalisés par exportation/importation sur/de dispositif nomade.

### **2.9.2. Modèles de données: City Information Modeling - Building Information Modeling (CIM, BIM)**

Le projet ATRE se déroule dans une optique de partage et de mutualisation des projets de rénovation entre différents acteurs: doit-on adopter les standards aujourd'hui proposés de représentation et à quels niveaux de détail ?

L'interopérabilité est présente dans le projet : dans la mise en œuvre finale des PTRE (échange entre acteurs), mais aussi dans l'élaboration de l'atlas (échange de données entre bases de données spatiales gérées grâce à QGIS et des applicatifs spécialisés (exemple : Skyhelios (Matzarakis, 2011), T4SU/SKETCHUP (Hartwell *et al.*, 2016) ; échange entre les partenaires du projet dans le sens d'une co-construction des méthodes et outils d'élaboration de l'atlas et sa réalisation sur des secteurs échantillons ; entre les services dans le sens d'une co-construction de l'atlas). Il s'agit donc d'un partage lors de la consultation de l'atlas, mais aussi lors de son actualisation.

Les échelles de description s'échelonnent des édifices considérés individuellement aux grands territoires étudiés. À l'échelle des édifices, nous avons choisi, en ce qui concerne l'élaboration d'un diagnostic énergétique approché, de ne pas aller plus en détail que la caractérisation de l'enveloppe (façades, couverture, plancher bas) des édifices, sans en décrire (en tant qu'objets) les composants (baies, menuiseries, etc.)<sup>46</sup>. Le choix de cette échelle limitée est dicté par l'étendue des territoires considérés<sup>47</sup>. L'exploitation des PTRE, qui devrait conduire à la réalisation de diagnostics détaillés, à l'étude et la mise en œuvre de projet de rénovation énergétique à l'échelle de chaque édifice et de ses logements (isolation thermique, modification des équipements, disposition de masques, etc.), pourrait faire évoluer la description de certains des édifices vers les niveaux de définition les plus détaillés (LOD 4, IFC).

L'approche SIG permet d'envisager la mise en œuvre d'un outil partageable et pérenne. L'usage d'un SIG permet de fédérer de multiples sources de connaissances sur le bâti et son environnement, de nature diverse (physique, climatique, sociologique, etc.) déjà existantes (recensement INSEE, fichiers fonciers (Rutkowsky *et al.*, 2016), occupation des sol, cartographie historique, etc.) ou produites lors de l'analyse (relevés et observations de terrain, compacité du bâti, exposition des façades, etc.). En partageant des modes de structuration de données géométriques et attributaires communs, et des formats d'échange standards, les SIG offrent aujourd'hui un support à l'interopérabilité.

### **2.9.3. 2D versus 3D**

Comme précisé plus haut, les objets choisis sont les édifices (résidentiels) et leur enveloppe. Doit-on disposer d'une représentation géométrique en 3D de ces objets ? Qu'apporterait cette géométrie en comparaison d'une représentation en 2D (cartographie), compte-tenu de la difficulté aujourd'hui à disposer de données 3D sur l'ensemble des territoires envisagés, du poids des fichiers manipulés et compte-tenu également des limites des logiciels existants (SIG 3D) en termes de performances et de fonctionnalités ?

---

<sup>46</sup> Ce qui correspond au niveau LOD 1 dans CityGML.

<sup>47</sup> Le périmètre de Marseille Provence comporte environ 300.000 corps de « bâti indifférencié » (BD TOPO de l'IGN).



Aujourd'hui, outre l'absence de véritables SIG 3D, l'absence d'un référentiel 3D national (du type BATI3D de l'IGN<sup>48</sup>) ne nous permet pas, compte-tenu de l'objectif de réplication nationale, d'envisager une solution 3D.

Cependant, afin de pouvoir mettre en œuvre des procédures automatiques de calculs de certaines des caractéristiques utiles à l'élaboration du diagnostic (durée d'ensoleillement par exemple), nous avons besoin d'une connaissance de la volumétrie des édifices, de leur voisinage, .... Par ailleurs, la visualisation de maquettes urbaines en 3D permet de mieux apprécier que par la visualisation cartographique certains caractères comme la densité (la volumétrie en étant l'une des composantes), les surfaces d'échange (enveloppe), etc.

Les données nécessaires peuvent être extraites d'un certain nombre de bases de données dont la couverture est nationale : en particulier la BdTopo IGN, les MNT (sol) - MNS ou MNE (sol et sursol (bâti, végétation)) (IGN, Litto3D, bases locales (urbaines, départementales, etc.)).

Nous fonderons la maquette numérique partagée dans le cadre de l'élaboration de l'atlas sur la BdTopo de l'IGN. Elle sera ainsi constituée principalement par la description géographique des édifices résidentiels (partie de la classe « Bâti indifférencié »). Cette maquette sera en 2D, les édifices étant dotés d'attributs altimétriques (Z et H) permettant la production par extrusion d'une maquette en 2D1/2 (grâce à QGIS2threejs<sup>49</sup>) exploitable en visualisation et consultation d'attributs (Figure 23) ou, via des applications de simulation externes, pour réaliser des calculs (ex. SVF, masques, ombres portées ; utilisation des outils de simulation TOWNSCOPE, SKYHELIOS (Matzarakis,2011), SOLENE et T4SU/SKETCHUP (Hartwell *et al.*, 2016).



Figure 24. Une zone d'étude et son environnement - Maquette 2D1/2 produite par QGIS2threejs.



<sup>48</sup> Voir les tests réalisés sur BATI3D dans le cadre de MP (MEO, 2015).

<sup>49</sup> Plugin QGIS permettant la génération de fichiers en format HTML, COLLADA (standard ouvert en xml (sketchup, google earth, 3Dstudiomax, etc.)), WAVEFRONT (.obj), STL (pour impression 3D).



Figure 25. Facteur de vue du ciel, calculé grâce à la transmission à SKYHELIOS de l'ensemble des édifices étudiés et de leur contexte.

La réalisation de l'atlas et la communication du diagnostic approché se suffit donc d'une représentation des édifices en 2D. Cependant, et dans l'optique d'un enrichissement ultérieur, en particulier à l'occasion de la réalisation de rénovations et de diagnostics plus précis, qui nécessiteraient une représentation géométrique détaillée des édifices, il paraît à terme nécessaire, et dans le cadre d'une approche « CIM-BIM », d'évoluer dans le sens de la production d'une maquette 3D partageable par l'ensemble des opérateurs. Il nous paraît enfin essentiel de bien distinguer les besoins en géométrie 3D en vue de simulations physiques et ceux en vue de produire une représentation visuelle.

### 3. Caractéristiques du parc résidentiel à l'échelle du territoire étudié

Le territoire Marseille Provence (MP = ex communauté urbaine MPM) est aujourd'hui l'un des 6 territoires de la métropole. Il compte plus d'un million d'habitants (21% de la population régionale) pour plus de 350.000 résidences principales privées (i.e. hors HLM). Caractérisée par une densité dix fois supérieure à la moyenne régionale, MP présente des typologies économiques, énergétiques et sociales très particulières, marquées par une forte présence de logements anciens, de logements collectifs et de ménages en situation de vulnérabilité sociale, financière et énergétique.

Responsable du quart des consommations d'énergie primaire du territoire communautaire, ce parc résidentiel constitue alors un gisement important d'économies et d'activité au regard de ses besoins comme des objectifs territoriaux : plus de la moitié des résidences principales privées ont été achevées avant toute réglementation thermique engageante et disposent d'un chauffage individuel, soit plus de 190.000 logements. Une intervention massive sur ce parc de logements au caractère énergivore marqué permettrait d'économiser près de 3.600 GWh d'énergie primaire correspondant à près de 80% de l'objectif communautaire 2020, fixé dans le PCET, tous secteurs confondus. Ces travaux génèreraient dans le même temps plus de 7 milliards d'euros d'activité directe, en majeure partie non délocalisable et source de retombées économiques locales importantes.

En ce sens, la massification du marché de la rénovation requiert une visibilité qualitative et quantitative réciproque de l'offre et de la demande.

Dans ce contexte l'ALEC a mis en place la Plateforme Territoriale de la Rénovation Énergétique de l'Habitat (PTRE) afin de développer des vecteurs de communication et d'animation adaptés, mettant en avant des valeurs de bien-être, de confort, de plaisir, de simplicité, de transparence et de proximité.

C'est adossé à ce travail que s'inscrit le projet ATRE afin d'alimenter le ciblage géographique, social et énergétique précis pour identifier et caractériser les zones à enjeux de ce territoire.

Parallèlement à cela et fortement mobilisés sur ces thématiques habitat, énergie et activité économique, les structures institutionnelles, leurs opérateurs et leurs réseaux disposent d'outils et de compétences importantes, catalyseurs de ces dynamiques territoriales. Leur visibilité, leur articulation et leur coopération est donc centrale afin de répondre précisément et efficacement aux besoins des particuliers, aux attentes des professionnels et aux objectifs territoriaux.

Avant de pouvoir penser l'architecture de l'Atlas à venir, il est primordial de connaître et maîtriser les enjeux du territoire au regard des problématiques *habitat* et *énergie*. Ce travail a été amorcée dans le cadre de la caractérisation du territoire produite par l'ALEC en 2014<sup>50</sup> et sera approfondi par le projet ATRE afin d'évaluer plus précisément la demande potentielle au travers des caractéristiques socio-énergétiques, architecturales et environnementales du parc de logements.

Le territoire Marseille Provence regroupe 18 communes et compte plus d'un million d'habitants. Elle s'étale sur une bande côtière de 600 km<sup>2</sup>. Il constitue un territoire atypique au regard des tendances régionales. Regroupant 21% de la population de la Région PACA, MPM n'occupe que 1,9% de la superficie régionale, faisant d'elle un espace extrêmement dense. Cette densité, dix fois supérieures

<sup>50</sup> ALEC MM – Méthodologie de caractérisation du territoire, Février 2015.

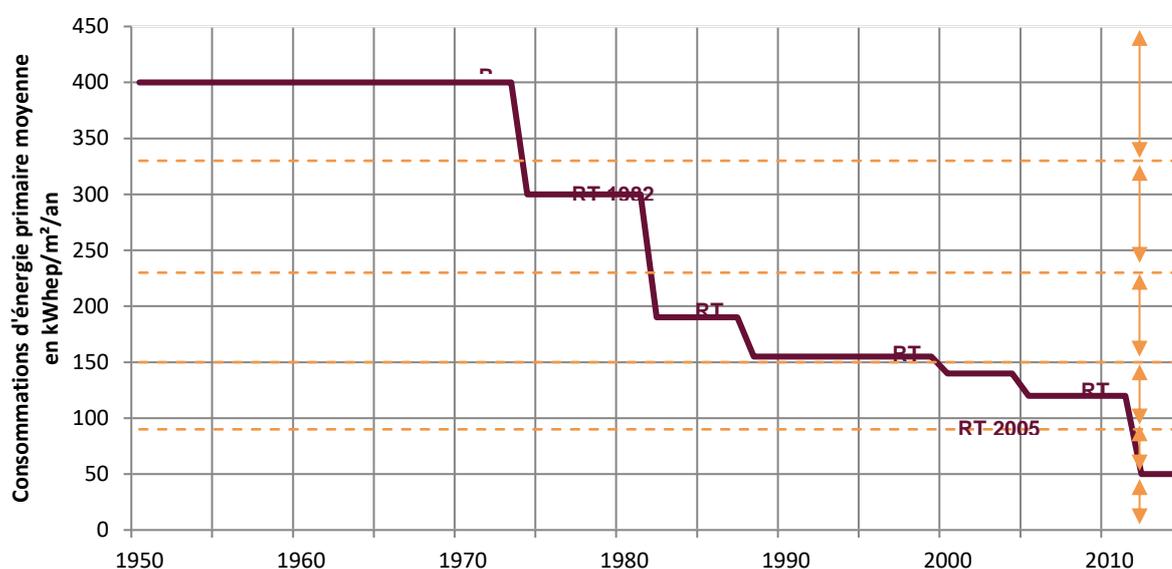


à la moyenne régionale, induit nécessairement des typologies économiques, énergétiques et sociales très particulières.

Le parc immobilier du territoire est à ce titre particulièrement représentatif de ce constat puisque sur les 514178 logements qu'il compte<sup>51</sup>, les trois quarts sont en habitats collectifs. Le poids du parc locatif y est très important et concerne plus de la moitié des résidences principales. Par ailleurs, les logements du territoire sont aux trois quarts âgés de plus de 40 ans (dont 31% construits avant 1949) et 35% disposent de moyens de chauffage tout électrique (contre 60% en chauffage central individuel ou collectif).

### 3.1. Période d'achèvement des logements

Ce paramètre essentiel s'analyse à la lumière des évolutions des principes et règles de construction depuis la Seconde Guerre Mondiale. En effet, il a fallu attendre le premier choc pétrolier pour que soit mise en place dans l'urgence la première réglementation thermique (ci-après désignée **RT**) en 1974. Seulement, ce n'est en réalité qu'après 1981 et la RT 1982 que la qualité thermique de l'enveloppe des logements a fait l'objet de règles plus engageantes.



Gaph. 4. Évolution des exigences des RT résidentiel dans le neuf en France<sup>52</sup>

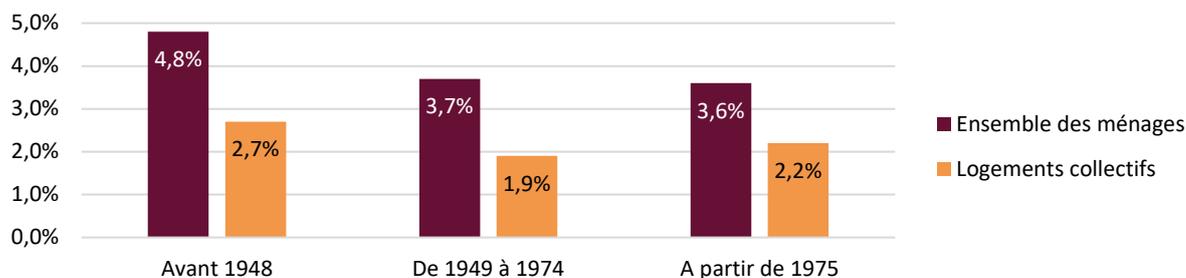
Les logements construits avant la réglementation thermique de 1982 disposent d'enveloppes insuffisamment étudiées au regard des déperditions et du confort thermique et sont à ce titre théoriquement considérablement plus énergivores que le parc plus récent. De plus, bien que des rénovations aient pu avoir lieu dans le temps, différents travaux de recherche montrent que la restructuration complète ou structurelle (amélioration de l'enveloppe, changement des systèmes de chauffage, etc.) des bâtiments construits avant les années 1980 est relativement exceptionnelle

À ces arguments s'ajoute une corrélation établie sur la base de données nationale par l'UFC-Que Choisir. Il ressort que les foyers vivant dans des logements plus anciens voient la part *énergie* peser plus dans leur budget :

<sup>51</sup> Recensement général de la population 2011, Insee, 2014.

<sup>52</sup> Le guide des solutions RT 2012, Union des Constructeurs Immobiliers de la Fédération Française du Bâtiment. Agence Locale de l'Énergie et du Climat de la Métropole Marseillaise, 2014.

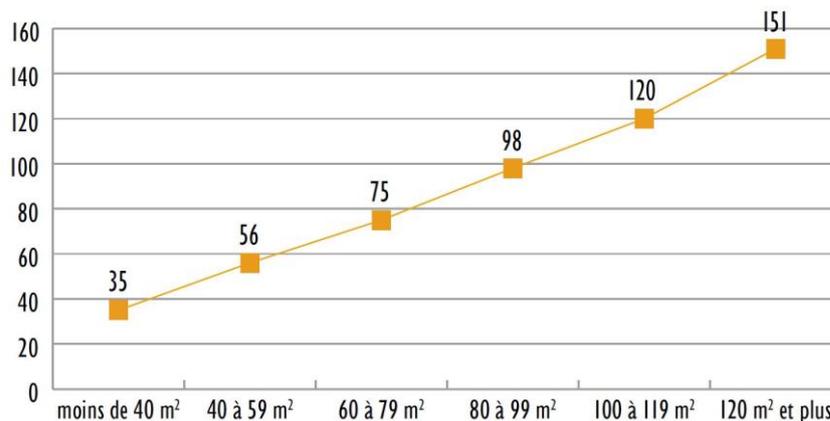




Gaph. 5. Part des dépenses d'énergie dans le revenu total des ménages en fonction de l'année d'achèvement du logement<sup>53</sup>

## 3.2. Surface du logement

Cette variable est déterminante dans la mesure où l'importance de la surface va engendrer, d'une part, une addition de systèmes de chauffage ou de climatisation (radiateurs, poêles, systèmes de ventilation, etc.) et d'autre part, un surcroît d'effort énergétique pour l'atteinte de la température de confort. Ainsi, la surface d'un logement a un impact direct sur la facture énergétique de ses occupants. Bruno MARESCA<sup>54</sup>, chercheur au CRÉDOC<sup>55</sup>, constate en s'appuyant sur les travaux du centre de recherche en la matière, qu'une hausse linéaire des consommations est observable au-dessus du seuil de 40 m<sup>2</sup>, linéarité d'autant plus forte en cas de chauffage électrique :



Gaph. 6. Facture d'énergie en fonction de la surface habitée (100 = dépense annuelle moyenne par ménage en 2006)

## 3.3. Profil de logement à enjeux énergétiques

### 3.3.1. Définition et analyse

<sup>53</sup> *Enquête nationale logement*, UFC-Que Choisir, 2006.

<sup>54</sup> La précarité énergétique pose la question du coût du logement en France, MARESCA Bruno, CREDOC, Mars 2013.

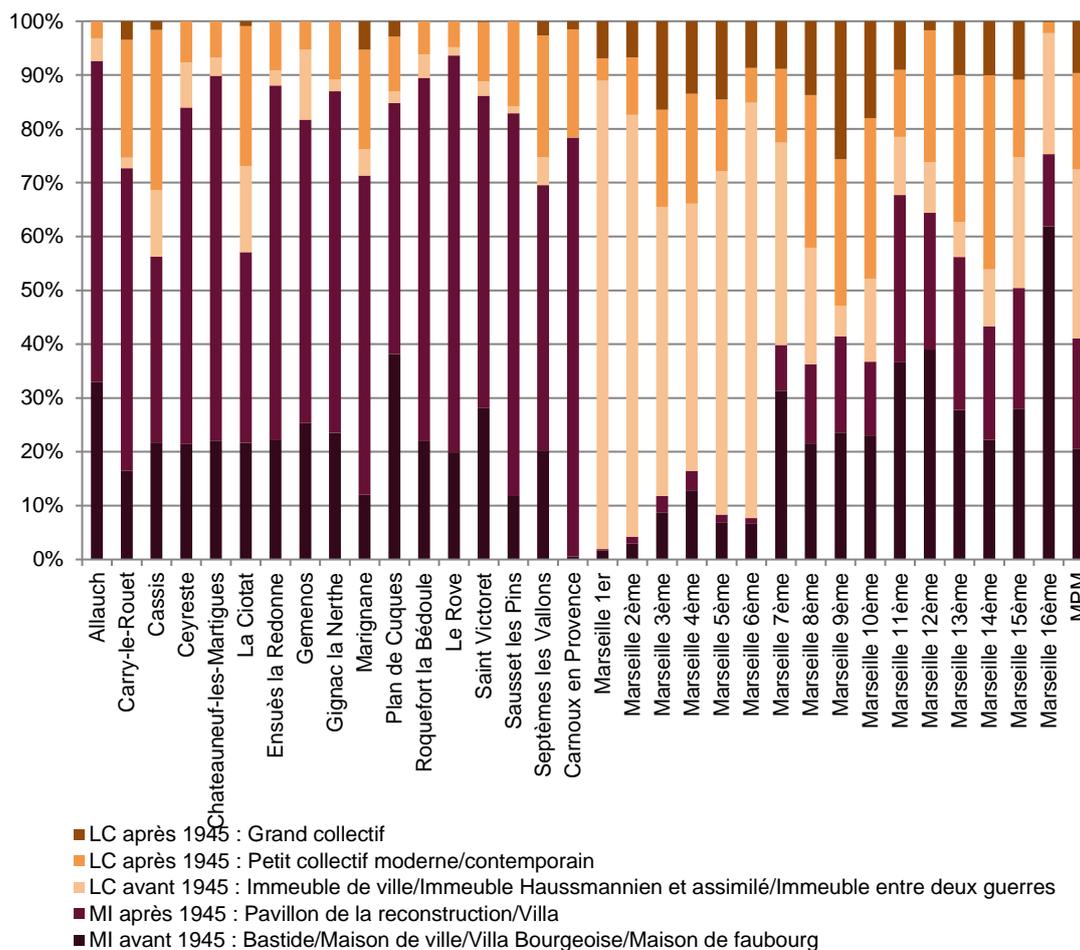
<sup>55</sup> Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observations des Conditions de Vie.



Ainsi et comme le soulignent les travaux<sup>56</sup> du CREDOC, « les facteurs qui expliquent le plus directement le montant de la facture [d'énergie des Français dans le logement] sont dans l'ordre : le système de chauffage (type d'appareils et d'énergie utilisés), la surface du logement, le type d'habitation individuelle ou collective et l'ancienneté du bâtiment ». Le croisement de ces variables apparaît donc essentiel dans le but de caractériser des sous-populations de logements supposés énergivores et présentant de forts enjeux socioéconomiques.

### 3.3.2. Analyse par typologies architecturales

Les travaux<sup>57</sup> menés par Energies Demain pour le compte de la CERC PACA et l'outil 1.2.3. Réno<sup>58</sup> permettent alors de compléter cette analyse en apportant des éléments de caractérisation des typologies architecturales des logements en question. Le parc de RP/HLM-81-IND du territoire se caractérise ainsi comme suit :



Graph. 7. Répartition typologique en consommation des logements en RP/HLM-81-IND.

Le poids important des MI en RP/HLM-81-IND en dehors de l'hypercentre marseillais est une nouvelle fois mis en évidence, au même titre que la quasi omniprésence de LC au sein de cet hypercentre. Il est alors intéressant de souligner la part non négligeable de typologies de logements datant d'avant 1945, particulièrement marquée toujours dans ce même hypercentre marseillais. Cette lecture insiste donc à nouveau sur la pluralité du territoire, pluralité à considérer dans le choix des terrains d'études et d'expérimentations.

<sup>56</sup> La précarité énergétique pose la question du coût du logement en France, MARESCA Bruno, CREDOC, Mars 2013.

<sup>57</sup> Potentiel d'économies d'énergie des bâtiments de la Région PACA, Energies Demain pour la CERC PACA, 2012. Travaux menés dans le cadre de l'élaboration du SRCAE de la Région PACA.

<sup>58</sup> Outil élaboré dans le cadre du projet stratégique européen MARIE par SOL.A.I.R., HABITAT ET SOCIETE, SKALA, la région PACA et l'Union européenne et accessible à l'adresse <http://www.123reno-med.eu>.



### 3.3.3. Caractéristiques sociologiques

Au-delà des considérations énergétiques, le territoire de MPM présente également de fortes disparités sociales, visibles au travers de plusieurs indicateurs tels que le revenu des ménages, l'éligibilité aux aides de l'Agence nationale de l'habitat (Anah), l'habitat indigne, le statut d'occupation ou encore la structure des ménages (taille, personnes âgées, types d'activité, etc.). A noter que ces données, détenues de manière éparse par l'Insee et par la Direction Générale des Finances Publiques principalement, ne peuvent pas systématiquement être croisées, pour des raisons d'échantillons statistiques différents.

L'Agam (Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise) met en évidence le fait que l'habitat indigne au sens du Parc Privé Potentiellement Indigne<sup>59</sup> (ci-après désigné **PPPI**) tel que défini dans le fichier FILOCOM est particulièrement représenté au sein du territoire, avec 12% des RP/HLM en 2011.

Le PPPI du territoire communautaire se caractérise alors par une présence importante de ménages très modestes habitant dans un bâti potentiellement médiocre ou délabré (12% du PPPI) : « La présence plus importante de logements appartenant au « noyau dur » s'explique par l'âge du parc. En effet, les logements de qualité médiocre et occupés par des ménages très modestes, sont plus représentés au sein du parc plus ancien » rappelle l'Agam.

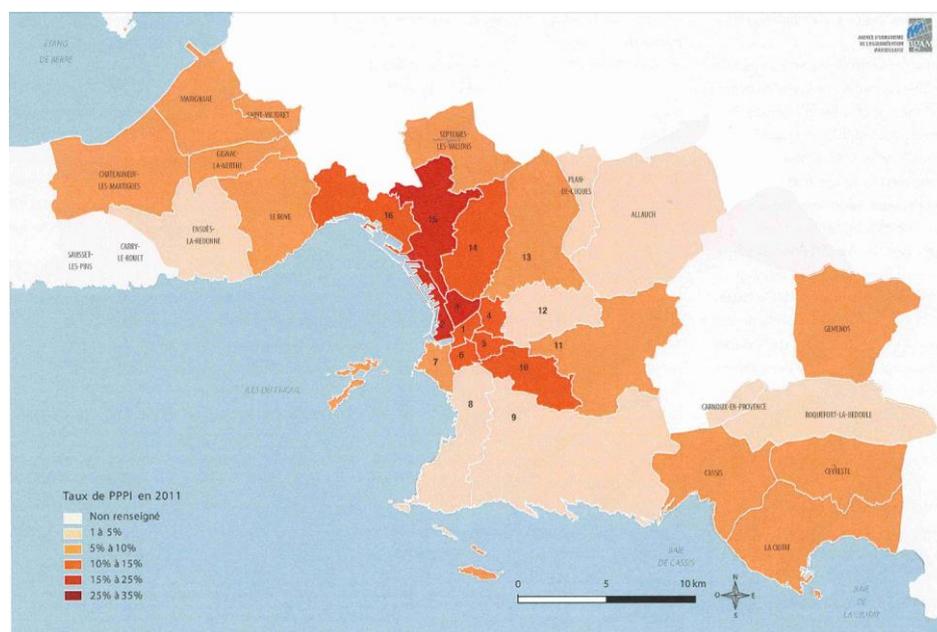


Figure 26. Taux de logements privés potentiellement indignes<sup>60</sup> en 2011

### 3.3.4. Mix énergétique du secteur résidentiel

Le secteur résidentiel, responsable de près d'un quart des consommations énergétiques du territoire<sup>61</sup>, constitue une cible privilégiée et essentielle des opérateurs énergétiques. L'électricité ayant le monopole en matière d'alimentation des postes *éclairage* et *autres matériels électroniques*,

<sup>59</sup> Le PPPI est composé de plusieurs catégories de : 1/ Celle pour laquelle le poids des faibles revenus des occupants est priorisé sur l'état de dégradation du bâti (RP/HLM de catégorie cadastrale 6). 2/ Celle pour laquelle le poids de la dégradation du bâti est priorisé (RP/HLM de catégories cadastrales 7 et 8). 3/ Celle dite « noyau dur » qui retient les RP/HLM les plus dégradés (catégories cadastrales 7 et 8) occupées par des ménages très modestes.

<sup>60</sup> Programme d'intérêt général de MPM, Préfiguration du deuxième PIG, Agam, Juin 2014.

<sup>61</sup> Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** situé p.13.



leur positionnement stratégique territorial repose alors dans une large mesure sur l'énergie de chauffage, poste énergétique principal des ménages. À ce titre, le parc de RP/HLM de MPM est dominé très largement par l'électricité et par le gaz de ville et de réseau :

RP/HLM	Chauffage urbain	Gaz de ville ou de réseau	Fioul (mazout)	Électricité	Gaz bouteilles / citerne	Autres (charbon, bois, etc.)
MPM hors Marseille	435	15 682	10 929	33 429	3 116	5 709
<i>Mix énergétique</i>	1%	23%	16%	48%	4%	8%
Marseille	6 557	126 147	25 267	130 893	3 216	8 813
<i>Mix énergétique</i>	2%	42%	8%	44%	1%	3%
<b>MPM</b>	<b>6 992</b>	<b>141 829</b>	<b>36 196</b>	<b>164 322</b>	<b>6 332</b>	<b>14 522</b>
<i>Mix énergétique</i>	<b>2%</b>	<b>38%</b>	<b>10%</b>	<b>44%</b>	<b>2%</b>	<b>4%</b>

Tableau 12. Combustible principal de chauffage des RP/HLM du territoire

## 4. Identification des acteurs, choix des zones d'études et d'expérimentations

L'identification et la rencontre des acteurs publics et assimilés missionnés en tout ou partie sur ces thématiques a été établie au début du projet ATRE. Ces acteurs multiples sont de natures et d'échelons territoriaux différents :

- Les collectivités territoriales en premier lieu desquelles le territoire Marseille Provence et les 18 communes qui composent ce territoire.
- L'Anah et les 4 opérateurs associés qui couvrent le territoire (Pact 13, URBANIS, ETH et ADRIM)
- L'ALEC et le PRIS-EIE
- L'ADEME (intérêt pour la base de données DPE)
- L'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Marseillaise (ci-après désigné Agam)
- Le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement)
- Le CRIGE PACA (Centre Régional de l'Information Géographique)
- Le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement (ci-après désigné CAUE)
- Réseau ORTHI : Base de données collaborative nationale sur l'habitat indigne
- Différents services de la ville de Marseille : Espaces verts, géomatique et patrimoine (Aire de Valorisation de l'Architecture et du Patrimoine ci-après désignée AVAP)
- Les services du conseil de territoire N°1 Marseille Provence

Sans prétention d'exhaustivité, l'identification des acteurs consiste à mieux connaître les actions des partenaires potentiels et les axes d'intérêts spécifiques concernant le projet ATRE.

### 4.1. Actions et mécanismes locaux habitat/énergie

Outre l'ALEC, le Conseil de Territoire Marseille Provence dispose de plusieurs outils dédiés à l'amélioration de son parc résidentiel et à la réduction de son empreinte énergétique.

En matière d'habitat, en sa qualité de délégataire de l'aide à la pierre, MPM est responsable de l'attribution des aides financières destinées à l'amélioration de l'habitat privé relevant des aides de



l'Anah. Conscient de la nécessité d'intervenir sur le parc ancien dégradé, la Communauté urbaine s'est dotée de plusieurs mécanismes à l'image du Contrat Local d'Engagement contre la précarité énergétique (ci-après désigné CLE) ou d'un PIG Programme d'amélioration de l'habitat ancien dégradé et ce, parallèlement à son Programme Local de l'Habitat (ci-après désigné PLH). Au-delà de ces mesures, certaines communes se dotent d'outils complémentaires au travers notamment d'Opérations Programmées d'Amélioration de l'Habitat (ci-après désignées OPAH), du Bureau de l'Habitat ou de « Grands Projets ».

Inscrit au cœur des orientations stratégiques du Schéma de Cohérence Territoriale de MPM (ci-après désigné SCoT), lui-même adossé au PCET communautaire, le Programme Local de l'Habitat (PLH) de la Communauté urbaine vise à apporter des réponses concrètes et opérationnelles à la mise en œuvre de la politique de l'habitat et fixe à ce titre, le cadre des orientations des Plans Locaux d'Urbanismes (ci-après désignés *PLU*) en la matière. Le PLH communautaire en vigueur, portant sur la période 2012-2018, repose ainsi sur plusieurs recommandations du SCoT parmi lesquelles :

- combattre l'habitat privé indigne en poursuivant des efforts sur l'amélioration de l'habitat ancien,
- améliorer la performance énergétique du parc,
- réduire la vacance.

#### **4.1.1. Contrat Local d'Engagement contre la précarité énergétique**

Depuis octobre 2010, les collectivités territoriales bénéficient d'un cadre d'action particulier avec le Programme national Habiter Mieux. Ce programme de l'Anah est destiné à aider les propriétaires modestes et très modestes, ainsi que les propriétaires bailleurs depuis juin 2013, à entreprendre des travaux de réhabilitation de leur logement, avec pour objectif principal l'amélioration énergétique du logement.

Pour faire bénéficier leurs administrés des aides du programme, les collectivités doivent avoir préalablement conclu avec l'État et l'Anah un Contrat Local d'Engagement (ci-après désigné *CLE*) contre la précarité énergétique sur leur territoire.

S'inscrivant dans ce cadre, le territoire communautaire dispose d'un CLE depuis 2011 regroupant différents partenaires territoriaux (Etat, Anah, CARSAT Sud Est, SACICAP, EDF, Engie (anciennement GDF Suez), Ville de Marseille, Gignac-la-Nerthe, Septèmes-les-Vallons, Cassis, Gémenos, etc.). Il a pour objectif de mobiliser et de coordonner tous les partenaires aux différentes étapes d'assistance aux ménages (repérage, évaluation sociale, évaluation technique du bâti, élaboration du projet de rénovation thermique, financement et réalisation des travaux) avec l'appui d'un accompagnement individuel par un opérateur spécialisé.

De novembre 2011 à décembre 2013, 155 ménages ont bénéficié de la prime du Fonds d'Aide à la Rénovation Thermique (ci-après désigné *FART*) dont 137 propriétaires occupants et 18 propriétaires bailleurs. L'effet de levier des 385.097€ de primes abondant les 1.886.599€ de subventions Anah engagées, majorées des primes communales, ont permis la réalisation de 4.424.770€ de travaux.

#### **4.1.2. Programme d'Intérêt Général d'amélioration de l'habitat**

Une première version du PIG, conduite de février 2011 à décembre 2014, a permis, à partir de près de 3.500 contacts et de 900 visites à domicile, aux ménages concernés de bénéficier d'un accompagnement gratuit par un opérateur pour réaliser des travaux. Au 1<sup>er</sup> janvier 2014, 713 logements ont été améliorés avec l'aide des subventions de l'Anah (dont 212 réhabilitations de logements indignes ou très dégradés, 155 rénovations énergétiques significatives (>25% de gain) et 268 adaptation pour le maintien à domicile de personnes âgées ou handicapées).

Une seconde version, conduite de janvier 2015 à décembre 2019, doit permettre le maintien d'un parc privé décent à vocation sociale dans les quartiers anciens. Il porte sur l'ensemble du parc de logements privés du territoire communautaire, à l'exclusion des territoires couverts par une OPAH.

Via le PIG, le conseil de territoire propose aux ménages une ingénierie d'accompagnement gratuite assurée par 4 opérateurs tiers (Pact 13, URBANIS, ETH et ADRIM) qui ont plusieurs missions parmi lesquelles :

- L'évaluation du besoin et l'aide à la décision, comprenant l'ensemble des paramètres de nature à déterminer la faisabilité du projet et aider le propriétaire dans sa prise de décision



(évaluation de la situation socioéconomique des ménages et stratégie patrimoniale, diagnostic technique et évaluation énergétique), l'élaboration du programme prévisionnel de travaux, l'établissement de plans prévisionnels de financement, la synthèse de l'évaluation.

- L'accompagnement à la réalisation de travaux.
- L'élaboration du programme définitif, le montage et dépôt des dossiers de financement, l'assistance à la réalisation de travaux et le montage des dossiers de paiement.

Objectifs annuels (en nombre de logements)	OUEST MPM	CENTRE MPM	NORD-EST MPM	SUD-EST MPM	TOTAL ANNUEL
Propriétaires Occupants	60	60	50	50	<b>220</b>
Propriétaires Bailleurs	40	70	40	30	<b>180</b>
Copropriétés	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>130</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>400</b>
<i>Habitat indigne et très dégradé</i>	60	100	70	45	<b>275</b>
<i>Performance énergétique</i>	50	60	50	40	<b>200</b>
<i>Handicap Autonomie</i>	30	30	25	30	<b>115</b>
<i>Loyers maîtrisés LC ou LCTS</i>	20	50	20	10	<b>100</b>
<i>Sortie de Vacance</i>	5	30	10	5	<b>50</b>

Tableau 13. Objectifs quantitatifs du PIG 2015-2019 de MPM

#### 4.1.3. Opérations Programmées d'Amélioration de l'Habitat

Les opérations programmées forment le cadre d'action privilégié des collectivités locales pour traiter, en partenariat avec l'Anah et d'autres co-financeurs, les problématiques liées à l'habitat privé sur un territoire urbain ou rural. Ces outils institutionnels permettent de réunir l'ensemble des partenaires autour d'un même projet d'action. Les OPAH constituent le principal outil d'intervention publique sur des territoires présentant des difficultés liées à l'habitat privé. Elles s'inscrivent en cohérence avec les orientations fixées par le PLH. Elles permettent de cibler l'action publique à l'échelle d'un secteur pour accompagner les propriétaires dans leurs projets de travaux ou à l'échelle d'une copropriété en difficulté. Elles constituent un moyen de dynamiser une économie locale, en mobilisant notamment le secteur du Bâtiment.

Deux OPAH de Renouveau Urbain (ci-après désignées *OPAH-RU*), traitant les situations d'insalubrité, de forte dégradation et de dysfonctionnement urbain les plus difficiles, sont actuellement en cours sur le territoire communautaire :

L'OPAH-RU du centre ancien de Marignane qui s'inscrit dans le Programme National de Requalification des Quartiers Anciens Dégradés (ci-après désigné *PNRQAD*). À noter, le PNRQAD cible les quartiers anciens dégradés concentrant une part importante d'habitat indigne et une situation économique et sociale des habitants particulièrement difficile. Sont aussi concernés les quartiers présentant un taux de vacance élevé associé à une situation de marché immobilier tendu. Cette OPAH-RU, d'une durée de cinq années, est programmée jusqu'en février 2017.

L'OPAH-RU du centre-ville de La Ciotat. Cette OPAH-RU, d'une durée de cinq années, est programmée jusqu'en mai 2015.

Cela étant, des OPAH-RU sont actuellement en cours d'étude sur la Ville de Marseille et plus précisément sur les quartiers du centre-ville, d'Euroméditerranée et de Saint Marcel, dans le 11<sup>ème</sup> arrondissement.

#### 4.1.4. Marseille Rénovation Urbaine

Groupement d'Intérêt Public, Marseille Rénovation Urbaine est un partenariat public créé en 2003. Il rassemble l'Etat, la Ville de Marseille, la Communauté Urbaine MPM, le Conseil Général, le Conseil Régional, la ville de Septèmes-les-Vallons, l'Association Régionale des Organismes HLM et la Caisse des Dépôts et Consignations et remplit trois missions :



- Le pilotage stratégique des projets de renouvellement urbain.
- La mutualisation des financements pour les projets soutenus par l'Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine (ci-après désignée ANRU) à Marseille.
- Le management des projets et la coordination des maîtres d'ouvrage, collectivités, bailleurs et promoteurs.

Le Groupement pilote ainsi 14 projets de rénovation urbaine répartis sur toute la ville de Marseille totalisant plus de 6.600 réhabilitations de logements.



Figure 27. Localisation des 14 projets de Marseille Rénovation Urbaine

#### 4.1.5. Projet Grand Centre-Ville de Marseille

L'opération Grand Centre-Ville de Marseille poursuit et intensifie l'action de la Ville en faveur de la requalification du patrimoine bâti ancien du centre-ville. Cette opération prévoit une intervention sur 35 pôles urbains à forts enjeux entre 2011 et 2021. Elle est confiée à un seul opérateur, la SOLEAM, société publique locale d'aménagement qui est assimilée à un opérateur interne des collectivités actionnaires et qui agit dans leur champ de compétence. Elle a pour objectif d'accélérer la transformation de ces quartiers en les plaçant au cœur du processus d'aménagement et de développement durable mis en œuvre sur l'ensemble du territoire marseillais. Elle s'appuie sur un investissement en matière d'habitat, d'urbanisme commercial, d'équipements et d'espaces publics, de tourisme et de vie étudiante.





Figure 28. Localisation des 35 pôles d'intervention du projet Grand Centre-Ville de Marseille<sup>62</sup>

À terme, cette opération doit conduire entre autres à :

- La réhabilitation de 2.000 logements grâce à une action d'animation et d'incitation destinée à lutter contre l'habitat indigne et la vacance, à créer des logements à loyer maîtrisé, à améliorer les performances énergétiques chez les propriétaires occupants notamment.
- Le ravalement de 800 façades.

#### 4.1.6. CAUE 13

Le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement des Bouches-du-Rhône est un organisme départemental créé à l'initiative du Conseil général et des services de l'État. Investi d'une mission de service public, le CAUE 13 a pour objet la promotion de la qualité architecturale, urbaine et paysagère, avec pour missions, outre le conseil aux collectivités locales sur leurs projets d'urbanisme, d'architecture ou d'environnement :

- L'information et la sensibilisation du public dans le domaine de l'architecture, de l'urbanisme et de l'environnement.
- L'information et le conseil aux particuliers qui désirent construire ou rénover, via un réseau d'architectes-conseil, afin d'assurer la qualité architecturale des constructions et leur bonne insertion dans le site environnant.
- La formation des maîtres d'ouvrage et des professionnels.

#### 4.1.7. Agence nationale de l'habitat

L'Anah, établissement public d'État créé en 1971, a pour mission de mettre en œuvre la politique nationale de développement et d'amélioration du parc de logements privés existants. Pour atteindre cet objectif, elle encourage la réalisation de travaux en accordant des aides aux propriétaires occupants, aux propriétaires bailleurs et aux copropriétaires. Sa vocation sociale l'amène à se concentrer sur les publics les plus modestes avec trois axes prioritaires :

- La lutte contre l'habitat indigne et très dégradé.

<sup>62</sup> Opération Grand Centre-Ville, Concertation Publique 2011, SOLEAM, 2011.



- Les propriétaires occupants, avec une intervention forte sur la lutte contre la précarité énergétique et la prise en compte des besoins d'adaptation liés à la perte d'autonomie.
- Les propriétaires bailleurs de logements montrant un niveau de dégradation significatif.

L'Anah est partenaire des collectivités territoriales, et dispose d'une délégation locale au sein de la Direction Départementale des Territoires (DDT) dans chaque département, ainsi que d'une représentation régionale au sein des DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement).

Au-delà des dispositifs spécifiques développés avec son appui (OPAH, PIG, etc.), depuis fin 2010 l'Anah a mis en place et coordonne le programme Habiter Mieux, qui vise la signature de Contrats Locaux d'Engagement dans les territoires, incitant les Conseils Généraux et les intercommunalités à définir des plans d'action opérationnels de lutte contre la précarité énergétique et permettant ainsi aux ménages de bénéficier du Fonds d'Aide à la Rénovation Thermique (FART).

#### **4.1.8. Opérateurs de médiation habitat/énergie**

Plusieurs structures proposent sur MPM des accompagnements de ménages pour réduire les situations de précarité énergétique sur le territoire, intégrant des conseils sur les comportements ou les travaux.

Ecopolénergie et le GERES interviennent sur le territoire MP depuis 2004 en prévention des situations de précarité énergétique. Les deux associations proposent des visites à domicile pour caractériser les situations des ménages, installer des équipements et faire le lien vers des acteurs du logement.

Ecopolénergie et les Compagnons Bâisseurs disposent chacun d'un poste d'Eco-diagnostiqueur porté par La Région et l'ADEME permettant de réaliser ces visites à domicile afin d'accompagner les ménages repérés.

Le dispositif ALTE, porté par un consortium de 3 associations sur 2015 et 2016 (Ecopolénergie, GERES et Médiance 13) et appuyé par l'ADEME PACA et la Région PACA, vise à identifier les ménages vulnérables pour travailler chez eux sur différents niveaux de solutions pour les aider à sortir de la précarité énergétique.

#### **4.1.9. Conclusion**

Cette diversité d'acteurs constitue ainsi un véritable atout dans la mesure où elle témoigne de l'importance et de l'intérêt accordé au secteur *habitat/énergie* sur le territoire. La connaissance mutuelle et la collaboration forte de ces structures institutionnelles constituent un prérequis essentiel à une action efficiente. Dans ce but, l'équipe projet ATRE s'est mobilisée et l'ALEC maintient cette dynamique de lien avec les différents acteurs afin de les associer à la mise en œuvre collaborative de l'Atlas. Le conseil de territoire N°1 Marseille Provence et la Métropole Aix-Marseille Provence sont identifiés comme partenaires incontournables du projet.



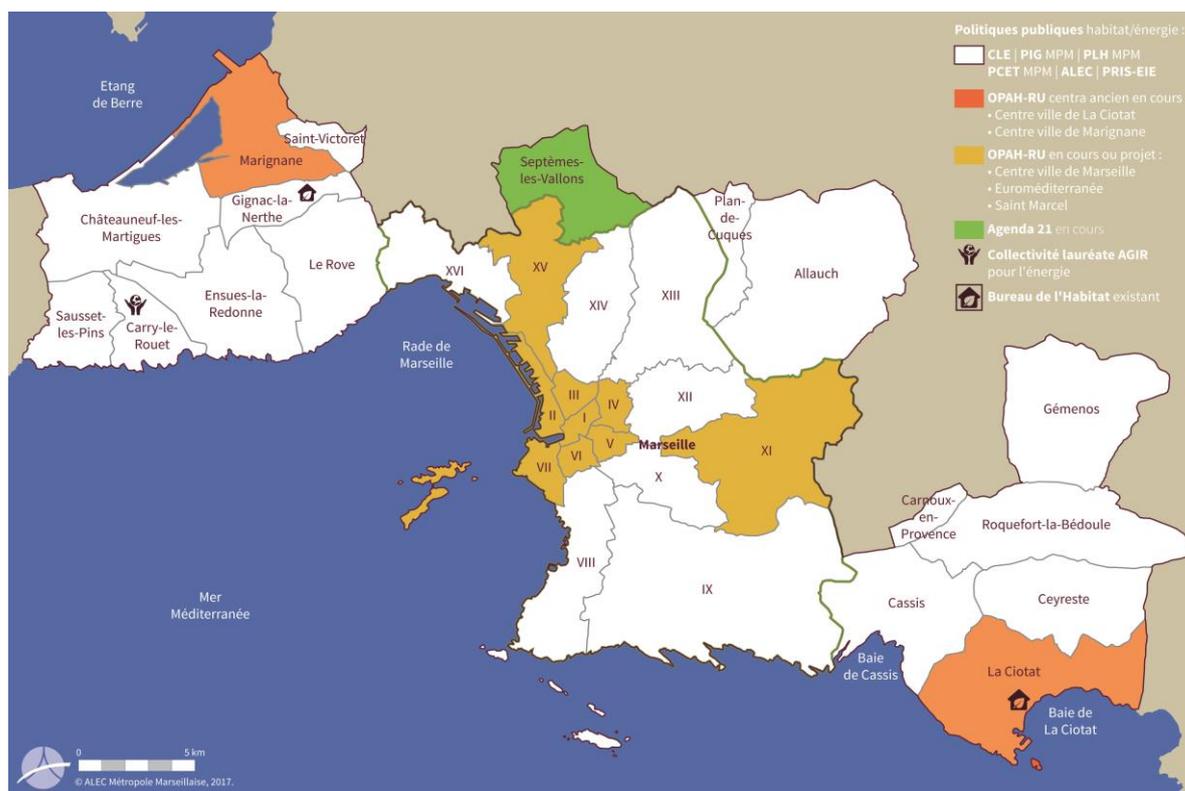


Figure 29. Synthèse des politiques publiques Habitat/Énergie

## 4.2. Identification des zones d'études et d'expérimentations

Après avoir réfléchi aux différents critères de choix des terrains d'études, 2 critères ont lourdement pesé dans la balance :

- La représentativité des différents types architecturaux
- Les territoires intéressés

Au regard du diagnostic territorial et de l'intérêt porté par les différents acteurs, une dizaine de terrains d'études s'est dégagée. Ces zones identifiées représentent la diversité typologique à l'image du territoire et correspondent à des terrains propices à l'étude par un accès privilégié à un certain nombre d'informations.

Cinq zones hors Marseille identifiées par le conseil de territoire Marseille Provence

- Septèmes-les-Vallons (zone en projet d'éco-quartier liée au centre ancien, maisons en bande)
- Marignane (OPAH-RU centre ancien)
- La Ciotat (OPAH-RU centre ancien)
- Résidentiel diffus autour de Châteauneuf-les-Martigues (Maisons individuelles « récentes »)
- St-Mitre-les-ramparts (Centre ancien)

Sur la ville de Marseille, 5 îlots sur lesquels la démarche de recherche peut être initiée :

- Pervanche (collectif année 70)
- Gasqui (Individuel / lotissements)
- Thubaneau (bâti du XIXème)
- Longchamp (Haussmanien)

Ces 2 derniers sites faisant parti de l'AVAP peuvent intéresser la Ville de Marseille.



## 5. Création de l'atlas : méthodes et outils

Cette partie du projet ATRE est essentiellement dédiée à la création des méthodes et outils permettant de construire un atlas de rénovation basé sur le géoréférencement des données pouvant être répliquable. En agrégeant les données produites à l'édifice, celles-ci doivent permettre une lecture énergétique à d'autres échelles du territoire. Cette phase initialement prévue pour une durée de 18 mois a été un peu plus longue que prévu dans la mesure où les différents développements et les difficultés rencontrées ont demandé un temps d'investissement plus important.

Pour rendre compte du travail effectué, le rapport dédié à cette tâche est composé de deux parties complémentaires. En partant des sources de données inventoriées, la première partie aborde les données susceptibles d'être mobilisées pour construire l'atlas. Une étude exploratoire a ensuite permis d'évaluer la qualité des données retenues. Celles-ci sont majoritairement issues des données spatiales (BD TOPO) et des fichiers fonciers. Puisqu'il s'agit d'un rapport méthodologique, il est question aussi de détailler les procédures qui ont été développées pour caractériser les édifices et leurs enveloppes (en se basant sur les nomenclatures existantes) ainsi que celles qui ont servi à l'évaluation des apports solaires et les bilans thermiques. La campagne de terrain in situ permettant de valider les hypothèses de modélisation et le recueil de données manquantes est à son tour explicitée. Enfin, des pistes de réflexion concernant les données produites, les échelles de lecture, la production cartographique et le public visé sont discutées.

La seconde partie du rapport détaille chaque étape de traitement ainsi que l'enchaînement de l'ensemble des procédures développées dans le cadre de cette tâche. Elle peut être considérée comme une annexe technique à laquelle il est possible de se référer pour comprendre et reproduire les méthodes et outils mis en place au regard du nombre important de données à traiter et des opérations à mener. Sous la forme d'un tutoriel intégrant les aspects liés à la programmation et gestion des données dans le Système d'Information Géographique Libre et Open Source QGIS (tables de données, couches utilisées, croisement des données, valeurs attributaires, requêtes SQL, formulaires construits, etc.), elle apporte des précisions permettant de suivre étape par étape chaque procédure jusqu'à la production des bilans géolocalisés.

### 5.1. Inventaire des données existantes

La réalisation d'un diagnostic énergétique des bâtiments résidentiels à différentes échelles du territoire suppose la connaissance d'un certain nombre de paramètres permettant de prendre en compte la complexité du parc des logements existants. Cette complexité est à la fois liée à la diversité des types de logement, à leurs enveloppes, au mode d'occupation, au contexte environnant, etc.

Une étape préliminaire permettant d'explorer la faisabilité d'un diagnostic énergétique multi-scalaire a consisté à établir un inventaire des bases de données disponibles. Ces dernières ont été analysées et classées selon la source des données, leur qualité, leur condition de mise à disposition et l'échelle d'exploitation. Cet inventaire peut être illustré par le tableau ci-dessous.

Le choix méthodologique permettant d'élaborer l'atlas se base sur une approche ascendante qui consiste à établir un diagnostic « bâtiment par bâtiment ». Par une agrégation des données produites, il est possible de générer et de cartographier de nouvelles données afin de rendre possible une lecture énergétique multi-scalaire et l'identification des zones à enjeux pour la rénovation énergétique. Ce choix résulte d'un état de l'art exhaustif mené durant la phase 1 du projet ATRE. Cette tâche avait en partie pour objectif le recensement, l'analyse et la comparaison des différentes méthodes employées dans le domaine du diagnostic énergétique des bâtiments à usage d'habitation sur un large territoire. Comparée à d'autres méthodes, les conclusions montrent l'intérêt d'une approche de modélisation par bâtiment étant donné la finesse du diagnostic susceptible d'être produit. Cependant, la modélisation systématique de chaque bâtiment demeure tributaire de paramètres exhaustifs qui nécessitent une connaissance détaillée de l'ensemble des édifices.



Source	Interlocuteur	Bases de données	Année	Echelle	Nom du fichier	Statut
INSEE		Logements ordinaires	2014	IRIS	FD LOGEMTZE 2014 réduit	OK
INSEE		Revenus disponibles, pauvreté et niveau de vie	2014	IRIS	BASE_TD_FILO_DISP_IRIS_2014 réduit	OK
INSEE	En ligne	Revenus déclarés, pauvreté et niveau de vie	2014	IRIS	BASE_TD_FILO_DEC_IRIS_2014	OK
CAF	Site CAF	Revenu de Solidarité Active (RSA)	2016	Commune/ Arrondt Marseille	RSA_communes_2016_territoire Marseille Provence	OK
ADEME	Site Data Gouv	DPE		Commune/ Arrondt Marseille	DPE ADEME	OK
ANAH	Emmanuel Gilbert	tranches d'éligibilités	2011-2017	Arrondissement	Anah - analyse PO selon revenus 2006-2017 par commune	OK
Ville de Marseille	Jean Charles Lardic	Thermographie aérienne		bâtiment ?		en attente
Air PACA	Yann Chanac	Qualité de l'air	2016	IRIS	ORS_2016	OK
Territoire MP	Mireille Rill	Végétation, bruit, thermographie aérienne				en attente
Datasud		Consommation annuelle gaz	2010-2016	IRIS	consommation-annuelle-gaz-agrege-maille-iris	Ok
ORECA	Valentin Lyant	Prix de l'énergie en PACA	2006-2016	PACA	Prix de l'énergie	OK
ENEDIS	Mathilde Meixner	Consommations électricité - données regroupées	2016-2017	Territoire MP donnée regroupée à 11 points de comptage		en attente
CEREMA		Fichiers Fonciers	2017	Parcelle		OK
CERC PACA	Julien Cappa	Enquête ménages rénovation énergétique	2017	PACA	Enquête ménage rénovation énergétique	OK
<b>Référentiels</b>						
IGN	IGN	Emprise bâti dans dernières versions hauteur bâti axe voies axe cours d'eau zones végétation	Maj Annuelle		BDTOPO	Convention IGN (ENSA M)
MPM	Jean Charles Lardic	Végétal (P192,191,190,189,188) contours d'îlots, arrondissements (Marseille)	en cours	îlot	Base de données urbaines	en attente
<b>Découpage statistique</b>						
IGN	IGN	Contour des IRIS et quelques attributs	Maj Annuelle	IRIS	IRIS...GE 2014	OK
<b>Parcellaire</b>						
DGI		Contour et référence parcellaire		parcelle	PCI	National
IGN	IGN	Contour et référence parcellaire		parcelle	BD parcellaire	National
<b>Administratif</b>						
IGN	IGN	Découpage administratif	MAJ 3 mois	parcelle	Geofla	National
IGN	IGN	Points adresse		parcelle	BDAdresses	National
<b>Occupation du sol</b>						
CRIGE-Paca		Zones homogènes / classe CLC Niv.3	2012-2016	1/25.000	Occupation du sol CLC (et régionale)	National (UE)
CRIGE-Paca	<a href="http://www.crige-paca.org/">http://www.crige-paca.org/</a>	Zones homogènes / classe CLC Niv.4		1/5000	Occupation du sol Geu.a.f	Portions en PACA
project[s] (JA)	Jacques Autran	Caractérisation de l'occupation fonction ICU (LCZ)		1/10.000	Occupation du sol LCZ	OK
IGN		Squelette voies ?			occsoLGE	
<b>3D</b>						
IGN	IGN				RGE Alti	
SHOM-IGN	SHOM-IGN	Alti haute définition			Litto3D	Littoral
IGN	IGN	3D + façades	2016	2D1/2 sur Marseille	Bati3D	OK
<b>Historique et patrimoine</b>						
INAMA	René Borruet	Évolution historique	1600-1998	non prise en compte des substitutions	D : aide à la datation des édifices	Marseille
INAMA/STAP	Jacques Autran	ZPPAUP , AVAP (Marseille grand centre ville)	2017	Patrimoine bâti	ZPPAUP, AVAP	Ok
INAMA	Jacques Autran	Inventaire bâti et urbain	1995	bâti sur périmètre Euromed	Inventaire EUROMED	Euromed 1

Tableau 14. Présentation synthétique des sources de données analysées

En conséquence, l'inventaire des bases de données disponibles a été mené en parallèle avec un travail de recueil de données nécessaires pour modéliser les besoins énergétiques à l'échelle de l'édifice. À cette échelle de résolution, les bases de données identifiées pouvant fournir de la connaissance sont :

- La BD TOPO de l'IGN concernant les paramètres d'ordre spatial (géométrie des bâtiments et aspects dimensionnels). Les édifices résidentiels constituent le noyau de l'atlas projeté. Le bâti de la BD TOPO de l'IGN a été choisi comme référentiel à grande échelle car cette base de données couvre l'ensemble du territoire français et répond donc à l'objectif de répliquabilité des démarches, méthodes et outils proposés.
- La BD Parcellaire de l'IGN permettant de disposer des contours et référence de chaque parcelle support de bâtiment.
- La BD ADRESSE de l'IGN comportant les points adresse associés à chaque parcelle de bâtiment.
- Les fichiers fonciers de la DGFIP qui permettent d'avoir des informations sur date de création des bâtiments, la surface habitable, le nombre de logements, etc.).



## 5.2. Évaluation de la qualité des données spatiales et des fichiers fonciers : étude exploratoire

La qualité des bases de données servant de sources d'informations en vue d'alimenter l'évaluation énergétique à l'échelle de chaque édifice conditionne la finesse du diagnostic. Partant de ce constat, il est nécessaire d'analyser, parmi les variables identifiées lors de l'inventaire de données, la qualité de celles qui sont susceptibles d'être utilisées (comme donnée brute, déduite ou recalculée) pour produire un bilan énergétique par édifice de manière systématique. Par souci d'exhaustivité et de représentativité du parc de logements existant, ce travail d'analyse exploratoire doit être effectué sur des échantillons de territoires qui permettent d'appréhender une diversité d'édifices tant sur le plan des types (époques de construction et famille d'édifice) que sur celui des configurations urbaines (densité urbaine).

Étant donné la multiplicité et la complexité de gestion des variables à traiter dans un environnement SIG sur un large territoire, l'IRIS nous a semblé être une maille de taille raisonnable permettant à la fois de tester la qualité de la donnée mais aussi parce qu'à cette échelle des campagnes de terrain permettant le recueil de données sont envisageables. Dans un premier temps cinq IRIS dans le périmètre de la ville de Marseille ont servi de support à ce travail exploratoire. Il s'agit de l'IRIS "Thubaneau" et "Longchamp" situés tous deux en ville dans des tissus denses. Le premier renfermant des édifices anciens datant d'avant 1815, le second comptant des immeubles haussmanniens. L'IRIS "Pervenches" est quant à lui composé essentiellement d'immeubles collectifs des années 70 et des maisons individuelles. L'IRIS Gasquy est constitué d'une majorité de maisons individuelles anciennes sous forme de lotissements plus ou moins récents. Enfin, l'IRIS "Clairval" se situe à la périphérie de la ville. C'est un tissu hétéroclite comptant des maisons individuelles anciennes et des immeubles de logements collectifs récents et anciens.

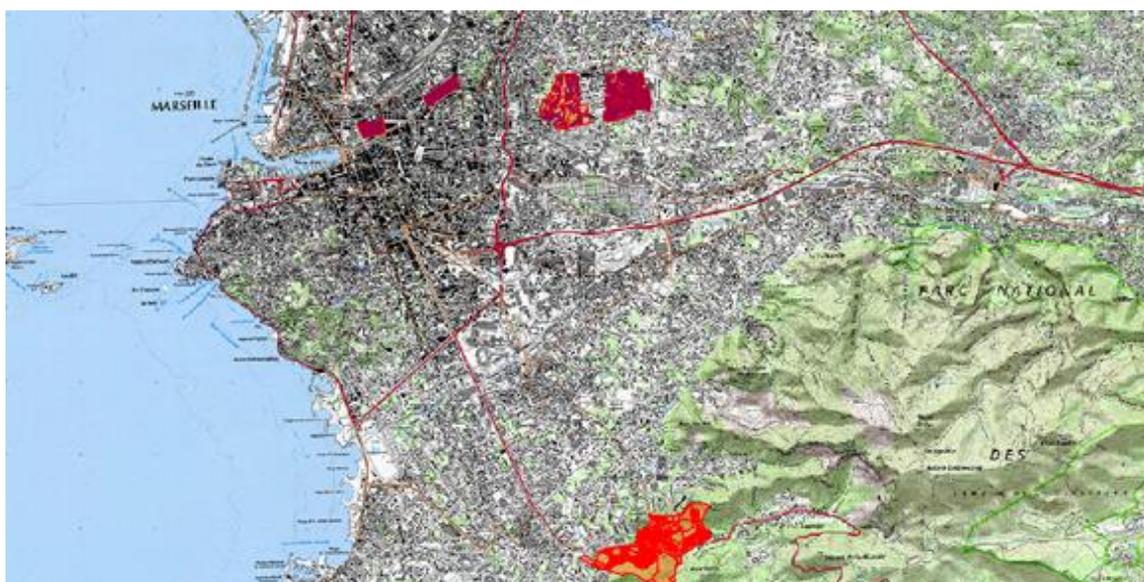


Figure 30. Carte de situation des 5 IRIS étudiés.



Grand quartier	Libellé de l'IRIS	Maisons en 2014	Appart. en 2014	Résidence principale					
				avant 1919	1919 à 1945	1946 à 1970	1971 à 1990	1991 à 2005	2006 à 2011
GRD_QU ART	LIBIRIS	P14_MAI SON	P14_APP ART	P14_RP_ ACH19	P14_RP_ ACH45	P14_RP_ ACH70	P14_RP_ ACH90	P14_RP_ ACH05	P14_RP_ ACH11
1320101	Thubaneau	36	1338	779	214	209	26	56	7
1320105	Longchamp	8	1185	717	245	89	8	0	3
1320906	Clairval	498	886	89	157	374	357	255	39
1321204	Pervenches	35	1133	25	23	979	51	18	11
1321204	Gasquy	445	432	134	259	248	141	20	23

Tableau 15. Nombre de logements et datation des immeubles, base-ic-logement-2014 de l'INSEE

### 5.2.1. BD TOPO de l'IGN

Cette base de données constitue le fond à partir duquel sera réalisé l'atlas car outre la géolocalisation des entités qu'elle contient, elle permet de décrire les attributs géométriques des édifices. Le travail d'exploration vise à vérifier dans quelle mesure ces données sont proches de la réalité, quelles sont les données pouvant être extraites ou calculées à partir des données brutes et quelles sont les limites d'exploitation de ces données.

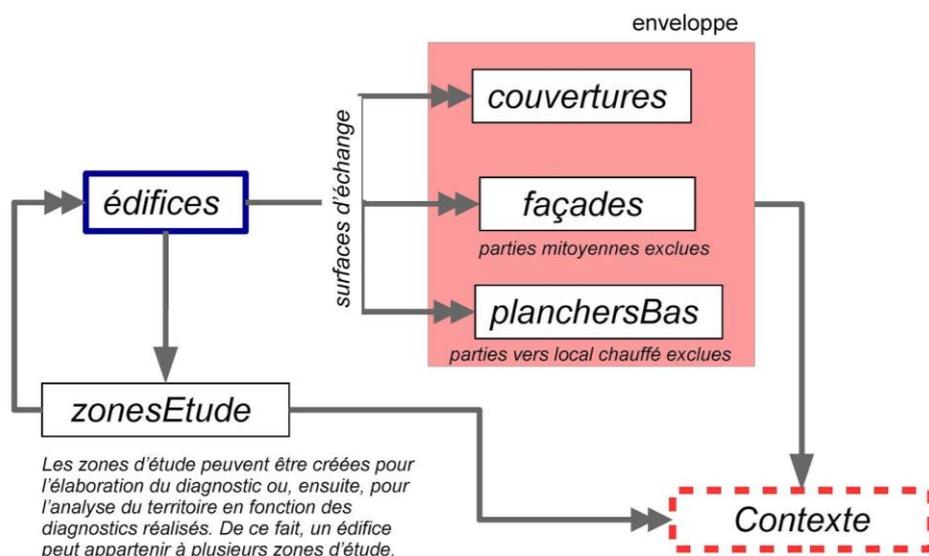


Figure 31. Schéma de principe de la décomposition des édifices de la BD TOPO IGN

#### 5.2.1.1. Qualité des données spatiales : les attributs géométriques (contour, hauteur, surface et volume)

L'objectif de la méthode décrite ci-dessous est de relier les tables des fichiers fonciers avec les bâtiments décrits dans la BD TOPO de l'IGN. Cette liaison permettra de définir une date de construction, ainsi que d'autres caractéristiques qualitatives aux bâtiments de la BD TOPO<sup>63</sup>.

<sup>63</sup> [http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC\\_BDTOPO\\_2-1.pdf](http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTOPO_2-1.pdf)

La BD TOPO de l'IGN « est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 : 5 000 au 1 : 50 000. »<sup>64</sup> .



Figure 32. BD TOPO Version 3: IRIS Gasquy

La base de la BD TOPO fait partie des bases vectorielles, elle est composée de plusieurs couches dont celles qui décrivent les édifices comme des polygones ayant des informations attributaires concernant la hauteur, le Z minimum et le Z maximum.

#### 5.2.1.2. Filtrage des données et extraction des données

Parmi les nombreuses couches contenues dans cette base de données, nous nous sommes focalisés sur la couche dite « bâti indifférencié ». Celle-ci contient l'ensemble des édifices sur un territoire. À partir de cette couche, il est possible d'extraire les bâtiments résidentiels. Les données de la BD TOPO (Version 3) sont structurées de différentes couches agrégées comportant un attribut distinguant le bâti industriel, remarquable, léger et indifférencié.

Ces couches seront exploitées pour décrire le contexte environnant des édifices résidentiels lorsqu'il s'agira d'évaluer les apports solaires ou d'estimer la surface d'enveloppe mitoyenne avec les bâtiments résidentiels.

#### 5.2.1.3. Rejet des annexes

La modélisation du bâti de la BD TOPO à partir de la photogrammétrie s'effectue par un filtrage des bâtiments s'apparentant à des garages ou à des annexes diverses. L'objectif étant d'obtenir les contours des édifices. L'appariement avec les données du cadastre permet de réintégrer toutes les entités relevées par celui-ci. De ce fait, toutes ces entités sont considérées comme objets bâtis (dur ou léger).

<sup>64</sup> <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>



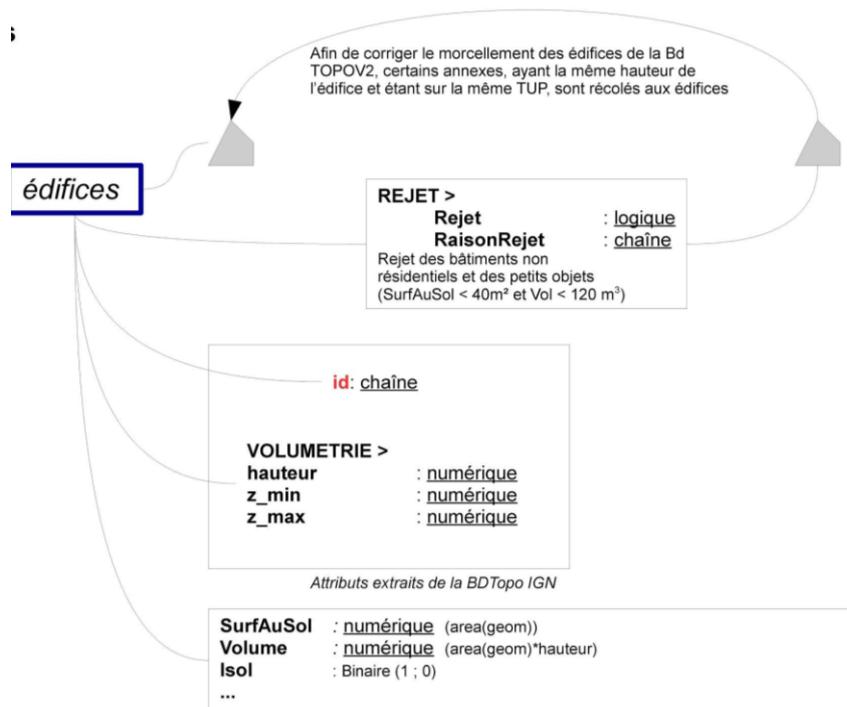


Figure 33. Schéma de principe concernant le rejet des annexes et la création d'attributs

L'estimation des déperditions énergétiques à travers l'enveloppe de l'édifice ne concerne que les objets habités ou les parties qui sont susceptibles d'être chauffés. De ce fait, il est nécessaire de procéder à un filtrage des entités n'étant pas concernées par le diagnostic énergétique. Cela peut être le cas pour une parcelle contenant une maison individuelle comportant une annexe mitoyenne ou détachée identifiable par un contour (polygone).



Figure 34. Rejet des annexes, IRIS Gasquy



Des tests faisant jouer la hauteur, l'emprise et le volume estimé de chaque édifice ont été effectués pour exclure ces entités bâties apparentées à des annexes. L'hypothèse retenue considère que toute entité bâtie dont la surface ne dépasse pas une quarantaine de m<sup>2</sup> et dont la hauteur est inférieure à celle d'un étage courant de 3 m ne correspond pas à une habitation. Cela revient à rejeter les polygones ayant une surface d'emprise au sol de moins de 40 m<sup>2</sup> et dont le volume ne dépasse pas 120 m<sup>3</sup>.

	Ensemble zones d'étude	Thubaneau	Pervenches	Gasquy	Longchamps	Erreurs liées aux rejets
Nb Bâtiments	2271	315	239	1278	438	53
Nb Rejets	1168	91	159	739	179	
<b>Taux d'erreur</b>						<b>2,30%</b>

Tableau 16. Nombre des rejets et taux d'erreur dans la reconnaissance des rejets

Le rejet des "annexes" permet de réduire le nombre de polygones à traiter et de simplifier par la suite le travail de jointure avec les fichiers fonciers. Ainsi, les entités restantes sont celles qui seront soumises aux bilans thermiques. Les données brutes quant à elles serviront à la caractérisation des façades (prise en compte des mitoyennetés) et à décrire le contexte environnant (effets de masques solaires).

La règle de rejet, basé sur la géométrie des bâtiments, a été appliquée sur les quatre IRIS pris comme support à l'expérimentation. Nous avons pu rejeter 1168 édifices, dont 739 sur l'IRIS Gasquy qui est un tissu à dominante pavillonnaire. Suite au travail de terrain, le nombre des rejets est passé à 1221. Il est nécessaire de préciser que le rapprochement entre la BD TOPO et les fichiers fonciers permet aussi de rejeter les édifices n'ayant pas de surface d'habitation.



Figure 35. Bd TOPO, IRIS Gasquy avant le rejet des annexes, du bâti léger et du bâti industriel





Figure 36. Bd TOPO, IRIS Gasquy après le rejet des annexes, du bâti léger et du bâti industriel

La BD TOPO fournit les informations géométriques des édifices sur le territoire. Les édifices de la BD TOPO ont été dessinés par l'IGN à partir de deux sources principales. D'une part le cadastre qui est désormais numérisé sur presque l'ensemble du territoire national, d'autre part par la photographie aérienne utilisée comme support pour retracer les contours des édifices. Par la suite les polygones ont été découpés suivant les lignes des parcelles.

#### 5.2.1.4. Hauteur des édifices et prise en compte de la forme des toitures

Les données livrées par L'IGN sous forme de Shape file (SHP) sont donc constitués par des polygones géolocalisés caractérisés par différents attributs.

Parmi les attributs qui caractérisent la classe bâti de la BD TOPO on retrouve les hauteurs des bâtiments ainsi que leurs altimétries minimales et maximales. La hauteur du bâtiment est arrondie au mètre. Elle correspond à la différence entre l'altitude la plus élevée du pourtour qui décrit le périmètre du bâtiment à la gouttière et un point situé au pied de celui-ci. De ce fait, la hauteur réelle d'un bâtiment dont la toiture est en pente peut être sous-estimée puisque ce n'est pas la hauteur au faîtage qui est considérée. D'une part, cette catégorie d'édifice, l'approximation des hauteurs peut avoir des conséquences sur l'estimation des surfaces d'enveloppe nécessaire à l'évaluation des besoins de chauffage. D'autre part, cela peut avoir une incidence sur la précision apportée à la description du contexte bâti environnant (effets de masque) en vue des calculs solaires.

Par ailleurs, lorsqu'un édifice est composé de plusieurs parties de hauteurs différentes, celui-ci est modélisé par son périmètre global et une hauteur unitaire qui correspond souvent au corps de bâtiment le plus haut. De la même manière, cette imprécision peut avoir un impact sur l'estimation des surfaces d'enveloppe du volume habitable et l'évaluation des besoins de chauffage.

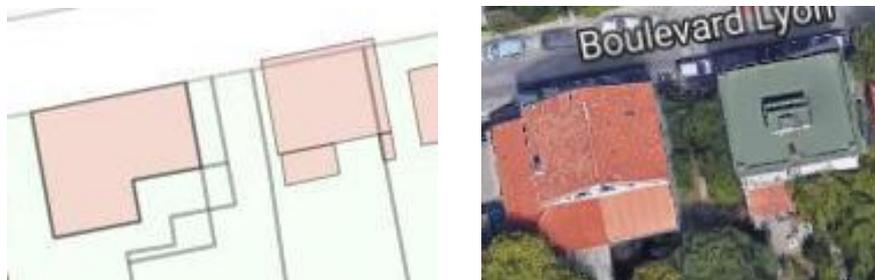


Figure 37. BD TOPO (gauche) et photo aérienne de deux édifices traités de manière différente (droite)

Même si globalement l'attribut "hauteur" est censé être renseigné pour l'ensemble du bâti, il peut arriver que cette donnée ne soit absente ou erronée. Cela a été constaté dans quelques îlots de l'IRIS Longchamp où les objets bâtis ne disposaient pas de hauteurs. Dans ce cas, seul un travail de relevé sur terrain ou une estimation ex situ peuvent permettre le recueil des hauteurs manquantes. La mise



à jour des bases de données (généralement calées sur le cycle des prises de vues aériennes de 3 à 5 ans) peut amener à actualiser les données.

À ce titre, le passage de la version 2 à la version 3 (beta) de la BD TOPO permet de corriger les hauteurs erronées des édifices constatées sur l'IRIS Longchamp. La précision des hauteurs a été augmentée, et les dimensions ne sont plus arrondies au mètre, mais à la première décimale. Ce degré de précision permet de différencier les hauteurs des annexes des corps bâtis principaux. Elle permet aussi de mieux évaluer les surfaces en contact avec l'extérieur et les surfaces en contact avec des annexes non chauffées.

#### 5.2.1.5. Périmètre des édifices et découpage parcellaire

Particulièrement dans les zones rurales et périurbaines, les contours des édifices ne sont pas toujours très précis. Souvent, l'emprise d'un bâtiment est partiellement faussée quand celui-ci est composé de plusieurs parties de hauteurs différentes. Comme il est possible de constater sur l'image 12, il semble évident que les contours des deux exemples ait été retracés à partir de la photo aérienne. Dans le cas du bâtiment de droite, la différence de couleur de la toiture a permis de retracer le contour de l'annexe à l'habitation. Dans le cas de l'édifice de gauche, le même type d'annexe n'est pas relevé car la toiture identique ne permet pas de l'identifier facilement.

La modélisation géométrique des objets contenus dans la BD TOPO est principalement obtenue par restitution photogrammétrique faite à partir d'une prise de vue aérienne ou en intégrant les données du cadastre. La coexistence de ces deux types de modélisation implique parfois une difficulté à superposer avec exactitude la géométrie de l'édifice à celle de la parcelle qui le contient car étant issue du cadastre. Cela est le cas sur la maison de droite représentée sur les images suivantes, où il est possible de constater l'alignement imparfait entre l'édifice de la BD TOPO et la parcelle. Concrètement, certains décalages constatés entre le bâti et les parcelles peuvent se traduire par :

- un morcèlement (ou découpage) de la même entité bâti en plusieurs parties. Spécifiquement dans les zones pavillonnaires, un édifice peut être constitué de plusieurs polygones de la même hauteur. Dans ce cas, une vigilance particulière est nécessaire pour veiller à réunifier ces parties sous la même entité.
- une absence de découpage entre certains édifices mitoyens faisant apparaître une seule entité bâtie (seul le contour extérieur est saisi dans le cas où la hauteur est similaire). Cela a par exemple été constaté sur des lotissements où les maisons sont disposées en bande.
- appartenance d'un même bâtiment à plusieurs parcelles.
- découpage aléatoire constaté dans certains bâtiments notamment quand il s'agit de copropriétés multiparcellaires.



Figure 38. Exemple d'incohérence de découpage des quatre bâtiments en bande. BD TOPO (à gauche) en comparaison avec photo aérienne Google (à droite)

En conséquence, ces imprécisions doivent être prises en compte lors de l'élaboration des procédures permettant de caractériser les édifices et leurs façades. Nous reviendrons plus en détail sur l'ensemble des procédures mises en place pour prendre en charge ces erreurs.

Malgré les incohérences constatées, la BD TOPO est aujourd'hui la base de données permettant de décrire les édifices sur l'ensemble du territoire national. La liaison entre La BD TOPO et les fichiers fonciers constitue le cœur de la méthode ATRE pour caractériser les édifices.



## 5.2.2. Fichiers fonciers

Les fichiers fonciers constituent une base de données géolocalisée, homogène sur l'ensemble du territoire et mise à jour chaque année. Elle permet de fournir des informations détaillées sur les parcelles, les locaux et les différents droits de propriété. Cette base de données a été créée depuis 2009 par le CEREMA à partir du retraitement et l'enrichissement des données issues de l'application MAJIC (Mise À Jour des Informations Cadastreales) de la Direction Générale des Finances Publiques (DGFIP) pour le compte du ministère en charge du Logement, les services de la Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature (DGALN)<sup>65</sup>.

La qualité des informations contenues dans les fichiers fonciers varie selon l'attribut. Les données étant déclaratives, certaines informations peuvent ne pas correspondre à la réalité. De plus, les informations sont généralement plus précises si les bâtiments sont soumis à l'impôt. Les informations concernant des bâtiments exonérés d'impôts sont souvent imprécises ou absentes. Ces bases de données sont livrées en deux produits : les fichiers fonciers Tables Principales (FFTP) qui structurent et enrichissent les données de la DGFIP et les fichiers fonciers Tables Agrégées (FFTA) qui agrègent ces mêmes données à différentes échelles.

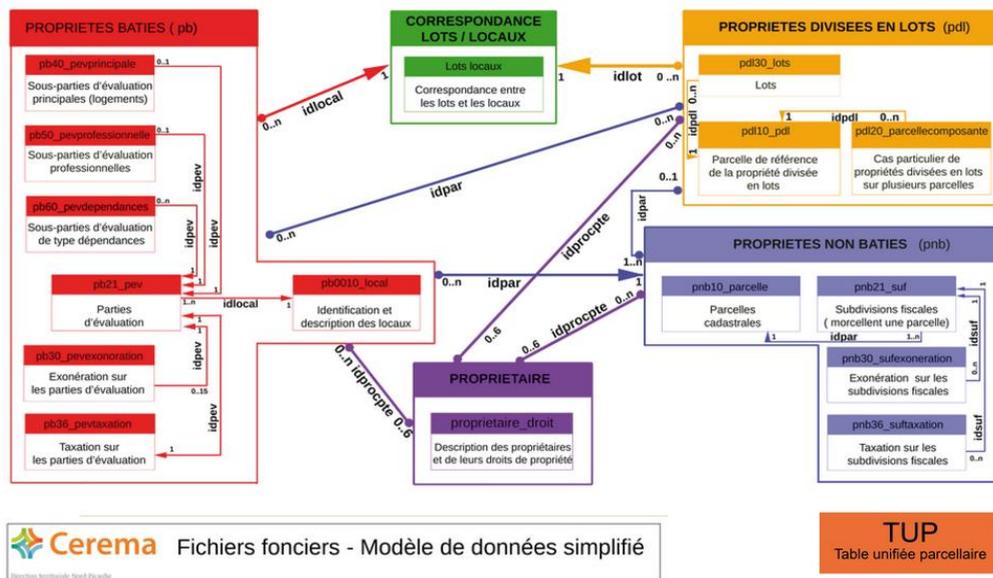


Figure 39. Tables principales des fichiers fonciers<sup>66</sup>

<sup>65</sup> <https://www.economie.gouv.fr/dgfip>

<sup>66</sup> [http://doc-datafoncier.cerema.fr/ff/doc\\_fftp/](http://doc-datafoncier.cerema.fr/ff/doc_fftp/)



## Tables agrégées des Fichiers fonciers



Figure 40. Tables agrégées des fichiers fonciers<sup>67</sup>

Dans le cadre du projet de recherche ATRE, les deux catégories de tables ont été exploitées au locaux, au bâtiment, à la parcelle ou agrégées à l'unité foncière en vue de caractériser les édifices. Il s'agit des tables :

- « Tables essentielles » (Table des parcelles - pnb10\_parcelle ; Table des locaux - pb0010\_local).
- « Tables agrégées » (TUP, Table Unifiée du Parcellaire ; Table des bâtiments).

Étant géolocalisées, les données contenues dans les tables des parcelles et des locaux peuvent être croisées avec d'autres objets géomatiques. En tenant compte de la qualité des données contenues dans les deux tables, certains attributs ont été exploités pour caractériser les édifices. Ces attributs ainsi que les différentes méthodes de reconnaissance seront décrits dans les parties suivantes. Nous nous contentons ici de mettre en avant les difficultés inhérentes à la structuration, à l'exploitation et à la qualité des données.

### 5.2.2.1. Géolocalisation des données à la parcelle

Les bases du CEREMA sont donc disponibles sous forme de fichier Shape file (SHP) géolocalisée. La Base TUP est distribuée sous forme de polygones contenant l'ensemble des parcelles qui forme l'unité foncière. La base de données des parcelles est distribuée sous forme de polygones (issus les parcelles du cadastre).

La base de données des bâtiments est construite à partir des bases parcellaires. Elle est livrée sous forme de points localisés au milieu de la parcelle de référence de l'unité foncière.

La table des bâtiments contient les informations permettant de caractériser les bâtiments de la BD TOPO. Cependant, sa construction rend difficile la liaison entre les bâtiments présents sur une parcelle et les polygones de la BD TOPO de l'IGN. Les principaux attributs repérés sont:

- les nombres et surfaces des locaux
- le nombre de niveaux
- les dates minimales et maximales de construction
- les statuts d'occupation
- les matériaux des murs et de la toiture

<sup>67</sup> [http://doc-datafoncier.cerema.fr/ff/doc\\_ffta/](http://doc-datafoncier.cerema.fr/ff/doc_ffta/)



Il est important de préciser que les attributs des bases de données des fichiers fonciers sont affiliés à la parcelle, car construits à partir des bases de la DGFIP (MAJIC) qui sont renseignées à la parcelle.

En conséquence, dans le cas d'une unité foncière<sup>68</sup> composée de plusieurs parcelles, les attributs sont pourvus sur seulement une des parcelles (généralement la parcelle dite de référence) ce qui rend difficile d'affecter les données attributaires aux différents bâtiments implantés au sein de cette même unité foncière. Ce cas de figure concerne principalement les copropriétés multiparcellaires, là où plusieurs bâtiments se trouvent sur plusieurs parcelles. Il est particulièrement difficile de caractériser les édifices présents à partir des tables parcellaires. Pour pallier ce problème, il est recommandé de recourir aux tables agrégées à l'unité parcellaire créée par le CEREMA à partir de 2016 - 2017.

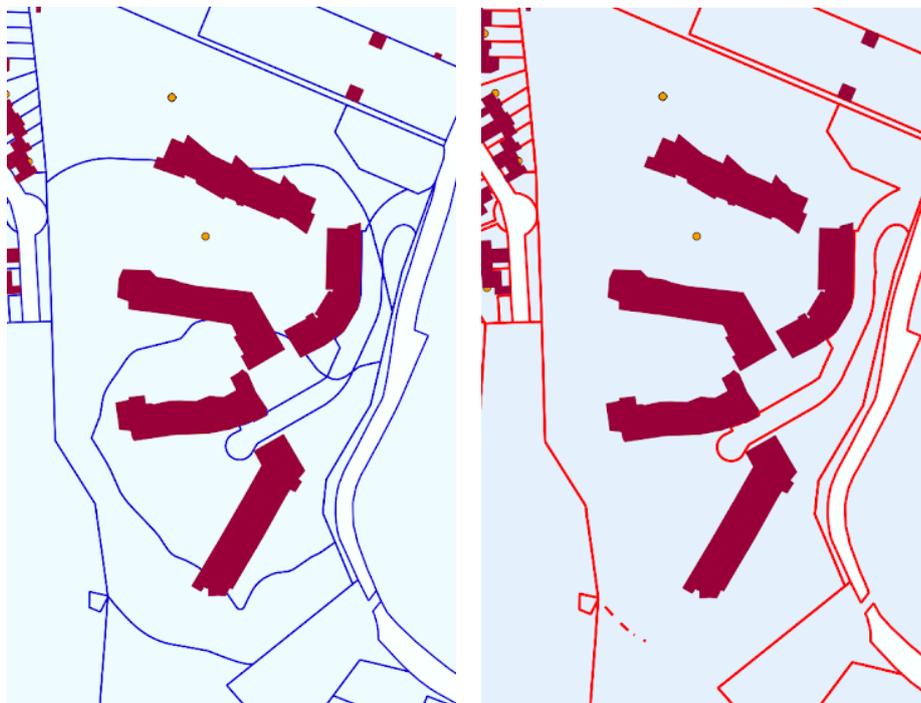


Figure 41. Différence entre les contours des parcelles (bleu) et des unités foncières (rouge)

#### 5.2.2.2. Année de construction /année d'achèvement

La période de construction d'un édifice peut être approchée à travers quelques attributs des relatifs à l'année d'achèvement du bâtiment portant les locaux. Ces données sont celles déclarées par les propriétaires à l'achèvement des travaux de construction ou lors de l'aménagement d'un bâtiment existant.

Plusieurs données sont affiliées à l'année d'achèvement. Il s'agit des variables : jannat, jannatmin, jannatmax, jannatminh, jannatmaxh (il est recommandé d'utiliser jannath).

"jannat" est la donnée brute présente dans les fichiers MAJIC de la DGFIP renseignée à l'échelle du local. Elle se décline en deux attributs que sont "jannatmin" et "jannatmax". Ils représentent respectivement l'année d'achèvement de la construction du local le plus ancien et le plus récent existant sur la parcelle. Un redressement de l'attribut d'origine "jannat" et de ces deux déclinaisons est fait par le CEREMA afin de l'harmoniser et de produire deux autres attributs (jannatminh, jannatmaxh) renseignés à la parcelle à l'échelle du bâtiment intégrant le local. Dans le cas d'une maison individuelle, il s'agit de l'année d'achèvement de la maison (min et max). Dans le cas d'un immeuble collectif, il est question de l'année d'achèvement de l'immeuble à la parcelle (sous deux déclinaisons min et max).

<sup>68</sup> L'unité foncière est un ensemble de parcelles contiguës appartenant à une même composition de la propriété (même(s) propriétaire(s), mêmes droits de propriété associé (droit réel et droit particulier). Source : [http://www.etudes-normandie.fr/upload/crbn\\_cat/1/1084\\_3311\\_MAJIC.pdf](http://www.etudes-normandie.fr/upload/crbn_cat/1/1084_3311_MAJIC.pdf)



### 5.2.2.3. Qualité de la donnée

Selon l'évaluation faite par le CEREMA, chaque variable contenue dans les fichiers fonciers dispose, l'année d'achèvement est supposée être une variable "fiable et utilisable mais peut ne pas être exhaustive ou bien présenter des limites d'utilisation". Concrètement cela se traduit par:

- l'absence de cet attribut pour certains bâtiments même si le taux de renseignement de l'année d'achèvement s'améliore au fil des millésimes. La disponibilité de cette donnée reste variable en fonction des types de locaux et de l'âge des bâtiments. Ceux destinés à un usage d'habitation présentent un taux de couverture assez important (98% des locaux d'habitation sont renseignés, 99,9% pour les maisons et 94,6% pour les appartements<sup>69</sup>). En conséquence, les fichiers livrés par le CEREMA comptent certains bâtiments qui ne disposent pas de cette donnée. Dans le cas des fichiers fonciers utilisés (millésime 2017), sur un total de 4826 bâtiments à usage d'habitation, seulement 68 ne sont pas renseignés (1,4 %).
- Étant basée sur des données déclaratives des contribuables cette donnée peut dans certains cas être faussée.

D'un millésime à l'autre, la date d'achèvement peut être modifiée pour un local ayant subi des travaux de rénovation (réhabilitation) lourds dans ou le cas d'une modification des locaux (exemple de deux appartements réunis) sans pour autant garder la donnée d'origine. Cela semble dépendre de la modalité de création ou de la mise à jour des données par la DGFIP qui varient selon les services.

Afin de tenir compte de ces aspects, seul un travail de reconnaissance sur terrain peut permettre d'estimer l'âge des édifices non renseignés et de corriger les données fausses voire leur rétropolation.

### 5.2.2.4. Nature, nombre et surface des locaux

Étant des données qui servent à de la collecte fiscale ou au calcul de la valeur locative, les variables décrivant la nature des locaux, leur nombre et leurs surfaces sont des données "très fiables", mais peuvent parfois présenter des décalages par rapport à une confrontation terrain. Même si à l'échelle de l'édifice ces données peuvent être proches de la réalité, leur agrégation à l'échelle communale peut présenter des écarts significatifs.

Selon la nature des locaux, il est possible d'extraire parmi les édifices existants ceux qui sont dédiés à l'habitation et distinguer dans un même édifice ceux qui sont habitables. Il est aussi envisageable de calculer la surface habitable partant de chaque local unitaire d'habitation.

### 5.2.2.5. Nature technique des locaux

Les informations d'ordre technique pouvant être utilisées pour décrire l'enveloppe des édifices sont des données présentes dans les fichiers fonciers. Il s'agit d'une description sommaire de la nature du matériau composant les parois porteuses et des toitures. Les deux variables sont :

- "dmatgm" (matériaux des gros murs) avec des valeurs numériques permettant de distinguer le matériau principal des parois extérieures : 0 indéterminé, 1 pierre, 2 meulière, 3 béton, 4 briques, 5 aggloméré, 6 bois, 9 autres
- "dmatto" (matériaux des toitures) avec des valeurs numériques permettant de décrire le matériau principal de la toiture : 0 indéterminé, 1 tuiles, 2 ardoises, 3 zinc aluminium, 4 béton, 9 autres

Selon l'analyse et le classement établis par le CEREMA, ces deux variables peuvent présenter des soucis de fiabilité. Cela peut être dû à la nature de la donnée qui peut être collectée plus ou moins l'être d'un millésime à un autre. Ainsi, depuis 1990, le renseignement de la donnée du type "matériaux des gros murs" et "toiture" ne sont plus obligatoires pour les immeubles collectifs. Avant 1990, le taux de renseignement semble être bon.

En considérant que dans les édifices antérieurs à 1990 cette donnée correspond à la réalité, elle ne peut être utilisée qu'à titre indicatif puisqu'elle ne permet pas de tenir compte de la complexité des éléments qui sont susceptibles de composer l'enveloppe (enduits, isolation, parties hétérogènes,

---

<sup>69</sup> <http://piece-jointe-carto.developpement-durable.gouv.fr/NAT004/DTerNP/html3/annexes/fiche%2003.pdf>



épaisseur des couches). Il est nécessaire de souligner que ces données ne tiennent pas compte des changements opérés sur les enveloppes lors d'éventuelles réhabilitations. Par ailleurs, la présence de chauffage central, de gaz et d'électricité, sont renseignées sans pour autant que soit précisé leur degré de fiabilité. Ces variables pourraient servir à affiner les bilans énergétiques.

#### 5.2.2.6. Synthèse des difficultés liées à l'usage des FF

Les points FF font référence aux unités foncières à l'intérieur des bâtiments et non pas aux bâtiments comme objets physiques. Quand dans le même bâtiment (objet architectural) existent deux entrées séparées, comportant deux copropriétés distinctes, il serait probable que sur la parcelle nous trouverons deux points FF, tandis que sur la BD TOPO apparaîtrait un seul bâtiment.

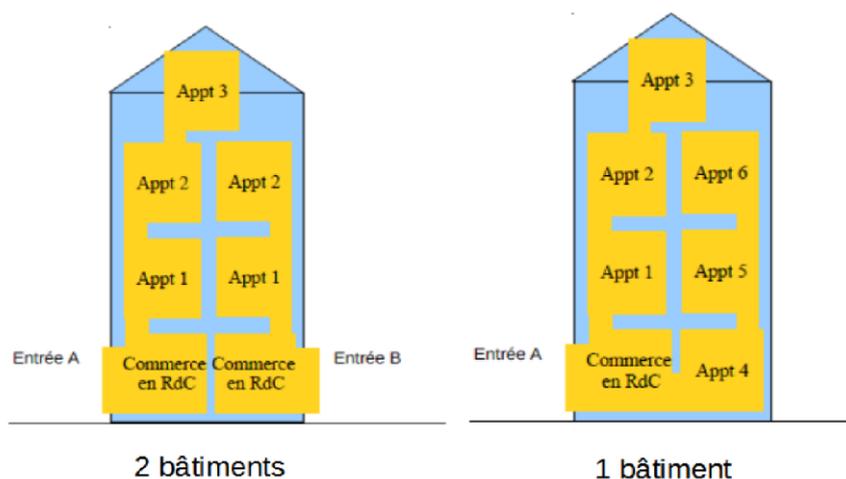


Figure 42. Schémas de création des points bâtiment de la base Bâtiment des FF (source CEREMA)

Une autre difficulté rencontrée réside dans le fait que parfois les caractéristiques d'âge du bâtiment sont renseignées sur un seul point sur la même parcelle contenant plusieurs bâtiments.

Pour finir, souvent quand un bâtiment a subi une réhabilitation lourde, l'ancienne fiche (MAJIC) est détruite et refaite à nouveau, cela implique que la date de création du bâtiment est mise à jour en renseignant la date de réhabilitation et celle de l'achèvement.

L'exploitation de la base bâtiments des fichiers fonciers présente d'autres difficultés qu'il est possible de résumer selon les points suivants :

- Le manque de fiabilité venant de la base MAJIC concernant la date de création du bâtiment car cette information n'est pas toujours remplie de manière précise.
- Des problèmes de saisie affectant parfois les informations caractérisant les bâtiments parmi ceux présents sur la parcelle apparaissent seulement sur l'un des points bâtiments.
- Des problèmes dus à la méthode de création des points bâtiments qui parfois ne correspondent pas au nombre de bâtiments physiquement présents sur la parcelle.
- Prise en compte des bâtiments d'équipement public avec des logements de fonction (édifices qui ne sont pas pris en compte dans le travail de recherche ATRE)
- Localisation des points bâtiment dans les copropriétés multi parcellaires.

Malgré ces contraintes qu'il faut toujours considérer lors de la liaison des fichiers fonciers avec la BD TOPO, les informations contenues dans ces tables sont extrêmement riches et permettent de caractériser les types des bâtiments. La mise à jour annuelle de ces données, ainsi que la création de nouvelles tables et de nouveaux attributs permet souvent de dépasser les blocages précédemment rencontrés et d'améliorer la qualité des informations.

La base des fichiers fonciers couvre l'ensemble du territoire français (sauf dans le cas de rares zones rurales) et est aujourd'hui la source la plus fiable pour avoir des informations géolocalisées sur la date de création et l'usage des édifices.



### 5.3. Caractérisation des bâtiments par type (archétype)

En affectant un type à un édifice, l'usage d'une nomenclature pour décrire les édifices permet de transférer les caractéristiques que l'on désire du type vers l'édifice.

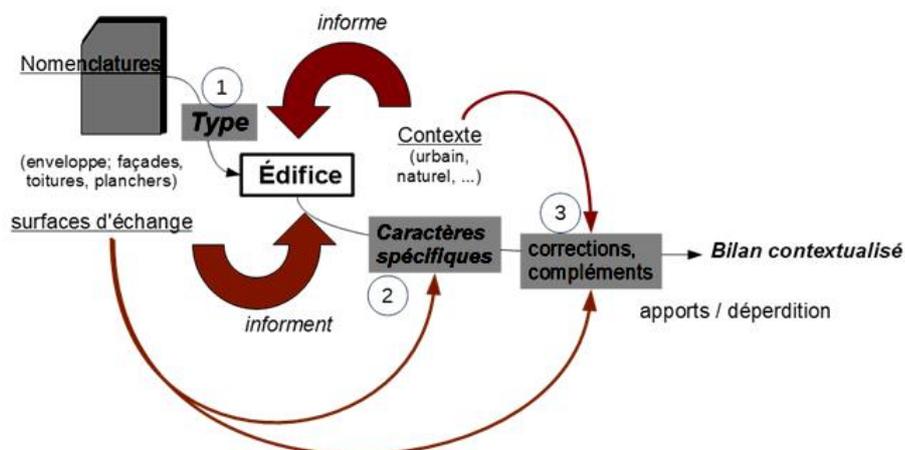


Figure 43. Principe de liaison entre édifice et caractéristiques du type.

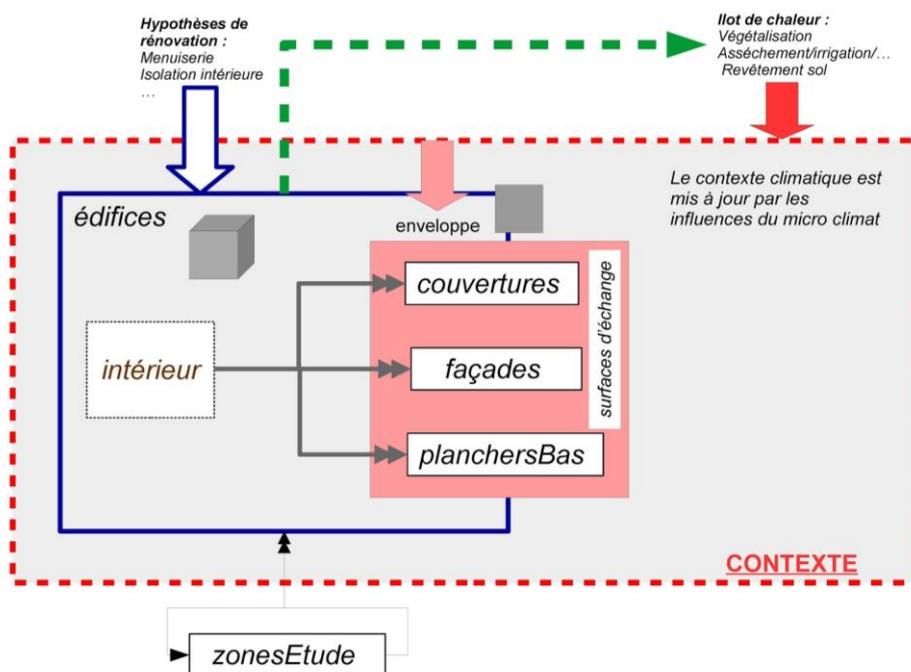


Figure 44. Schéma de principe de la contextualisation des analyses

Dans l'approche courante, une nomenclature réunit dans chaque type un ensemble de caractères, dont la combinaison des valeurs produit chacun des types. Une nomenclature est donc un moyen rapide de reconnaître et de caractériser des objets réels afin de les classer et de les comparer. Dans le cadre de ce travail de recherche, il s'agit, en identifiant des édifices à un type, de transférer un certain nombre de caractéristiques provenant de la typologie (Tabula et 123 RENO) aux édifices et à leurs éléments d'enveloppe (façades, couvertures, plancher bas).

Ces caractéristiques sont de deux types :

- Des valeurs de champs (ex : U, hauteur d'étage, pente de toiture, etc.),



- Des ratios (ex : rapport superficie de fenêtres / surface de façade, répartition de ces surfaces selon catégorie de façades principale, secondaire ou pignon).

### 5.3.1. Nomenclatures TABULA et 123 Reno

L'étude consacrée aux nomenclatures dans la partie dédiée à l'état de l'art a permis de dégager un certain nombre de conclusion quant à pertinence d'utiliser à la fois des nomenclatures nationale et locale comme socle à l'identification des édifices. Dans les pages qui suivent il est question d'expliquer comment relier les caractères des types d'une nomenclature avec les édifices présents le territoire.

Pour prendre en charge l'hétérogénéité des logements existants, les recherches bibliographiques qui s'intéressent à la caractérisation énergétique à grande échelle (menées durant la phase 1) ont montré la nécessité de recourir à une nomenclature permettant de classer les bâtiments résidentiels. Dans le cadre de la mise en œuvre de l'atlas, il est nécessaire de caractériser chaque édifice sur le territoire étudié. Le choix s'est porté sur la nomenclature nationale TABULA, qui est complétée au besoin par la nomenclature locale (123 Réno). En ayant recours à une classification par type, l'objectif consiste à identifier chaque édifice de l'aire étudiée par son appartenance à un type (archétype).

La nomenclature TABULA est basée essentiellement sur :

- Le nombre de logements qui définit la taille du bâtiment et sa mitoyenneté. Ainsi, les édifices résidentiels ont été classés selon quatre catégories que sont la maison individuelle détachée, la maison mitoyenne, le petit immeuble de logements collectifs (moins de 10 logements) et le grand immeuble de logements collectifs (plus de 10 logements).
- L'âge de la construction. Dix périodes constructives ont été déterminées en tenant compte des dates clés ayant eu un impact sur le changement des techniques constructives et des aspects réglementaires.

Le croisement de ces deux critères permet d'identifier 40 types de bâtiments représentatifs du parc résidentiel comme le montre le tableau suivant.

	Périodes constructives										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Familles de bâtiments	< 1915										> 2012
Maison détachée (SFH)		1915	1949	1968	1975	1982	1990	2000	2006		
Maison de ville (TH)		-	-	-	-	-	-	-	-		
Petit collectif (MFH)		1948	1967	1974	1981	1989	1999	2005	2012		
Grand collectif plus de 10 appartements (AB)											

Tableau 17. Types considérés selon la nomenclature TABULA

## 5.4. Croisement de la BD TOPO avec les fichiers fonciers

En partant de BD TOPO qui géolocalise les édifices et décrit leur périmètre, l'objectif du travail de croisement avec les fichiers fonciers consiste à joindre les attributs de cette base de données identifiés comme étant nécessaires et fiables aux édifices résidentiels correspondants. Il est donc question ici de décrire la méthode utilisée et les procédures développées pour réaliser ces jointures en vue d'automatiser autant que possible le travail de reconnaissance des édifices.

La manière dont les deux bases de données sont construites comporte un certain nombre de difficultés qu'il faut considérer lors de leur utilisation. Les deux bases de données n'ont aucun attribut ou identifiant commun qui permettrait de les joindre. Nous avons donc choisi de nous concentrer sur les attributs comparables les plus proches entre les deux bases.



### 5.4.1. Méthode retenue pour réaliser la jointure entre les deux bases de données

Joindre les attributs des fichiers fonciers pour renseigner les bâtiments de la BD TOPO doit se faire en tenant compte de la complexité que revêt la notion de bâtiment fiscal<sup>70</sup> et sa correspondance avec le bâtiment physique (entité géométrique présente dans la BD TOPO). Le rapprochement entre les deux entités n'étant pas toujours évident, une première tentative de jointure a été réalisée sur les territoires retenus pour l'expérimentation afin de déceler les dysfonctionnements pouvant apparaître lors du rapprochement des deux bases de données.

Si la jointure semble bien fonctionner lorsqu'un seul édifice est présent sur la parcelle qui comporte un seul point foncier, à l'issue de cette étape exploratoire plusieurs bâtiments n'ont pas pu être renseignés. Les difficultés de jointure constatées peuvent être présentées selon plusieurs cas de figure:

- Lorsque le bâtiment est composé de plusieurs entités et d'un point foncier.
- Plusieurs points fonciers géolocalisés dans la parcelle de référence avec la présence de plusieurs points fonciers (il est nécessaire de rappeler à ce titre que les attributs des fichiers fonciers sont renseignés à la parcelle de référence).
- Plusieurs dates présentes sur une unité foncière.

L'association entre un point foncier et un bâtiment de la BD TOPO peut être réalisée en trouvant une corrélation entre des attributs géométriques caractérisant chaque édifice (emprise au sol, hauteur, volume) et un attribut de la même nature reposant sur la fiscalité. C'est ainsi qu'à partir de l'emprise au sol d'un édifice et de sa hauteur il est possible d'évaluer son volume. Du côté des fichiers fonciers il existe un attribut qui permet de spécifier la surface globale des édifices. Il s'agit de l'attribut "spevtot".

89	spevtot	Surface totale des parties d'évaluation (en m <sup>2</sup> ) (Somme du champ spevtot)
----	---------	---

Tableau 18. Attribut de la table des bâtiments FF

Afin de résoudre le problème de jointure permettant de relier les valeurs attributaires des fichiers fonciers aux édifices correspondants, une procédure a été développée en partant de l'hypothèse que sur une unité foncière contenant des édifices résidentiels, les édifices ayant la plus grande surface correspondent à ceux avec le plus grand volume. Cette simplification est possible en partant du principe que les bâtiments résidentiels ont généralement des hauteurs d'étage régulières.

Pour ce faire, il est nécessaire de procéder d'une part, à la création d'un attribut "IdDim" permettant d'identifier l'appartenance des points fonciers correspondant aux édifices se situant à l'intérieur d'une même unité foncière. Une hiérarchisation des édifices (au sens fiscal du terme) par ordre décroissant de leur surface totale permet par la suite de les classer par taille. La même opération reproduite sur les édifices de la BD TOPO présents dans chaque unité foncière permet d'autre part de classer ces édifices par ordre décroissant de leur volume. Partant de ce principe, il est possible d'associer, sur une même unité foncière, les attributs de chaque point foncier dont la surface totale est la plus importante à l'édifice de la BD TOPO le plus volumineux et ainsi de suite.

Il est important de préciser que la liaison doit être réalisée en classant la taille des édifices dans un ordre décroissant. Cela permet de réduire au minimum les erreurs dues à la présence de points des FF concernant des annexes commerciaux qui sont présents sur la TUP et de réduire ainsi que les erreurs dues à la fragmentation des bâtiments dans la BD TOPO.

Une fois joints, les polygones sur le territoire porteront les caractéristiques des FF de référence. Même si cette méthode permet d'améliorer sensiblement l'assignation des attributs des fichiers fonciers aux édifices de la BD TOPO, certains problèmes de jointure subsistent. Ils concernent essentiellement les bâtiments qui sont d'une part découpés parfois de manière aléatoire conduisant à leur fragmentation. Dans ce cas, lorsqu'un bâtiment de la BD TOPO est représenté par plusieurs

<sup>70</sup><http://piece-jointe-carto.developpement-durable.gouv.fr/NAT004/DTerNP/html3/annexes/guide%20FF%202017.pdf>



polygones il est difficile de le caractériser. D'autre part, comme mentionné plus haut, l'absence d'information dans les fichiers fonciers ne permet pas de renseigner l'édifice.

Le travail exploratoire de relevé de terrain a permis de constater que lorsque plusieurs parties d'un bâtiment sont présentes sur la même unité foncière, elles avaient presque toujours la même date de création. Partant de ce constat et afin d'améliorer la jointure entre les deux bases de données, les édifices non renseignés lors de la première étape de liaison se voient synthétiquement attribuer la date la plus ancienne des constructions sur la parcelle (jannathmin). Ce deuxième passage permet d'assigner une date à presque tous les édifices.

Grâce à la date de création des édifices nous pouvons donc agréger les bâtiments par période, suivant les plages de temps proposés par la nomenclature TABULA.

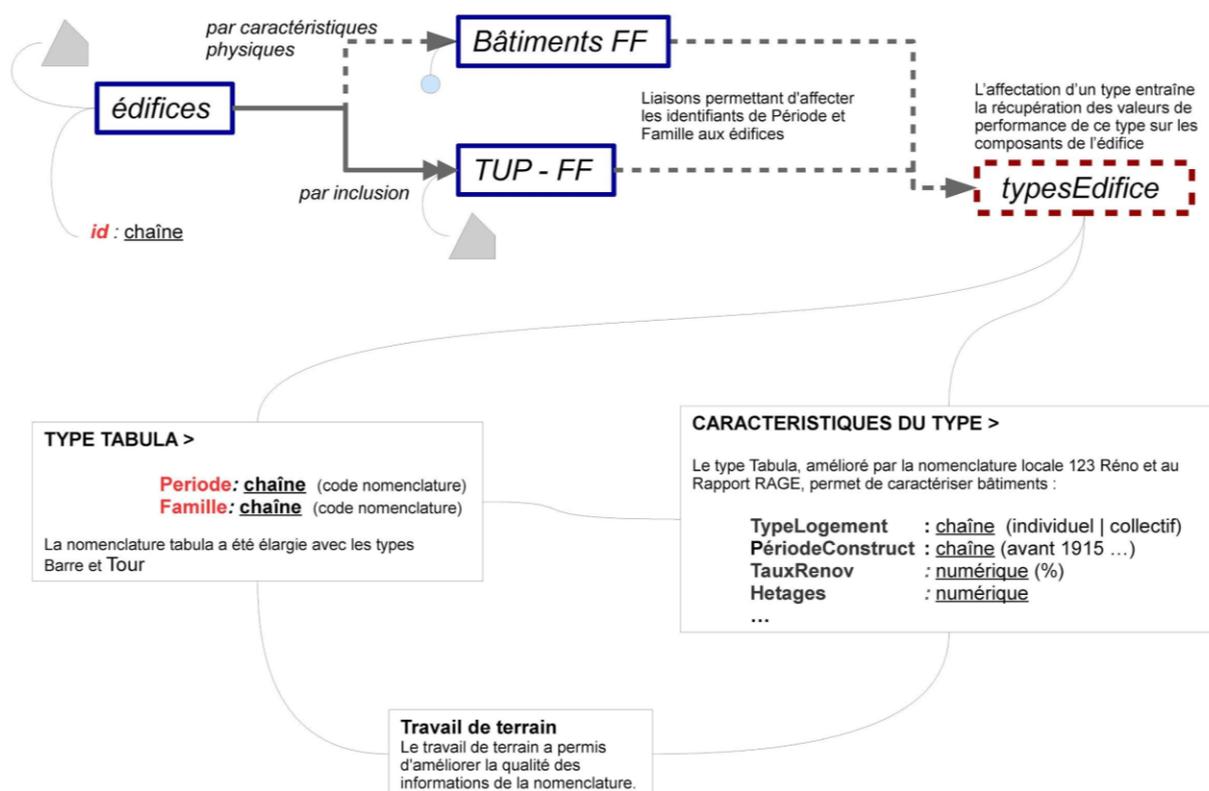


Figure 45. Schéma de principe de liaison entre édifices de la BD TOPO, fichiers fonciers et nomenclature TABULA

#### 5.4.1.1. Assignation des familles de bâtiments par taille et période constructive

Le choix de la nomenclature TABULA avait pour objectif la caractérisation des édifices sur un territoire à partir de la connaissance de deux critères que sont la période constructive et le nombre logements.

Les procédures de jointure développées sur QGIS permettent justement de relier les fichiers fonciers aux édifices rendant possible la reconnaissance des édifices de la BD TOPO par famille et période constructive à travers l'attribut de l'âge du bâtiment et le nombre de lots d'habitation qui le composent.

Telle que construite, la nomenclature TABULA décrit quatre familles de bâtiments sur la base de la taille et du caractère mitoyen ou non d'un édifice. De ce fait, les édifices du type barre ou tour ayant des propriétés architecturales particulières sont assimilés à du grand collectif ce qui ne permet pas de les distinguer en décrivant de façon précise les caractéristiques constructives ainsi que la composition de leurs façades (taux de surface vitrée). Pour cette raison et afin de couvrir un panel assez large de types constructifs rencontrés lors de l'étude exploratoire sur le terrain, aux quatre familles issues de TABULA, il a été décidé de rajouter deux familles complémentaires que sont les barres et les tours. Ces deux types supplémentaires sont essentiellement considérés à partir de la période de la reconstruction (années 50, 60 et 70).



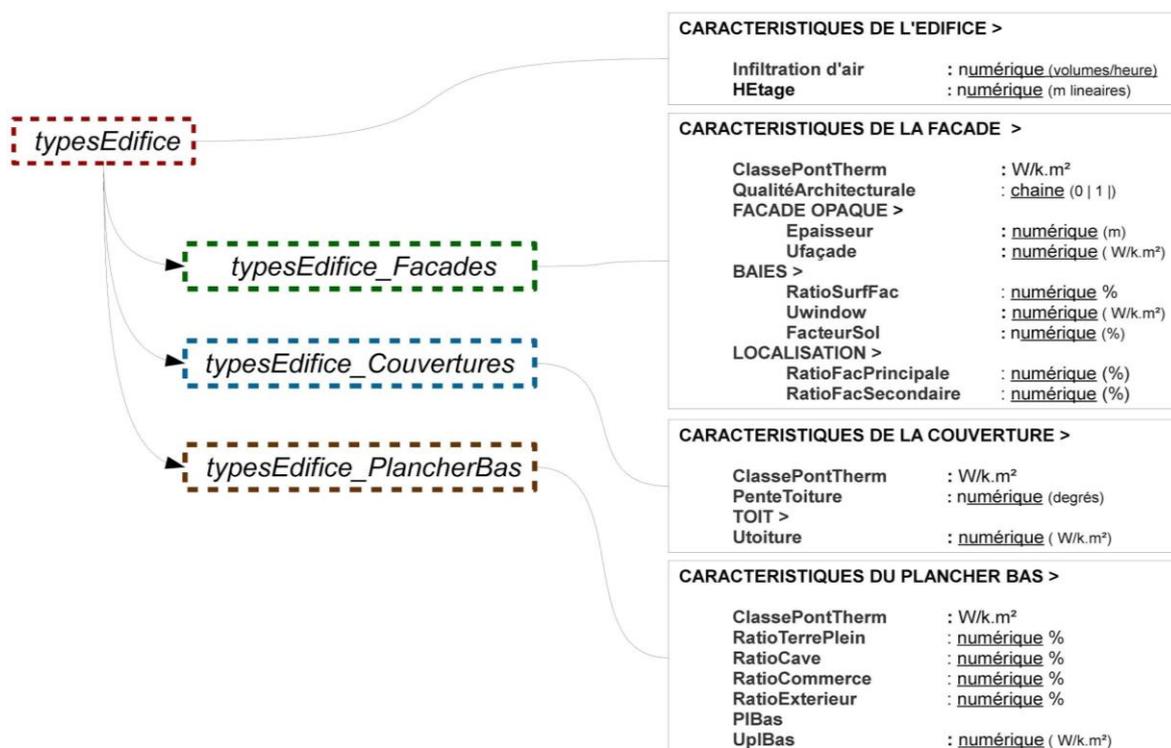


Figure 46. Schéma des caractéristiques du type reliées aux bâtiments sur le territoire

#### 5.4.1.2. Appartenance à un type par la taille de l'édifice

La nomenclature TABULA classe les bâtiments en famille en fonction de leur taille. Celle-ci correspond au nombre de logements composant le bâtiment en question. Mis à part les maisons isolées et mitoyennes, les bâtiments collectifs sont considérés comme petit collectif si le nombre de logements est inférieur à 10. Au-dessus de ce seuil, un bâtiment est considéré comme du grand collectif.

Les attributs des fichiers fonciers pouvant contribuer à préciser l'appartenance d'un bâtiment à une maison ou de l'habitat collectif (à partir du nombre de logements) sont présentés dans le tableau suivant. Ces variables étant basées sur des considérations fiscales (et renvoient vers la définition des propriétés bâties) sont tour à tour explorées pour faciliter l'identification d'un bâtiment à une famille.

nlocal	Nombre de locaux (Somme du champ nlocal)	Entier
nlocmaison	Nombre de locaux de type maison (Somme du champ nlocmaison)	Entier
nlocappt	Nombre de locaux de type appartement (Somme du champ nlocappt)	Entier

Tableau 19. Attributs de la BD FF Bâtiments

Lors de l'assignation des types aux édifices de la BD TOPO il a été nécessaire de redéfinir le concept des familles issues de la nomenclature TABULA car il a fallu les adapter aux informations présentes dans la BD fichiers fonciers bâtiments. Cela a conduit à définir des règles particulières d'assignation des familles.

#### 5.4.1.3. Maisons individuelles



TABULA définit deux types de bâtiments résidentiels comme « maison unifamiliale ». Il s'agit des types SFH et TH. La différence entre ces deux familles concerne le contexte dans lequel les maisons sont implantées et les caractéristiques constructives de leurs enveloppes. Le type SFH compte les maisons isolées dans le sens elle ne comporte aucune mitoyenneté par rapport aux maisons voisines, tandis que le type TH sont les maisons disposant de parois mitoyennes.

Partant de ce principe de classification, il est possible de reconnaître ces deux familles de maisons sur le territoire en différenciant tous les édifices dont l'attribut "nlocmaison" est supérieur à 1 et en distinguant ceux qui sont mitoyens de ceux qui ne le sont pas. Or, ces deux considérations ne suffisent pas à décrire les édifices pouvant en réalité être assimilés à des maisons alors qu'ils sont considérés comme des édifices appartenant à du logement collectif. À titre exemple, une maison occupée par une famille ou un petit édifice occupé par deux familles ne présentent pas des différences substantielles. Un petit édifice a pu être à l'origine une maison qui par la suite a été subdivisée en deux appartements sans pour autant que ses caractéristiques constructives soient modifiées.

Dans la base de données des fichiers fonciers bâtiments il n'existe aucune description similaire qui puisse nous rapprocher des types constructifs. Les seuls attributs disponibles permettent de différencier les « maisons », les « appartements » et les « locaux ».

Les premières campagnes de terrain ont permis de confirmer ce constat. En effet, des édifices de petite taille de type maison individuelle qui dépassent rarement deux niveaux (R+1) peuvent parfois comporter plus d'un appartement et sont donc occupés par plus d'un ménage. Combinant le critère de taille et le nombre de ménages, il serait erroné d'utiliser "nlocmaison" comme seul attribut pour désigner la maison individuelle.

Il a aussi été décidé d'écartier les attributs "nlochabit" (somme du nombre de maison et appartement) et "nlocappt" (nombre d'appartements) car peuvent induire en erreur quand il s'agit d'un édifice à usage mixte. C'est ce qui a été relevé lors de la campagne exploratoire de terrain où parfois des bâtiments de taille plus importante que les petits édifices de type maison peuvent être majoritairement occupés par des bureaux ou des locaux commerciaux. S'appuyer sur ces attributs risque de classer ces bâtiments dans la catégorie SFH ou TH alors qu'en réalité ce type est plus assimilable à un bâtiment qui initialement est de type collectif.

Pour toutes ces raisons, il est plus judicieux d'utiliser l'attribut qui précise le nombre de locaux (nlocal). Au sens des fichiers fonciers, un local peut désigner une maison, un appartement, une dépendance (de l'habitation) et un local commercial ou industriel. L'hypothèse retenue pour attribuer le type "maison" à un édifice consiste à identifier les entités bâties résidentielles qui hébergent 1 à 3 locaux (obtenus après plusieurs tests).



Figure 47. Exemple de maisons de la famille TH (Terraced House) contenant 2 et 3 locaux

En appliquant cette règle, il est possible de reconnaître plus précisément l'ensemble des maisons individuelles. La distinction entre maison isolée et maison mitoyenne peut se faire en procédant à des traitements des édifices de la BD TOPO permettant de les reconnaître.

Cela a été possible en analysant les périmètres des TUP et celle des polygones des édifices. Sur chaque édifice d'une unité parcellaire a été créé un attribut le définissant comme « isolé ». L'attribut ISOL = 0 définit les maisons ayant une paroi mitoyenne avec un voisin, ISOL = 1 définit les édifices isolés sur la parcelle.

#### 5.4.1.4. Immeubles de logements collectifs (familles MFH et AB)



La nomenclature TABULA différencie les bâtiments appartenant à du petit collectif et le grand collectif. Cette distinction est simplement établie à partir du nombre de logements sans faire intervenir le contexte d'implantation des édifices (bâtiment isolé ou mitoyen) en considérant qu'il s'agit de techniques constructives similaires. En dessous de 10 logements, un bâtiment appartient à la famille MFH (Multi Family House : petit collectif). Cette famille contient les immeubles de ville de moyenne taille, ainsi que les immeubles isolés. Au-dessus du seuil de 10 logements, il s'agit de la famille AB (Appartement Bloc : grand collectif).

D'une manière générale, cela revient à décrire des édifices qui logent plusieurs ménages avec une hauteur qui généralement dépasse le R+2.

Les barres et les tours sont caractérisés par des techniques constructives différentes par rapport à des immeubles de taille plus faible de la même époque. Ces deux types architecturaux sont fréquents pendant une certaine période constructive (après-guerre jusqu'aux années 80). Du point de vue architectural, ils sont caractérisés par des pourcentages de surface de menuiseries vitrées plus importantes.

À l'image de la méthodologie qui a permis la reconnaissance des maisons individuelles en se basant sur le nombre de locaux, il est possible de s'appuyer sur cet attribut pour identifier les deux types d'immeubles collectifs MFH et AB. Le seuil maximal de nombre de locaux étant fixé à 3 pour les maisons, les édifices comportant un nombre de locaux compris entre 3 et 10 peuvent être classés dans la famille MFH. Les édifices avec un nombre de locaux supérieur à 10 sont quant à eux considérés comme appartenant à la famille AB.

À travers cette méthode, il a été possible d'assigner une famille aux édifices qui avaient été reliés aux points FF bâtiments. Un certain nombre de polygones ne l'était pas à cause des problèmes énoncés plus haut. Pour résoudre ce problème, nous avons fait appel aux données recueillies lors de la campagne de relevé de terrain sur les 5 IRIS de Marseille, ainsi qu'au travail de terrain mené à Septèmes-les-Vallons. Nous avons réalisé une étude statistique concernant les volumétries des édifices que nous avons relevés sur le terrain et dont la famille était vérifiée.

À partir des volumétries des édifices de chaque type de bâtiment, le volume médian et l'écart moyen ont été évalués.

<b>SFH MEDIANE<sup>71</sup></b>	<b>TH MEDIANE</b>	<b>MFH MEDIANE</b>	<b>AB MEDIANE</b>
553,00	506,00	1534,50	3357,50
<b>SFH écart moyen<sup>72</sup></b>	<b>TH écart moyen</b>	<b>MFH écart moyen</b>	<b>AB écart moyen</b>
352,68	435,94	896,86	6094,29
<b>PLAGE</b>	<b>PLAGE</b>	<b>PLAGE</b>	<b>PLAGE</b>
120	120	950	2400
950	950	2400	>>

Tableau 20. Volumes relevés et plages choisies pour assigner une famille aux édifices

Les bâtiments dont la famille n'était pas renseignée ont été évalués par rapport à leur volume. Lors que le volume d'un bâtiment est compris dans une plage, la famille correspondante est assignée.

La liaison avec la table Bâtiments des fichiers fonciers a permis de renseigner 3662 édifices tandis que la deuxième méthode, basée sur les volumétries, mise en place a permis de renseigner les 971 édifices restants.

<sup>71</sup> La médiane est la valeur centrale d'une série statistique dont les valeurs observées ont été rangées dans l'ordre croissant, est la valeur qui partage la population étudiée en deux sous-ensembles de même effectif". (<https://fr.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/mean-median-basics/a/mean-median-and-mode-review>)

<sup>72</sup> L'écart moyen est la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts à la moyenne de la série. C'est une mesure de dispersion de la série. (<https://fr.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/other-measures-of-spread/a/mean-absolute-deviation-mad-review>)



#### 5.4.1.5. Types tours et les barres

La catégorie des grands immeubles de logements collectifs AB regroupe toutes les formes d'édifices dépassant 10 logements sans distinction particulière. Les barres et les tours d'habitation évoquées plus haut font partie de cette catégorie alors que ces édifices sont caractérisés par des techniques constructives typiques de la construction de masse d'après-guerre par rapport à des immeubles de taille plus faible. Par ailleurs, du point de vue architectural et formel ces deux familles d'édifice ont une organisation et une distribution des logements sensiblement différentes pouvant avoir un impact non négligeable sur la composition des façades et donc sur le taux de surfaces vitrées.

Parmi les édifices appartenant à la famille AB, les barres et les tours ne peuvent pas seulement être identifiées grâce au nombre de logements qu'elles contiennent. La reconnaissance de ces édifices peut en revanche être facilitée par le biais d'un indicateur (géométrique) formel. Pour ce faire, plusieurs essais ont été menés afin d'isoler dans un premier temps ces deux types à partir de requêtes spatiales faisant intervenir le volume et la hauteur de bâtiment. Les édifices du type AB (grand collectif) pouvant être apparentés à des immeubles d'au moins quatre étages (environ 11 m de hauteur) et dont le volume dépasse 3200 m<sup>3</sup> et appartenant à la période constructive datant de l'après-guerre.

En partant de cette sélection, une vérification ex-situ a permis de vérifier la pertinence des règles de reconnaissance appliquées sur les IRIS choisis. Cette analyse visuelle a permis de constater que certains bâtiments censés appartenir aux types barres et tours n'ont pas été sélectionnés. Cela dépend essentiellement de la fragmentation parfois aléatoire de quelques polygones de la BD TOPO. Cependant, la méthode de repérage s'avère rapide et peut être appliquée facilement aux bâtiments concernés. À partir des polygones sélectionnés, il est facile de reconnaître les deux formes architecturales (polygones carrés et parallélogrammes).

Les barres et les tours peuvent dans un second temps être différenciés en appliquant d'autres règles géométriques faisant intervenir le rapport longueur/largeur. Les polygones dont le rapport longueur/largeur est compris entre 0,5 et 1 peuvent se rapprocher du type tour. Si ce rapport est inférieur à 0,5, le polygone représente la base parallélogramme d'une barre.

Il est nécessaire de préciser que ce travail permettant de distinguer les barres et les tours a pour objectif principal de hiérarchiser des façades en vue de produire des bilans énergétiques plus précis. En effet, les façades longitudinales des barres ont été considérées comme ouvertes (principales) et les autres comme fermées (pignons). Les tours quant à elles sont souvent composées de façades principales comportant un taux de vitrage presque similaire sur toutes les façades à cause de la distribution des logements par étage et leur caractère non traversant.

Enfin, il ne s'agit pas là de présenter des règles de reconnaissances géométriques immuables, d'autres méthodes s'appuyant sur le coefficient de forme (rapport de la somme des parois extérieures au volume de l'édifice) permettraient d'affiner la reconnaissance. Cependant, cela ne résout pas le problème lié à la fragmentation de certains bâtiments, d'où le recours à des critères géométriques explicites précédemment. Un travail de vérification ex-situ serait nécessaire dans ce cas.

### 5.5. Étude de terrain et implémentation des bases de données des fichiers fonciers

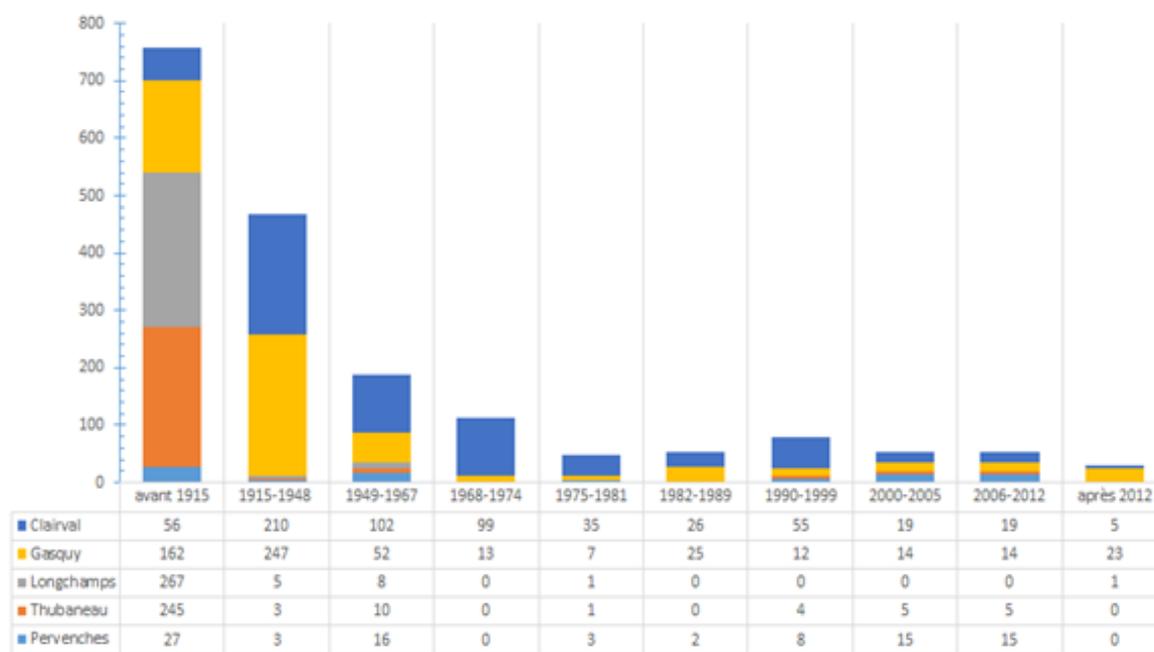
Le travail de terrain a un double objectif. D'une part, il est nécessaire de tester l'ensemble des outils et méthodes développés pour extraire, exploiter et traiter les données existantes. D'autre part, pour privilégier la qualité du diagnostic énergétique, les campagnes de terrain doivent servir au recueil des données manquantes.

À l'issue de la première phase du projet, des terrains d'études avaient été identifiés en fonction de leur diversité. Ce choix a été dicté par le critère de représentativité des types d'édifices résidentiels présents dans la nomenclature considérée. Ainsi, dans un premier temps cinq IRIS ont été choisis pour mener l'étude de terrain. Il s'agit des IRIS suivants :

- Thubaneau : tissu dense de ville comportant des édifices anciens du 19<sup>ème</sup>
- Longchamp : tissu dense de ville avec une dominante de bâtiments haussmanniens
- Clairval : tissu situé en périphérie de la ville habitat collectif des années 80-2000 / habitat individuel
- Pervanches : tissu comportant de l'habitat collectif des années 70



- Gasquy: habitat individuel appartenant à diverses époques constructives et lotissements récents



Graph. 8. Nombre des édifices présents sur chacun des cinq IRIS répartis par périodes constructives

Les cinq IRIS ont fait l'objet d'investigations in situ qui ont duré une à deux journées par IRIS selon l'étendue, la complexité du tissu considéré et nombre de personnes disponibles pour mener à bien le travail de recueil.

À caractère exploratoire, ce travail de terrain a surtout servi pour tester la validité des procédures développées. Les premiers résultats obtenus ont donné lieu à des ajustements importants qui ont permis d'améliorer la précision des procédures mises en place. À ce titre, au tout début du travail de développement, n'étant pas disponible, il n'était pas possible d'accéder à la table des unités foncières (TUP) regroupant les parcelles des copropriétés multiparcellaires ce qui rendait le travail de caractérisation des édifices assez difficile avec un degré d'incertitude élevé. La mise à disposition récente (spécifier date) des nouvelles tables a permis de sensiblement améliorer la méthode de reconnaissance en ce qui concerne les édifices appartenant à des copropriétés multiparcellaires.

Si ces premières campagnes ont permis d'asseoir et d'améliorer la méthodologie développée pour mettre en œuvre l'atlas, l'équipe de recherche a procédé dans un second temps à une autre campagne de terrain sur le territoire de Septèmes-les-Vallons. Cette commune a été identifiée comme zone d'étude propice à un diagnostic territorial au regard du partenariat engagé avec l'ALEC. En effet, dans le cadre de l'accompagnement de la commune à son projet d'écoquartier, un enjeu fort réside dans la rénovation de son centre ancien, épicerie du projet d'écoquartier.

La première phase d'analyse ex-situ n'a pas été particulièrement longue, la partie la plus longue a été de vérifier les IRIS à tissu pavillonnaire, comme dans le cas de L'IRIS Gasquy.

Le premier travail ex-situ a permis de réduire en grande partie les informations à rédiger lors de la campagne de terrain in situ.

### 5.5.1. Méthode de travail sur le terrain

Sur un territoire étendu, le travail de relevé in situ peut s'avérer chronophage dans la mesure où la quantité des paramètres à recueillir ou à vérifier peut s'avérer assez lourde à gérer. Afin de réduire le temps de terrain, les cinq campagnes de terrain ont nécessité au préalable une phase préparatoire ex-situ. En ayant recours aux services de navigation virtuelle tels Google Streetview, Bing Bird's eye, il s'agissait d'identifier certains caractères des édifices pouvant être vérifiés sans se déplacer sur le terrain (hiérarchisation des façades, rejets, présence de balcons, etc.). Cette reconnaissance a aussi permis d'exploiter les photos des façades en vue d'alimenter la base de données sur les taux de vitrage par façade et par type constructif.



Sur le terrain, le recueil de données a été réalisé à l'aide de tablettes numériques en utilisant l'outil Qfield (version nomade de QGIS installée sur des tablettes). Celui-ci permet de lire les fichiers de données produits avec l'outil QGIS. Une fois les données complétées suite à la reconnaissance de terrain, elles peuvent être exploitées de nouveau sur QGIS. Un protocole de travail de terrain a été développé afin d'assurer une gestion des échanges de données entre les deux outils employés.

Comme pour QGIS, Qfield est un libre et gratuite, qui présente des avantages, mais aussi des problèmes de stabilité suivant la version du Système Opératif Android installé sur le support. Concernant le matériel nous avons travaillé sur deux tablettes Android<sup>73</sup>.

Les limites du matériel de terrain concernent les dimensions et le poids des tablettes 10 pouces, ainsi que la prise en main. Des tablettes légères 8 pouces auraient été suffisantes pour le travail en question. De plus, les tablettes ont été choisies, car munies de stylets actifs, mais sur le terrain ces outils n'ont presque pas été utilisés. Un autre problème concerne la compatibilité d'Android 5.1.1 développé par Huawei et le logiciel Qfield. En effet nous n'avons pas pu utiliser la fonction photo, qui aurait permis de relever des photos des façades intéressantes. Ce problème concernait spécifiquement notre matériel, sur d'autres supports cela fonctionne. Nous avons partiellement résolu cela en prenant les photos avec une localisation géographique, (sans que les coordonnées soient très précises) en indiquant le point où se trouve le photographe. D'autres problèmes de plantage régulier du logiciel nomade ont parfois ralenti le travail de terrain.

Partant du principe que la méthodologie adoptée pour mener le travail in situ vise à réduire au minimum les informations à saisir une fois sur le terrain, le travail ex-situ a permis de vérifier la concordance des données produites grâce aux différentes procédures développées (croisement des deux bases de données). À travers la reconnaissance visuelle faite des photos aériennes ou des vues 3D, plusieurs paramètres ont pu être relevés. Il s'agit :

- du rejet des corps de bâtiments assimilés à de l'habitat mais qui sont en réalité des annexes,
- de la reconnaissance des périodes constructives et leur appartenance à un type. Cela concerne les bâtiments dont les fichiers fonciers ne comportent pas de date d'achèvement même si avec la nouvelle table des TUP, presque tous les bâtiments sont renseignés,
- de la hiérarchisation des façades lorsque les outils de navigation web permettent de recourir à la vue 3D. Cela n'est pas le cas des territoires non couverts par les vues 3D (comme le cas de Septèmes-les-Vallons).

Estimation de la hauteur des édifices résidentiels lorsque cette donnée n'était pas renseignée dans la BD TOPO ou semblait incohérente. Dans ce cas la hauteur peut être estimée en tenant compte du nombre d'étages que comporte l'édifice et de la hauteur d'étage affectée au type constructif.

Au-delà de ces paramètres, le travail ex-situ a permis de recueillir des données inhérentes aux taux de vitrage des façades de chaque type. En effet, dans le but d'avoir une connaissance plus précise sur les surfaces vitrées, les photos de façades extraites des vues 3D ont servi de support à l'évaluation du ratio de plein et de vide des façades principales et secondaires.

Suite à ce travail préparatoire, une fois sur le terrain, il s'agissait d'une part de procéder à la vérification:

1. de l'exactitude de l'assignation aux édifices de la période et la famille TABULA (âge et type)
2. des édifices rejetés qui ne contiennent pas de l'habitation
3. des corps de bâtiments annexes non assujettis à un diagnostic thermique qui n'auraient pas pu être rejetés par les procédures développées ou même lors de la campagne ex-situ
4. des éventuelles incongruences de la BD TOPO
5. de l'assignation de la hiérarchie des façades

D'autre part, il était question de recueillir des informations manquantes ou pas assez exhaustives permettant de préciser les bilans thermiques, à savoir :

1. relever le ratio et le type de contact avec le sol : présence de commerces, extérieur, caves, vide sanitaire et terre-plein

---

<sup>73</sup> Huawei M2-A01L 10 pouces avec et système opératif Android 5.1.1



2. l'acquisition des données sur les rénovations des édifices. Il s'agit essentiellement de relever les changements éventuels des menuiseries par rapport à leur état d'origine (simple ou double vitrage), de l'isolation des murs et de la toiture lorsque cela est possible
3. renseigner la « qualité architecturale » de l'édifice qui pourrait conditionner la possibilité ou pas d'isoler l'enveloppe par l'extérieur
4. prises photographiques des façades des types considérés comme « archétypes » afin d'implémenter la connaissance des pourcentages d'ouvertures et des différences entre façade principale et secondaire.
5. vérifier la présence de balcons ou loggias et leur profondeur afin d'évaluer l'impact sur les apports solaires

L'ensemble de ces informations devaient être saisies avec le minimum de manipulations. Le protocole de terrain prévoyait de travailler à deux personnes. Une personne saisissait les informations concernant l'édifice l'autre personne se chargeait de renseigner les informations sur la façade. La méthode a naturellement évolué depuis les premières journées de travail de terrain. Certaines informations saisies au départ ont été abandonnées car s'avérant inutiles. D'autres données ont par ailleurs été rajoutées au fur et à mesure permettant de mieux cerner les informations à recueillir.

Dans les cas où une donnée concerne tout le bâtiment, cet attribut est inséré sur la table des édifices. Quand la donnée est liée à une seule partie de l'édifice, la saisie est faite sur la table des façades. Il s'agit surtout des attributs relatifs à la présence de double vitrage et de balcons ou loggia. Par exemple, quand la présence des menuiseries double vitrage est applicable à tout le bâtiment l'information était saisie sur la table des bâtiments. Au contraire, quand les menuiseries étaient présentes sur une façade ou plusieurs façades, la présence du double vitrage est affectée uniquement aux façades concernées.

À ce titre, la fragmentation des façades en plusieurs segments dans la BD TOPO sont souvent constatée augmente le nombre de saisies. Afin d'optimiser le temps de saisie, il a été décidé de se limiter au renseignement d'une seule façade pour l'appliquer aux autres façades par la suite. Cette simplification a été appliquée seulement à l'attribut « présence de double vitrage ».

Les variables à renseigner sur le terrain ainsi que les formulaires ont été établis sur QGIS en regroupant les différents fichiers qui composent les BD concernés. Grâce au plugin Qfield Sync de QGIS il est possible de synchroniser les formulaires sur Qfield. Les résultats des différents formulaires de saisie sont présentés ci-dessous.

## 5.5.2. Table des Bâtiments

### 5.5.2.1. Désignation de l'édifice

Sur ce formulaire permet de renseigner les informations concernant la nature du bâtiment, à savoir :

- Rejet bâtiment. Cette information permet d'éliminer des bâtiments non résidentiels, annexes, etc.
- Préciser la raison du rejet (liste menu déroulant).
- Commentaire ou précision supplémentaire (rarement utilisé, permet d'inscrire des courts commentaires de texte, même si cette opération est un peu s'avérer chronophage pour pouvoir être utilisée de manière systématique).
- Qualité architecturale (pas saisie, lors du travail de terrain, car cette donnée peut être assez compliquée à évaluer, mis à part les motifs patrimoniaux, qui ne nécessitent pas une saisie spécifique).
- Estimer la hauteur quand cela est nécessaire (rarement utilisé, cet attribut permet de modifier la hauteur indiquée sur la BD TOPO).



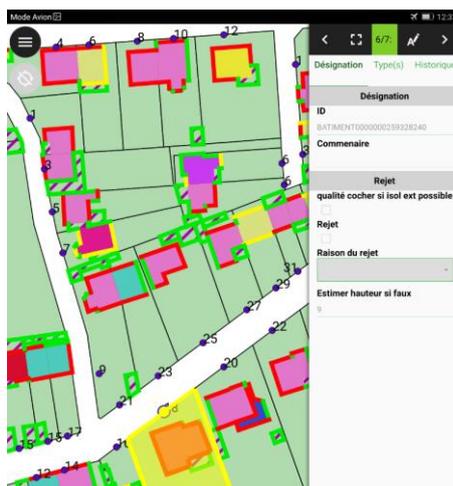


Figure 48. Formulaire de désignation des bâtiments

### 5.5.2.2. Type d'édifice

Sur ce formulaire permet de corriger des informations concernant le type d'édifice :

- Identification des bâtiments appartenant à un archétype (ce critère a rarement été utilisé).
- Bâtiment isolé sur la parcelle (cela permet de corriger d'éventuelles erreurs de saisie automatique).
- Corriger d'éventuelles erreurs les bâtiments appartenant aux types barre ou tour (cette donnée a rarement été corrigée puisque la méthode de reconnaissance automatique développée à partir de critères géométriques permet d'identifier de manière précise ces deux types).
- Prise de photographie du bâtiment.
- Vérification de période constructive (cette donnée a rarement été modifiée, sauf lorsque l'année d'achèvement n'était pas renseignée).
- Vérification de la famille (cet attribut a occasionnellement été utilisé pour corriger la saisie automatique).

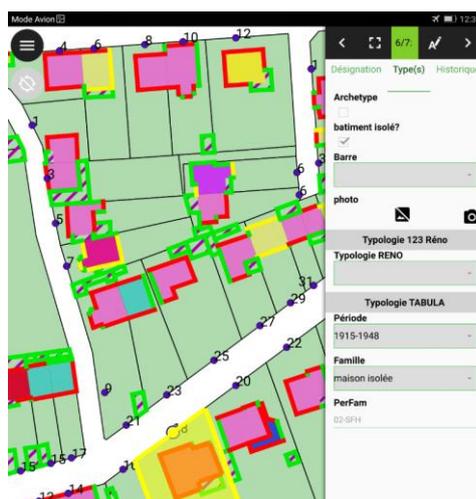


Figure 49. Formulaire de désignation du type

### 5.5.2.3. Historique : travaux de rénovation éventuels

Sur ce formulaire nous pouvons renseigner le relevé des informations sur les travaux de rénovation ayant pu être effectués sur l'édifice. Il est question :



- du taux de rénovation (souvent utilisé, le taux de rénovation varie entre 0 et 3. 0 correspond à l'édifice à l'état d'origine, 1 signifie que la rénovation consiste au changement de menuiseries plus performantes, 2 permet de renseigner une éventuelle rénovation de la toiture, 3 correspond à la rénovation de la toiture et des menuiseries),
- de l'isolation de l'intérieur (ce critère a rarement été utilisé, sauf quand l'habitant est en mesure de renseigner cette donnée, car ce critère est très difficile de l'extérieur),
- de l'isolation de l'extérieur (à partir d'une reconnaissance extérieure).

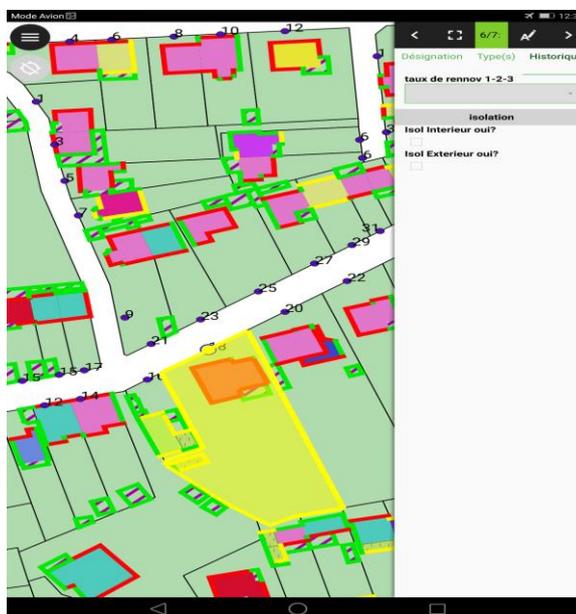


Figure 50. Formulaire permettant de préciser l'historique du bâtiment

#### 5.5.2.4. Nature du contact avec le sol

Ce formulaire est destiné à préciser la nature du contact entre l'édifice et le sol. Un taux de surface de contact est possible dans le cas où l'édifice dispose de planchers bas de nature différente. La surface en contact avec le sol est incrémentée par taux de contact de 20%. Au-delà de la précision apportée aux bilans thermiques que permet un travail in situ, les données recueillies servent à améliorer la connaissance des nomenclatures. Les données relevées sont les suivantes :

- présence de logements au RDC (donnée souvent utilisée en centre-ville),
- présence d'un plancher bas en contact avec l'extérieur,
- présence d'un plancher bas donnant vers local non chauffé (LCN) (détermine les parties de plancher bas exposées vers des LCN, Caves, Garages, VS, etc.),
- plancher bas donnant vers un espace chauffé (souvent utilisé, ce critère détermine les parties de plancher bas séparant la partie résidentielle des commerces considérés comme des locaux chauffés. Dans ce cas il n'y a pas lieu de considérer ces surfaces dans le bilan thermique),
- plancher bas en contact avec un terre-plein.



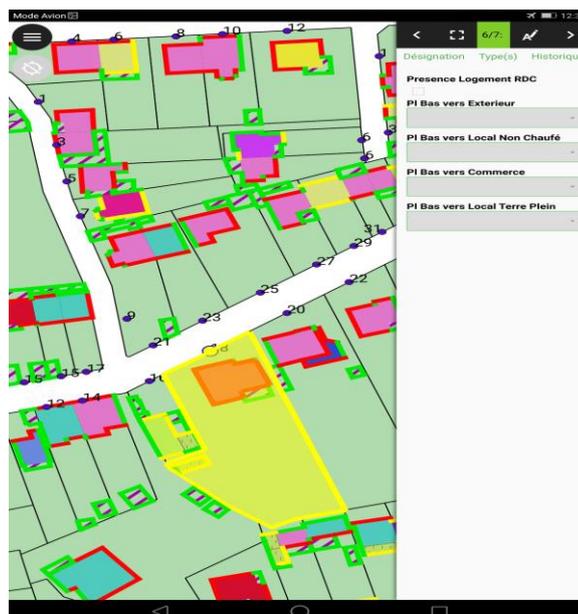


Figure 51. Formulaire permettant de préciser les planchers bas

### 5.5.3. Table des façades

#### 5.5.3.1. Identification des façades

Ce formulaire permet de corriger des informations issues des procédures de reconnaissance automatique et d'en préciser d'autres. Il s'agit :

- de vérifier la hiérarchie des façades (correction d'éventuelles erreurs),
- de préciser si les menuiseries ont été rénovées par façade,
- d'attribuer un taux de rénovation des menuiseries (cet attribut est rarement utilisé. Il est utile lorsque les façades des bâtiments sont partiellement rénovées et qu'il est impossible de rendre compte de la rénovation partielle des menuiseries dans la table des édifices),
- de préciser l'existence de balcons (souvent modifié in situ, cet attribut permet de choisir entre l'absence de balcon (choix par défaut), présence de balcon ou loggia d'une profondeur inférieure ou supérieure à 1 m. Ces informations permettent d'aider à préciser les sonnées relatives aux types de la nomenclature utilisée),
- de renseigner le nombre balcon (il est question de saisir le pourcentage de la façade est concerné par la présence de balcons (attribut peut être précisé en fonction des valeurs suivantes : < 30%, de 30% à 60%, de 60% à 90%, > 90%),
- d'apporter des commentaires relatifs à chaque façade si besoin (rarement utilisé, car la saisie de texte peut s'avérer chronophage),
- de prises de photographie des façades. Un post-traitement photogrammétrique permet par suite d'enrichir la base de données sur les taux de vitrage par type Les questionnaires.





Figure 52. Formulaire de désignation des façades

### 5.5.3.2. Recueil de données à partir des photographies des façades

Une des tâches à effectuer sur le terrain consistait à prendre des photographies des façades principales et secondaires des bâtiments archétypaux. Ce travail mené de manière systématique dans les différentes zones d'études a permis de recueillir un nombre considérable de photographies géolocalisées. En ayant recours à une analyse photogrammétrique de photos prises, il est possible de déterminer les taux de parois opaques et vitrées par type de façade. Ces données sont censées enrichir et préciser les connaissances des types de la nomenclature permettant la reconnaissance des édifices sur le territoire en vue d'obtenir des bilans thermiques aussi précis que possible.

À ce propos, il est nécessaire de noter qu'une des faiblesses des nomenclatures employées réside dans le manque de précision apportée aux taux de vitrage des façades. Cela est d'une part lié à l'échantillon de bâtiments qui n'est pas assez exhaustif pour être représentatif de chaque type bâti. D'autre part, ces taux de vitrage sont renseignés selon une fourchette haute et basse qui peut conduire à des dérives non négligeables lorsqu'il s'agit d'estimer les apports et les déperditions des enveloppes.

L'analyse photogrammétrique consiste à post-traiter les prises photographiques avec l'outil de traitement d'image Adobe Photoshop. À partir d'une image, il est possible de définir le périmètre de la façade étudiée ainsi que les périmètres des menuiseries vitrées et en déterminer les aires occupées par celles-ci. L'estimation du nombre de pixels dans ces aires vitrées rapporté au nombre total de la façade permet d'estimer le taux de vitrage de chaque façade. Grâce à cette approche, il n'a pas été nécessaire de recourir à des relevés dimensionnels des parties opaques et des menuiseries vitrées.

Les photographies n'ont pas été redressées pour corriger les effets de la perspective dans la mesure la déformation est proportionnelle dans le plan contenant les différentes zones de la façade.





Figure 53. Exemple de découpage des surfaces vitrées d'une façade

Le choix des édifices à cibler pour des prises de vues s'est fait en fonction de l'accessibilité qu'offre le contexte environnant privilégiant des façades dégagées de tout obstacle (présence de clôture). Par ailleurs, les difficultés rencontrées sur le terrain concernent essentiellement les prises de vues des façades secondaires souvent inaccessibles. Dans ce cas, une prise de vue est nécessaire à partir des outils de navigation WEB (Google Street View ou Bing Bird's Eye).

Quatre étudiants stagiaires de l'ENSA de Marseille ont été sollicités pour renforcer l'équipe dans le cadre du recueil de données in situ et pour conduire le travail de post-traitement des prises de vues (repérage de l'appartenance de l'image à une façade par géolocalisation, estimation des taux de vitrage et classement des informations par type d'édifice). Les résultats de l'analyse alimentent un tableur mis à jour au fur et à mesure des cas traités pour évaluer de manière systématique les moyennes de ratio par type et par façade.

Ainsi, ce travail d'analyse de collecte visant à enrichir et d'implémenter les bases de données a été conduit sur un nombre important d'édifices que ce soit en centre-ville ancien ou en dans les zones d'étude périphériques. À ce stade, ce travail a permis de préciser les taux de vitrage par façade pour un certain nombre de types d'édifice. Un travail d'analyse complémentaire permettra dans la phase expérimentale du projet de compléter la base de données constituée par les types présents dans la nomenclature utilisée mais qui n'ont pas encore été traités.

SFH01	Principale/Secondaire	Fenêtres	Façade	ratio	
BATIMENT0000000257912673	P	19166,00	185000,00	10,36%	
	S	702,00	10500,00	6,69%	
BATIMENT0000000259327296	P	40908,00	229400,00	17,83%	
	S				

Tableau 21. Exemple de façades étudiées pour le calcul des parties ouvrantes



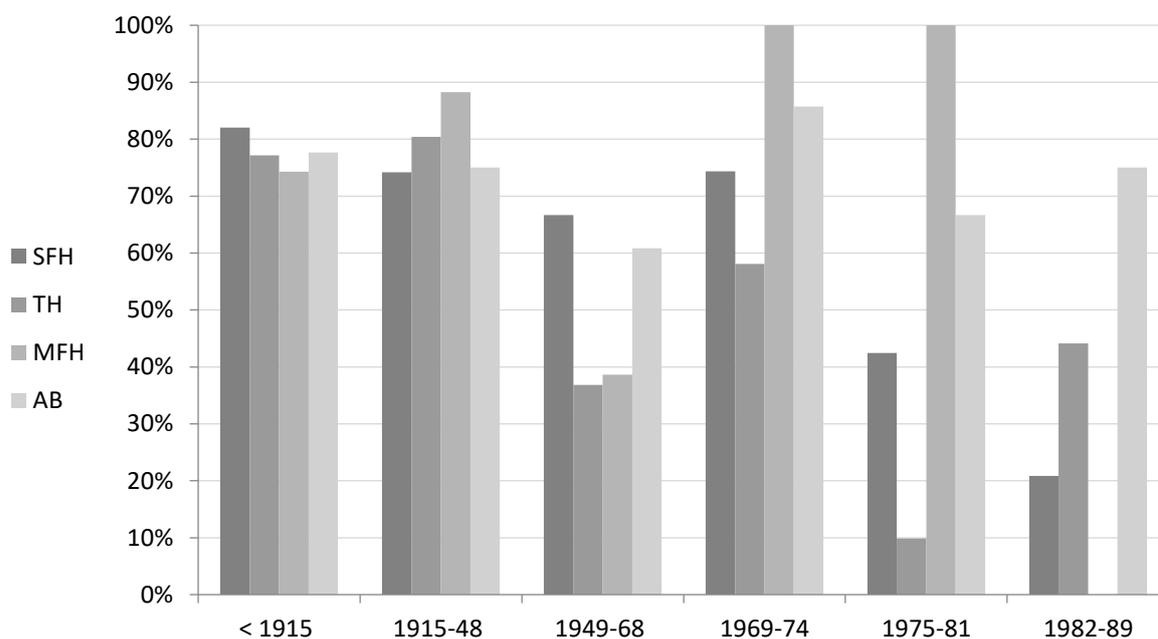
### 5.5.3.3. Taux de rénovation des menuiseries vitrées

Le recueil de données concernant les menuiseries vitrées permet d'apporter plus de précision sur les taux de rénovations réalisés par rapport aux menuiseries à l'état d'origine. Par époque constructive et par famille d'édifice, le tableau suivant présente le nombre de bâtiments d'habitation qui ont fait l'objet de relevés des menuiseries. À partir de 1989, nous considérons que les habitations sont pourvues de double vitrage performant et de ce fait elles ne sont pas concernées par le recueil de données.

Sur total de 3019 bâtiments, 1495 ont fait l'objet d'un relevé des menuiseries vitrées. Le nombre de bâtiments répartis par période constructive et famille d'édifices varient en fonction du taux de présence sur les territoires étudiés. À titre d'exemple, seulement deux édifices appartenant à la famille AB (grand collectif) datant de la période qui s'étale de 1915 à 1948 sont présents dans l'ensemble des IRIS étudiés. Par rapport à d'autres familles d'édifice, l'échantillon doit être plus étoffé afin d'affiner les hypothèses de rénovations.

	< 1915	1915-48	1949-68	1969-74	1975-81	1982-89
<b>SFH</b>	59	124	114	39	73	91
<b>TH</b>	258	74	57	31	71	111
<b>MFH</b>	386	17	37	2	1	9
<b>AB</b>	69	2	73	14	3	4
<b>Total bâtiments</b>	772	217	281	86	148	215

Tableau 22. Nombre de bâtiments résidentiels dont le taux de rénovation a été relevé lors des campagnes in situ



Graph. 9. Taux de rénovation des menuiseries par famille et période constructive

### 5.5.4. Questionnaires

En parallèle du travail de terrain, une enquête en ligne a été mise en place pour recueillir les informations qu'il n'était pas possible d'avoir in situ à l'image des informations relatives aux taux de rénovation des parois, des planchers bas et des toitures.

Une page dédiée à l'enquête a été créée sur le site internet de l'ENSA de Marseille (<http://www.marseille.archi.fr/atire/>).



Des fiches au format A4 expliquant sommairement le projet ATRE et les objectifs de l'enquête ont été distribuées dans l'ensemble des boîtes aux lettres des habitants des IRIS de Clairval et Septèmes-les-Vallons. La fiche invitait à se rendre sur le questionnaire en ligne. L'ALEC avait au préalable communiqué les habitants de Septèmes-les-Vallons sur la campagne de terrain en vue de les inciter à rendre au questionnaire. Malgré les efforts déployés pour mener à bien l'enquête, le nombre de réponses est resté assez faible puisque nous avons obtenu un total de 50 réponses. Ce faible taux de réponse ne peut être exploité dans l'état à l'égard du nombre important des bâtiments résidentiels présents sur les zones d'étude.

## 5.6. Caractérisation des éléments d'enveloppes (géométrique, contexte)

À partir de la reconnaissance des types selon la nomenclature TABULA et 123 Réno permettant d'attribuer les caractéristiques de l'archétype à chaque édifice, une autre étape essentielle consiste à caractériser les éléments d'enveloppe de chaque édifice. Dans le cadre d'un diagnostic par bâtiment contextualisé aussi précis que possible, cette caractérisation concerne à la fois les aspects dimensionnels (surfaces des éléments), contextuels (mitoyenneté, orientation, surfaces vitrées, masques solaires) ainsi que les caractéristiques thermo-physiques des éléments qui constituent l'enveloppe.

Différentes procédures correspondant au traitement de cette base de données ont été développées et implémentées dans QGIS. Après avoir subi des traitements permettant de rendre identifiable l'ensemble des éléments d'enveloppe, à partir d'une maquette numérique brute (polygones), les procédures pour caractériser l'enveloppe sont les suivantes :

- identification des surfaces mitoyennes entre les édifices,
- extraction des parois en contact avec l'environnement extérieur et évaluation de leur surface,
- extraction des parois en contact avec des locaux non chauffés et évaluation de leur surface,
- détermination de l'orientation de chaque façade,

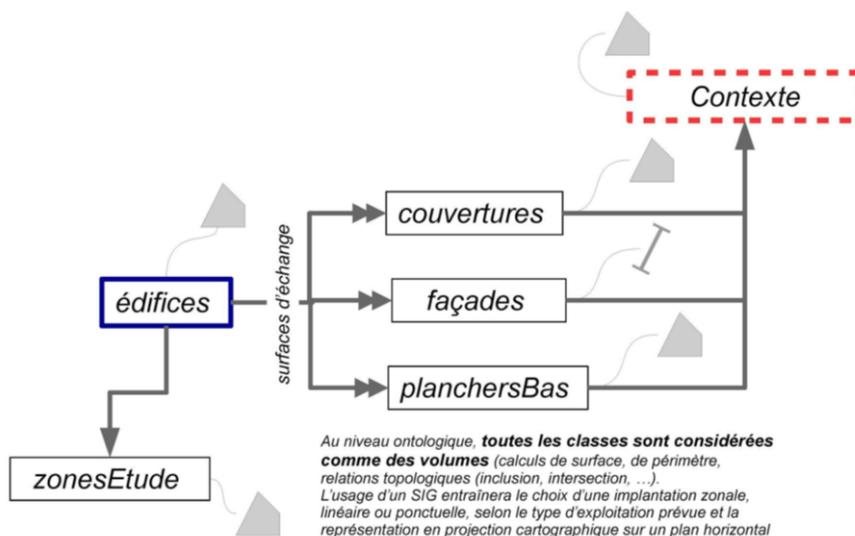


Figure 54. Schéma de principe sur la création des relations entre les différents éléments d'enveloppe

La précision du diagnostic énergétique étant dépendante des apports solaires reçus par l'enveloppe en fonction du contexte bâti environnant, il a été nécessaire de procéder à une hiérarchisation des façades (principale, secondaire et pignon) de chaque édifice en vue de leur attribuer un taux de vitrage. La hiérarchisation a nécessité un travail de reconnaissance important qui a été possible grâce à une analyse des conditions d'implantation (orientation, parcelle, limite parcelle, etc.) de chaque type par période constructive. C'est sur cette base que des procédures développées sur QGIS ont permis la reconnaissance des façades de chacun des types de la nomenclature adoptée à laquelle on y associe la reconnaissance des façades des tours et des barres (types qui ne peuvent être identifiés par la nomenclature TABULA).



## 5.7. Méthodes développées pour caractériser les façades

Dès lors que la démarche d'évaluation énergétique repose sur un diagnostic bâtiment, il est évident que la précision apportée lors de la caractérisation de l'enveloppe conditionne la finesse des bilans thermiques tant à l'échelle du bâtiment qu'à celle des échelles supérieures (quartier, IRIS, ville). Les différents éléments constituant l'enveloppe des édifices (façades, parois donnant sur les locaux non chauffés, les planchers bas, les toitures et ponts thermiques) étant en grande partie responsables des échanges thermiques entre l'intérieur et l'environnement extérieur doivent dans un premier temps être caractérisés à travers leurs aspects dimensionnels (surface d'échange et mitoyenneté), leur exposition et leur composition.

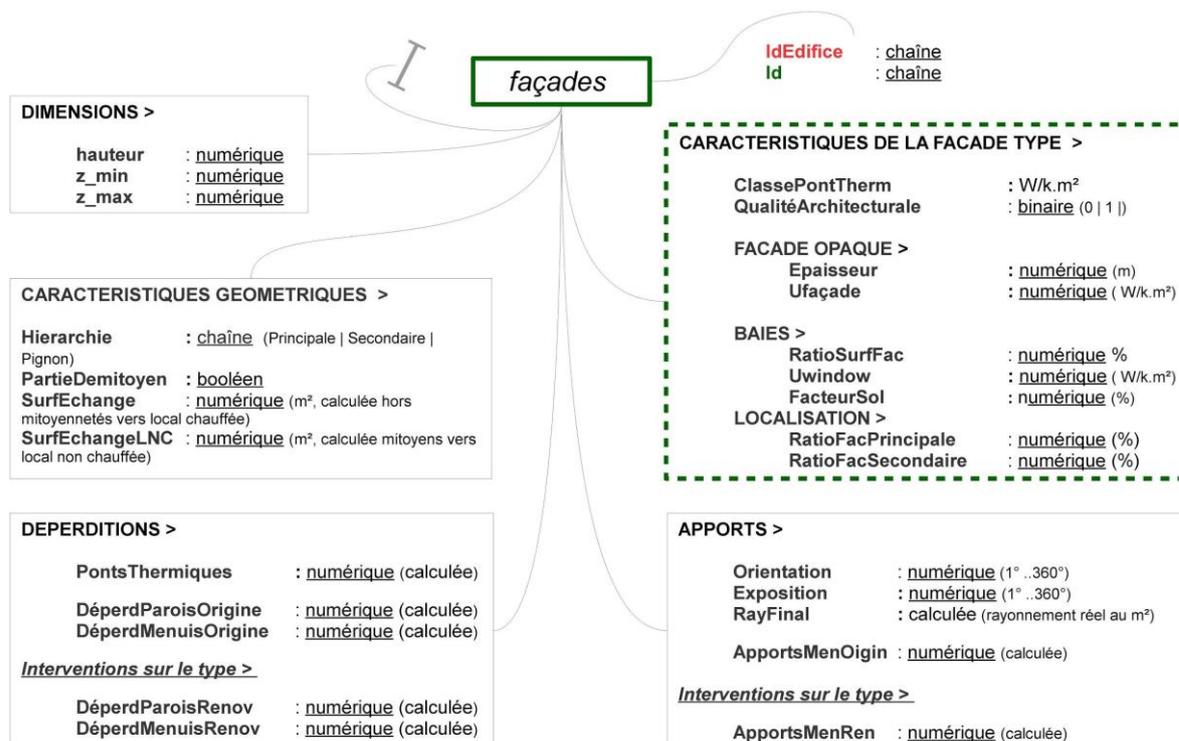


Figure 55. Schéma de caractérisation des façades

### 5.7.1. Prise en compte des mitoyennetés

Les méthodes permettant d'élaborer un diagnostic énergétique sur territoire s'appuient généralement sur la description d'un bâtiment type ou d'un échantillon de bâtiments. Dans ce cas, la prise en compte des surfaces mitoyennes dans l'estimation de la surface d'enveloppe est une donnée forfaitaire qui ne tient pas compte du contexte d'implantation de chaque bâtiment. En conséquence, cela peut avoir des retombées non négligeables sur la précision des bilans thermiques. À la différence de ces méthodes d'évaluation, il est question ici de contextualiser chaque enveloppe de bâtiment en identifiant les parois mitoyennes. Ainsi, il sera possible de préciser les surfaces d'échange de chaque enveloppe de bâtiment composant une zone d'étude.

La recherche de bâtis mitoyens et non mitoyens est nécessaire dans le cadre du projet ATRE pour calculer le facteur de forme, mais aussi pour éliminer les surfaces mitoyennes des surfaces d'échange du bâti avec l'extérieur. La mitoyenneté peut être également exploitée pour reconnaître certains types issus de la nomenclature TABULA

#### 5.7.1.1. Identification des bâtiments mitoyens

L'identification des parois mitoyennes repose sur l'exploitation de la BD TOPO. L'estimation des surfaces mitoyennes qui concerne les édifices résidentiels doit être réalisée à partir de l'ensemble du bâti indifférencié (couches des bâtiments industriels, remarquables, résidentiels et constructions légères) y compris les corps d'édifices rejetés préalablement (annexes). Il est nécessaire de préciser que les annexes rejetées car non concernées par un diagnostic énergétique sont identifiables grâce à un attribut "rejet". Ces espaces doivent être unifiés avec les édifices d'origine afin de prendre en compte les échanges thermiques entre chaque édifice résidentiel et leurs locaux annexes.



Dans QGIS cela peut être réalisé grâce au plugin NNJOIN<sup>74</sup> qui calcule le « Nearest Neighbour » (plus proche voisin). Les édifices mitoyens (qui ont au moins un édifice mitoyen) sont ceux pour lesquels l'attribut « distance » (généralisé par NNJOIN) est égal à 0. Les édifices isolés ont une valeur  $\neq 0$ .

### 5.7.1.2. Calcul de la superficie des façades de bâtis mitoyens

Puisqu'il s'agit de caractériser les mitoyennetés entre les bâtiments, les polygones représentant l'emprise de chaque édifice "indifférencié" sont décomposés en polygones représentant les parois et portant un identifiant du bâtiment à qui elles appartiennent. Cette décomposition génère autant de façades que de segments composant le polygone d'origine.

La transformation du polygone représentant l'édifice en polygone produit des doublons lorsque deux façades sont mitoyennes. La recherche des façades mitoyennes se fait à l'aide d'une requête spatiale faisant intervenir les coordonnées du centroïde de chaque segment. Concrètement, les façades mitoyennes sont celles qui ont presque les mêmes coordonnées (en utilisant NNJOIN, la distance entre les centroïdes est inférieure ou égale à la valeur 0,1 m).

En ayant isolé les façades mitoyennes, il est possible à partir de la hauteur de la partie commune des façades mitoyennes de calculer la superficie commune, qui devra être soustraite à la superficie de chaque façade pour obtenir la surface d'échange avec l'extérieur ou avec les espaces non chauffés.

Suite à ces différents traitements, la table des façades des édifices résidentiels dispose d'un attribut d'appartenance à l'édifice, d'un attribut relatif à la surface d'échange défini par rapport au type de contact (local non chauffé ou extérieur) ainsi que le caractère mitoyen ou pas de chaque façade.

Ces opérations nous permettent de définir la surface en commun entre deux façades de bâtiments chauffés, la surface en commun entre une façade habitée et un rejet (LNC) et la surface exposée.

### 5.7.2. Exposition (orientation) des façades

La connaissance de l'exposition des façades des édifices a pour objectif de faciliter l'évaluer des apports solaires susceptibles d'être reçus façade par façade. Elle est réalisée à partir de la table des façades qui comporte l'ensemble des parois en contact avec l'extérieur (y compris celles qui subsistent suite à la reconnaissance des façades mitoyennes). Le calcul de l'exposition se fait par rapport au Nord suivant la direction du vecteur normal à la façade, dirigé vers l'extérieur de l'édifice.

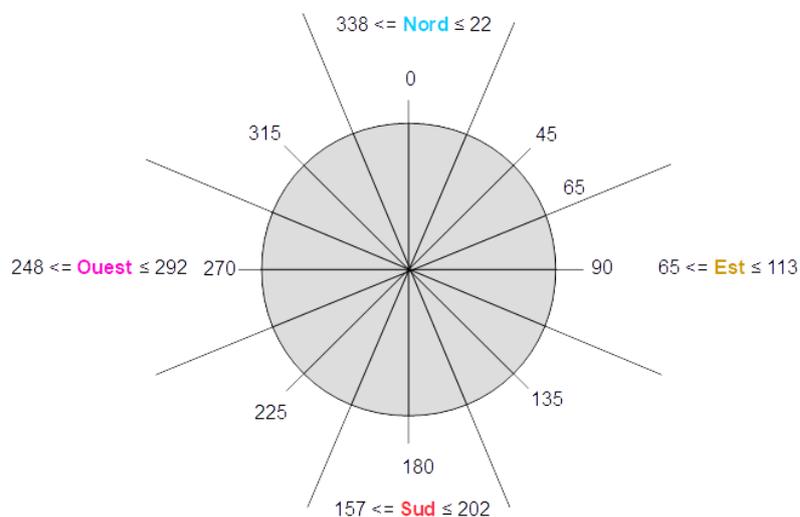


Figure 56. Orientation et exposition des façades

Pour réaliser cette procédure, un nouvel attribut d'orientation du segment (façade) doit être créé<sup>75</sup>, l'objectif étant de se servir de l'orientation du segment représentant la façade pour calculer l'exposition, c'est-à-dire l'orientation de la normale à la façade (direction par rapport à laquelle la façade reçoit l'ensoleillement).

<sup>74</sup> <http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/QGISplugins/NNJoin/>

<sup>75</sup> Cette méthode a été empruntée à des travaux de reconnaissance archéologiques utilisant QGIS.





Figure 57. Les orientations des façades de deux IRIS à tissu pavillonnaire (Gasquy) et dense (Thubaneau)

La solution retenue a été de créer des points à la perpendiculaire par rapport au centroïde du segment. Par la suite il a été nécessaire d'extraire, parmi les points internes aux édifices, ceux qui sont localisés sur un édifice n'ayant pas le même ID. Une fois isolés, tous ces points qui indiquent la normale d'une façade exposée sont concernés par le calcul des expositions.

### 5.7.3. Hiérarchisation des façades

La hiérarchisation des façades est un élément fondamental qui permet de caractériser les enveloppes des édifices. Par rapport aux méthodes de diagnostic énergétique dites ascendantes généralement utilisées qui attribuent un taux de vitrage forfaitaire à toute l'enveloppe du bâtiment, la hiérarchisation des façades vise à préciser le taux de vitrage en vue d'estimer les apports solaires reçus par chaque façade en rapport avec son contexte d'implantation.

L'assignation d'un taux de menuiserie vitrée (d'ouverture) à chaque type d'édifice parmi ceux définis dans la nomenclature TABULA exige de classer les façades selon une hiérarchie qui a été déterminée par la forme de l'édifice, sa période constructive et son implantation (règle d'urbanisme en vigueur). Pour chaque type d'édifice, ces variables ont ainsi permis d'établir trois types de façades :

- les façades principales qui sont censées contenir le plus fort taux de vitrage de l'édifice,
- les façades secondaires qui sont munies d'un taux de vitrage moindre par rapport aux façades secondaires,
- les façades pignons aveugles qui ne comportent pas d'ouverture.

#### 5.7.3.1. Hypothèses formulées pour la hiérarchisation des façades

Les trois variables énoncées ci-dessus ont conduit à formuler des hypothèses sur l'appartenance des parois verticales extérieures d'un édifice à une des trois familles de façade. Dans un premier temps les hypothèses testées considèrent toutes les parois jouxtant la rue comme façades principales, celles qui donnent vers l'unité foncière d'implantation (parcelle) de l'édifice comme secondaires et les parois mitoyennes avec une unité foncière voisine comme façades pignons.

Une première évaluation ex-situ des résultats de l'application de ces hypothèses laisse apparaître une bonne adéquation entre l'estimation et la réalité lorsqu'il s'agit d'un tissu dense en ville. Quand il est question d'un tissu diffus (exemple d'un tissu pavillonnaire) ces règles ne suffisent pas à établir



avec précision la hiérarchisation des façades. Cette difficulté est sans doute liée à des règles un peu plus complexes (par rapport à un tissu dense) qui régissent l'implantation des édifices. Elle est accentuée aussi par les incongruences parfois constatées entre la BD TOPO et les parcelles décrites dans la BD Parcellaire. Le croisement de ces deux bases de données est source d'imprécision qui peut impacter la position d'une façade par rapport à la parcelle de l'édifice ou aux parcelles voisines.

De ce fait, les hypothèses émises au départ ont été ajustées en fonction des spécificités des aux différentes périodes constructives et aux différentes familles de bâtiments.

Nous avons imposé des distances entre la façade et la limite de la parcelle par rapport au type de bâtiment. Nous avons défini des critères dimensionnels concernant les barres, les tours et les petites façades.

### 5.7.3.2. Définition des critères de hiérarchisation

Les précisions apportées aux hypothèses de départ émanent en grande partie d'un travail réflexif permettant de reconstituer (interpréter) les conditions d'implantation des édifices selon l'âge des édifices. Elles sont confortées par le terrain effectué sur les quelques IRIS choisis. Dans les tissus diffus, cette démarche exploratoire a permis de constater que la hiérarchie des façades obéit aux règles d'implantation sur la parcelle caractéristiques des époques constructives.

La procédure développée pour la hiérarchisation des façades repose sur l'exploitation de la table des façades qui portent un identifiant d'appartenance à un édifice et une unité foncière. La création de deux attributs dimensionnels définis par la distance qui sépare des points fictifs situés sur un axe perpendiculaire au segment représentant une façade et passant par son milieu et le centroïde crée a ensuite servi à tester la hiérarchisation des façades.

Après une première analyse effectuée sur les terrains d'étude, nous avons remarqué que les façades secondaires des maisons construites avant le 1948 sont souvent très proches des limites de parcelle. Au contraire, les façades des maisons construites après 1948 sont presque toujours pignons quand elles sont à moins de 3 mètres de la limite de l'unité foncière.

C'est pour cette raison que cette distance a été fixée à de 1,5 m pour les édifices antérieurs à 1948 et puis à 3 m pour ceux construits après 1948.

Les règles appliquées ont été formulées de la manière suivante :

Pour les bâtiments construits avant 1948 :

- Si le point distant de 1,50 m de la façade n'est pas positionné sur l'unité foncière d'implantation de l'édifice ou sur une unité foncière voisine, il est possible d'en déduire que ce point est situé sur la rue et en conséquence la façade est susceptible d'être principale.
- Si le point distant 1,50 m de la façade est positionné sur la même unité foncière que celle de l'édifice il s'agit d'une façade secondaire.
- Si le point à 1,50 m de la façade n'est pas positionné sur une unité foncière différente de celle de l'édifice (point situé sur parcelle voisine) la façade peut être considérée comme pignon.
- Toute façade dont la longueur est inférieure à 2 m est susceptible de ne pas comporter d'ouverture et est donc aveugle (façade pignon).

Pour les bâtiments construits après 1948 :

- Si le point à 3 m de la façade n'est pas positionné sur une unité foncière d'implantation de l'édifice ou une unité foncière voisine, il s'agit d'une façade principale sur rue.
- Si le point à 3 m de la façade est positionné sur la même unité foncière que l'édifice (point sur parcelle), il y a de fortes probabilités que la façade soit secondaire.
- Si le point à 3 m de la façade n'est pas positionné sur une unité foncière différente de celle de l'édifice (point sur l'unité foncière voisine), il s'agit d'une façade pignon.
- Toute façade dont la longueur est inférieure à 2 m est susceptible de ne pas comporter d'ouverture et est donc aveugle (façade pignon).



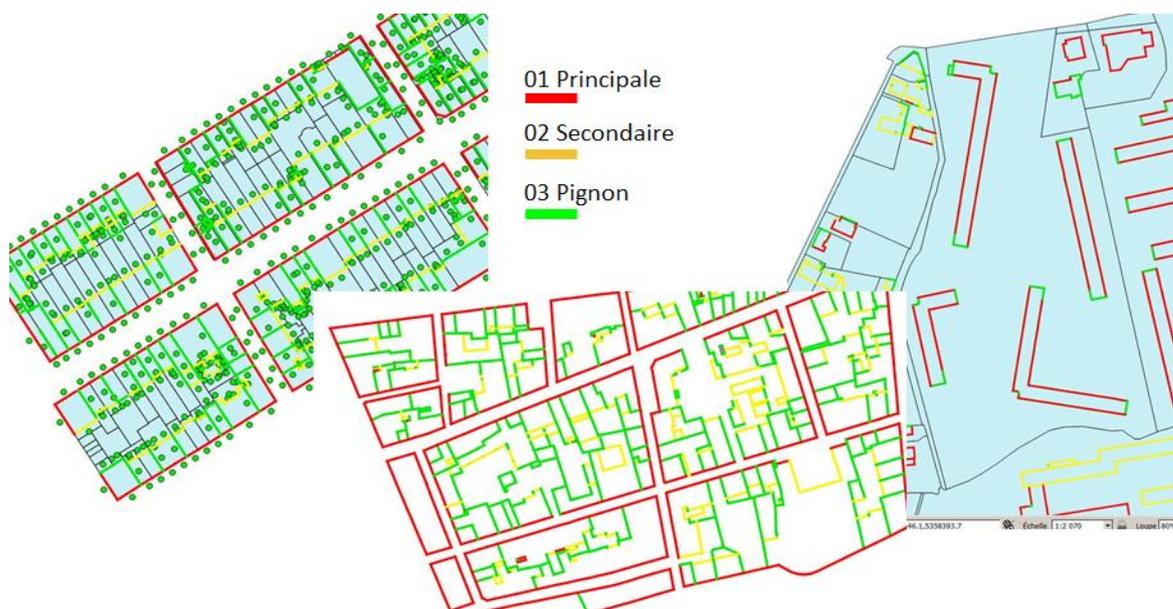


Figure 58. Exemples de reconnaissance automatique des façades sur trois IRIS différents

En ce qui concerne les maisons individuelles (famille SFH), les façades principales sont celles qui donnent sur la rue et sur la cour, voire sur le jardin grâce aux règles décrites ci-dessus. Pour reconnaître les façades secondaires pour ce type, il est nécessaire d'imposer une condition supplémentaire consistant à identifier toutes les façades dont la distance qui les sépare d'une parcelle voisine remplit la règle suivante:

Pour les maisons d'avant 1948 : toute façade de plus de 2 m linéaire dont la distance qui la sépare de l'unité foncière voisine est comprise entre 1,5 et 3 m est considérée comme façade secondaire.

Pour les maisons construites après 1948 : toute façade de plus de 2 mètres, dont la distance avec l'unité foncière voisine est comprise entre 3 m et 4 m est considérée comme façade secondaire. Au-delà de cette distance, il s'agit d'une façade principale.

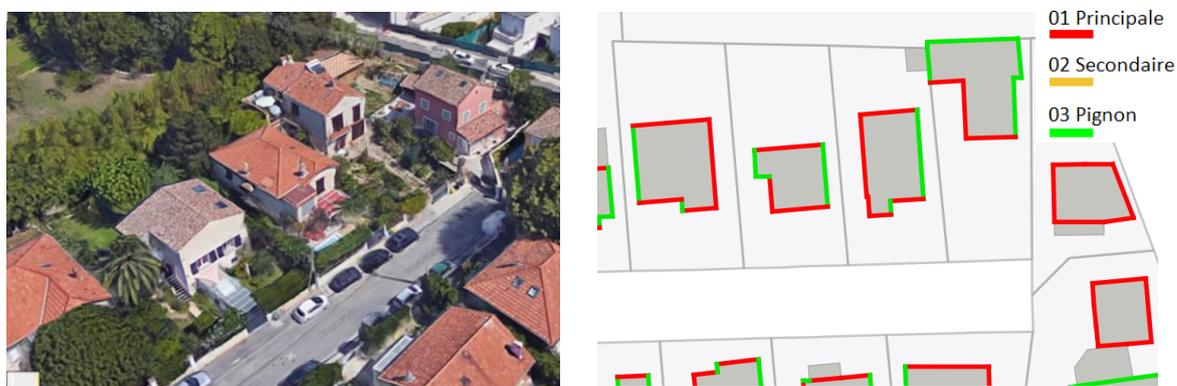


Figure 59. Exemple de reconnaissance automatique des façades dans un lotissement des années 1930

Les cas des barres et des tours ont été traitées à part. Les tours sont généralement caractérisées par façades principales car ce type de bâtiments est souvent construit autour d'une ou plusieurs cages d'escaliers et d'ascenseur qui desservent minimum 4 logements. Les barres au contraire sont des bâtiments linéaires dont les cages escaliers peuvent desservir 2 ou 4 logements. Dans ces cas, les façades positionnées sur l'axe le plus long sont considérées comme principales. Les façades des barres positionnées sur l'axe le plus court peuvent être ouvertes ou fermées. Elles sont considérées comme principales quand elles mesurent plus de 11 mètres linéaires, la dimension est déterminée par la taille de deux chambres plus un couloir de service. Au-delà de 11 mètres linéaires, il est nécessaire d'ouvrir la façade latérale pour des besoins d'éclairage naturel.

En plus des règles de reconnaissance imposées de manière générale, d'autres précautions ont été prises pour distinguer les façades secondaires et pignon.



Pour les bâtiments appartenant à la famille “tour” :

- l'ensemble des façades peuvent être considérées comme principales

Pour les bâtiments appartenant à la famille “barre” :

- quand une façade mesure plus de 11 mètres linéaires elle est considérée comme principale
- quand la façade mesure moins de 11 mètres linéaires elle devient pignon.

Les différentes règles permettant d'établir la hiérarchisation des façades décrites ci-dessus ont pour objectif d'affecter de manière automatique un type de façade en fonction du type de bâtiment auxquelles elles appartiennent. Cependant, les procédures de requête spatiales développées en vue de la reconnaissance des façades restent un moyen d'identification rapide dont la précision dépend de la famille d'appartenance de chaque édifice. La validation des hypothèses de reconnaissance de départ et des résultats obtenus sera abordée ultérieurement. Cependant, un travail de vérification ex-situ peut être mené pour corriger les façades non conformes à la réalité. À titre d'exemple, lorsqu'il s'agit d'établir la hiérarchie des façades d'un édifice pouvant être assimilé à une barre, il est difficile de distinguer les façades principales et secondaires. En dehors des murs pignons, les autres façades sont toutes considérées comme principales. En l'absence de règles pouvant conduire à les identifier, un travail de correction est nécessaire pour affecter le type de façade correspondant.

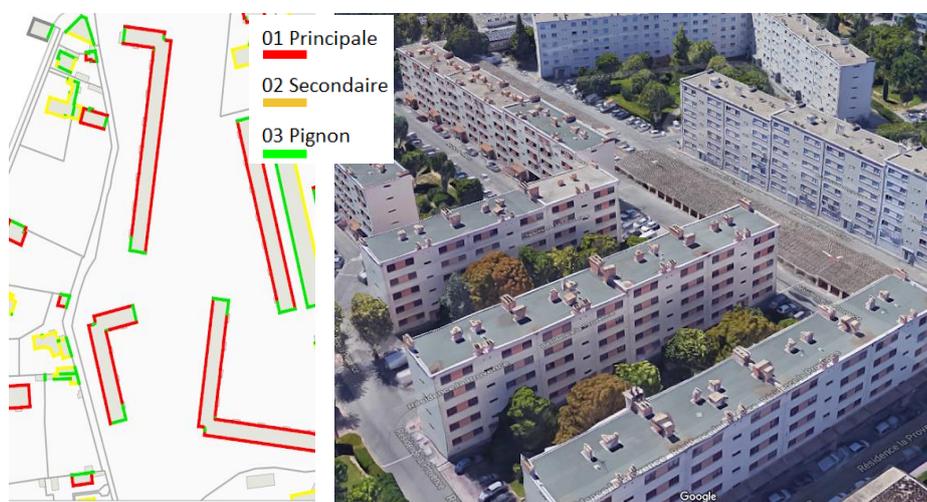


Figure 60. Les résultats de la hiérarchisation automatique des façades des barres

## 5.8. Association des éléments d'enveloppe au type d'édifice

L'exploitation et le croisement de la TOPOBD TOPO avec les fichiers fonciers ont permis :

- D'identifier chaque édifice d'une zone d'étude à un type de la nomenclature TABULA. Cela suppose que chaque édifice appartient à une famille spécifique et dispose de caractéristiques constructives de cette catégorie de bâtiments (conductances des parois, ponts thermiques, taux de vitrage par façade).
- De caractériser les éléments d'enveloppe (parois, toitures, planchers bas) de chaque bâtiment à travers l'évaluation de leur surface d'échange avec l'environnement extérieur. L'objectif étant d'estimer finement les bilans, une attention particulière a été accordée aux parois de chaque édifice en précisant son orientation, sa hiérarchie et la prise en compte des surfaces mitoyennes.

Cela a conduit à décomposer l'édifice en 4 tables distinctes que sont : une table des édifices et trois tables dédiées respectivement aux façades, aux toitures et aux planchers bas.

Par ailleurs, chaque type de la nomenclature utilisée contient les données spécifiques permettant de décrire les caractéristiques thermiques des différentes composantes d'enveloppe. En conséquence, chacune des composantes d'enveloppe du type (plancher bas, façades, toitures) est associée à l'édifice dont elle dépend. Partant de ce principe, les déperditions des composantes seront agrégées pour estimer les déperditions de l'enveloppe de l'édifice. De la même manière, les flux solaires évalués par façade hiérarchisée (taux de vitrage dépendant de chaque type d'édifice), servent à estimer les apports énergétiques occasionnés par les parties vitrées de chaque façade. Ces apports



sont ensuite agrégés à l'échelle de l'édifice. La relation entre l'enveloppe est créée grâce à un identifiant de l'édifice à partir duquel sont reconnues ses différentes composantes.

### 5.8.1. Association des caractères du type aux façades

Les façades sont les parties de l'enveloppe les plus complexes à traiter. D'une part, elles sont composées de parties vitrées et de parties opaques. Il est nécessaire de distinguer leur surface avec le plus de précision possible. D'autre part, à cause de la fragmentation des façades souvent constatée dans BD TOPO, il est parfois difficile de bien les caractériser.

In fine, à partir de la hiérarchie établie et d'un identifiant bâtiment (ID\_Edifice), il est possible de relier les façades aux types d'édifices caractérisés (40 types TABULA + tour et barre). En s'appuyant sur l'appartenance à un type d'édifice, les façades ainsi caractérisées permettent d'estimer le taux de surface vitrée par rapport à chaque surface de partie opaque. De même, l'appartenance des façades à un type d'édifice a pour avantage d'adjoindre aux parois opaques et aux menuiseries des caractéristiques thermo-physiques définies dans chaque famille d'édifice à partir des données TABULA, 123 Réno et les données recueillies in situ.

Les déperditions des façades sont estimées en s'appuyant sur la conductance des parois, la conductance moyenne des menuiseries, de leurs surfaces et de la classe de pont thermique. Les parties vitrées des façades permettent aussi des apports solaires en tenant compte du contexte environnant de l'édifice.

### 5.8.2. Méthode pour caractériser les planchers bas

Les planchers bas étant aussi concernés par les échanges thermiques, il est nécessaire de les caractériser tant du point de vue de leur composition que de leur surface et du milieu avec lequel les échanges thermiques ont lieu. Comme les parois opaques et les menuiseries, les caractéristiques thermophysiques sont renseignées au préalable à travers le type d'édifice auquel le plancher appartient. Ces caractéristiques sont issues de la base de données des planchers bas décrivant les types TABULA. Elles sont enrichies par les données locales provenant de 123 Réno quand cela est possible et de la campagne de relevé de terrain.

La surface d'échange est déterminée en se basant sur l'emprise du bâtiment. Cela est rendu possible grâce à la BD TOPO qui décrit les bâtiments comme des polygones dont il est facile d'estimer la surface. La nature du contact (terre-plein, vide sanitaire, extérieur) est quant à elle définie à partir de l'appartenance à un type d'édifice. Dans un premier temps, il est possible de définir la nature du contact en tenant compte des données renseignées dans TABULA et 123 Réno. En se basant sur le travail de relevé de terrain qui a servi en partie au recueil de données relatives à l'enveloppe, il a été possible d'ajuster dans un second temps la nature du contact relative à chaque type d'édifice en vue d'améliorer la précision du bilan thermique.

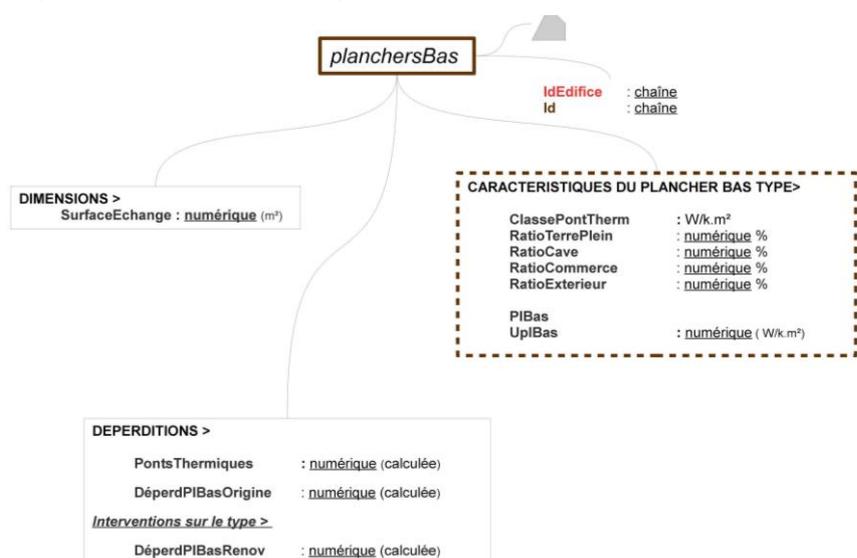


Figure 61. Schéma de caractérisation des planchers bas

### 5.8.3. Méthode pour caractériser les toitures

À l'image de ce qui a été entrepris pour caractériser les planchers bas, il est possible de mener la même démarche pour les toitures des édifices à la différence près que les échanges thermiques se posent en termes de surface d'échange et des performances thermiques des matériaux qui composent chaque toiture. La surface d'échange est évaluée à partir de la surface du polygone représentant le contour du bâtiment. La composition de la toiture est déterminée grâce à TABULA et précisée par 123 Réno.

Dans l'état actuel de la méthode développée et par souci de simplification, les toitures sont toutes considérées comme horizontales étant donné qu'aucune information concernant les pentes des toitures n'est disponible dans les bases des données mobilisées. Pour pallier ce manque d'information, une piste d'amélioration consisterait à ajuster la surface d'échange en introduisant une correction qui tient compte du type de toiture renseignée dans chaque famille d'édifice. Une autre piste consisterait à déduire le caractère géométrique de la toiture en exploitant la table des parties principales d'habitation (table pb40\_pevprincipale des fichiers fonciers) qui comporte un attribut (dmatto) dédié aux matériaux composants le toit de l'édifice. À titre d'exemple, lorsqu'un matériau entrant dans la constitution d'un édifice est potentiellement utilisé pour construire une toiture inclinée (exemple de la tuile), il y a de fortes probabilités que la toiture soit en pente. Celle-ci dépendra des caractéristiques dominantes repérées dans chaque région. Il est important de noter à ce propos que le taux de renseignement de l'attribut est renseigné à hauteur de 99,4% pour les maisons individuelles<sup>76</sup> ce qui devrait aider à mieux appréhender la composition dominante des toitures pour en déduire sa forme.

De la même manière que les planchers bas, chaque toiture porte un attribut qu'il l'identifie à un édifice qui à son tour appartient à un type d'édifice. À partir de là, l'estimation des déperditions est rendue possible.

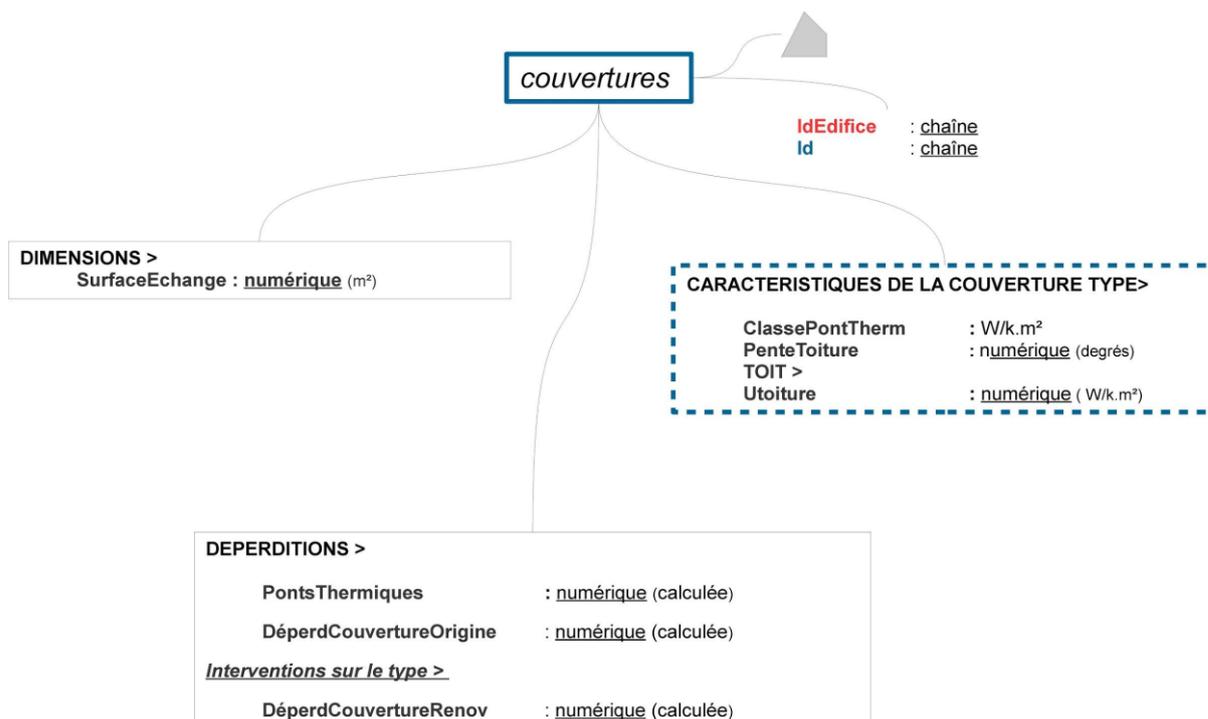


Figure 62. Schéma de caractérisation des couvertures

<sup>76</sup> <http://piece-jointe-carto.developpement-durable.gouv.fr/NAT004/DTerNP/html3/annexes/fiche%2016.pdf>



## 5.9. Caractérisation des enveloppes

Comme indiqué plus haut, le travail de caractérisation des édifices et de leurs enveloppes est basé sur le croisement entre la nomenclature TABULA qui permet d'identifier les types d'édifices sur un territoire en caractérisant leur enveloppe de manière sommaire. Les caractéristiques d'enveloppe issues des travaux du programme RAGE et de la nomenclature locale 123 Réno affinent ces données.

Le croisement de ces informations de différentes origines n'est pas simple à réaliser car d'une part, les trois sources ne sont pas bâties sur les mêmes critères. À titre de rappel, la nomenclature TABULA compte 4 familles de bâtiments dont chacune d'entre elles est répartie en 10 périodes constructives. Cette classification ne repose que sur l'âge et la taille des édifices alors que les deux autres nomenclatures (RAGE et 123 Réno) sont construites à partir de types architecturaux et comportent moins de types (26 pour RAGE et 14 pour 123 Réno). D'autre part, les données provenant de la nomenclature 123 Réno censée apporter plus de précisions sur les enveloppes ne couvrent pas les mêmes périodes constructives que les deux autres nomenclatures (se rapporter au rapport de la phase 1 pour la comparaison des périodes constructives, classes des bâtiments et typologies).

Afin de pallier cette difficulté, le rapprochement entre les trois sources a été élaboré grâce à une grille d'analyse croisant les différentes données existantes. Partant du principe que la reconnaissance des édifices sur un territoire repose sur l'identification des types TABULA, la grille a dans un premier temps été renseignée avec les caractéristiques intrinsèques à chaque type (composition et performances thermiques des éléments d'enveloppe, ponts thermiques, hauteur d'étage et taux d'ouverture par façade). En faisant correspondre le type TABULA aux archétypes des nomenclatures RAGE et 123 Réno, il a été possible dans un second temps de compléter la grille par les données provenant des deux autres sources (RAGE et 123 Réno).

Une fois constituée, la grille d'analyse qui intègre une quantité importante d'informations à traiter a permis de les confronter. Outre le fait d'avoir une vision d'ensemble, cela permet de comparer les informations, de constater les différences qu'il peut y avoir entre elles et arbitrer entre le choix des données à appliquer dans le cadre du diagnostic thermique. Le principe retenu pour identifier la donnée appropriée se rapprochant plus de la réalité constructive et architecturale de chaque édifice est le suivant. La donnée locale 123 Réno pouvant fournir plus de précision est systématiquement comparée avec la donnée correspondante RAGE et TABULA. Un examen précis de la composition des éléments d'enveloppe est mené pour les trois sources. Lorsqu'une différence importante est constatée, cela conduit à titre de précaution au calcul des conductances pour éviter d'éventuelles erreurs pouvant occasionnées dérives dans l'estimation des bilans thermiques.

Parce que la classification locale utilisée ne recouvre pas les mêmes périodes constructives que nomenclature TABULA (car elle compte moins de types pour certaines périodes constructives (entre 1948 et 2000) cela conduit forcément à ne pas disposer de données pour certains types. Dans ce cas, la donnée prise en compte est celle qui est issue de la classification RAGE.





D'autre part, en fonction de la surface habitable, les édifices se voient attribuer des apports internes forfaitaires occasionnés par l'usage. La surface habitable peut être estimée de manière approximative en tenant compte du nombre d'étage et de leur surface cumulée (surface des plateaux multipliée par le nombre d'étages) et d'une réduction liée à la présence des cages d'escalier, des circulations (couloirs, halls, ... etc.) et de l'emprise du cloisonnement. Une autre alternative consiste à estimer de manière plus précise la surface habitable par unité foncière à partir de la TUP.

Les surfaces des différentes façades ont été évaluées en se basant sur la hiérarchisation des façades. Cela permet de calculer les surfaces vitrées et les surfaces opaques. Le classement des façades mitoyennes permet aussi de prendre en considération les surfaces des parois en contact avec des espaces non chauffés (garage, annexe, etc.).

Les principes d'évaluation des différentes surfaces et volumes en vue d'estimer les bilans peuvent être synthétisés comme suit.

À partir des polygones de la TOPOBD TOPO il est possible d'estimer les surfaces des :

- planchers bas, toitures et façades exposés à l'extérieur en prenant en considération celle des menuiseries vitrées,
- parties d'enveloppe exposées vers un local non chauffé,
- surfaces vitrées (ratio de la surface des façades principales et secondaires).

À partir du croisement avec la typologie, il est possible d'estimer :

- les volumes chauffés calculés (surface du plateau \* hauteur d'étage de la typologie \* nombre d'étages calculé en croisant la typologie et le polygone de la BD TOPO),
- les surfaces des planchers (comprenant la surface de la cage escalier et circulations) calculés (surface des plateaux \* nombre d'étages calculés en croisant la typologie et le polygone de la BD TOPO) .

Une précision s'impose à propos de la prise en compte d'une cage d'escalier dans les bilans thermiques des bâtiments. Celle-ci est considérée comme un local non chauffé quand elle est attenante à des locaux non chauffés. Lorsque ces parois donnent vers des locaux chauffés, elle est considérée comme un local chauffé par les locaux voisins. Cette simplification est nécessaire dans la mesure où les bases de données ne permettent pas de distinguer les parois des cages d'escalier.

## 5.11. Évaluation des gains solaires

L'analyse des travaux adoptant une approche ascendante a montré que les gains solaires sont intégrés dans les bilans thermiques en appliquant des apports moyens forfaitaires. Ces gains sont souvent le résultat de calculs faits pour un bâtiment exemple ou à partir d'un échantillon représentatif de chaque type d'édifice. Appliqués à grande échelle sur un ensemble de bâtiments de même type, les gains solaires ainsi évalués affectent la précision du diagnostic. Même si l'échantillon pris comme support à l'évaluation des apports est assez représentatif, la question du contexte urbain n'est souvent pas prise en compte.

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un atlas procédant par un bilan "bâtiment par bâtiment", la question de l'évaluation des gains solaires reste un élément qui conditionne la qualité du diagnostic. Afin de prendre en considération les effets produits par les masques des bâtiments environnants dans le calcul des apports, la maquette numérique du bâti résidentiel a servi de support pour réaliser les simulations des flux solaires reçus par chaque façade grâce à un couplage entre plusieurs outils que sont : Sketchup, le plugin T4SU (développé par le laboratoire CRENEAU de l'ENSA-Nantes) et QGIS.

Le principe des simulations solaires repose sur l'exploitation des données spatiales de la table des bâtiments indifférenciés de la BD TOPO à travers les trois valeurs attributaires que sont les périmètres des édifices, leur hauteur et leur altimétrie. Afin de prendre en compte les effets de masque sur les façades des édifices résidentiels, il est nécessaire d'une part, de s'appuyer sur l'ensemble des bâtiments composant la couche bâti y compris ceux qui ne sont pas concernés par le bilan thermique (bâti résidentiel et ses annexes, bâti léger, bâti remarquable et bâti industriel). D'autre part, un périmètre plus large que de la zone étudiée doit être défini de manière à intégrer les bâtiments limitrophes jouxtant ceux de la zone d'étude. Cela permet de prendre en charge les effets de masques engendrés sur les édifices résidentiels de la zone d'étude.



Étant donné que l'évaluation de l'ensoleillement sur les façades est dépendante des effets de masque, seuls attributs relatifs à la géométrie et les identifiants des édifices sont conservés pour le traitement.

La maquette numérique 2D issue de QGIS est ensuite importée sur l'outil Sketchup. Chaque édifice de la couche est alors extrudé en tenant compte de sa hauteur et son altimétrie. C'est ainsi qu'il est possible d'obtenir une maquette 3D permettant d'effectuer différents traitements qui vont conduire à évaluer les flux solaires reçus par chaque façade. La maquette 3D doit subir un premier traitement visant à la décomposer en plusieurs façades. Grâce à des opérations booléennes, il est question ensuite de gérer les mitoyennetés en éliminant les parois connexes entre les édifices.

### **5.11.1. Couplage entre Sketchup et T4SU**

Le principe du calcul solaire repose sur une série d'opérations successives permettant d'évaluer les flux solaires directs et diffus théoriques au centre de chaque façade durant la saison de chauffe à l'aide de T4SU. L'estimation des flux solaires directs est tributaire de l'orientation de la façade et des effets de masques occasionnés par le bâtiment lui-même et/ou les bâtiments environnants. Les flux diffus dépendent quant à eux de la fraction de ciel vue par la façade et de son orientation. Les calculs se font à pas horaire.

À l'issue de ces traitements, une façade est renseignée par son identifiant édifice, par le flux solaire direct théorique (pour la période allant du 1er novembre à fin mars) ainsi que le facteur de vue du ciel (SVF). La maquette numérique est ensuite importée une seconde fois sur QGIS afin d'évaluer les flux solaires réellement reçus.

### **5.11.2. Évaluation des flux solaires par façade**

Une fois sur QGIS une jointure spatiale est réalisée entre les façades de l'ensemble des édifices confondus (table du bâti indifférenciés) avec la table des façades des bâtiments résidentiels de la zone d'étude. Afin de calculer les flux directs reçus, une des premières opérations à effectuer consiste à évaluer la fraction d'ensoleillement direct de chaque façade. Il s'agit du rapport entre le flux direct théorique reçu par une façade de même orientation sans aucune obstruction (masque) (évalué à l'aide de T4SU) et le flux solaire théorique reçu effectivement par la façade en tenant compte des masques environnants. Ainsi, un attribut « fraction ensoleillement » est créé pour l'ensemble des façades.

Les flux solaires diffus dépendent quant à eux de la fraction de ciel vu par la façade. Les données concernant le rayonnement solaire diffus générées pour des parois verticales par plage d'orientation de 15° ont été associées aux façades en fonction de leur orientation. L'estimation de la composante diffuse du rayonnement solaire diffuse reçue par chaque façade résulte du produit du facteur de vue du ciel et du flux solaire diffus reçu par façade. À l'issue de ce calcul, une nouvelle valeur attributive est affectée à chaque façade.

Une fois ces deux opérations réalisées, il est possible de calculer le flux solaire global reçu au centre de chaque façade en sommant les deux valeurs attributaires calculées précédemment (direct + diffus). L'ensemble des parois extérieures en contact avec l'environnement sont alors décrites par un attribut « flux global » qui servira à évaluer le bilan thermique de chaque édifice.

Des procédures spécifiques ont été développées dans le cadre de la tâche 2 du projet ATRE afin de pouvoir réaliser le couplage entre les différents outils utilisés. Ces procédures sont détaillées dans le fascicule technique annexé au présent rapport. À titre synthétique, les procédures de calculs solaires peuvent être succinctement résumées à travers les étapes suivantes :

#### **1. Estimation de la composante directe du flux solaire**

- flux solaires directs théoriques sur les façades à l'aide de T4SU en tenant des masques
- flux solaires directs théoriques sur des façades verticales (orientations incrémentées de 15° à l'aide sans masque)
- fractions solaires dues aux masques : flux directs avec masque/flux directs sans masque



- flux solaires directs issus du fichier météo (obtenus grâce à METEONORM<sup>77</sup>) pour des surfaces verticales de référence (orientations incrémentées de 15°)
- flux direct reçu par chaque façade en fonction de son orientation (flux solaire direct météo \* fraction solaire)

## 2. Estimation de la composante diffuse du flux solaire

- flux solaires diffus issus du fichier météo (METEONORM) sur des façades verticales incrémentés de 15°
- SVF pour chaque façade à l'aide de T4SU
- flux diffus reçu par chaque façade en fonction de son orientation (flux solaire diffus météo \* SVF)

## 3. Estimation du flux solaire global reçu par chaque façade :

- flux solaire direct + Flux solaire diffus

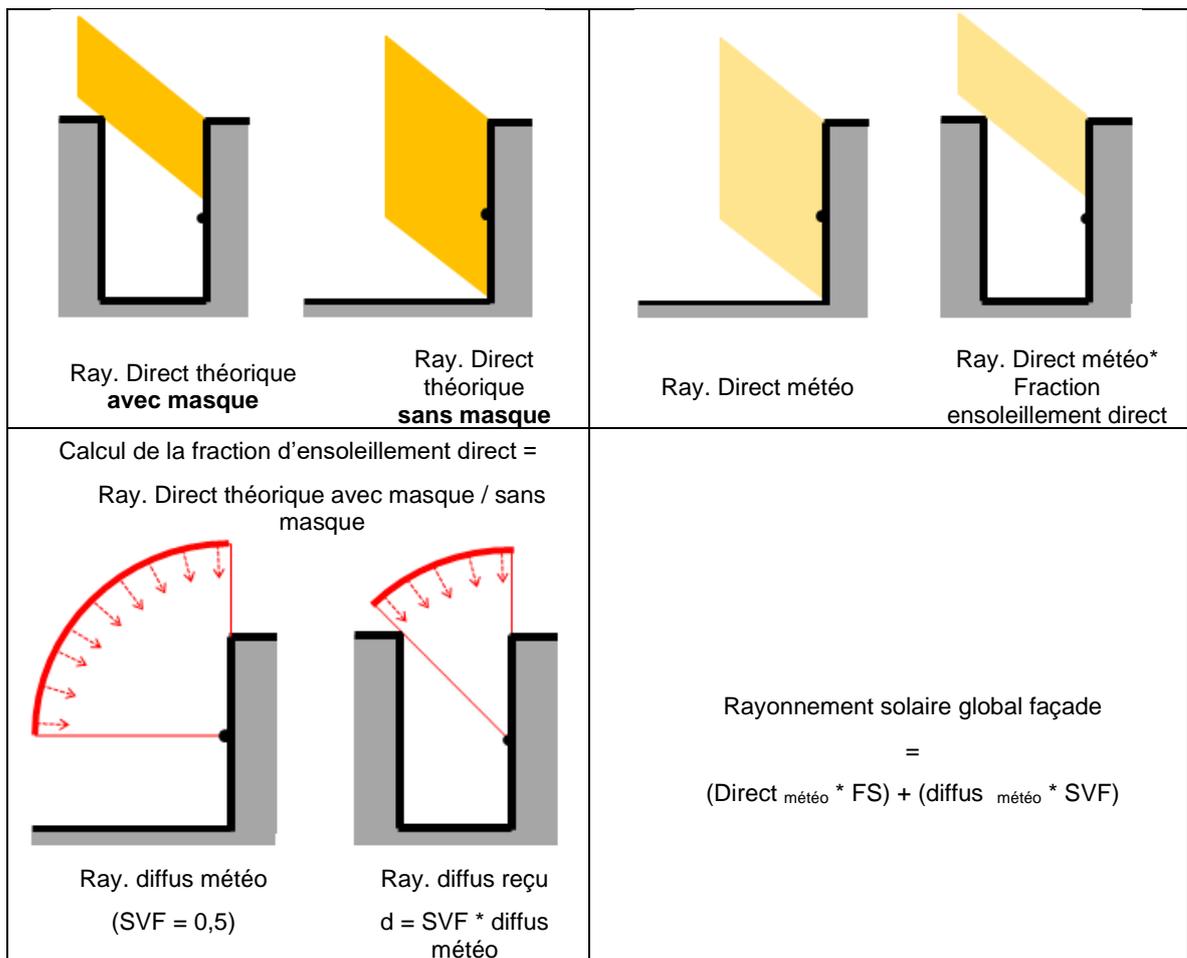


Figure 63. Synthèse des étapes permettant d'estimer le flux global arrivant sur chaque façade

<sup>77</sup> METEONORM est un logiciel permettant de générer des données météorologiques. Dans le cadre de cette recherche, il a permis d'évaluer les flux solaires directs et diffus sur les façades sans masques.



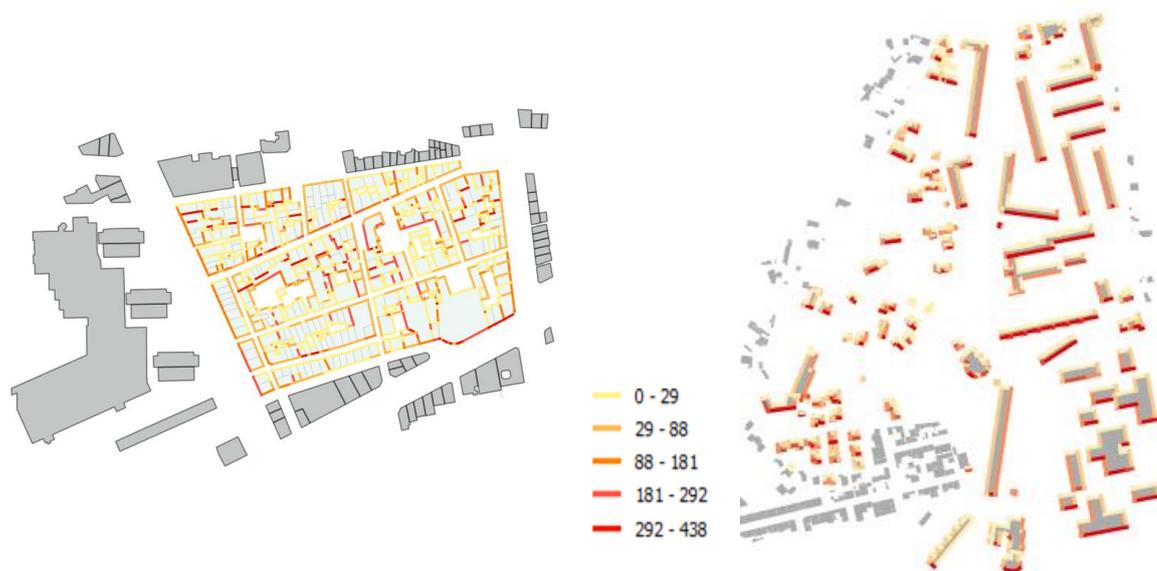


Figure 64. Exemple de résultats de rayonnement solaire global KW.h/m<sup>2</sup> de façade durant la saison de chauffe avec prise en compte des masques dus aux bâtiments environnants : IRIS « Thubaneau » (gauche) et IRIS « Pervanches » (droite)

### 5.11.3. Prise en compte des épaisseurs des murs et des facteurs solaires des menuiseries

Les valeurs attributaires correspondant aux apports solaires reçus par les façades obtenues grâce aux différentes opérations explicitées ci-dessus représentent les flux bruts. Il est ensuite nécessaire de pondérer ces flux en considérant la surface des menuiseries vitrées que comporte chaque façade et du facteur solaire global des menuiseries. La détermination de ce facteur revient dans un premier temps à tenir compte de l'épaisseur des murs de façades.

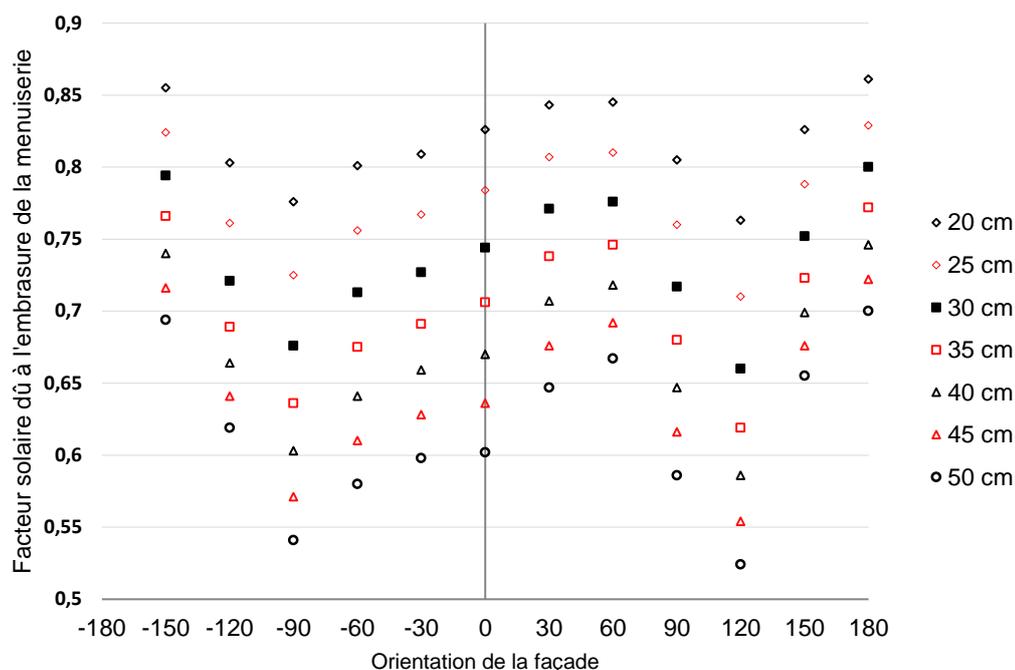
La pondération permettant d'intégrer les effets de masque dus à l'embrasement de la menuiserie dans l'évaluation du facteur solaire a été effectuée en modélisant des menuiseries intégrées dans différents murs d'épaisseurs de mur allant de 20 à 50 cm (avec une incrémentation de 5 cm pour tenir compte des différents types constructifs) grâce à l'outil Pleiades-Comfie<sup>78</sup>. Ces évaluations ont été menées pour différentes orientations avec une incrémentation de 30°.

Partant du principe que chaque type de la nomenclature des édifices se caractérise par une épaisseur des murs donnant vers l'extérieur et qu'une façade est affiliée à un type, le flux brut arrivant sur cette façade est pondéré par le facteur correspondant à la bonne épaisseur de mur et à l'orientation.

Dans un second temps, les flux solaires obtenus sont pondérés par le facteur solaire de la menuiserie qui tient compte du type de vitrage et du ratio de surface vitrée/surface menuiserie. Ce facteur est quant à lui prédéfini dans chaque type d'édifices. Il est possible alors d'évaluer la part des apports solaires effective à intégrer dans le bilan thermique à partir de la surface cumulée des menuiseries d'une façade et de leur facteur solaire.

<sup>78</sup> Pleiades-Comfie est un outil de simulation thermique dynamique. Outre les simulations énergétiques, il a été utilisé ici pour estimer les réductions des apports solaires dus aux embrasements des menuiseries.





Gaph. 10. Prise en compte des facteurs solaires en fonction des épaisseurs des murs (facteurs estimés à l'aide du logiciel Pleaides-Cornfie en tenant compte du fichier météo de Marseille)

## 5.12. Validation de la méthode d'évaluation des flux solaires

À l'échelle de l'édifice, la question de la précision des calculs solaires dépend en partie de la finesse de discrétisation des éléments qui constituent l'enveloppe. Puisqu'il s'agit de modéliser un ensemble de bâtiments sur une zone assez étendue (exemple d'un IRIS) il n'est pas envisageable, pour des raisons de temps de calcul élevé, de mailler finement l'ensemble des façades constituant la scène à simuler. Pour pallier cette difficulté, les calculs solaires ont été menés au centre de chaque façade.

Le choix de cette méthode a cependant nécessité un travail de validation afin de vérifier si cette simplification conduit à obtenir des résultats satisfaisants pour les façades appartenant à des édifices dans différentes situations urbaines. Dans ce sens, deux IRIS contrastés faisant partie des périmètres d'expérimentation ont fait l'objet de calculs solaires sur les façades des bâtiments qui les composent. Il s'agit des IRIS suivants :

- « Thubaneau » dans le centre ancien de Marseille caractérisé par des constructions anciennes d'avant 1915 dont les édifices sont composés de 4 à 5 étages implantés en bordure de rue. Le facteur de vue du ciel (SVF) dans les rues au sol ne dépasse pas 0,3.
- « Pervanches » situé en périphérie de la ville, ce quartier est caractérisé par de l'habitat collectif (prédominance de barres) et de l'habitat individuel. Cela se traduit par un facteur de vue du ciel au niveau du sol des espaces extérieurs compris entre 0,4 et 0,7.

Une première évaluation des flux solaires reçus a été menée dans un premier temps sur les centroïdes des façades des bâtiments. Afin de tester l'incidence d'un maillage des surfaces des façades sur la finesse des résultats, les façades des bâtiments ont été discrétisées en utilisant une triangulation de surface comprise entre 3 et 8 m<sup>2</sup>. Le temps de simulation étant assez long lorsqu'il s'agit d'une discrétisation fine étant donné que les calculs se font aux centroïdes des mailles, quelques façades bâtiments seulement présentant diverses orientations ont servi de support aux différents calculs.



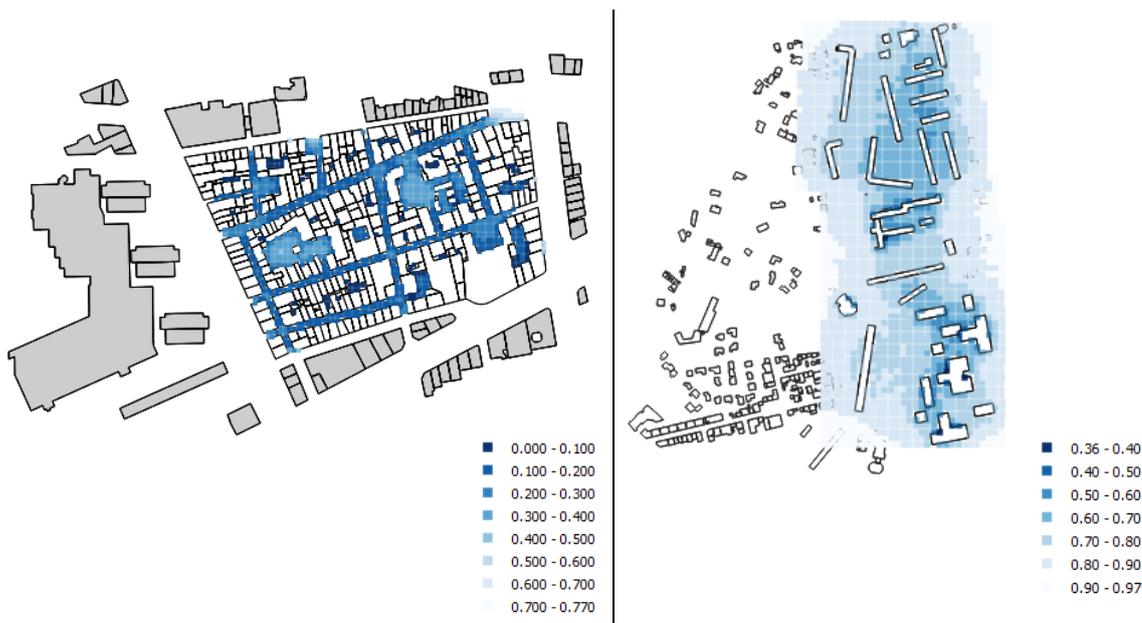
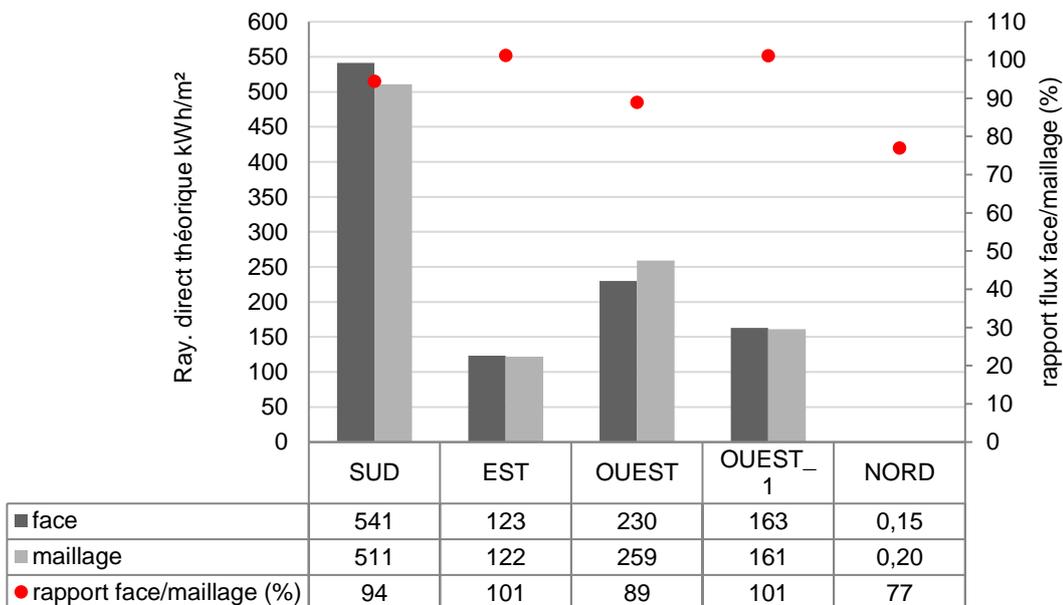


Figure 65. SVF au niveau du sol : IRIS « Thubaneau » (gauche) et IRIS « Pervanches » (à droite)

### 5.12.1. Analyse des résultats obtenus

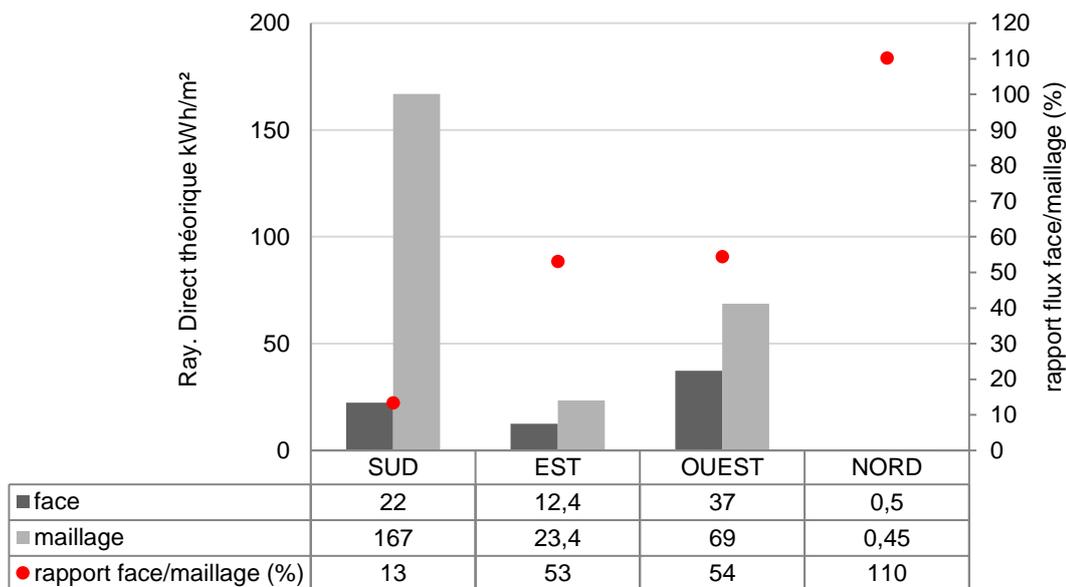
Les simulations solaires menées sur des façades appartenant à quatre orientations (sud, nord, est et ouest) de bâtiments situés dans les deux IRIS tendent à montrer qu'avec la méthode employée il est possible d'obtenir des résultats satisfaisants lorsqu'il s'agit d'un tissu à faible densité. C'est le cas de l'IRIS « Pervanches » où l'écart qui sépare l'évaluation des flux solaires sur les façades est sensiblement proche des résultats obtenus en maillant ces façades.

En revanche, dans le cas d'un tissu à forte densité, les résultats obtenus sont assez divergents. Les écarts entre les deux modes de simulation indiquent une différence assez importante entre les flux évalués. En effet, le calcul au centroïde de la façade tend à sous-estimer les apports solaires, car les effets de masque dus aux bâtiments proches ne sont pas suffisamment pris en compte.



Gaph. 11. Comparaison des résultats des simulations solaires pour l'IRIS « Pervanches » (faible densité)

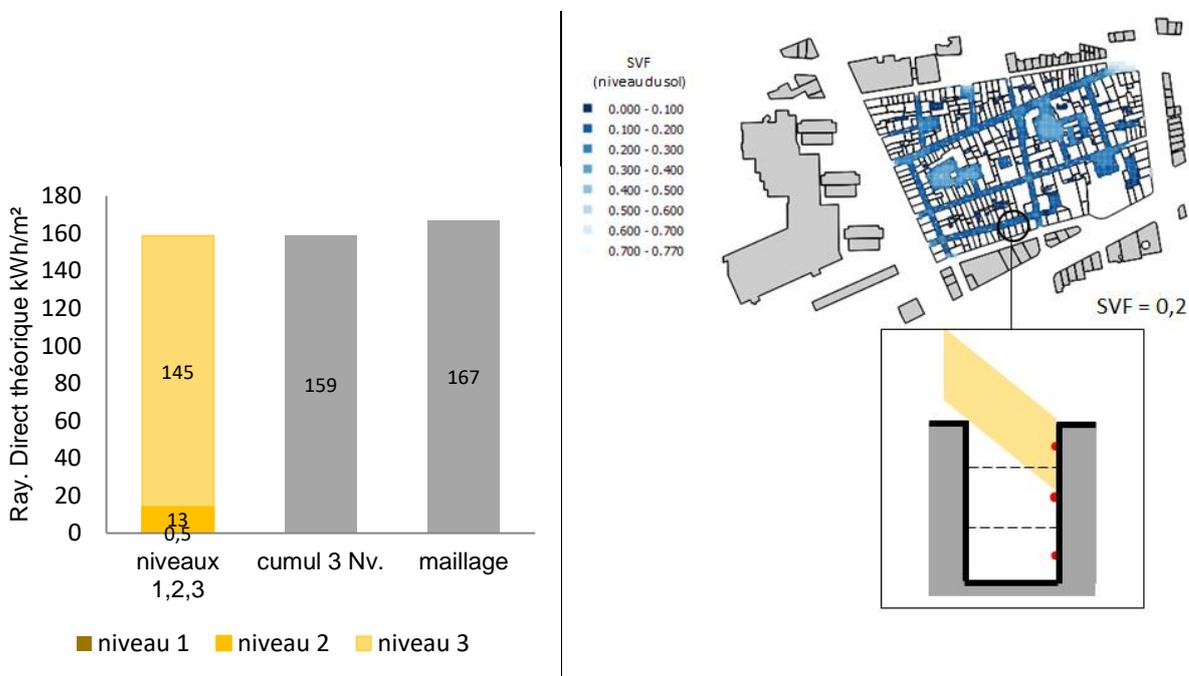




Gaph. 12. Comparaison des résultats des simulations solaires pour l'IRIS « Thubaneau » (haute densité)

### 5.12.2. Traitement des bâtiments appartenant à un quartier à haute densité bâtie

Afin de prendre en charge les effets de masque produits par des édifices existant dans un tissu dense et s'approcher des résultats obtenus en maillant les surfaces des façades sans pour autant augmenter le temps de calcul, d'autres tests ont permis de discrétiser les parois de manière plus grossière en raisonnant par niveau. Dans ce cas, la façade d'un édifice est divisée horizontalement en trois ou quatre parties et les calculs sont effectués au centroïde de chaque partie. Les flux obtenus pour chaque partie sont ensuite agrégés à l'échelle de chaque façade.



Gaph. 1. Comparaison entre le calcul par niveau et le calcul à partir de la discrétisation des façades (tissu urbain dense)

Le choix de cette méthode a cependant nécessité un travail de validation, car si cette simplification conduit à obtenir des résultats satisfaisants pour les façades d'un habitat à faible densité, il n'en est pas de même pour les bâtiments d'un tissu urbain dense.

Les résultats obtenus montrent que le calcul global à la façade sous-estime les flux solaires reçus. Des tests ont été menés avec une résolution plus fine dans le cas de tissus denses. Ils sont réalisés en discrétisant les façades en plusieurs niveaux. Suite à simulations complémentaires, les résultats obtenus pour différentes configurations de densité urbaine ont permis de valider le degré de finesse à adopter pour prétendre estimer finement les flux solaires.

### 5.13. Bilan des besoins de chauffage

Nous avons pu estimer les performances des différentes composantes des façades, ce qui nous permet d'évaluer les besoins en chauffage des édifices.

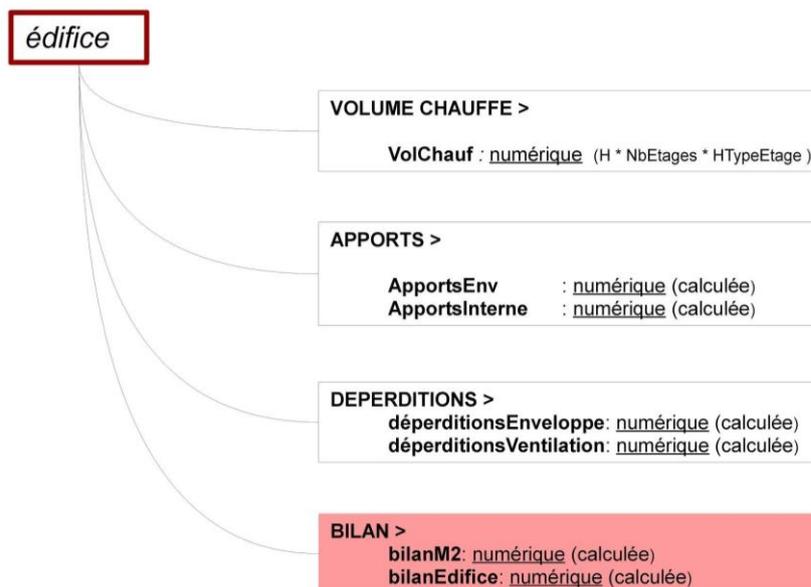


Figure 66. Schéma de principe du calcul des besoins en chauffage des édifices

L'estimation des déperditions s'effectue par élément d'enveloppe à l'aide de la méthode de calcul 3CL basée sur les DJU (Degrés Jours Unifiés)

L'ensemble des surfaces de l'enveloppe sont caractérisées par le type de contact et par la conductance. Les contacts sont assignés à un coefficient de réduction des déperditions dans le cas de parois en contact avec local non chauffé ou terre-plein.

Les surfaces vitrées sont caractérisées par le facteur solaire ce qui nous a permis de pondérer les apports solaires (en tenant compte des masques solaires).

Les apports internes ont été calculés en utilisant la méthode 3CL, qui permet d'estimer de manière simplifiée et approximative ces apports :

$$A_i = 4,17 \times Sh \times N_{ref}$$

Avec :

4,17 : représente les apports internes dissipés dans le logement en W/m². Cette valeur correspond à une énergie dissipée égale à 100 Wh/ (jour.m² Shab) et est une valeur conventionnelle représentative du comportement et de l'équipement moyens des occupants des logements en France ; Sh : surface habitable du logement (m²) ;

Nref : correspond aux nombres d'heures de la période de chauffage. Cette valeur varie selon l'emplacement de du logement étudié.

Les bilans ont été calculés selon la formulation la suivante:

$$Q_{déperditions} = [(\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k) + (Vh \times Q_v \times 0,34)] \times DH$$

$$Q = Q_{déperditions} - [(Q_G \times \tau \times fs \times A_f) + (Q_i \times A)]$$



$Q_G$  radiations solaires reçues  
 $Q$  besoin en chauffage [Wh]  
 $\tau$  ratio d'ouverture des façades (Nomenclatures)  
 $f_s$  facteur solaire des fenêtres (Nomenclatures)  
 $A_f$  surface d'enveloppe [m<sup>2</sup>]  
 $Q_i$  apports internes [Wh/m<sup>2</sup>]  
 $A$  surface chauffée [m<sup>2</sup>]

## 5.14. Synthèse des procédures mises en œuvre et de la méthodologie adoptée

À ce stade du développement du projet (tâche 2), plusieurs procédures ont été développées en vue de réaliser la mise en œuvre de l'atlas. Nous nous contentons ici de les énumérer selon les étapes successives permettant de produire des bilans thermiques :

### 1. Initialisation d'une zone d'étude

- Préparation des édifices et de leur enveloppe à partir de la BD TOPO IGN
- Rejet des édifices qui ne sont pas l'objet d'un bilan
- Identification des mitoyennetés et calcul des surfaces des façades des bâtis mitoyens
- Création des façades et des expositions (orientations)

### 2. Liaison des fichiers fonciers et la BD TOPO IGN

- Assignation du point fichier foncier au bâtiment correspondant (TBD TOPO de l'IGN)
- Reconnaissance automatique des bâtiments isolés, des barres et des tours
- Assignation de la période et de la famille TABULA aux bâtiments

### 3. Relier les caractères des édifices type aux "polygones" cartographiés sur le territoire

- Hiérarchisation des façades (principale-secondaire-pignon)
- Assignation des caractéristiques des types aux composants d'enveloppe
- Évaluation des déperditions
- Calcul de l'ensoleillement des façades
- Évaluation des apports solaires
- Évaluation des bilans (besoins de chauffage par bâtiment)

Afin d'avoir une vision synthétique de la méthodologie mise en œuvre, celle-ci peut être schématisée par la figure suivante.



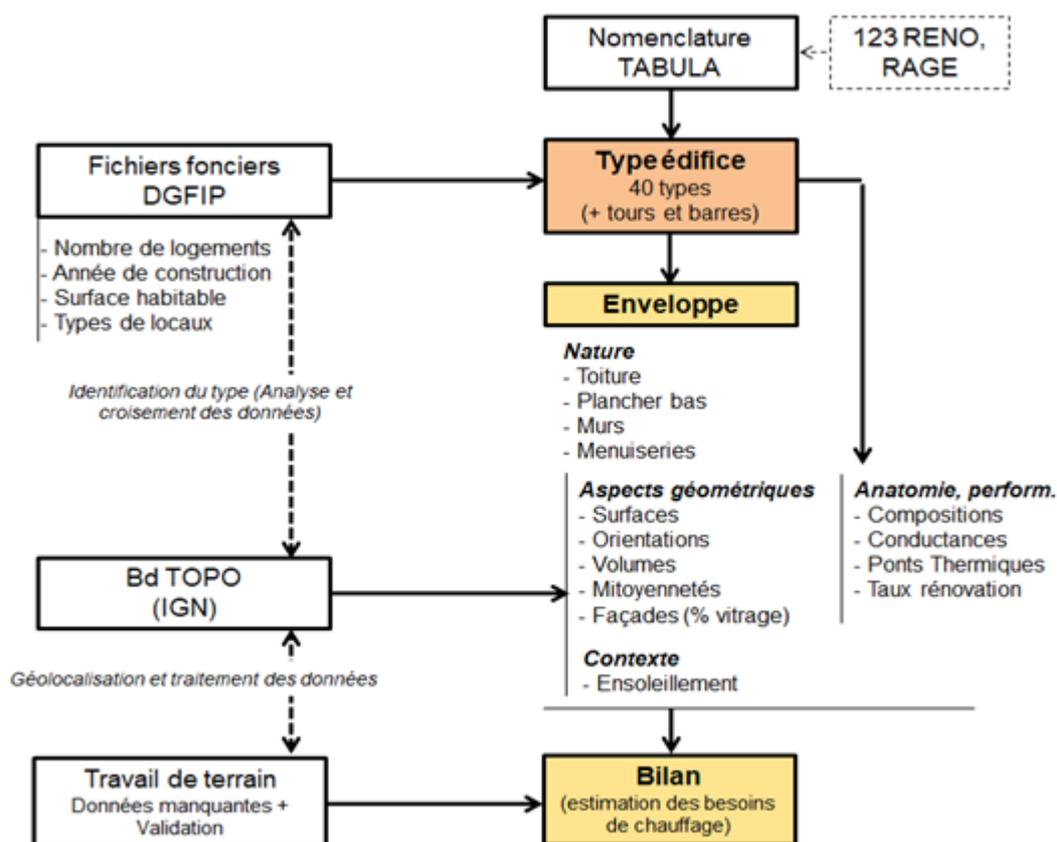


Figure 67. Méthodologie : sources de données et étapes de traitement

## 5.15. Réplicabilité des méthodes de reconnaissance développées et précision du diagnostic

Les procédures développées jusqu'ici s'appuient sur un travail de terrain visant en partie à valider les méthodes de reconnaissance automatiques. Elles concernent à la fois les types d'édifices et les éléments qui constituent leurs enveloppes. L'objectif de ces méthodes consiste à les rendre répliquables sur d'autres territoires tout en minimisant le travail in situ. L'identification des types d'édifices repose sur la nomenclature TABULA qui peut être appliquée grâce aux critères qui la définissent (nombre de logements, période constructive, mitoyenneté). Cela implique aussi l'association des caractéristiques thermo-physiques et des taux d'ouverture propres à chaque type d'enveloppe par façade sans tenir compte des spécificités locales des édifices. Cette identification peut être plus fine si une nomenclature locale est disponible. De ce fait, l'identification est rendue plus proche de la réalité et est plus précise.

### 5.15.1. Précision des données produites et qualité du diagnostic

En partant du principe que la qualité du diagnostic thermique des édifices est conditionnée d'une part par la présence de données locales pouvant préciser les caractéristiques d'enveloppes et d'autre part par les éléments intrinsèques à l'édifice pouvant être recueillis sur le terrain, la mise en place du diagnostic peut être envisagée selon trois niveaux de précision :

#### 5.15.1.1. Niveau 1: approche automatique

Les procédures successives décrites jusqu'ici visant à caractériser les édifices et leurs façades peuvent être appliquées de manière automatisée en se basant sur la nomenclature TABULA. Ce travail ne nécessite pas forcément un temps de traitement long dans la mesure où l'enchaînement des étapes de traitement permet de prendre en charge cinq IRIS en une journée. Cependant, l'évaluation des apports solaires sur les façades demande un temps plus important, car elle fait appel à d'autres outils que QGIS ce qui ne permet pas de rendre les procédures complètement



automatiques à cause des transferts de données d'un outil à un autre. En appliquant des données brutes fournies par la classification TABULA les bilans thermiques obtenus ne peuvent être entachés d'incertitudes quand bien même la question du contexte environnant est prise en compte (ensoleillement). L'approximation des bilans est due la classification à caractère national employée ce qui ne permet pas de prendre en charge de manière précise les spécificités locales des enveloppes. Néanmoins, cette méthode peut être utilisée lorsqu'il n'est pas possible d'accéder à des données locales. Elle a aussi le mérite de fournir des données à l'échelle du bâtiment dans un temps relativement court.

#### 5.15.1.2. Niveau 2: approche automatique (croisement des nomenclatures locale et nationale)

La disponibilité d'une nomenclature locale aide à préciser les données intrinsèques aux édifices lorsqu'elle est croisée avec les types bâtis issus de la classification TABULA. Dans ce cas, un travail d'extraction et de rapprochement des données locales est nécessaire pour rendre compte de la réalité constructive des enveloppes et de leurs taux d'ouverture. Une fois cette phase préliminaire réalisée, les procédures de traitement des données automatisées développées ainsi que l'évaluation des apports solaires peuvent être appliquées au territoire étudié. Sans pour autant rallonger les temps de traitement par rapport à l'approche précédente (hormis le travail initial de croisement des données), cette approche est censée apporter plus de précision dans l'estimation des bilans thermiques.

#### 5.15.1.3. Niveau 3: approche automatique alimentée par des campagnes de terrain

La finesse apportée aux bilans étant fortement conditionnée par la précision des données employées, une approche ultime consisterait à adosser les procédures développées ainsi que le travail de rapprochement des nomenclatures locale et nationale sur des campagnes de relevé sur terrain. Qu'il soit mené in situ ou ex-situ ce travail à l'avantage d'une part de corriger les possibles imperfections pouvant être occasionnées par l'application brute des procédures de caractérisation développées. D'autres part, sans le mener de façon systématique sur l'ensemble d'un territoire étudié au risque de le rendre chronophage, il permet lorsqu'il est concentré sur une portion d'un territoire, d'enrichir les bases de données relatives aux taux de vitrage par façade de chaque type bâti, de définir les types de contacts des planchers bas ainsi que les taux de rénovation des menuiseries tout cela en vue d'alimenter les hypothèses de modélisation.

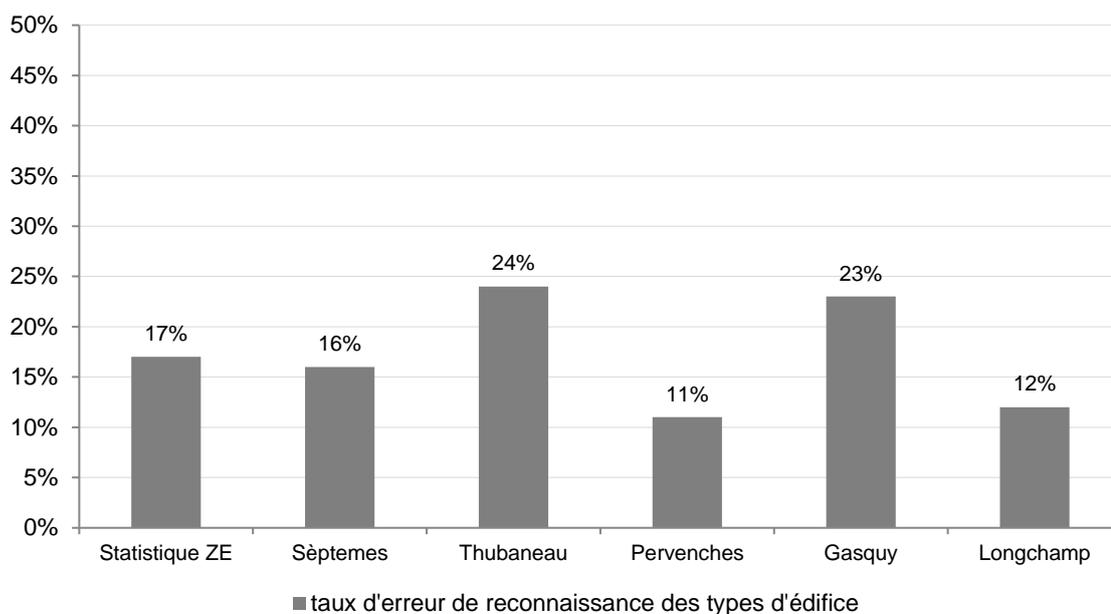
## 5.16. Validation des hypothèses de modélisation à partir du travail de terrain

Au-delà du recueil de données manquantes, la campagne de terrain a permis d'évaluer la fiabilité des différentes méthodes et outils développés afin d'éventuellement permettre d'apporter les modifications nécessaires permettant de les améliorer. Les méthodes en question sont celles qui sont dédiées à la reconnaissance des types d'édifices et à la hiérarchisation de la façade.

### 5.16.1. Reconnaissance des types architecturaux

La reconnaissance automatique des différents types d'édifices que compte la nomenclature TABULA repose sur les procédures de reconnaissance développées plus haut et détaillées dans l'annexe technique. Le travail de validation de ces procédures a été possible en comparant le mode de reconnaissance automatique (sans aucune correction par visualisation ex-situ) avec les données issues du travail de terrain sur l'ensemble des zones études qui ont servi à l'expérimentation.





Gaph. 13. Comparaison entre la reconnaissance des types d'édifices avec les méthodes automatiques et in situ

	Statistique ZE	Septèmes	Thubaneau	Pervanches	Gasquy	Longchamp
Nb Bâtiments traités	5741	3470	315	239	1278	438
Nb Rejets automatique	2722	1554	91	159	739	179
Nb bâtiments résidentiels	3019	1916	224	80	539	259
Nb Erreurs total	808	530	68	24	143	43
Nb Erreurs sans rejets	520	302	53	9	124	32
<b>Taux d'erreur global</b>	<b>17%</b>	<b>16%</b>	<b>24%</b>	<b>11%</b>	<b>23%</b>	<b>12%</b>
<b>Taux d'erreurs de rejet</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>

Tableau 25. Nombre d'édifices traités dans les différentes zones d'étude

L'ensemble des zones d'étude choisies pour cette étude expérimentale compte un nombre important de bâtiments traités. En effet, les quatre IRIS (Thubaneau, Pervanches, Gasquy et Longchamp) qui ont servi de support au développement des procédures de traitement et de croisement entre la base de données de FF et la BD TOPO comportent 2270 édifices. La zone d'étude expérimentale délimitée sur la commune de Septèmes-les-Vallons est quant à elle étalée sur cinq IRIS ce qui représente 3470 édifices concernés par la campagne de terrain.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de procéder au rejet des bâtiments non concernés par le diagnostic. Il s'agit des bâtiments non résidentiels et des annexes. En cumulant l'ensemble des zones d'étude, cette étape préliminaire ramène le nombre d'édifices à considérer de 5741 à 3019.

À l'issue de cette étape préliminaire, la campagne de terrain in situ a permis de corriger les édifices dont la période constructive ou l'appartenance à une famille étaient non assignées (absence de données) ou erronées. Lorsque des annexes ou des bâtiments non résidentiels n'avaient pas pu être rejetés ou ont été rejetés par erreur, ceux-ci ont aussi été corrigés in situ. De ce fait, le taux d'erreur total exprimé dans le tableau ci-dessus englobe l'ensemble des erreurs constatées.

À ce stade du projet, l'application de la méthode automatique permet de reconnaître de manière précise 83 % des édifices sur un territoire ou les édifices sont représentatifs de la nomenclature hétérogène. Parmi les 17 % d'édifices dont l'assignation est à corriger, 5 % du taux d'erreur est dû à des édifices à usage non résidentiel.



Des zones les plus concernées par des erreurs de reconnaissance, l'IRIS Thubaneau en centre ancien de Marseille renferme certains édifices souvent désaffectés qui ne disposent pas de date d'achèvement ce qui renvoie à la qualité des fichiers fonciers où cette donnée est absente ou fautive. Ce constat explique le taux de reconnaissance erroné qui est parmi les plus élevés puisqu'il s'élève à 24 %. Les images ci-dessous illustrent le taux de reconnaissance dans cet IRIS du centre ancien de Marseille. Les édifices en pointillé représentent des cas où les fichiers fonciers ont été reliés au bâtiment, mais ces derniers n'ont pas d'informations sur la date de construction du bâtiment.

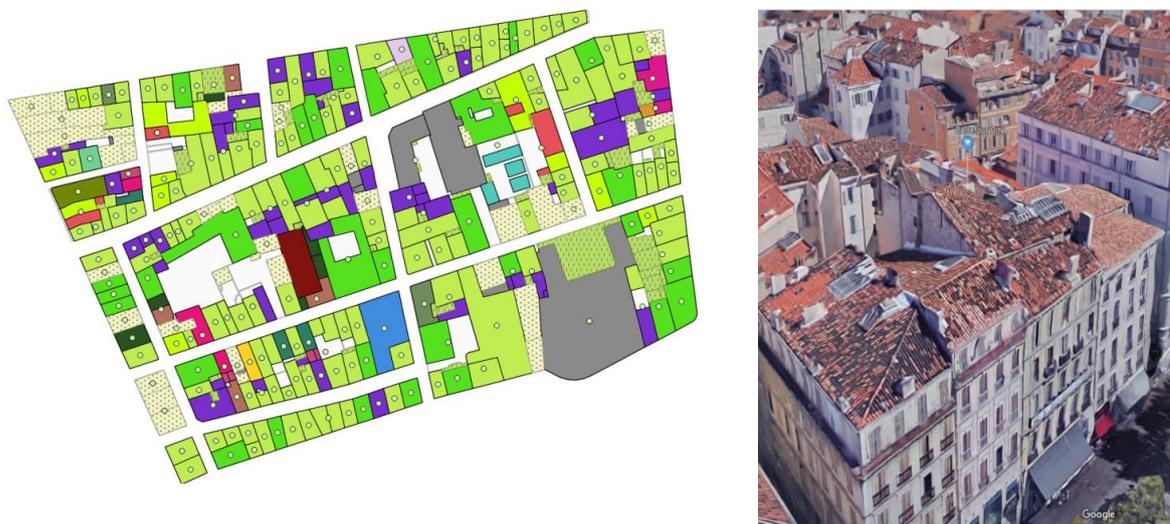


Figure 68. Reconnaissance des types d'édifice (à gauche) et photo aérienne issue de GoogleMaps (à droite) : IRIS Thubaneau

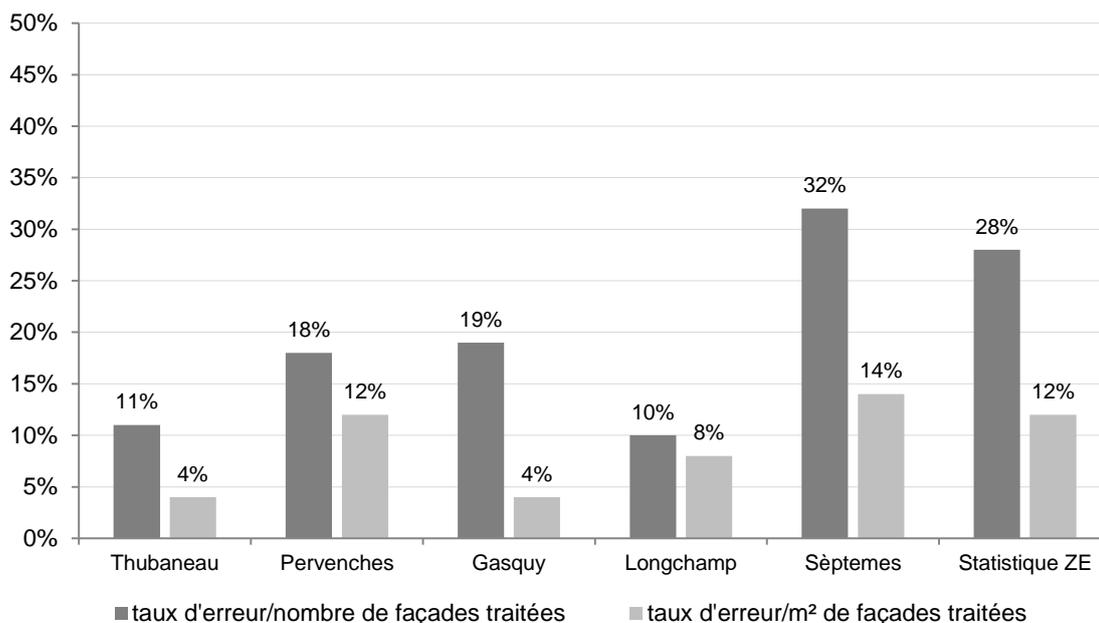
D'une manière générale, les procédures automatiques visant à croiser les bases de données utilisées donnent des résultats satisfaisants au regard du gain de temps et la mobilisation de moyens humains que nécessite une approche in situ. Afin d'améliorer la fiabilité de l'assignation des édifices au type correspondant de la nomenclature utilisée, il est possible de réduire le taux d'erreur d'une part, en complétant l'approche automatique par un travail complémentaire qui consisterait à identifier les édifices non reconnus afin de rendre possible leur reconnaissance par une approche ex-situ. C'est le cas de l'IRIS Thubaneau où la correction serait simple à réaliser ex-situ. Environ la moitié des erreurs sur cet iris sont dues à l'absence de datation.

L'amélioration de la qualité des fichiers fonciers permettrait d'autre part de réduire le taux d'erreur.

### 5.16.2. Reconnaissance de la hiérarchie des façades

La hiérarchisation des façades est une caractéristique importante dans l'estimation des ratios entre les surfaces des menuiseries vitrées et celles de la partie opaque de chaque façade. De ces surfaces vont dépendre les déperditions occasionnées par l'enveloppe et les apports solaires qu'elle reçoit. De la même manière que la reconnaissance des édifices, les différentes hypothèses de reconnaissance des façades qui ont permis de les hiérarchiser (principale, secondaire, pignon) ont fait l'objet d'un relevé systématique lors de la campagne de terrain. La comparaison des relevés in situ avec les résultats issus des procédures automatiques a permis d'évaluer la fiabilité des méthodes développées.





Graph. 14. Taux d'erreur lié aux procédures de hiérarchisation des façades dans les différentes zones d'étude

Les résultats de la comparaison sont présentés selon deux indicateurs. Le premier montre le nombre de façades où une erreur d'assignation a été détectée rapporté à l'ensemble des façades traitées. Le taux d'erreur dans ce cas permet d'apprécier la fiabilité de la méthode développée en fonction des types d'édifices et des configurations urbaines. À lui seul, ce taux ne permet pas d'avoir une idée précise de l'influence de ce taux d'erreur sur la finesse des bilans thermiques. C'est pour cette raison qu'un second indicateur présente ce taux par rapport à la surface cumulée des façades traitées.

Le taux d'erreur de reconnaissance des façades varie en fonction aux types d'édifices et des zones d'étude. D'une manière générale les erreurs constatées renvoient à la précision de la BD TOPO puisque la hiérarchisation des façades se base principalement sur des critères de reconnaissance géométriques. En effet, les imprécisions de cette base de données peuvent expliquer en grande partie les défauts liés à la caractérisation des façades.

Parmi les zones d'étude ayant servi de support à l'expérimentation, les IRIS appartenant à la commune de Septèmes-les-Vallons présentent 32 % de façades concernées par des reconnaissances erronées. Cela peut s'expliquer par :

- La présence de nombreux tissus pavillonnaires qui sont assez complexes à gérer du point de vue de la hiérarchisation des façades ce qui peut contribuer à générer un taux d'erreur important.
- La BD TOPO pour la commune de Septèmes-les-Vallons semble présenter de nombreuses imprécisions relatives au découpage des édifices sur une même unité parcellaire et au décalage occasionné par les limites parcellaires. Il est important de signaler à ce propos que les hypothèses de reconnaissance formulées se basent souvent sur l'éloignement d'une façade par rapport à la limite de la parcelle. Un décalage de ces limites conduit forcément à une erreur de hiérarchisation.
- Quelques erreurs d'interprétation lors de la reconnaissance effectuée in situ se traduisant par le changement d'une assignation de façade secondaire à principale ou inversement de même lorsqu'il s'agit de qualifier une façade secondaire. Certaines façades pignon comportant une ouverture dont la surface est insignifiante ont été classées comme façade secondaire. Il est important de souligner à ce propos que le travail de relevé de terrain dans les IRIS urbains a été mené par l'équipe du laboratoire Project[s]. Sur la commune de Septèmes-les-Vallons le travail de terrain a été mené par l'ensemble de l'équipe du projet (laboratoire Project[s], ALEC, BET Sol A.I.R, EnvirobatBDM) ainsi que par 4 étudiants stagiaires. Malgré un protocole précis et un travail préparatoire visant à harmoniser la reconnaissance, des interprétations différentes ont conduit à fausser le travail de reconnaissance.



Le taux d'erreurs peut paraître important dans les zones à dominante pavillonnaire. Cependant, dans ces cas les plus défavorables cette marge d'erreur considérée du point de vue de la surface qu'elle représente sur l'ensemble des surfaces de façades de chaque zone est réduite à 4 % pour l'IRIS Gasquy à 12 % pour l'IRIS Pervenches et 14 % pour Septèmes-les-Vallons. Cette marge d'incertitude peut être considérée comme acceptable car souvent elle comprend des façades dont l'erreur d'assignation est souvent due à difficulté de distinguer les façades principales et secondaires. Or, la différence entre les taux de vitrage entre les deux types de façade reste assez faible ce qui réduit son influence sur les bilans.

Par ailleurs, les zones du centre-ville ancien (Thubaneau et Longchamp) posent moins de difficulté concernant la hiérarchisation des façades dans la mesure où les problèmes d'incohérence de la BD TOPO constatés dans le pavillonnaire sont moins présentes dans le tissu dense.

Enfin, il serait possible de réduire la marge d'erreur grâce à l'amélioration des données spatiales des nouveaux millésimes de la BD TOPO. Un travail complémentaire ex-situ assez rapide à réaliser peut être envisagé pour corriger l'assignation des façades restantes.

## **5.17. Résultats obtenus, hypothèses de modélisation et échelles de lecture**

Les différentes étapes de traitement décrites dans les parties précédentes avaient pour objectif d'établir un bilan thermique par une approche bâtiment par bâtiment. Sur cette base, une première cartographie permettant une lecture énergétique des bilans à l'échelle de l'édifice est possible. La question de la génération et présentation des résultats se pose en termes de précision (qui renvoie aux hypothèses de modélisation) à la lecture énergétique selon l'échelle souhaitée (édifice, îlot, quartier, ville) et de données produites ainsi que du public visé.

En tenant compte des niveaux de précision des données au bâtiment, il est possible de produire une cartographie des édifices:

- dans leur état d'origine (sans tenir compte d'éventuelles rénovations) selon les types de TABULA et alimentée si possible par une nomenclature locale. À cette échelle ou agrégées à d'autres échelles du territoire, ces données (qui peuvent être entachées d'imprécision) ont un intérêt car elles peuvent permettre la comparaison rapide entre l'état actuel du parc résidentiel et son état d'origine,
- dans leur état d'origine (sans tenir compte des éventuelles rénovations) mais en appliquant les hypothèses de modélisation issues du travail de terrain aux d'édifices. Cette démarche a pour avantage d'être plus précise que l'approche précédente et décrit d'une façon plus réaliste l'état du parc résidentiel à son état d'origine ce qui permet une comparaison assez fine avec l'état actuel,
- en appliquant des données relevées sur le terrain (taux de rénovation, hiérarchisation corrigée des façades, types de contacts avec le sol) pour établir les bilans des bâtiments. Dans ce cas, ce niveau de détail permet de donner une lecture précise de l'état actuel du bâti résidentiel.

Classées par ordre croissant de finesse, les données issues des deux dernières approches peuvent être alimentées par des données relatives aux équipements techniques pour rendre les bilans énergétiques plus complets. Ces données peuvent à leur tour être croisées avec des données socio-économiques.

La question de l'échelle de lecture énergétique est essentielle car elle peut avoir des visées différentes selon du public ciblé mais aussi car elle peut se heurter, lorsqu'elle est trop précise, à la confidentialité des données générées.

La cartographie permettant de visualiser les bilans des édifices pourrait intéresser le grand public car elle constituerait un outil de sensibilisation et d'incitation à la rénovation énergétique. Cependant, les diagnostics sont à l'échelle du bâtiment et non à celle du logement sauf lorsqu'il s'agit d'un habitat individuel. De ce fait, à cette échelle, la donnée doit se contenter de présenter les bilans à l'état d'origine ainsi qu'un diagnostic sommaire de l'état actuel en précisant que les hypothèses de modélisations sont moyennées à partir d'un ensemble de bâtiment de même type. Pour contourner les difficultés liées à la confidentialité, une autre alternative consisterait à générer une carte de chaleur obtenue à partir de données précises permettant de brouiller la lecture par édifice en la rendant inopérante.





Figure 69. Cartographie des bilans des besoins de chauffage (kWh/m<sup>2</sup>an) à l'échelle des édifices pour la zone nord de la commune de Septèmes-les-Vallons



Figure 70. Carte de chaleur des bilans des besoins de chauffage (kWh/m<sup>2</sup>an) de la zone nord de la commune de Septèmes-les-Vallons





Figure 71. Carte de chaleur des bilans des besoins de chauffage (kWh/an) de la zone nord de la commune de Septèmes-les-Vallons

À l'échelle de l'édifice, une cartographie plus précise présentant la réalité du bâti résidentiel peut concerner exclusivement les acteurs territoriaux. À titre d'exemple, les deux cartes de chaleur ci-dessus présentant des bilans des besoins de chauffage peuvent être complémentaires. D'une part, les consommations énergétiques rapportées à la surface chauffée des édifices est plus importante dans le tissu pavillonnaire datant d'une période antérieure à l'avènement de la réglementation thermique. D'autre part, les mêmes bilans affectés d'une manière globale à l'édifice permet d'identifier les zones caractérisées les besoins de chauffage les plus importants (exemple d'une grande copropriété non rénovée). Il est possible d'agréger des données plus précises à une échelle supérieure (îlot, quartier, ville) car à ces échelles la question de confidentialité ne se pose plus. De même, la production des cartes de chaleur croisant des indicateurs socio-économiques permet d'identifier des zones à enjeux.

Une autre piste de réflexion consisterait à caler les indicateurs socio-économiques fournis par l'INSEE à l'échelle d'un carroyage de 200 x 200 m. Ces investigations feront l'objet de plus de précisions dans la partie suivante dédiée à l'expérimentation.

D'autres pistes de réflexion consisteraient à interroger les liens entre forme urbaine, contexte, enveloppe par types constructifs au prisme de l'énergie. La décomposition de l'enveloppe sur lequel est basé le diagnostic par bâtiment permettrait d'extraire des données pouvant servir à produire des nouveaux indicateurs prospectifs permettant de mieux comprendre les formes urbaines et leur matérialité.

## 5.18. Conclusions

La partie dédiée à l'élaboration de l'atlas synthétise le développement des différentes méthodes et outils permettant de produire des bilans thermiques contextualisés à l'échelle du bâtiment. Les difficultés rencontrées sont en grande partie liées aux données issues des fichiers fonciers et de la BD TOPO. Si ces données sont incomplètes ou erronées, elles peuvent conduire dans certains édifices à des dérives lors de l'estimation des bilans thermiques. C'est pour cette raison qu'une grande partie de la phase 2 du projet ATRE a été consacrée à l'analyse des données disponibles et à l'identification de celles qui semblent pertinentes à employer. Dans un second temps le croisement des données mobilisées et l'identification des verrous pouvant être levés ont été effectués pour permettre de décrire les édifices et leurs enveloppes. Une validation de l'ensemble des procédures mises en place a été nécessaire. Cela s'est fait grâce à plusieurs campagnes de terrain qui ont touché des zones résidentielles diversifiées. Les données recueillies sur des territoires de tailles assez conséquentes (plusieurs IRIS) ont servi à améliorer les outils et méthodes, mais aussi à alimenter les hypothèses de modélisation permettant de préciser les bilans thermiques.



Les résultats obtenus sont très encourageants : grâce au croisement de données caractérisant une majorité d'édifices et de leurs composantes de façon assez précise, la reconnaissance automatique est possible.

Au-delà du perfectionnement pouvant être apporté aux méthodes compte tenu des évolutions des bases de données utilisées, des pistes d'amélioration sont en cours. Elles consistent à une meilleure prise en charge des déperditions engendrées par les planchers bas des édifices en fonction de la nature des contacts. En se basant sur les règles de calcul et données surfaciques de cette partie de l'enveloppe (et non sur des coefficients forfaitaires), il serait possible d'estimer de manière plus fine leurs déperditions. Il en va de même pour les questions de prise en charge de l'inertie thermique. L'affectation des classes d'inertie séquentielle par type d'édifice permettra de rendre les bilans thermiques plus réalistes.

La question des indicateurs et plus largement des données à produire et à diffuser sont intimement liées à l'échelle de lecture que permet un atlas et au public visé. Ce travail est lui aussi en cours de développement et sera mis en place dans le cadre de l'expérimentation de l'atlas produit sur la commune de Septèmes-les-Vallons.

Le croisement des données permet de repérer les territoires cumulant le plus de facteurs influant sur le contexte de la rénovation du bâtiment. Grâce à une vision globale éclairée, les acteurs publics pourraient orienter leurs actions et leurs politiques sur les territoires les plus vulnérables afin de tenter de résoudre les situations de précarité énergétique ou d'éviter le basculement. Mais l'Atlas peut aussi conduire à faire de l'incitation ou à mettre en place des opérations groupées sur des territoires où le contexte semble propice.

## 6. Expérimentation sur la commune de Septèmes-les-Vallons

Au-delà du travail de terrain qui a été mené dans le cadre de l'élaboration des méthodes et outils décrites précédemment, l'application de la méthodologie développée sur la commune de Septèmes-les-Vallons a permis d'expérimenter la mise en place de l'atlas. Ce travail s'est articulé autour des étapes suivantes :

- Caractérisation des édifices résidentiels dans leur contexte: le croisement des données (spatiales et fichiers fonciers) afin de caractériser les familles des bâtiments, leur enveloppe en vue d'estimer les bilans à l'échelle de l'édifice.
- Mise en place de l'atlas: la réalisation de l'atlas sur la commune et l'évaluation du comportement énergétique des édifices de la commune et identification des zones à enjeu
- Travail de terrain : les relevés sur site de plus de 3000 bâtiments (5 IRIS) pour valider, corriger et/ou préciser les hypothèses de taux de rénovation des menuiseries et le type de contact au sol des édifices. Cette étape a été décrite précédemment car ce territoire faisant partie du protocole global d'expérimentation et de validation.
- Hypothèse d'intégration des données de consommation: à partir des données transmises par les responsables de réseaux Enedis et GRDF. Au-delà de l'estimation des consommations de chauffage, l'objectif étant de compléter les données de consommations estimées avec des données réelles.
- Thermographies menées dans les zones à enjeux identifiées par la commune: les typologies représentatives de ces zones ont été couvertes par des thermographies des façades effectuées par l'ALEC. L'identification des éléments d'enveloppes déperditifs de manière qualitative permet de préciser les causes des besoins énergétiques de chauffage.
- Projet de réhabilitation de 19 logements par la commune : Analyse plus fine de ces 19 logements pour calculer le gisement d'économies (énergétiques et financières) de ces rénovations selon différents scénarii de rénovation.
- Intégration des données socio-économiques : les hypothèses de croisement des données énergétiques avec les bases de données socio-économiques

Il ne s'agit pas ici de décrire les aspects méthodologiques qui ont conduit à produire l'atlas sur la commune choisie comme support d'application. Il est plutôt question d'explorer dans quelle mesure



les données produites peuvent être enrichies et exploitées en vue d'intéresser les acteurs locaux concernés par l'amélioration énergétique du parc résidentiel existant.

## 6.1. Évaluation du comportement énergétique des bâtiments dans la commune de Septèmes-les-Vallons.

### 6.1.1. Exploitation de l'atlas à l'échelle du bâtiment

L'atlas étant construit à partir de données détaillées à l'édifice, il est possible à l'image de l'analyse des gisements de rénovation menée sur une zone du territoire ou en ciblant une zone à enjeu, d'exploiter les données à plus petite échelle que constitue le bâtiment

À cette échelle, il est possible d'estimer les gains énergétiques et les éventuels coûts des travaux. Ces estimations peuvent se faire grâce à des formulaires développés sous QGIS permettant de faciliter le travail de requête, d'analyse et de mise à jour des données pouvant être modifiés ou mise à jour.

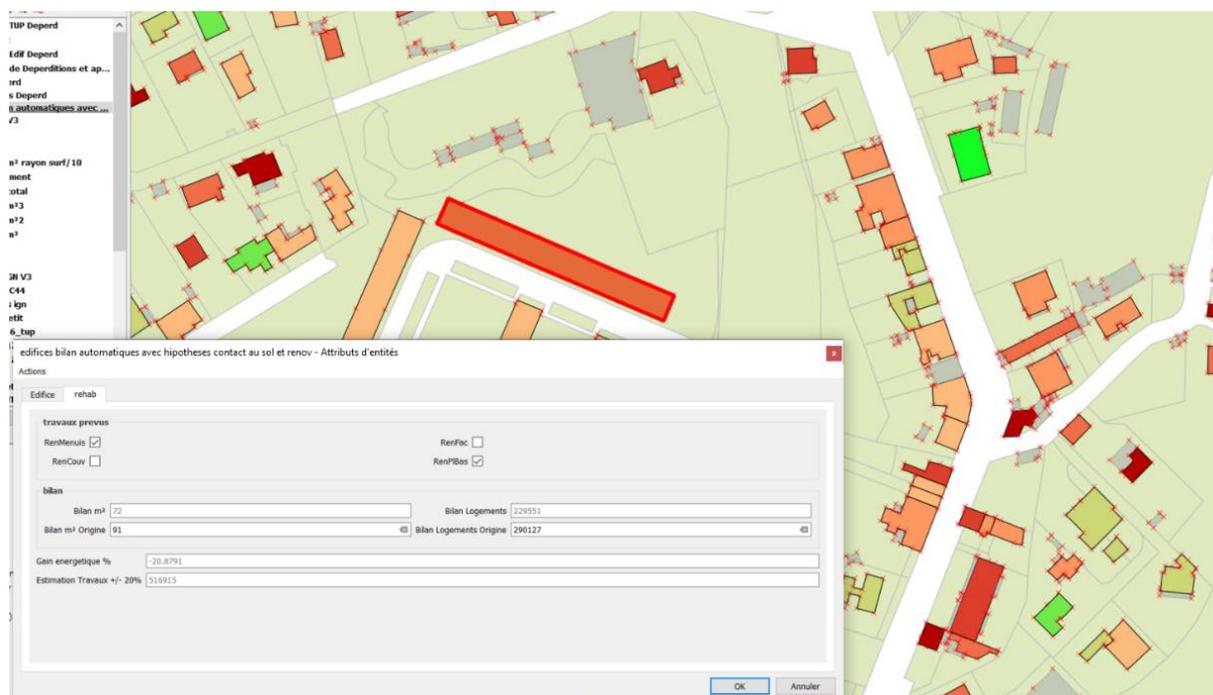


Figure 72. Exemple de requête par édifice permettant d'extraire des données en vue d'une évaluation des gains et coûts de la réhabilitation d'un édifice

À partir des outils développés sur QGIS, il est possible de renseigner des données relatives à d'éventuels travaux de rénovation par élément d'enveloppe. Un nouveau bilan énergétique est alors produit de manière automatique au m<sup>2</sup> et en valeur absolue (kWh/an). Il est aussi possible de comparer entre les consommations à l'état initial et celles de l'édifice rénové.

À titre d'exemple, le comportement énergétique d'une barre des années 60-70 ci-dessus indique que le remplacement des menuiseries et l'isolation du plancher bas permettraient de réaliser un gain énergétique d'environ 21%. De même, l'isolation des façades par l'intérieur ainsi que la toiture permettraient des gains d'environ 51%. Partant d'hypothèses de chiffrage des travaux, il est possible d'évaluer les coûts de la rénovation.

Même si ces estimations ne prétendent pas aussi précises que un audit complet du bâtiment elles peuvent être utilisées pour obtenir des indicateurs énergétiques permettant d'être agrégée à d'autres échelles du territoire.

### 6.1.2. Lectures énergétiques à des échelles supérieures

La mise en œuvre de l'atlas a permis d'établir une lecture globale du parc bâti de commune de Septèmes-les-Vallons et de réaliser des cartes faisant ressortir les zones les plus énergivores. Sur la base des estimations des besoins de chauffage produits à l'échelle des édifices, les résultats peuvent



être affichés en précisant : soit le ratio des besoins nets de chauffage rapportés à la surface habitable de chaque bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>.an), soit en valeur absolue (kWh/an), soit au logement (kWh/log.an).

Seules les données liées à la rénovation des menuiseries relevées lors de la campagne de terrain ont servi à l'estimation des besoins de chauffage à l'échelle de l'édifice. À une échelle plus large, les estimations peuvent intégrer les hypothèses de rénovations issues des données nationales<sup>79</sup>. Ces données peuvent conduire à produire des bilans plus réalistes dans le cas où les données nationales concernant les taux de rénovations par élément d'enveloppe seraient appliquées.

Les cartes ci-dessous présentent la visualisation des résultats aux différentes échelles : elles permettent de faire ressortir les zones à enjeu.

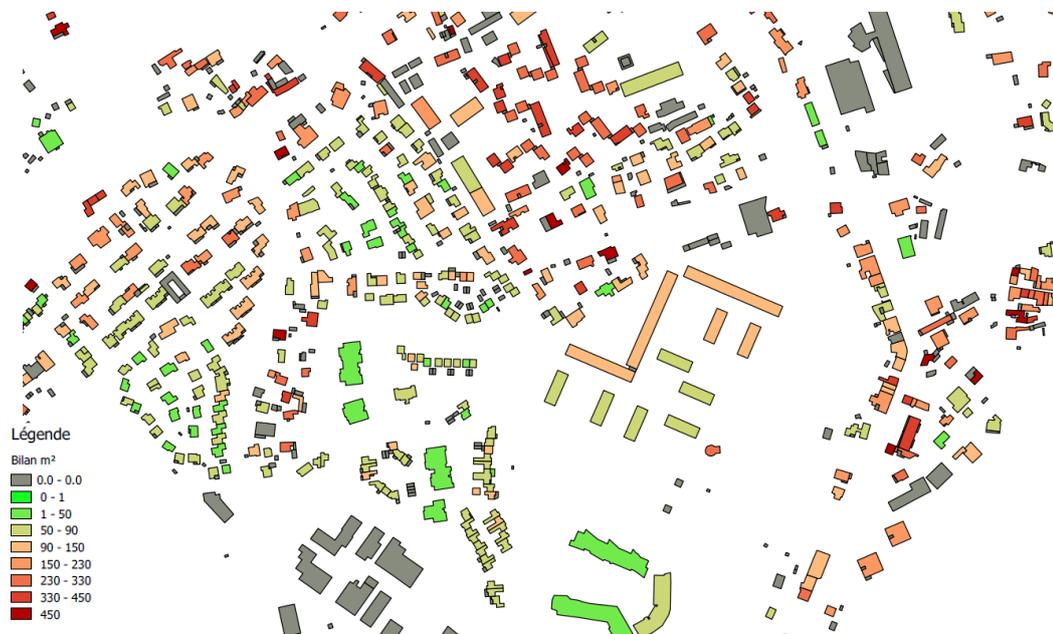


Figure 73. Besoins de chauffage générés à l'échelle de chaque bâtiment en kWh/m<sup>2</sup>.an

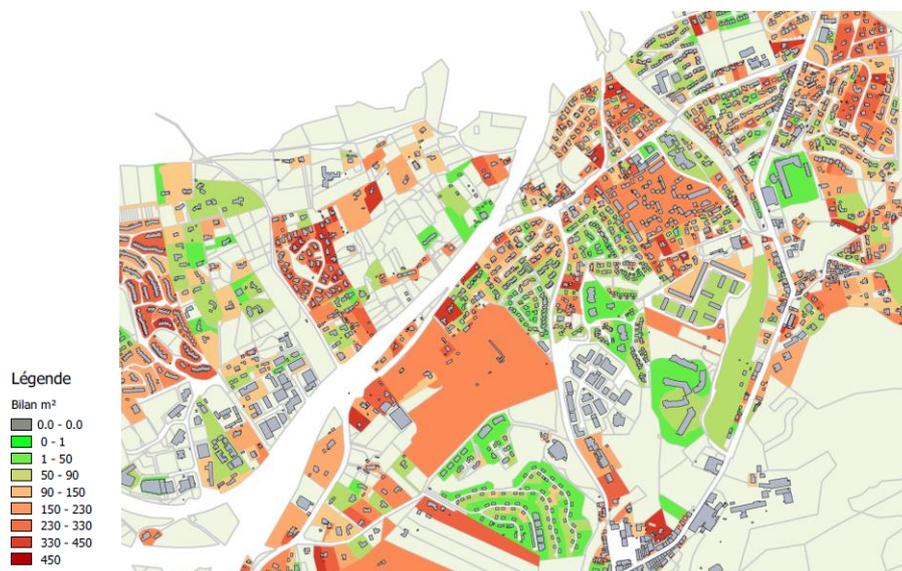


Figure 74. Besoins de chauffage générés par parcelle en kWh/m<sup>2</sup>.an

<sup>79</sup> Données fournies par Énergies demain





Figure 75. Carte de chaleur représentant les besoins de chauffage en valeur absolue (kWh/an)

Cette 2<sup>ème</sup> carte illustre des zones de fortes consommations car elles concentrent d'importantes surfaces habitées et de nombreux logements. C'est le cas de quartiers regroupant du grand collectif, des tours ou des barres. La concentration d'importantes consommations énergétiques peut intéresser la collectivité notamment dans une démarche de mise en place ou d'extension d'un réseau de chaleur.

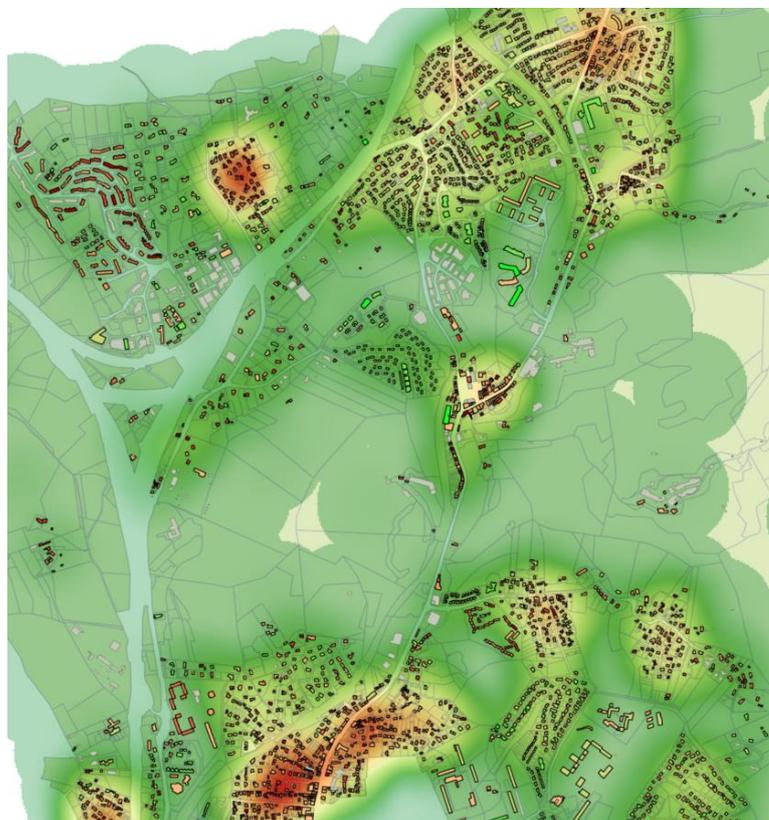


Figure 76. Carte de chaleur représentant les besoins de chauffage rapportés aux logements (kWh/log.an)



Celle-ci identifie les zones dans lesquelles la somme de plusieurs logements qui concentrent une consommation énergétique importante. Cela concerne plus les maisons individuelles non isolées caractérisés d'une part par des surfaces habitables plus importantes que les logements collectifs. D'autre part elles se caractérisent par d'importantes surfaces déperditives.

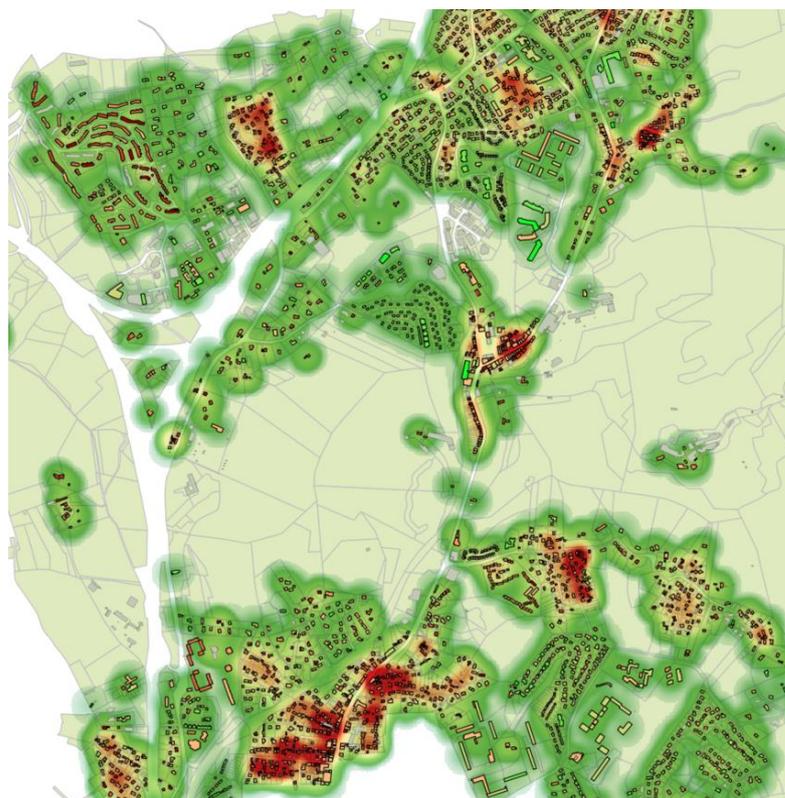


Figure 77. Carte des besoins de chauffage au m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>.an) habitable

Enfin, si cette carte semble se rapprocher de la précédente, elle permet d'identifier la concentration de plusieurs bâtiments déperditifs sur une même zone, peu importe la surface des logements. Elle permet de visualiser la somme des bâtiments énergivores, y compris là où les logements sont de petites surfaces comme dans le centre ancien. L'intérêt de cette visualisation peut être pour une collectivité d'encourager des opérations groupées de rénovation des logements. Une communication, un accompagnement ou des aides ciblées sur tel ou tel quartier peuvent alors avoir lieu dans la mesure où les logements visés sont énergivores.

Les différentes cartographies permettent d'identifier des zones à enjeu. Si les grands ensembles sont de gros consommateurs et constituent des gisements importants d'économie d'énergie, l'analyse au m<sup>2</sup> et au logement permet d'identifier les gisements du pavillonnaire.

Pour mieux comprendre cela, des études statistiques ont été réalisées sur l'ensemble de la commune. À partir des 42 types de bâtiments, reconnus de manière automatique et vérifiés par la campagne de terrain, il a été possible de réaliser des statistiques permettant d'évaluer les gisements de rénovation énergétique. Les gains potentiels en cas de rénovation ainsi qu'une estimation des coûts de travaux peuvent être évalués par élément d'enveloppe.

Enfin, si cette carte semble se rapprocher de la précédente, elle permet d'identifier la concentration de plusieurs bâtiments déperditifs sur une même zone, peu importe la surface des logements. Elle permet de visualiser la somme des bâtiments énergivores, y compris là où les logements sont de petites surfaces comme dans le centre ancien. Pour une collectivité, l'intérêt de cette visualisation peut encourager des opérations groupées de rénovation des logements. Une communication, un accompagnement ou des aides ciblées sur tel ou tel quartier peuvent alors avoir lieu dans la mesure où les logements visés sont concernés par la rénovation énergétique.

Les différentes cartographies permettent d'identifier des zones à enjeu. Si les grands ensembles sont de gros consommateurs et constituent des gisements importants d'économie d'énergie, l'analyse des consommations rapportées à surface chauffée du logement permet d'identifier les gisements dans les tissus pavillonnaires.



Au-delà du recours à la cartographie comme moyen de communication et de présentation des résultats, l'exploitation des données produites permet d'apporter des connaissances plus fines sur le comportement énergétiques des édifices. À partir, des besoins de chauffage par bâtiment, il a été possible de préciser des estimations par type et par famille-permettant d'évaluer les gisements de rénovation énergétique.

Nombre de bâtiments par Type										
Période Famille	avant 1915	1915 / 1948	1949 / 1967	1968 / 1974	1975 / 1981	1982 / 1989	1990 / 1999	1999 / 2005	2006 / 2012	Après 2012
SFH	95	157	156	58	109	127	107	46	185	15
TH	145	63	63	33	82	122	70	34	31	1
MFH	47	13	27	6	10	14	5	2	8	0
AB	2	1	17	2	0	5	1	1	7	3
Tours	0	0	4	2	7	1	0	0	0	0
Barres	0	0	14	10	2	0	0	0	0	0
	Avant RT				Soumis à la RT					

Tableau 26. Composition du parc bâti résidentiel de la commune Septèmes-les-Vallons par période constructive et par famille<sup>80</sup>

Période Famille	périodes 1-2-3-4			périodes 5-6-7			périodes 08-09-10		
	Nb.	Surfaces m <sup>2</sup>	Besoins en chauffage kWh/an	Nb.	Surfaces m <sup>2</sup>	Besoins en chauffage kWh/an	Nb.	Surfaces cumulées m <sup>2</sup>	Besoins de chauffage kW/.an
SFH	466	37 172	2 677 838	343	32 565	3 476 011	246	25 726	1 671 178
TH	304	26 182	1 608 404	274	23 567	2 007 170	66	5 348	288 348
MFH	93	15 515	960 962	29	7 716	694 765	10	3 936	164 566
AB	22	5 889	1 050 444	6	2 937	206 238	11	13 175	483 521
Tours	6	8 476	253 339	8	36 444	2 229 969	-	-	-
Barres	24	60 250	1 561 866	2	13 150	765 831	-	-	-
	Avant 1915-1974 190 kWh/m <sup>2</sup> .an			1975-1999 85 kWh/m <sup>2</sup> .an			Édifices récents 50 kWh/m <sup>2</sup> .an		

Tableau 27. Nombre d'édifices, surfaces de planchers cumulées et besoins de chauffage cumulés des bâtiments étudiés

Les deux tableaux précédents détaillent la composition du parc bâti sur les 5 IRIS que compte Septèmes-les-Vallons et les estimations des besoins en chauffage. L'agrégation des données à l'échelle de la commune met en évidence le nombre important de maisons (SFH) suivi par les maisons de ville accolées (TH). Toutes périodes constructives confondues, ces deux types concentrent à eux deux 58 % des besoins de chauffage (39% pour les maisons SFH et 19% pour les TH). Les types SFH et TH construits avant 1975 soit 45% des maisons individuelles présentes sur le territoire étudié représentent 37% des besoins de chauffages.

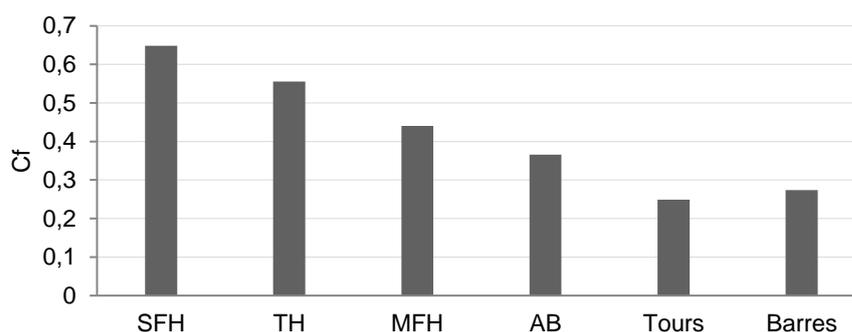
Globalement, les besoins en chauffage des maisons non isolées sont explicables par le coefficient de forme défavorable<sup>81</sup>. Celui-ci permet d'évaluer le rapport entre surfaces en contact avec l'extérieur et le volume chauffé des édifices déterminant leur compacité. Un coefficient de forme élevé indique que le bâtiment est peu compact.

<sup>80</sup> SFH – Maison isolée ; TH – Maison de village avec mitoyens ; MFH – petit immeuble ; AB grand immeuble, plus de 10 logements ; Tours ; Barres

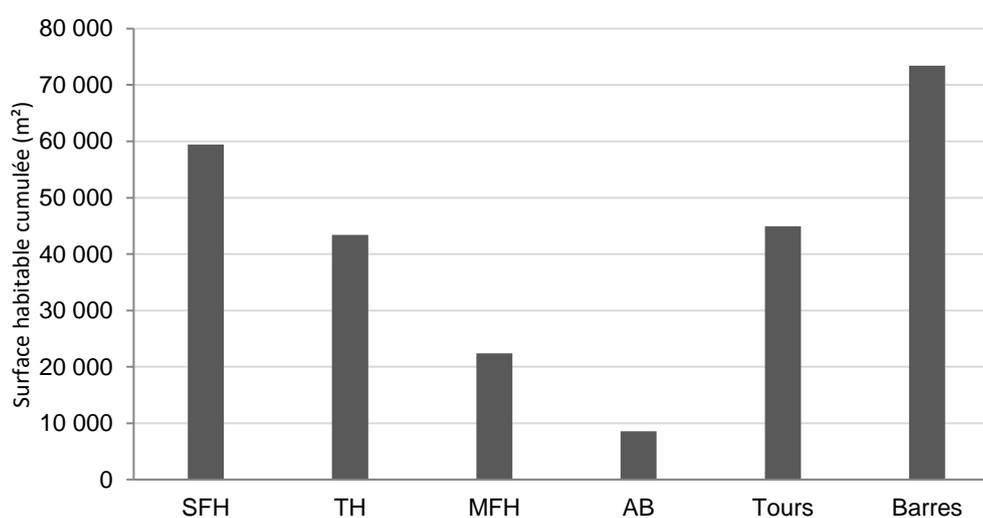
<sup>81</sup> Le coefficient de forme est le rapport de la Surface totale d'enveloppe et du volume habitable d'un bâtiment



Le graphique ci-dessous montre la variation du coefficient de forme moyen des différentes familles d'édifice. Cet indicateur a été estimé à partir des données géométriques produites pour chaque édifice et moyenné par type.



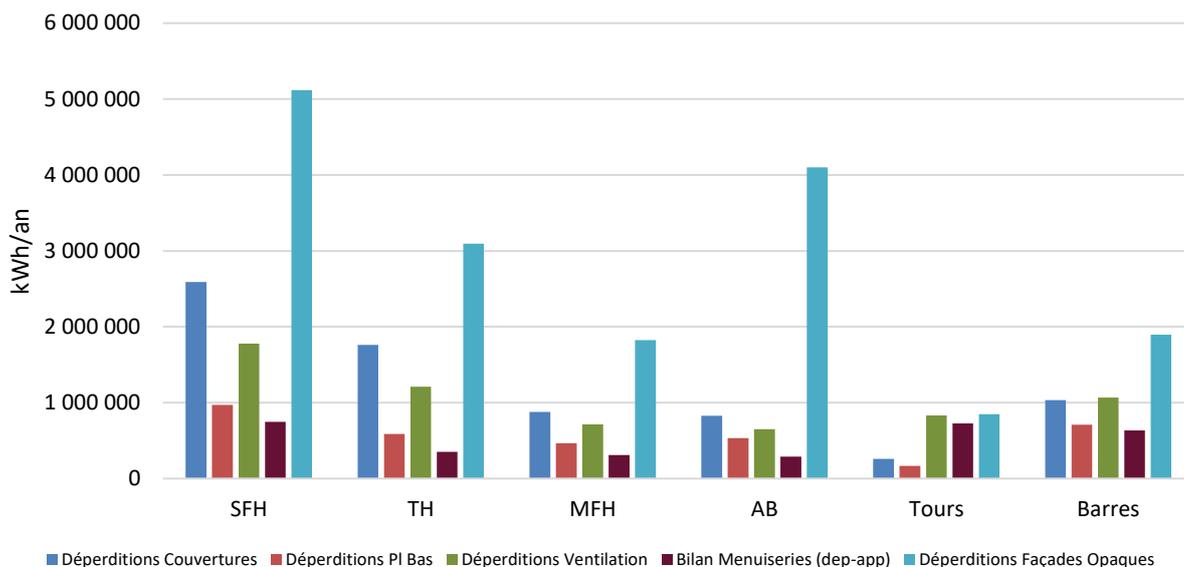
Gaph. 15. Coefficient de forme moyen par famille de bâtiments



Gaph. 16. Surfaces en m² habitables cumulés par famille

En partant de la base de données produite à l'échelle des édifices, il est possible d'analyser dans le détail la répartition des déperditions par élément d'enveloppe sur l'ensemble du territoire ou sur une zone d'étude plus restreinte comme le montre le graphique suivant.

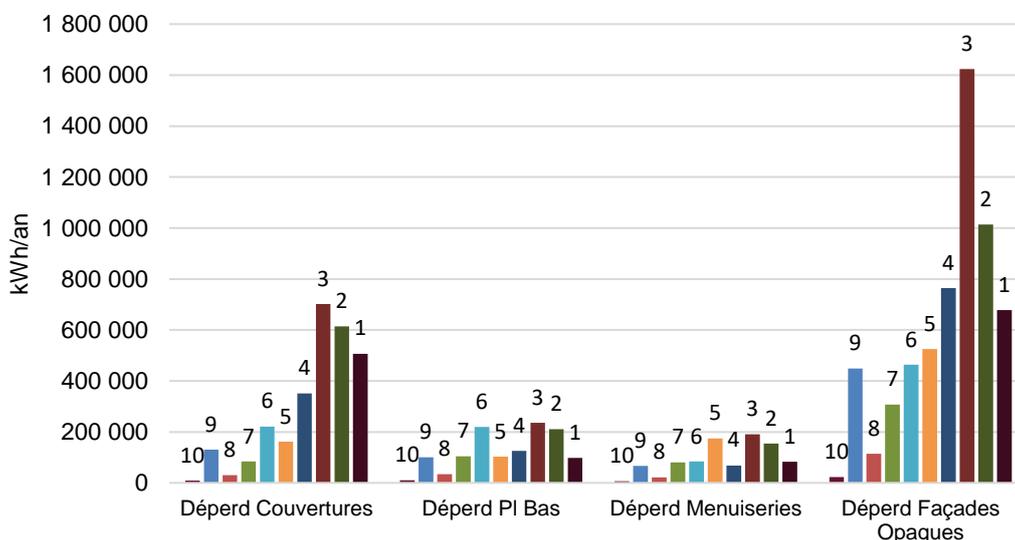




Gaph. 17. Répartition des besoins de chauffage par famille et par élément en kWh/an

L'analyse du parc bâti par famille de bâtiments permet d'identifier les besoins de chauffage les plus importants. Les bâtiments qui ont été analysés sont ceux construits avant 1999. Les gisements les plus importants sont liés aux maisons individuelles (SFH) bien qu'elles ne constituent pas la part la plus importante de surfaces habitables.

Plus de détails peuvent être obtenus en vue d'une comparaison de l'évolution des déperditions par période constructives et par éléments d'enveloppe. À titre d'exemple, ci-dessous sont présentés les besoins en kWh/an des maisons SFH suivant les dix périodes<sup>82</sup> analysées. Les gisements les plus importants sont ceux des maisons construites jusqu'aux années 1967. Ces informations tiennent compte de l'état initial des maisons et des relevés faits sur le terrain concernant la substitution des vitrages.

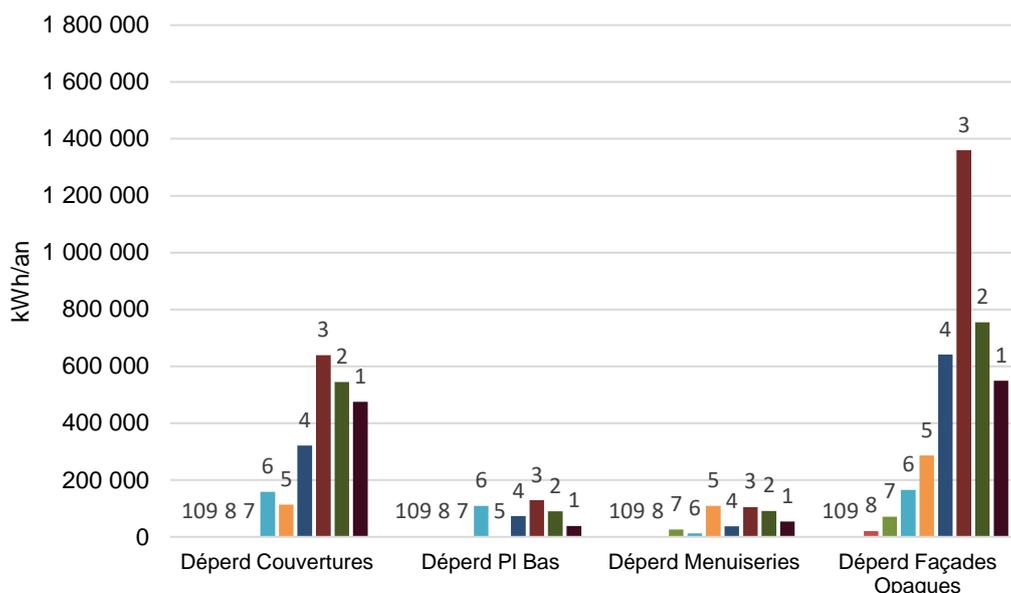


Gaph. 18. Besoins de chauffage des maisons SFH en kWh/an

En partant des données relatives au comportement énergétique du parc résidentiel existant, il est possible également d'émettre des hypothèses sur d'éventuelles rénovations énergétiques pour estimer les gains attendus comme le montre le graphique suivant.

<sup>82</sup> La division en 10 tranches d'âge, suivant la nomenclature TABULA : 01 – avant 1915 ; 02 – 1915/1948 ; 03- 1949/1967 ; 04 – 1968/1974 ; 05 - 1975/1981 ; 06 - 1982/1989 ; 07 – 1990/1999 ; 08 - 1999/2005 ; 09 – 2006/2012 ; 10 – après 2012.





Gaph. 19. Gains suite à rénovation des maisons SFH en kWh/an

### 6.1.3. Identification des zones à enjeu

Le Service Aménagement de la commune de Septèmes-les-Vallons a identifié des zones à enjeux sur lesquelles elle souhaitait que l’ALEC réalise des thermographies de façades. Le périmètre visé représente une trentaine de bâtiments résidentiels. Les zones identifiées sont : Le Pré Vert, Le Pré de l’Aube, Les Collines, Les Caillols et le centre ancien.



Figure 78. Zones à enjeux identifiées par la Mairie

Ces zones sont identifiées par la commune pour diverses raisons : parc vieillissant ou dégradé, population âgée, ménages précaires, grands ensembles, etc. La volonté est ici de croiser les données produites par l’Atlas avec les données terrain de la commune et les thermographies réalisées afin de confirmer ou d’infirmer les hypothèses de besoins de rénovation.

### 6.1.4. Analyse thermographique



L'analyse thermographique permet de visualiser les différences de températures des façades d'un bâtiment. Les clichés (images thermographiques) doivent être réalisés pendant l'hiver, période de chauffe des logements pour pouvoir visualiser le flux thermique émis par la façade à un instant T et identifier où se situent les déperditions de chaleur du logement. La caméra thermique est un outil pédagogique, et ne se substitue pas à un bilan énergétique. Pourtant, c'est un bon outil d'aide au diagnostic, permettant d'identifier les zones responsables des pertes de chaleur.

Au regard des bilans énergétiques produits grâce à l'atlas, nous avons repéré les bâtiments les plus énergivores situés dans les zones à enjeux déjà identifiés par le Service Aménagement de l'Espace de la commune de Septèmes-les-Vallons. Le but étant de mieux cerner les points d'amélioration à partir des données en besoins de chauffage. En priorité, les bâtiments dont les besoins en chauffage sont compris entre 200 et 350 kWh/m<sup>2</sup> ont été sélectionnés. Pour autant, dans certaines zones comme Les Collines et Pré de l'Aube, les besoins en chauffage se situent plutôt entre 50 et 150 kWh/m<sup>2</sup>.

L'opération thermographie a été réalisée sur deux matinées : le mardi 12 et le mercredi 13 février 2019. Les clichés ont été pris avant le lever du soleil entre 6 heures et 9 heures du matin. Les températures d'air enregistrées étaient de 5 °C le mardi et -2°C le mercredi.

La commune a informé les administrés sur le journal communal pour permettre à l'équipe de l'ALEC de travailler dans des conditions favorables.

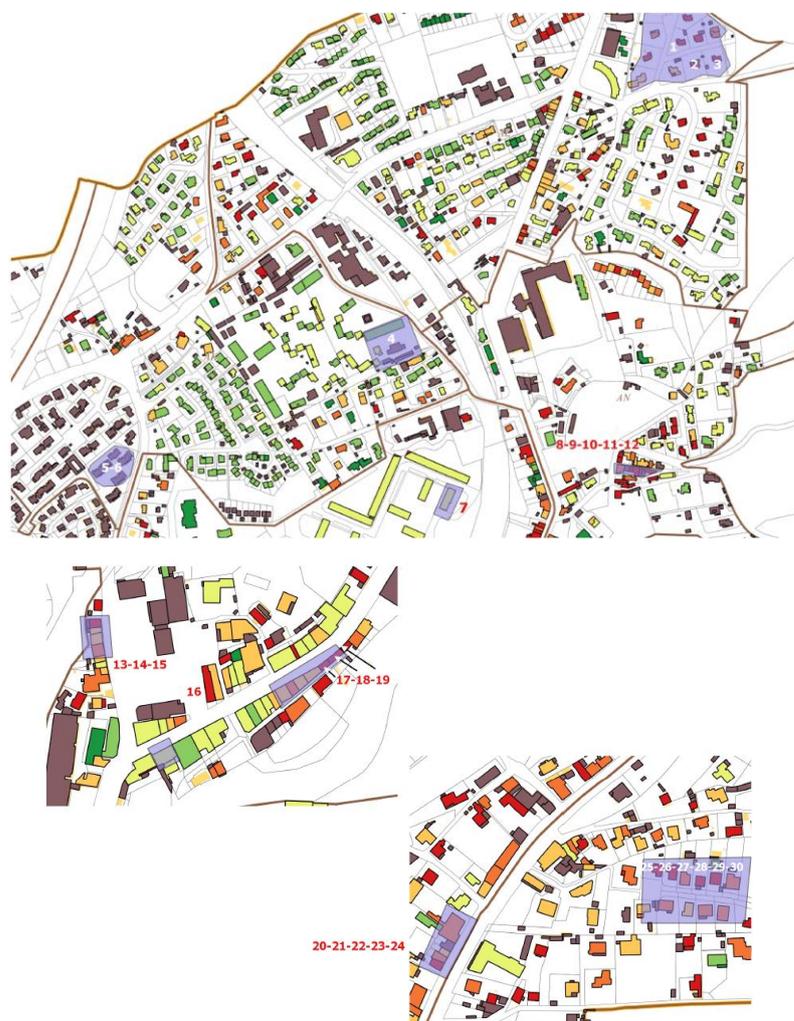


Figure 79. Sélection des bâtiments visés

L'analyse des clichés prend en compte la datation des bâtiments de logements observés ainsi que les résultats des besoins en chauffage calculé par l'Atlas. L'observation thermographique permet d'illustrer concrètement les points de déperditions énergétiques qui peuvent expliquer les besoins



énergétiques identifiés par l'Atlas. Ces observations et le rendu graphique qui en découle permettent d'accompagner les particuliers où les copropriétés vers la résorption de ces déperditions en les aiguillant vers des solutions techniques de rénovation énergétique appropriée ou de remplacement ponctuel de tel ou tel élément.

L'analyse des clichés<sup>83</sup> prend en compte la datation des bâtiments de logements observés ainsi que les résultats des besoins en chauffage calculé par l'Atlas. L'observation thermographique permet d'illustrer concrètement les points de déperditions énergétiques qui peuvent expliquer les besoins énergétiques identifiés par l'Atlas. Ces observations et le rendu graphique qui en découle permettent d'accompagner les particuliers où les copropriétés vers la résorption de ces déperditions en les aiguillant vers des solutions techniques de rénovation énergétique appropriée ou de remplacement ponctuel de tel ou tel élément.

Pour illustrer cette phase du travail réaliser in-situ, il est question de présenter deux exemples de prises de vues thermographiques.

Dans le premier, il s'agit d'un immeuble collectif datant de la période 1968-1974 dont le besoin de chauffage se situe entre 90-150 kWh/m<sup>2</sup> situé dans la zone dite « Les Collines » située au nord de la commune. Les clichés de la façade permettent d'identifier les ponts thermiques ou « éléments d'enveloppe déperditifs » liés aux contours des menuiseries (a) et ceux occasionnés par la dalle et les murs des loggias (b).

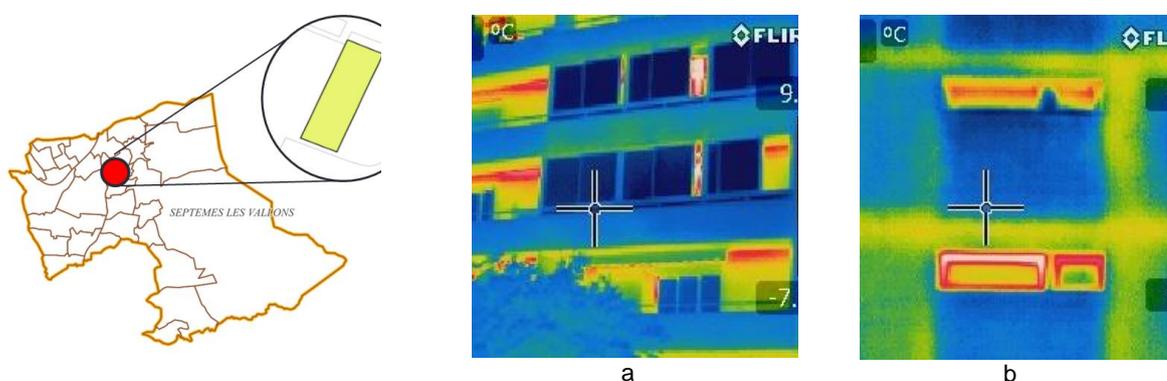


Figure 80. Clichés thermographiques pris sur un immeuble collectif (Les Collines)

Dans le second exemple, il est question d'une maison individuelle datant de la période avant 1915 dont le besoin de chauffage est très important puisqu'il se situe entre 200-350 kWh/m<sup>2</sup> situé dans le secteur Les Caillols.

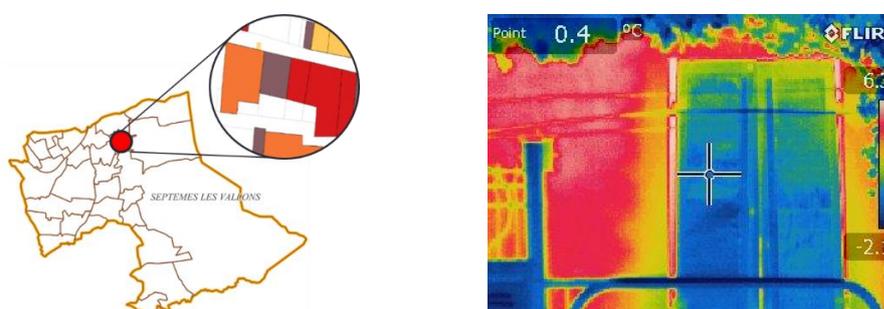


Figure 81. Localisation, besoin énergétique et clichés thermographiques (Les Caillols)

<sup>83</sup> Pour plus de précision, Les clichés pris lors de la campagne thermographique dans les différents secteurs ainsi que les conclusions associés sont présentés en annexe de ce rapport.



Les clichés pris de la façade permettent l'identification du mur extérieur peu ou pas isolé ainsi que le cadre maçonné de la porte-fenêtre qui est une source de déperdition thermique.

## 6.2. Projet de réhabilitation de 19 logements par la commune

Parmi les actions permettant de promouvoir l'utilisation de l'atlas produit, il est question ici de tester le côté opérationnel de l'atlas dans le cadre d'une opération réelle. En effet, la commune de Septèmes-les-Vallons avait pour ambitions de lancer une opération de réhabilitation de 19 logements dans le centre-ville. Le projet étant soutenu par un Contrat Départemental de Développement et d'Aménagement (CDDA) pour une durée de 3 ans.

Au regard de cette opération, la commune souhaitait proposer une offre locative attractive à destination de la population jeune leur permettant ainsi d'avoir accès à un logement.

Adresse	Référence cadastrale	Logements	Copropriété	Surface	État locatif Date des baux
42 Avenue du 8 mai 1945	AP0057 AP0058	2 logements	Oui	94 m <sup>2</sup> et 26 m <sup>2</sup>	Vacant
Impasse Pierre Fiche	AK 0125	3 logements (+1 à créer)	Non	200 m <sup>2</sup>	Vacant
Impasse Pierre Fiche	AK 0124 (475 m <sup>2</sup> )	Construction neuve (4)	Non	Néant	Néant
269 à 275 Avenue du 8 mai 1945	AO 0076	6 logements	Non	T4 : 78 m <sup>2</sup> T3/4 : 76 m <sup>2</sup> T3 : 66 m <sup>2</sup> T2 : 27 m <sup>2</sup> T1 : 31m <sup>2</sup> Studio : 19 m <sup>2</sup>	Studio loué Reste vacant
19 Avenue du 8 mai 1945	BB0153	3 logements	Non	T1 : 30 m <sup>2</sup> 1T2/3 : 53 m <sup>2</sup> T3 : 52 m <sup>2</sup>	Loués
Ancien local de la police municipal	AP 0113	Créer 2 logements	Non	70 m <sup>2</sup>	Néant
291 Avenue du 8 mai 1945	AL 0303	3 logements	Non	140 m <sup>2</sup>	Vacants
119 Avenue du 8 mai 1945	AR 0041	3 logements	Non	178 m <sup>2</sup>	1 loué 2 vacants

Tableau 28. Synthèse des données concernant les édifices étudiés

À partir de la méthodologie développée dans le cadre du projet ATRE, une analyse plus fine portant sur le volet consacré aux gisements d'économies d'énergie et financière<sup>84</sup> a été réalisée en prenant comme support d'application cette opération de réhabilitation.

### 6.2.1. Méthodologie employée, hypothèses de calcul et analyse des résultats

<sup>84</sup> Étude réalisé par le BET SOL. A.I.R



Dans un premier temps, il est question d'extraire des données de l'atlas en ciblant les bâtiments concernés par la réhabilitation. Il s'agit de déterminer des besoins de chauffage liés aux déperditions surfaciques, linéiques et par renouvellement d'air (infiltration et ventilation)<sup>85</sup>.

	Adresse	Besoins de chauffage en kWh/m <sup>2</sup> /an - Bâti d'origine
1	42 Avenue du 8 mai 1945	129
2	Ancien local de la police municipal	176
3	Impasse Pierre Fiche	129
4	269 à 275 Avenue du 8 mai 1945	162
5	291 Avenue du 8 mai 1945	171
6	119 Avenue du 8 mai 1945	150
7	19 Avenue du 8 mai 1945	137

Tableau 29. Récapitulatif des besoins obtenus à partir de l'extraction des données de l'atlas

À partir de cet état de l'existant, différents scénarii de rénovation sous forme de bouquets de travaux ont été appliqués aux édifices :

- Bouquet A : isolation de la façade et remplacement des menuiseries
- Bouquet B : isolation de la toiture et remplacement des menuiseries
- Bouquet C : isolation de la façade, de la toiture et remplacement des menuiseries
- Bouquet D : isolation de la façade, de la toiture, du plancher bas et remplacement des menuiseries

Concernant les déperditions liées aux infiltrations et au renouvellement d'air, l'existant est considéré comme faible étanche à l'air. Les travaux envisagés réduiront ces infiltrations d'air, mais néanmoins prévoient la mise en place d'une ventilation mécanique hygiénique.

Les niveaux d'isolation préconisés sur les parois respectent les critères exigés dans le cadre des travaux éligibles au CITE (Crédit d'impôt Transition Énergétique) et au dispositif des certificats d'économie d'énergie. Ils sont donc plus exigeants que la réglementation thermique dans l'existant élément par élément.

Le montant des investissements lié aux travaux peut ainsi être défini par surface brute de plancher pour un édifice ou un ensemble d'édifices et selon des typologies de bâti.

L'analyse des résultats montre que le bouquet A, B, C et D permettent respectivement des gains de besoins de chauffage de 27%, 30%, 52% et 55%.

Bouquets	Descriptif des bouquets	% d'amélioration	€HT/m <sup>2</sup> Sp
A	Isolation de la façade et remplacement des menuiseries	27 %	119
B	Isolation de la toiture et remplacement des menuiseries	30 %	72
C	Isolation de la façade, de la toiture et remplacement des menuiseries	52 %	131
D	Isolation de la façade, de la toiture, du plancher bas et remplacement des menuiseries	55 %	162

Tableau 30. Gains énergétiques et coûts moyens des différents bouquets

<sup>85</sup> DJU = 1447 - moyenne calculée sur les mois d'avril à octobre pour les années 2012 à 2017 (donnée DJU 18 Station Météo France Marignane. Coefficient d'intermittence = 1).



À ces coûts de travaux, il sera nécessaire d'ajouter des éventuels frais d'étude ou de maîtrise d'œuvre, les coûts liés à la rénovation de la ventilation hygiénique, d'autres liés aux équipements (chauffage, eau chaude sanitaire) et tous les autres coûts liés aux travaux annexes ou liés à d'autres enjeux (embellissement, mise en sécurité, etc.).

## 6.2.2. Extrapolation des hypothèses de rénovation sur le territoire

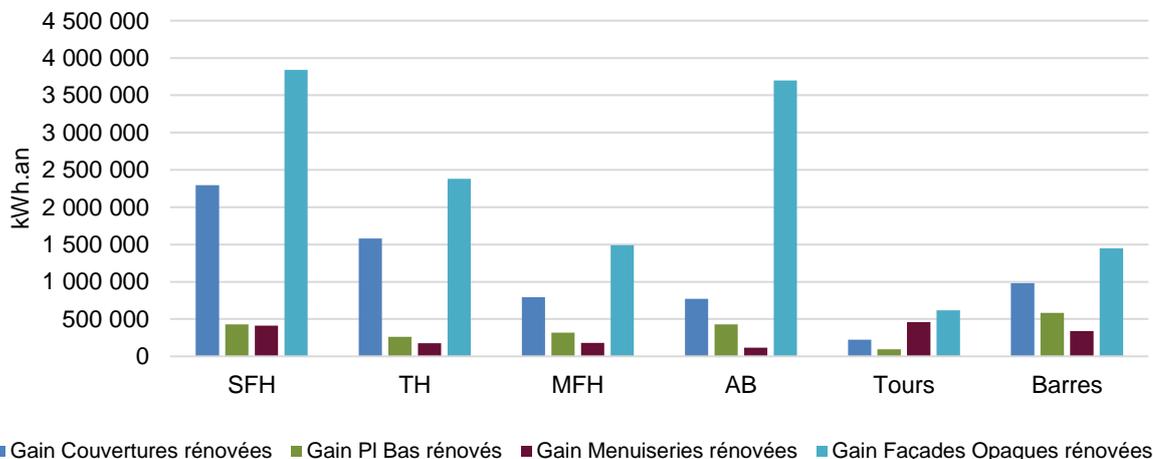
À partir d'une base de données consacrée au chiffrage des travaux, basées sur les coûts observés sur le marché de la rénovation, nous pouvons définir des coûts de bouquet par m<sup>2</sup> de surface de plancher obtenue dans l'atlas. Ces coûts sont définis en euro hors taxes, intègrent la fourniture et la pose dans un cadre "normal", sans contraintes particulières. Ils pourraient être corrigés et mis à jour avec les Organismes Professionnels et les utilisateurs de l'atlas.

Poste de travaux	Caractéristiques isolants	€ HT/m <sup>2</sup> paroi
Isolation des façades par l'intérieur	R isolant > 3,7 m <sup>2</sup> .K/W	75
Remplacement des fenêtres	Uw < 1,7 W/(m <sup>2</sup> .K), Sw > 0,36	500
Isolation de la toiture	R isolant > 7,0 m <sup>2</sup> .K/W	25
Isolation du plancher bas	R isolant > 3,0 m <sup>2</sup> .K/W	70

Tableau 31. Hypothèses chiffrage des travaux

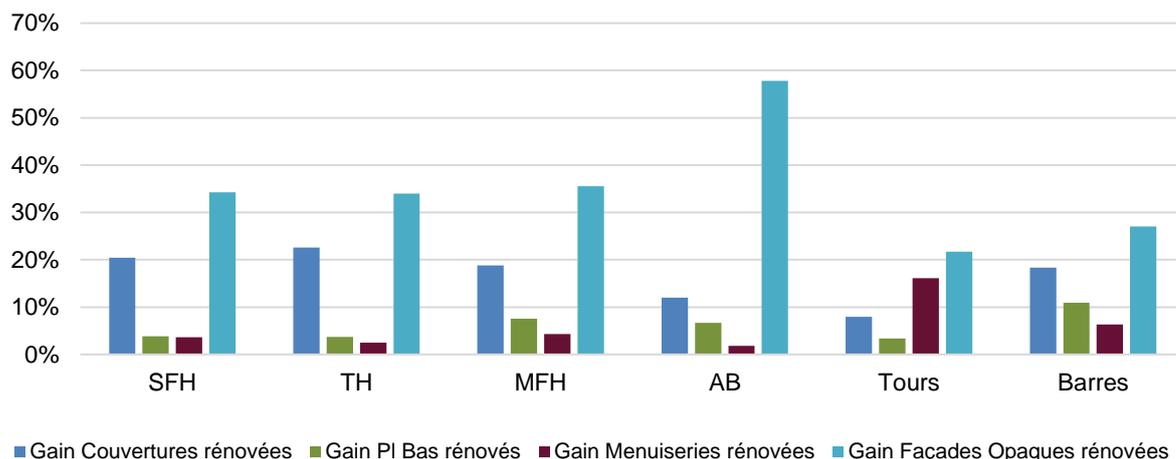
Il est possible d'estimer les gisements économiques des rénovations par élément d'enveloppe et par famille d'édifices. Les estimations ont été réalisées en utilisant les prix moyens de rénovation exposés ci-dessus (isolation des façades par l'intérieur et des toitures en comble perdu).

Comme le montent le graphique présenté ci-dessous, les gains énergétiques les plus importants relatifs aux travaux de rénovation peuvent être obtenus en améliorant la performance thermique des façades et dans une moindre mesure en isolant les toitures.



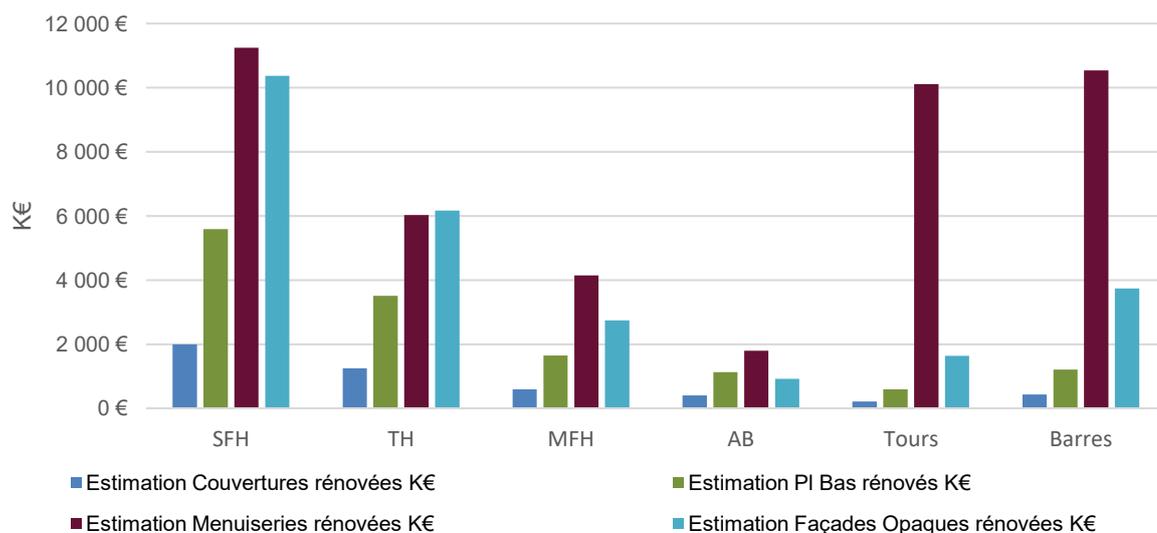
Gaph. 20. Répartition des économies de chauffage par élément et par famille kWh/an





Gaph. 21. Économies de chauffage par élément d'enveloppe et par famille

Par ailleurs, une estimation financière globale peut être obtenue en appliquant les données de chiffrage précédentes à l'ensemble du territoire. Il ne s'agit pas ici d'obtenir une estimation fine mais plutôt d'avoir un indicateur financier global. Une analyse détaillée intégrant dans les calculs des données sur les hypothèses de rénovations et un chiffrage par type et par famille d'édifice est nécessaire pour affiner les résultats obtenus. Cela peut être fait lorsqu'il s'agit de restreindre l'analyse à une zone d'étude à enjeu moins étendue que celle englobant toute une commune comme celle étudiée.



Gaph. 22. Estimation des gisements économiques de rénovation par famille de bâtiments et par élément d'enveloppe

### 6.2.3. Étude d'une zone homogène à nord du centre-ville de Septèmes

L'atlas construit à partir de bâtiments géolocalisés, permet de cibler des analyses sur des zones spécifiques. À la demande de la mairie, nous avons analysé une zone au nord du centre-ville. Cette zone est caractérisée par un tissu majoritairement pavillonnaire.



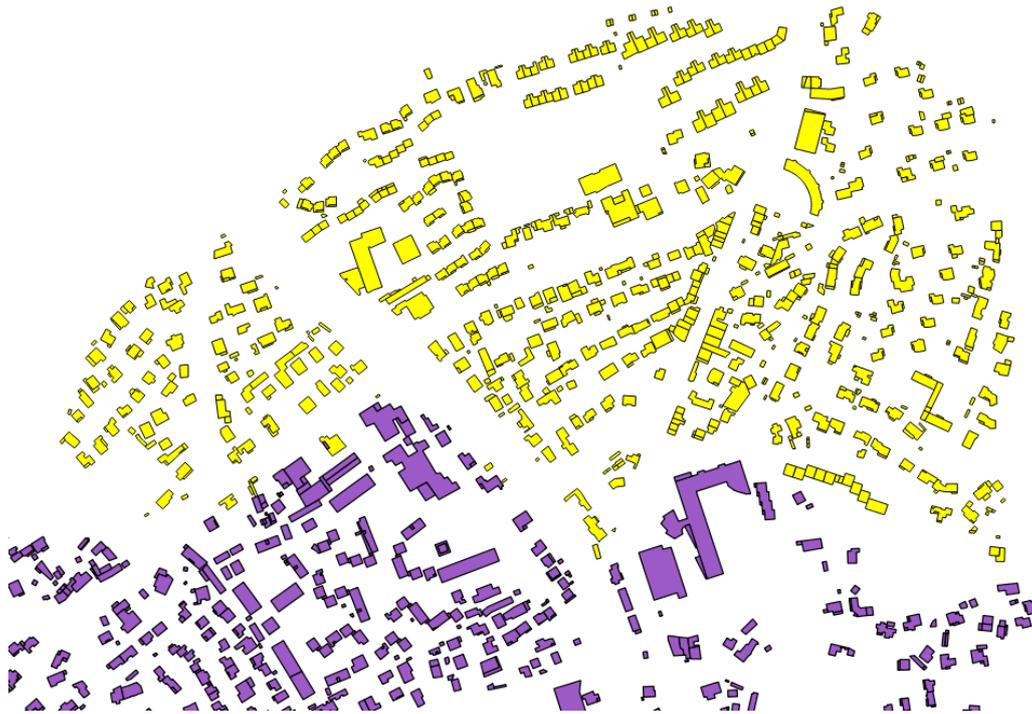


Figure 82. En jaune les bâtiments appartenant à la zone d'étude

Nombre de bâtiments par Type										
Période Famille	avant 1915	1915 / 1948	1949 / 1967	1968 / 1974	1975 / 1981	1982 / 1989	1990 / 1999	1999 / 2005	2006 / 2012	Après 2012
SFH	5	18	45	14	37	59	5	2	7	2
TH	23	10	38	12	63	38	0	24	2	0
MFH	1	1	4	0	0	2	0	0	0	0
AB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tours	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Barres	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Avant RT				Soumis à la RT					

Tableau 32. Composition du parc bâti de la zone analysée par période et famille

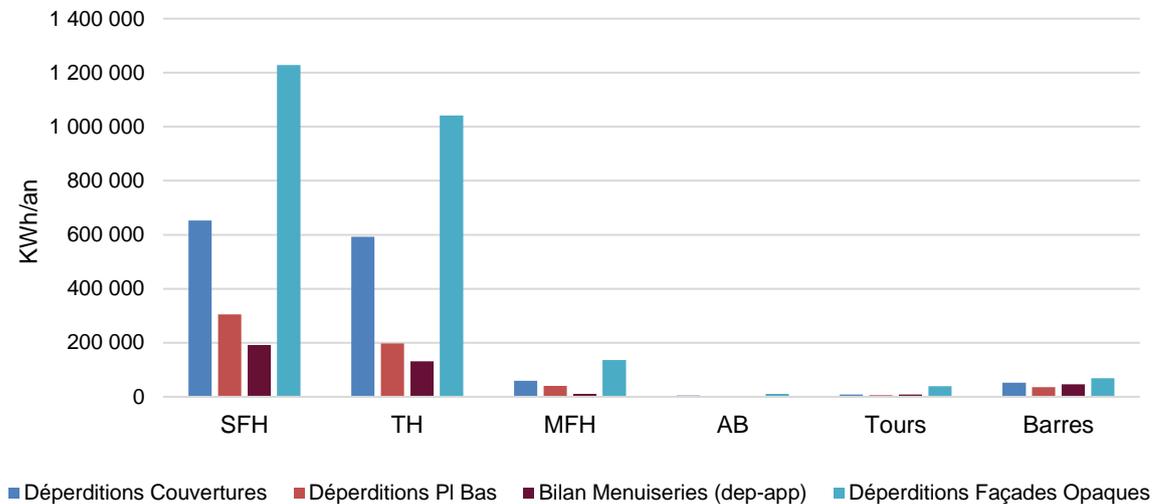
Période Famille	périodes 1-2-3-4			périodes 5-6-7			périodes 08-09-10		
	Nb.	Surfaces m <sup>2</sup>	Besoins en chauffage kWh/an	Nb.	Surfaces m <sup>2</sup>	Besoins en chauffage kWh/an	Nb.	Surfaces cumulées m <sup>2</sup>	Besoins de chauffage kWh/an
SFH	82	6 896	523 102	101	9 567	1 152 192	11	946	60 199
TH	83	7 047	456 253	101	8 735	859 961	26	2 133	89 779
MFH	6	1 119	63 961	2	167	19 253	-	-	-
AB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tours	-	-	-	1	1 664	87 903	-	-	-



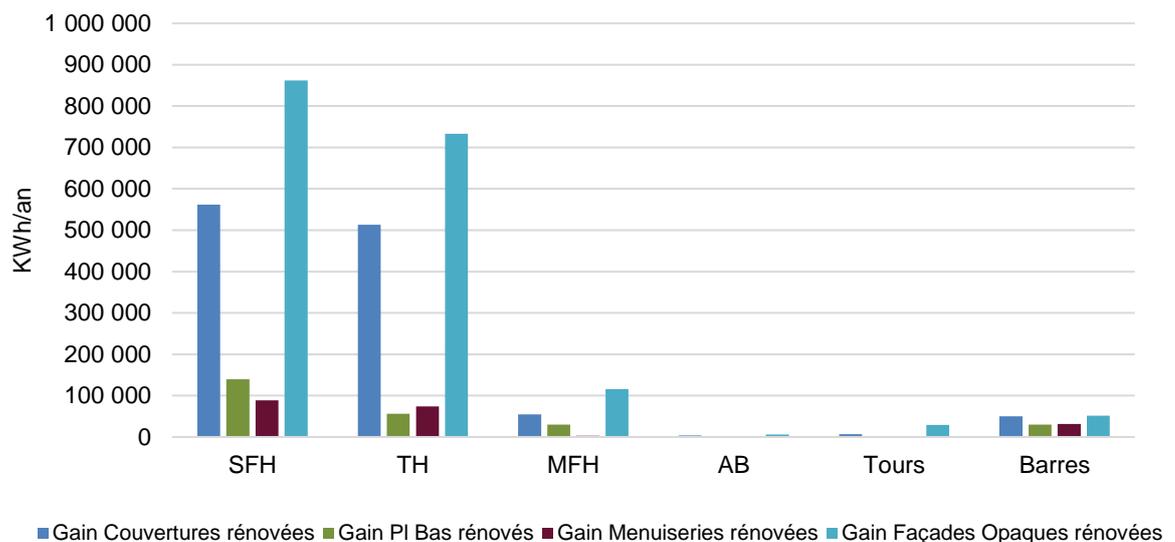
Barres	1	1 935	85 851	-	-	-	-	-	-
--------	---	-------	--------	---	---	---	---	---	---

Tableau 33. Nombre, surfaces et besoins de chauffage des bâtiments de la zone étudiée

L'extraction des données concernant la zone d'étude permet d'avoir une estimation des déperditions thermiques par élément d'enveloppe.



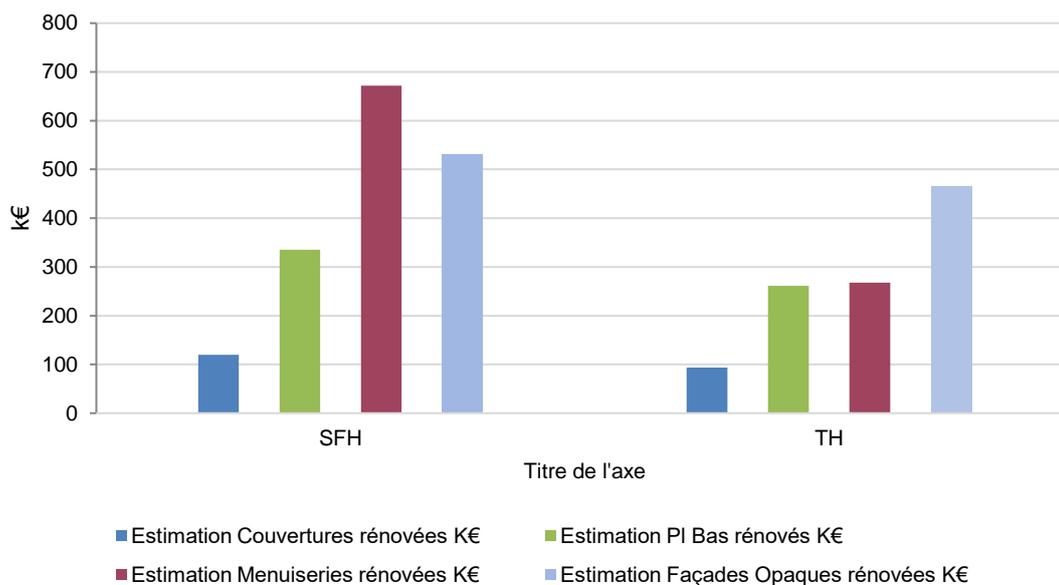
Gaph. 23. Répartition des déperditions et des apports solaires (menuiseries vitrées) par famille et par élément en kWh/an



Gaph. 24. Gains thermiques possibles par famille et par élément en kWh/an

L'analyse des données montrent que les gains les plus significatifs peuvent être obtenus en isolant les façades et les toitures. Cependant, d'un point de vue économique, la rénovation des façades (en tenant compte des coûts relatifs à leur isolation) aurait un coût plus important que les toitures. En partant d'informations générées aux édifices contextualisés, l'agrégation des données à l'échelle de la zone d'étude permet d'avoir des estimations permettant d'analyser de manière précise l'état des édifices résidentiels et l'impact des stratégies de rénovation à la fois d'un point sur les gains de chauffage, des économies à réaliser et des coût des opérations de rénovation.





Gaph. 25. Estimation des coûts des travaux par type et par élément

Sur une zone restreinte comme celle étudiée (dominée majoritairement par des maisons individuelles), il est possible d'affiner les coûts qu'engendreraient des travaux de rénovation par famille d'édifice et par période constructive. Partant des coûts de travaux correspondant à la réalité constructive d'un type, les estimations devraient être plus réalistes. Cela peut par exemple être le cas d'un lotissement appartenant à la même période constructive des années 1949-67. Les coûts liés à d'éventuelles rénovations thermiques pourraient être plus précis en partant du principe que les données liées à l'application de solutions techniques plus adaptées à ces maisons conduisent à affiner les estimations.

### 6.3. Hypothèse d'intégration des données de consommation

En partant de l'échelle de l'édifice, la méthodologie développée dans le cadre de cette recherche permet grâce à une démarche ascendante d'avoir une lecture énergétique à diverses échelles du territoire. Les estimations énergétiques concernent les consommations nettes liées au chauffage. Afin de traduire cela en énergie primaire, il est envisageable de croiser les données produites avec des données de consommations fournies par les distributeurs d'énergie. Dans ce qui suit, il est question d'explorer les données pouvant être obtenues par comptage et d'analyser dans quelle mesure elles peuvent aider à préciser les estimations énergétiques des édifices.

Par l'Article 179 de la Loi pour la Transition Énergétique et la Croissance Verte et les articles D111-53 et suivants du Code de l'Énergie : les ALEC figurent parmi les destinataires privilégiés pour l'obtention des données de consommations agrégées.

Depuis le décret du 10 mai 2017 et sa mise en application début 2018, les données de consommation regroupées à 10 points comptage deviennent « théoriquement » accessibles. C'est dans ce cadre que l'équipe du projet ATRE a sollicité les responsables réseau (Enedis et Grdf) pour l'obtention de ces données agrégées concernant les logements du territoire de la Métropole Marseillaise.

Après plusieurs mois nécessaires au démarchage et à l'acquisition de ces données, un travail d'exploration et d'exploitation de ces données a été réalisé par le BET SOL.A.I.R. L'analyse ci-après est faite à partir d'un exemple d'exploitation des données distributeurs.

#### 6.3.1. Données collectées sur l'électricité et le gaz à l'échelle d'une rue



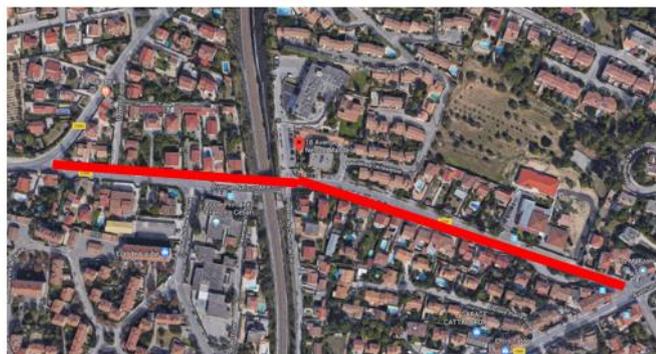


Figure 83. Image Google Earth (rue dans laquelle a été menée l'analyse des données recueillies)

GAZ Année 2016	Nb. adresse	Nb. pdl	Énergie gaz MWh	Ratio kWh/pdl	ELECTRICITE Année 2016	Résidentiel	Tertiaire
1 PDL	45	45	ND	-	Clients actifs électricité	93	3
2 PDL	10	20	ND	-	Conso. totale en MWh	562	415
3 PDL	1	3	ND	-	Ratio en kWh / pdl	6 046	138 365
4 PDL	1	4	ND	-			
7 PDL	1	7	ND	-			
> 10 PDL	1	22	376	17 106			
Total	59	101					

Tableau 34. Données extraites à l'échelle de la rue

En ce qui concerne le résidentiel, les données obtenues indiquent qu'il existe 101 pdl<sup>86</sup> gaz pour 93 pdl électricité. Ces données représentent une incohérence dans la mesure où tout site raccordé au gaz est nécessairement raccordé à l'électricité.

### 6.3.2. Données à l'échelle d'un édifice

Un bâtiment de logements collectifs a été pris pour exemple en vue d'analyser les données de consommation. Il s'agit d'un édifice de 4 étages datant des années 70 dont la surface chauffée est de 1 705 m<sup>2</sup>. La surface moyenne est estimée de 85 m<sup>2</sup> par logement en considérant que le bâtiment comporte 20 logements ce qui est en cohérence avec la typologie et la période de construction.

Le tableau suivant résume une extraction des données (gaz et électricité) pour cet édifice.

IMMEUBLE DE LOGEMENTS – Année 2016	ELECTRICITE résidentiel	GAZ
Clients actifs	21	22
Énergie - kWh E <sub>finale</sub>	49 536	376 338
Ratio - kWh / pdl	2 359	17 106

Tableau 35. Données extraites au niveau du bâtiment analysé

<sup>86</sup> Point de livraison





Figure 84. Image Google Earth montrant le bâtiment analysé et bilans des besoins de chauffage extraits de l'atlas (kWh/m<sup>2</sup>)

Ces données extraites soulèvent des incertitudes. D'une part, est-ce qu'il s'agit de 20 compteurs électriques pour des logements et 1 compteur pour les services généraux ? (Pas de compteur « ascenseur », pas de compteur « chaufferie » ?). D'autre part, est-ce que le bâtiment tertiaire référencé dans la base de données « Électricité » est aussi présent avec cette même adresse dans la base de données « Gaz » ?

Les ratios obtenus pourraient correspondre à des profils de logements avec les systèmes énergétiques suivants :

- Chauffage et production d'eau chaude sanitaire, individuels, au gaz + cuisson gaz + Électricité spécifique pour chaque logement.
- Chauffage + production d'eau chaude sanitaire, collectifs, au gaz (1 pdl) + cuisson gaz (1 pdl/logt).
- Électricité spécifique.

Le récolement des données Distributeurs avec les données de l'atlas pour le bâtiment étudié indique

Les données issues de l'atlas besoins de chauffage indiquent une consommation variant entre 101 à 149 kWh/m<sup>2</sup>/an selon taux de rénovation (menuiseries rénovées ou non). Cela représente un besoin de 8600 à 12700 kWh par logement.

En considérant une hypothèse de rendement global du système de 0,85, les consommations de chauffage<sup>87</sup> varient entre 10100 à 14900 kWh par logement.

La prise en compte des hypothèses liées aux autres postes de consommation, à savoir : l'eau chaude sanitaire (3000 kWh par logt), la cuisson (1000 kWh par logt) et l'électricité spécifique (2726 kWh par logt<sup>88</sup>) permet le récolement des données Distributeurs avec les données de l'atlas comme le montre le tableau de synthèse suivant.

IMMEUBLE DE LOGEMENTS – Année 2016	ELECTRICITE résidentiel	GAZ	GAZ estimé (20 logements) Chauffage + ECS + Cuisson
Clients actifs	21	22	
Énergie - kWh E <sub>finale</sub>	49 536	376 338	363 000
Ratio - kWh / pdl	2 359	17 106	
Ratio - kWh /logement	2476	18 817	18 150

Tableau 36. Comparaison entre les données Distributeurs et celles estimées à partir de l'atlas

Les données obtenues à partir de l'atlas, sont représentatives des consommations d'énergie de l'immeuble de logements étudié. Cela est conforté par l'analyse des données transmises par les fournisseurs qui dans ce cas-là peuvent être exploitées.

<sup>87</sup> Consommation = Besoin / Rendement global du système

<sup>88</sup> Étude Enertech/CEREN 2008



### 6.3.3. Limites d'utilisation des données de consommation

Si sur certaines copropriétés de plus de 10 logements l'analyse semble pouvoir donner des résultats intéressants, certaines problématiques sont mises en évidence :

- La fiabilité des données transmises. Cette problématique est flagrante lorsque sur un même territoire (IRIS, quartier ou rue), il arrive actuellement que le nombre de compteurs gaz soient supérieur au nombre de compteurs électriques... Occurrence impossible dans la mesure où tout site raccordé au gaz est nécessairement raccordé au réseau électrique alors que le contraire n'est pas systématique.
- La non-différenciation possible d'un compteur dit pour des "services généraux" ou des communs (cas d'une copropriété), ou encore, la non-visualisation des compteurs "dormants" (absence de consommations).
- La non-différenciation (en date de l'étude) des usages domestiques ou tertiaires dans les données des compteurs dits « résidentiels », correspondants aux abonnements < 36 kVA (Tarif Bleu).
- La différence de livraison des données gaz et électricité. Les données Gaz ne sont pas livrées si moins de 10 Pdl (point de livraison) ou PCE, alors que les données Electricité sont agrégées à la rue (agrégation des données de l'ensemble des maisons individuelles ou petites copropriétés (<10 Pdl). L'information (agrégat) est donc rapportée à un linéaire (rue), mais devient un point si plus de 10 Pdl. Cela rend les bases de données inexploitable car alterne deux types de géométrie (point et ligne), inexploitable sur un SIG.

À ce stade, le manque de fiabilité et le type de données transmises ne permettent pas de généraliser l'intégration de ces informations dans la méthodologie développée. Selon les évolutions qui seront réalisées sur ces données de consommations territoriales (acquisition / traitement / Projets Smartgrid), ces données pourraient à terme être exploitables.

Ce récolement a été réalisé ponctuellement lors de cette expérimentation, mais pourrait être élargi en intégrant les factures énergétiques et en les comparant aux besoins de chauffage de l'atlas. Cela nécessite un traitement de ces factures : isolement du poste chauffage, détermination d'hypothèses de fonctionnement (rendement équipements, intermittence, etc.), afin de passer de "consommations" à "besoins".

## 7. Analyse socio-économiques des données appliquée aux terrains d'études

Dans le but d'établir des indicateurs sur le contexte socio-économique des gisements de la rénovation, une première vérification des tendances a été réalisée à partir du croisement de différentes caractéristiques du ménage. En tout, 8 IRIS ont été analysés dont 4 IRIS de la ville de Marseille (Longchamps, Gasquys-Hugues-Garlaban, Pervenches-Provence-Hopkinson et Thubaneau) et les IRIS de la commune de Septèmes-les-Vallons (Castors-Bedoule, Fabregoules-Caillols-Rougier-Peyrards, Notre Dame et Pre de l'Aube-Centre).

Au regard du statut d'occupation, les résultats montrent que la part de propriétaire occupant est supérieure à la part de locataire pour presque toutes les IRIS étudiées. La situation est inverse seulement pour l'IRIS Thubaneau présentant un plus grand nombre de locataires que de propriétaires (cf : Tableau ci-après). Dans la commune de Septèmes-les-Vallons, le taux de logement inoccupé est assez élevé dans le centre-ville (Fabregoules-Caillols-Rougier-Peyrards et Notre Dame).

IRIS	Inoccupé	Propriétaire	Locataire (non meublé)	HLM	Locataire (meublé)	Logé gratuitement
Thubaneau	9%	11%	63%	5%	7%	4%
Castors-Bedoule	1%	71%	18%	3%	3%	4%
Fabregoules-Caillols-Rougier-Peyrards	41%	33%	9%	5%	8%	4%
Gasquy-Hugues-Garlaban	2%	70%	18%	3%	3%	6%



Longchamps	0%	77%	15%	5%	0%	3%
Notre Dame	32%	48%	13%	3%	1%	3%
Pervenches-Provence-Hopkinson	1%	68%	26%	0%	1%	5%
Pré de l'Aube-Centre	19%	46%	13%	5%	10%	6%

Tableau 37. Distribution par statut d'occupation selon les IRIS. Source : Document d'analyse - ALEC Métropole Marseille. Donnée INSEE 2014

Pour comprendre les caractéristiques du parc de logements, les données sur le statut d'occupation et la surface du logement ont été croisées pour relever des tendances :

- 50% du total des ménages sont propriétaires occupants des logements de surface supérieure à 80 m<sup>2</sup> considérant les IRIS de Longchamps, Gasquys-Hugues-Garlaban, Pervenches-Provence-Hopkinson, Castors-Bedoule, Fabregoules-Caillols-Rougieri-Peyrards, Notre Dame, Pré de l'Aube-Centre.
- Sur l'IRIS Thubaneau, 60,4% du total des ménages sont locataires habitants des logements non meublés de surface inférieure à 80 m<sup>2</sup>, parmi eux 79,5% habitent des logements inférieurs à 60 m<sup>2</sup>.

Nombre de IRIS	Propriétaire						
	<30	30-40	40-60	60-80	80-100	100-120	>120
	8	9	10	11	12	13	14
<b>Étiquettes de lignes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Castors-Bedoule	1	3	22	32	74	83	140
Fabregoules-Caillols-Rougieri-Peyrards	1		7	6	24	32	62
Gasquy-Hugues-Garlaban	1	4	5	25	47	51	60
Longchamp		4	8	21	121	74	97
Notre Dame	2	3	11	27	45	37	82
Pervenches-Provence-Hopkinson		1	9	14	69	75	82
Pré de l'Aube-Centre	3		11	17	26	40	74
<b>Total général</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>73</b>	<b>142</b>	<b>406</b>	<b>392</b>	<b>597</b>
Castors-Bedoule	0%	1%	6%	9%	21%	23%	39%
Fabregoules-Caillols-Rougieri-Peyrards	1%	0%	5%	5%	18%	24%	47%
Gasquy-Hugues-Garlaban	1%	2%	3%	13%	24%	26%	31%
Longchamp	0%	1%	2%	6%	37%	23%	30%
Notre Dame	1%	1%	5%	13%	22%	18%	40%
Pervenches-Provence-Hopkinson	0%	0%	4%	6%	28%	30%	33%
Pré de l'Aube-Centre	2%	0%	6%	10%	15%	23%	43%
Total général	0%	1%	3%	5%	15%	14%	22%

Tableau 38. Croisement Surfaces et statut d'occupation. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille

À partir des résultats précédents, il s'avère intéressant d'identifier l'existence d'un profil type des ménages propriétaires. Plus de 70% des propriétaires sont âgés de 40 à 79 ans pour toutes les IRIS.



	Fabregoules-Caillols-Rougier-Pe								263	263	Fabregoules-Caillols-Rougier-Peyrards						
	1	3	30	55	83	50	41	263			m <sup>2</sup>	<30	30-40	40-60	60-80	80-100	100-120
15 à 19 ans	15			1				1	1	1							
	10669			1				1	1	1							
25 à 39 ans	25	1	4	5	10	9	2	31	31								
	4267					2		2	2								1%
	5334				2	6	5	14	14				1%	2%	2%	2%	0%
	7112			1	1	1	2	5	5			0%	0%	0%	1%		
	10669			3	1	2		6	6			1%	0%	1%			
	21337	1			1	1		4	4			0%	0%				
40 à 54 ans	40		6	22	25	9	13	75	75								0%
	3556					1	1	2	2								0%
	4267				3	3	1	10	10				1%	1%	0%	1%	
	5334				6	8	5	23	23				2%	3%	2%	2%	
	7112			3	4	7	1	18	18			1%	2%	3%	0%	1%	
	10669			1	9	6	1	18	18			0%	3%	2%	0%	0%	
	21337			2		1		4	4			1%		0%			
55 à 64 ans	55	3	10	6	19	17	11	66	66								0%
	3556						1	1	1								0%
	4267					1		1	1								0%
	5334					3	2	5	5								1%
	7112			1		1	3	6	6			0%		0%	1%	0%	
	10669		1	4	4	8	11	7	35			0%	2%	2%	3%	4%	3%
	21337		2	5	2	6	2	18	18			1%	2%	1%	2%	1%	0%
65 à 79 ans	65		7	13	21	13	9	63	63								0%
	4267					1	1	2	2								0%
	5334							1	1								0%
	7112							1	1								0%
	10669			1	9	10	7	8	35			0%	3%	4%	3%	3%	
	21337		6	4	8	5	1	24	24			2%	2%	3%	2%	0%	0%
80 ou plus	80		3	8	8	2	6	27	27								78%
	5334						1	1	1								0%
	10669			2	1	5		4	12			1%	0%	2%			2%
	21337			1	7	3	1	2	14			0%	3%	1%	0%		1%

Tableau 39. Croisements Age, surfaces parmi les propriétaires. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille

Au-delà de cette analyse croisée, comme nous l'avons vu précédemment, la méthode souhaite intégrer le niveau de revenu, élément majeur de la caractérisation socio-économique du ménage. À partir de la catégorisation en trois tranches de revenus établie, on observe la répartition suivante pour chaque IRIS.

IRIS	Revenu médian par an et par personne en euros *	Catégorie Revenu
Castors-Bedoule	22386,1	moyen
Fabregoules-Caillols-Rougier-Peyrards	21337,0	moyen
Gasquy-Hugues-Garlaban	25180,9	aisé
Longchamps	20206,3	moyen
Notre Dame	13748,0	moyen
Pervenches-Provence-Hopkinson	18187,3	moyen
Pré de l'Aube-Centre	20914,0	moyen
Thubaneau	10535	Seuil de pauvreté

Tableau 40. Répartition par tranches de revenus des IRIS étudiés. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille – Données INSEE 2014

Au regard de ces éléments, existe-t-il une corrélation entre l'âge, le revenu et la surface du logement ? Les résultats montrent une majorité de propriétaire âgé de 40 à 79 ans habitant un logement entre 60 et 120 m<sup>2</sup>. Cette tendance est observée dans les IRIS de Gasquy-Hugues-Garlaban, Fabregoules-Caillols-Rougier, Thubaneau, Castors-Bedoule, Notre Dame et Pré de l'Aube-Centre. Sur l'ensemble de ces IRIS, excepté Notre Dame, plus d'un tiers des personnes dispose d'un revenu supérieur à 10 500 euros par an, cette frange importante des propriétaires se situe donc dans les revenus moyens (au-dessus du seuil de pauvreté et en dessous du seuil d'aisance financière).





Nous avons considéré que les périodes 1, 2 et 3 sont cohérentes entre les bases de données INSEE logement 2014 et le classement Tabula puisque pour ces périodes là une différence de 2 à 4 ans ne présente pas un changement dans la typologie des bâtiments. La difficulté se trouve pour les périodes 4, 5, 6, 7 et 8. Pour avoir un rapprochement entre ces périodes nous avons utilisé la base de données INSEE logement 2008 puisque les périodes sont plus comparables au classement Tabula. De cette manière, nous avons calculé le taux de logement pour les périodes 4, 5, 6, 7 et 8 de la base de 2008 pour les réaffecter à la base de 2014. Ainsi, nous avons découpé les périodes de 71-90 en 3 et 91-2005 en 2 pour correspondre respectivement aux tranches d'âge de 1968 à 1989 et 1990 à 2005 selon les taux obtenus pour la base de 2008.

IRIS	Age bâti			Age bâti			Age bâti	
	INSEE logement 2014	Taux de logement 2014	en % 2008	Taux de logement 2008	INSEE logement 2008	Taux logement recoupé	Code	Fichier FONCIER - Tabula
Notre Dame	<1919	73%	52	71%	<49	40%	1	<1915
	19-45		19		49-74		2	15-48
	46-70		26%		48%		3	48-67
	71-90	27%	3%	26%	75-81	54%	4	68-74
	91-2005		3%		82-89		5	75-81
	2006-2012			15%	90-98	15%	6	82-89
	>2012				99...2005		7	90-99
					85%		8	2000-2005
					≥2006	donnée INSEE 2014	9	2006-2012
						donnée INSEE 2015	10	>2012
Longchamp	<1919	92%	63	69%	<49	16%	1	<1915
	19-45		6		49-74		2	15-48
	46-70		24%		37%		3	48-67
	71-90	8%	7%	24%	75-81	65%	4	68-74
	91-2005		7%		82-89		5	75-81
	2006-2012			7%	90-98	50%	6	82-89
	>2012				99...2005		7	90-99
					50%		8	2000-2005
					≥2006	donnée INSEE 2014	9	2006-2012
						donnée INSEE 2014	10	>2012

Tableau 43. Recoupement âge bâti INSEE-Tabula. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille – Données INSEE et TABULA

Dans un premier temps, nous avons vérifié la répartition des logements selon la typologie (maison et appartement) et les différentes années d'achèvement pour chaque IRIS. L'année d'achèvement est une variable importante qui nous informe sur les typologies architecturales mais aussi sur la mise en œuvre des réglementations thermiques.

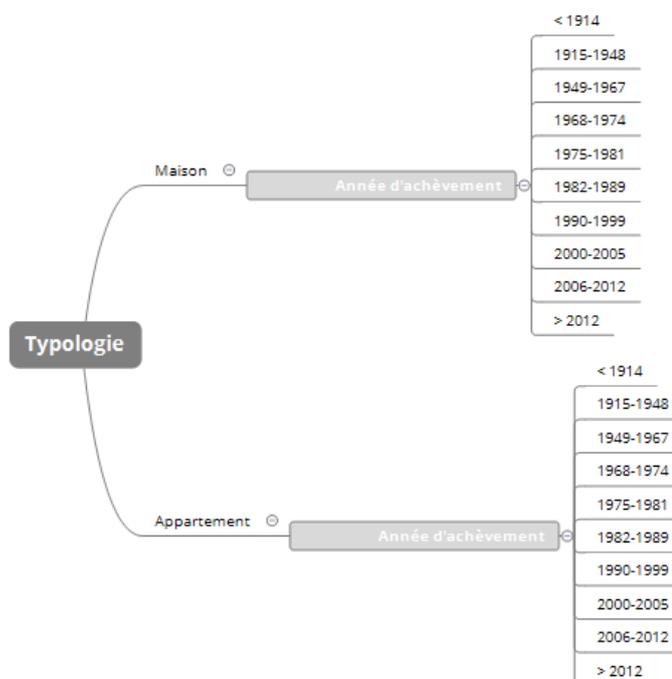


Figure 85. Première étape d'organisation des bases de données. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille

Ensuite, au regard des tendances observées nous avons calculé le pourcentage de propriétaires toujours en considérant la typologie et l'année d'achèvement et en établissant séparément le lien entre la surface du logement, les catégories de revenus et l'âge du ménage, comme le montre la figure ci-dessous :



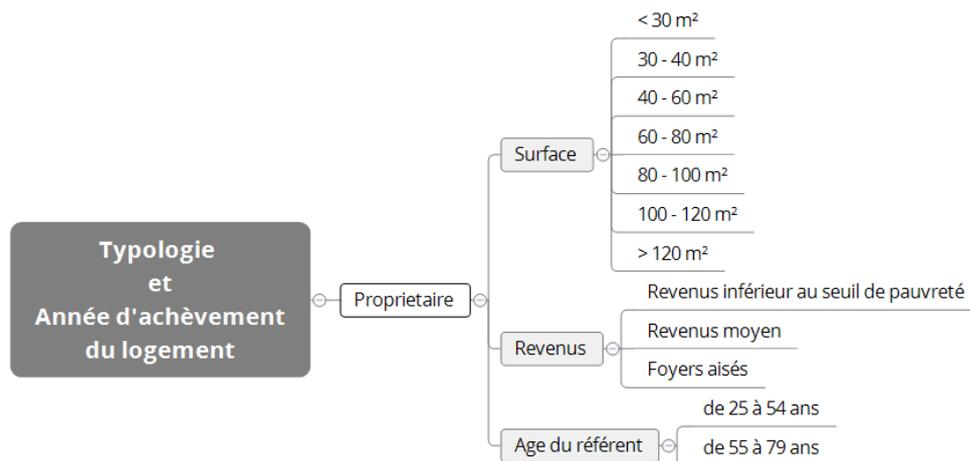


Figure 86. Seconde étape d'organisation des bases de données. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille

## 7.2. Limites d'utilisation des données socio-économiques

L'exploitation des données INSEE produite à l'échelle du carreau (200x200m) permet d'identifier et de visualiser des indicateurs socio-économiques caractérisant les ménages du territoire.

Les 2 indicateurs principaux exploités dans la cartographie ci-dessus révèlent :

- Le nombre de ménages à bas revenu (ménages dont les revenus rapportés au nombre de personne se situent en dessous du seuil de pauvreté).
- Le nombre de ménages dont le référent a plus de 75 ans (ménages qui la plupart du temps ne seront pas en mesure d'engager des travaux de rénovation).

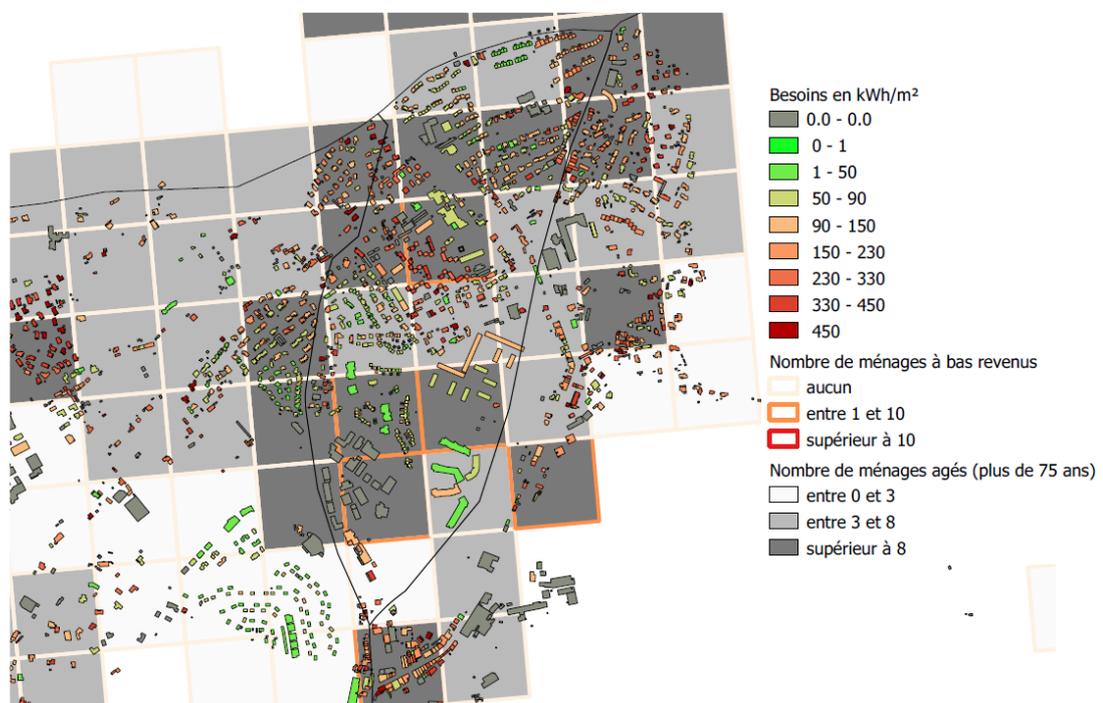


Figure 87. Superposition des données énergétiques et avec les données socio-économiques ( Septèmes Nord)



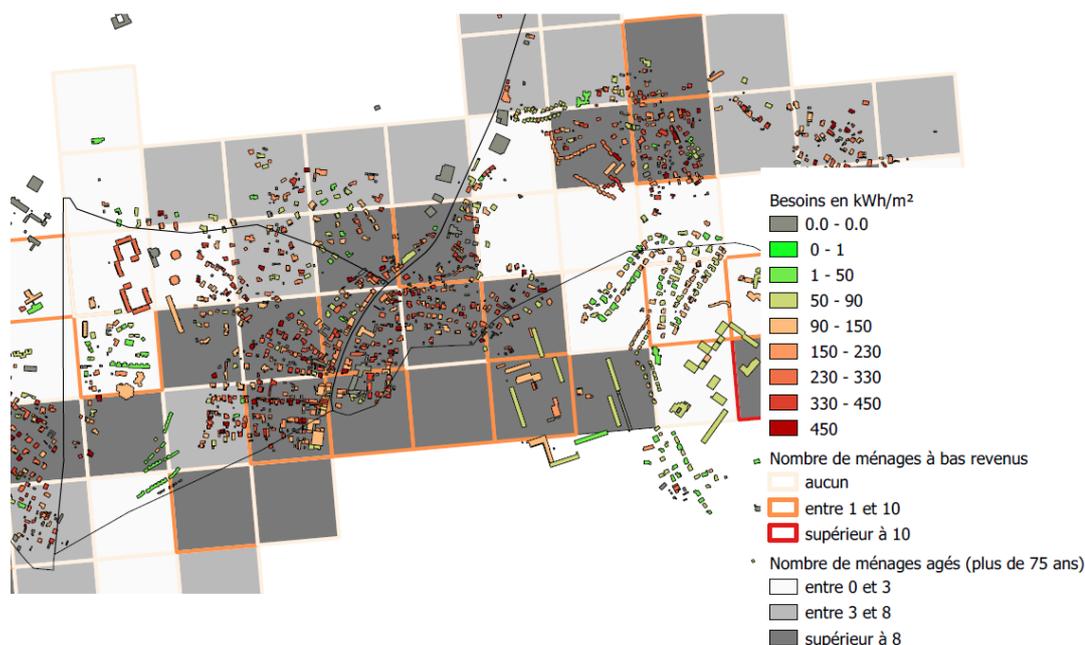


Figure 88. Superposition des données énergétiques et avec les données socio-économiques (Septèmes Sud)

En l'état actuel de la recherche, ces données ne sont pas suffisantes pour obtenir un croisement pertinent entre socio-économie des ménages et caractéristiques des besoins énergétiques des logements. Dans ce cadre, il est nécessaire d'avoir des informations plus précises pour pouvoir mener une analyse plus fine.

En effet, les données traitées sont des données produites à l'échelle de l'IRIS et rapportée au carreau. La procédure d'accès aux données brutes (secrètes) nécessitant plus de 8 mois entre la demande et l'acquisition effective, elles n'ont pu être intégrées ici.

L'intégration des données brutes permettrait un croisement beaucoup plus fin dans la mesure où nous aurions pu raccrocher aux fichiers fonciers exploités dans l'atlas les données de revenus, âges et nombre de personnes occupants le foyer. Ce rattachement serait possible une fois les données acquises puisque les bases de données sources de l'INSEE (Fideli et filosofi) ont des entrées communes avec les fichiers fonciers : surface des logements, statut d'occupation, logement collectif ou individuel et année d'achèvement.

Concernant la mise en opérationnalité de cette méthode, l'atlas ambitionne un caractère évolutif permettant d'obtenir des connaissances sur des gisements de rénovations énergétiques. Les données partagées dans l'atlas seraient ajustées (en fonction de la fréquence des mises à jour des bases de données sollicitées) afin de rester pertinentes pour qu'il soit une ressource fiable au service des politiques publiques locales.

Les mises à jour des données devront être traitées de manière efficace. Pour ce faire, l'atlas souhaite être intégré à un outil numérique en place, outil support de la plateforme territoriale de rénovation énergétique (PTRE) portée par l'ALEC, Cadastre Énergétique porté par la Région ou autre support permettant de mutualiser les outils de connaissances du territoire en matière d'énergie et d'habitat.

## Conclusions et perspectives

La nécessité d'intervenir sur le parc résidentiel ancien pour diminuer sa consommation énergétique est un enjeu important de la transition écologique. Or, au nom de l'urgence, la massification des opérations d'amélioration du bâti ne peut être envisagée que si la complexité des critères qui caractérisent les logements existants est prise en compte.

En effet, appréhender les consommations énergétiques des bâtiments anciens suppose d'une part la connaissance de différents paramètres liés à la composition de leurs enveloppes, à leurs périodes constructives, à leurs formes, à leurs qualités architecturales, au contexte d'implantation ainsi qu'aux



usages, aux équipements. D'autre part, le diagnostic énergétique visant à détecter les gisements de rénovation renvoie aux différentes échelles (édifices, îlot, quartier, ville).

Les travaux s'intéressant à l'étude des consommations énergétiques des logements à l'échelle d'un territoire sont nombreux. En partant de la petite échelle que constitue l'édifice, les démarches ascendantes s'avèrent précises à conditions que les consommations puissent être appréhendées systématiquement.

C'est dans cet esprit que s'inscrit le projet ATRE. Il s'attache à développer une démarche méthodologique visant à élaborer un atlas territorial en mesure d'offrir une lecture énergétique multi-scalaire. En s'appuyant sur les bases de données existantes et les capacités qu'offrent les outils SIG dans l'analyse et la gestion des données, il est question de caractériser les édifices, leurs enveloppes et leurs contextes. En procédant bâtiment par bâtiment, cela permet d'associer à chaque entité bâtie son propre bilan thermique. En partant du bâtiment, il est alors possible d'agréger les données au territoire.

Sur la base des nomenclatures existantes, nationale ou locale lorsque celle-ci est plus précise, les méthodes et outils développés servent à croiser les données de la BD TOPO de l'IGN avec celles contenues dans les fichiers fonciers fournis par le CEREMA. Cette méthode de reconnaissance rend possible par l'affiliation aux édifices les propriétés intrinsèques aux archétypes auxquels ils appartiennent. En parallèle, l'exploitation des données spatiales permet de produire des informations relatives aux éléments d'enveloppes des édifices. Elle permet aussi de les contextualiser pour évaluer de manière plus fine les gains solaires. À partir de là, l'ensemble des procédures développées permet d'estimer un bilan thermique à l'échelle de chaque bâtiment résidentiel.

En ce sens, l'usage d'un SIG comme outil de gestion et d'analyse des données spatiales caractérisant les édifices et leurs contextes sont les éléments-clefs de la réalisation d'un diagnostic crédible à l'échelle des territoires.

Cependant, le développement de cette méthode aussi précise soit-elle dépend de la disponibilité et de la fiabilité des données nécessaires à la modélisation et à la possibilité de produire des données manquantes. En effet, le diagnostic énergétique par édifice est conditionné par la fiabilité des informations contenues dans les deux bases de données qui constituent le socle du travail méthodologique engagé. Qu'il s'agisse des bases de données spatiales utilisées ou des fichiers fonciers, certaines incertitudes liées à des informations manquantes ou erronées peuvent conduire à des dérives dans l'estimation des bilans thermiques. Pour cette raison l'analyse et l'identification des paramètres pertinents à utiliser et ceux à écarter sont une étape préalable à l'élaboration de la méthode de reconnaissance et de caractérisation des édifices.

Afin d'appliquer et de tester les outils développés, l'atlas a été produit sur quelques IRIS représentatifs des différentes configurations de tissus urbains. Un travail de terrain a permis de valider les procédures mises au point. Il est important de noter à ce sujet que le travail de validation avait aussi pour but de répondre à un des objectifs majeurs du projet ATRE qui consistait à rendre la démarche développée répliquable.

La phase ultime consacrée à l'expérimentation a permis de produire l'atlas sur le territoire de la commune de Septèmes-les-Vallons. Au-delà des considérations visant à améliorer les aspects méthodologiques, l'exploitation du bilan énergétique territorial a conduit à déterminer les zones à enjeu prioritaire. C'est ainsi qu'un ensemble de cartes a été élaboré pour diffuser et présenter la connaissance produite auprès des acteurs concernés. Il s'agissait d'une part de sensibiliser le public et contribuer d'autre part à éclairer les élus concernant leurs politiques de l'habitat.

À ce titre, la question de la nature des données visibles dans un atlas peut se poser en termes de confidentialité lorsque les informations sont fournies à l'échelle de l'édifice. En tenant compte de la précision et de la sensibilité de la donnée, de son usage, l'accès aux indicateurs énergétiques peut être envisagé selon plusieurs modes de mises à disposition et de présentation qui dépendent essentiellement du public visé.

Lors de la mise en place d'un atlas, la couverture de l'ensemble d'un territoire pourrait être réalisée progressivement, par plusieurs acteurs, au gré de la détermination de zones prioritaires. L'usage d'un SIG permet cette co-production de données, le partage et l'assemblage des zones couvertes, leur enrichissement.

Par ailleurs, l'exploitation de l'atlas au sein des plateformes territoriales de rénovation énergétique de l'habitat permettrait de consigner les interventions sur les édifices ou leurs contextes environnants, il pourrait ainsi devenir un outil de suivi et d'analyse de l'évolution du patrimoine résidentiel.



De même, l'atlas pourrait permettre d'analyser les interactions entre forme bâtie, comportement énergétique et socio-économie des ménages. Étant construit à partir de données détaillées, il permettrait d'interroger les facteurs morphologiques et sociologique ayant une influence sur l'énergie.

Pour appréhender la problématique énergétique dans l'habitat d'une manière globale, il serait nécessaire de procéder à l'estimation des consommations énergétiques résidentielles durant la saison estivale. Telle que développée, la méthodologie élaborée peut être appliquée pour intégrer un bilan d'été tout en tenant compte des classes d'inertie par archétypes d'édifice. Une autre piste de développement consisterait à affiner l'audit énergétique en y intégrant les données de consommations réelles. Les premières tentatives associant les données produites par l'atlas aux données de consommation agrégées par les fournisseurs d'énergie sont prometteuses à conditions que ces dernières soient suffisamment précises pour alimenter le diagnostic territorial.



# Annexes techniques : méthodes et procédures pour la réalisation de l'atlas

## 1. Initialisation d'une zone d'étude

Le travail décrit dans les pages qui suivent a été réalisé en utilisant la BD TOPO V3 beta 2018. Les mêmes procédures peuvent être utilisées avec la BD TOPO V 2 2017 en prévoyant d'adapter certaines opérations. De la même manière, ce travail utilise les Fichiers fonciers du millésime 2017 (TUP, Bâtiment, parcelles, etc.).

Ces bases de données sont régulièrement mises à jour. Les changements de noms de certains attributs peuvent engendrer des erreurs dans le fonctionnement des opérations décrites ci-dessous, soit des blocages des modèles automatiques fournis.

Le nombre élevé de données à traiter et la complexité des bases de données utilisées rend nécessaire la gestion et la structuration de démarches, de processus, de procédures et de fonctions adaptés à une mise en œuvre la plus simple possible. Cela renvoie aux considérations suivantes:

- déterminer des sources de données utiles et leur usage
- répertorier les étapes de traitements et production de données
- organisation des fichiers de données en dossiers
- décrire les procédures et les fonctions développées
- structuration des données

## 2. Préparation des édifices et de leur enveloppe

Ce document technique s'attache dans un premier temps description de la phase préalable relative à la constitution des zones d'études qui conduiront à alimenter l'atlas et à la création des attributs et méthodes nécessaires à la réalisation des bilans des édifices.

La première phase consiste à mettre en place, essentiellement à partir du bâti issu de la BD TOPO de l'IGN, les édifices résidentiels (édifices et leurs éléments d'enveloppe) qui seront caractérisés pour de réaliser leur bilan. Il s'agit également de générer un ensemble de caractères directement issus de la géométrie et de la topologie de ces objets (mitoyenneté, exposition ...), de relier les bases de données des Fichiers Fonciers et la BD TOPO, de relier la nomenclature TABULA aux édifices, d'évaluer les apports solaires et de calculer les bilans.

### 2.1. Outil SIG QGIS

Nous avons utilisé le logiciel de gestion des bases de données QGIS version 2.18. Toutes les procédures et les plug-ins décrits ci-dessous font référence à cette version.

Actuellement, QGIS en est à sa la version 3. Cette version est compatible avec la version 2.18 à l'exception de certains plug-ins qui existent seulement pour la version la plus ancienne.

De plus, avec l'annexe technique ci-joint nous fournissons aussi des modèles. Un modèle est une application qui permet de réaliser un nombre important de fonctions de manière automatique. Les modèles de QGIS 2.18 ne peuvent pas encore être intégrés dans QGIS 3.

### 2.2. Étapes préalables

Pour des raisons à la fois de sécurité et de temps de calcul, il est conseillé de travailler par « zones d'étude », pour estimer les bilans en réduisant ainsi le volume des données manipulées. On commencera par créer les objets de cette zone d'étude (édifices, façades) et par les caractériser en exploitant leurs propriétés géométriques (mitoyenneté, exposition, etc.). Ensuite, on pourra les caractériser par leur type, puis récupérer via ce type un certain nombre de caractères ; certains seront produits grâce aux ratios définis dans le type, en l'appliquant aux caractères (dimensionnels) de chaque édifice (ex : superficie des ouvertures).

### 2.3. Principe d'organisation

Une zone d'étude est définie par son périmètre, les édifices qu'elle contient et leur environnement (bâti, végétation)



Chaque zone d'étude est enregistrée dans un dossier xxx (ex : Thubaneau), qui contient l'ensemble des tables la concernant, soit :

1. une table « ZonesEtudes »
2. une table « ToutEdifices » (créée à partir de la table édifices de la Bd Topo V3, soit de la table « Bati Indifférencié » de la BD TOPO V2)

Dessiner le périmètre de la zone d'étude (ou choisir un périmètre existant) dans la table « ZonesEtudes ».

Sélectionner (en exploitant l'insertion des édifices dans la zone choisie, préalablement sélectionnée (Vecteur > Outils de recherche > Sélection par localisation > ...)).

Soit utiliser le modèle fourni : 01 extraction édifices ZEtude.model

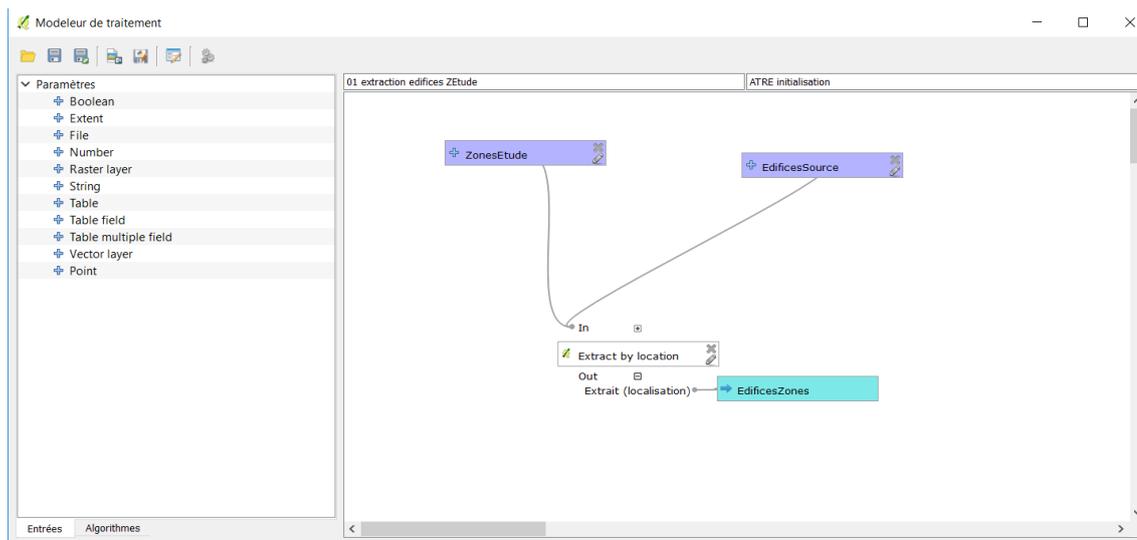


Figure 89. Schéma du modèle 01

Sauver les édifices sélectionnés dans une table ToutEdifices placée dans le dossier xxx de la zone d'étude correspondante (exemple : Thubaneau)

## 2.4. Rejet des édifices non résidentiels et annexes

L'atlas ne porte que sur les édifices à caractère résidentiel, qui de plus doivent répondre à un certain nombre d'autres critères (superficie minimum, etc.). Il faut donc rejeter de la table ToutEdifices un ensemble d'objets qui ne répondent pas aux critères retenus.

Pour cela, on rajoute aux attributs des édifices un attribut Rejet (entier, 0 | 1) et RaisonReje (chaîne, 254)89.

Créer l'attribut rejet sur la table des édifices « toutEdifices » et rejeter les édifices avec une surface inférieure à 40 m<sup>2</sup> et 120 m<sup>3</sup>

Case when \$area<40 and (\$area\*"hauteur") < 120 then 1 else 0 end

## 2.5. Procédure avec la BD TOPO V2.X

Donner l'attribut rejet = 1 aux tables édifices industriels, édifices légers, édifices remarquables et joindre les tables à la table édifices indifférenciés (ToutEdifices) (attention, celui-ci sera le dernier modèle construit pour la BD TOPO V2. Par la suite les modèles seront tous réalisés pour fonctionner avec la BD TOPO V3

3. Puis créer l'attribut calculé Volume :

$\$area * "hauteur"$

<sup>89</sup> Ces attributs pourront être utilisés ultérieurement pour rejeter des édifices qui auraient été oubliés.



Soit utiliser le modèle fourni : 02 AttributionRejets BD TOPO V2.model

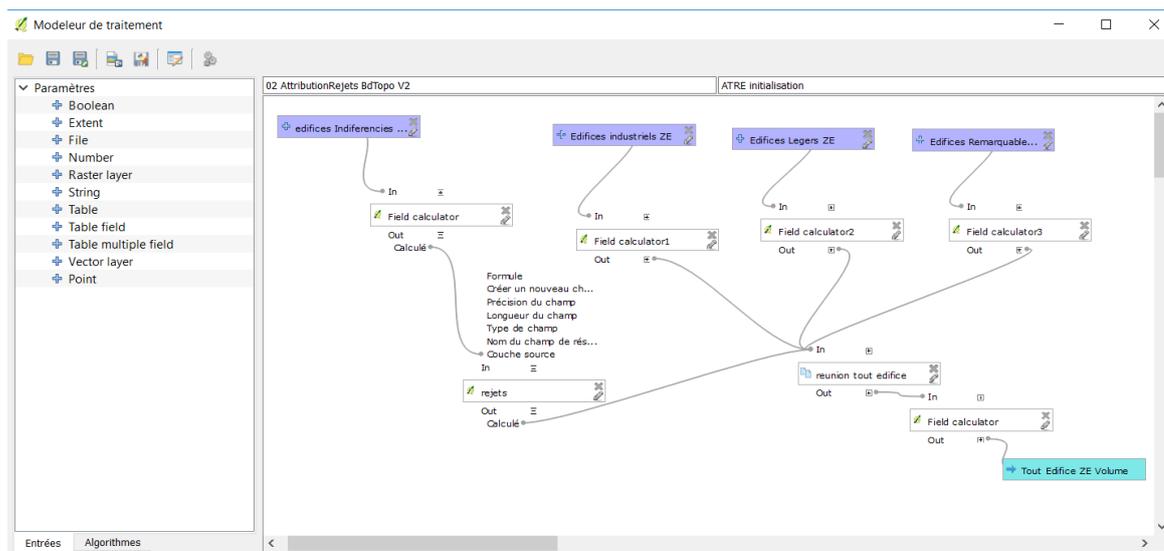


Figure 90. Schéma du modèle 02

## 2.6. Procédure avec la BD TOPO V3

Dans le cadre de la BD TOPO V3 il faut d'abord faire une correction des noms des attributs qui sont livrés avec accent. QGIS ne gère pas toujours les lettres avec accent.

4. Modifier l'attribut « USAGE1 » :

*case when "usage1" is 'Indiff@renci@' then 'Indifferencie' else "usage1" end*

5. Modifier l'attribut « nature » :

*case when "nature" ilike 'Indiff%' then 'Indifferencie' else "nature" end*

6. Rejet des édifices non résidentiels

*case when "NATURE" <> 'Indifferencie' or "USAGE1" <> 'Indifferencie' then '1' else "rejet" end*

7. Rejet des édifices légers

*case when "LEGER" ilike 'oui' then 1 else "rejet" end*

8. Création de l'attribut calculé Volume:

*\$area\*"hauteur"*

Soit utiliser le modèle fourni : 02 AttributionRejets BD TOPO V3.model



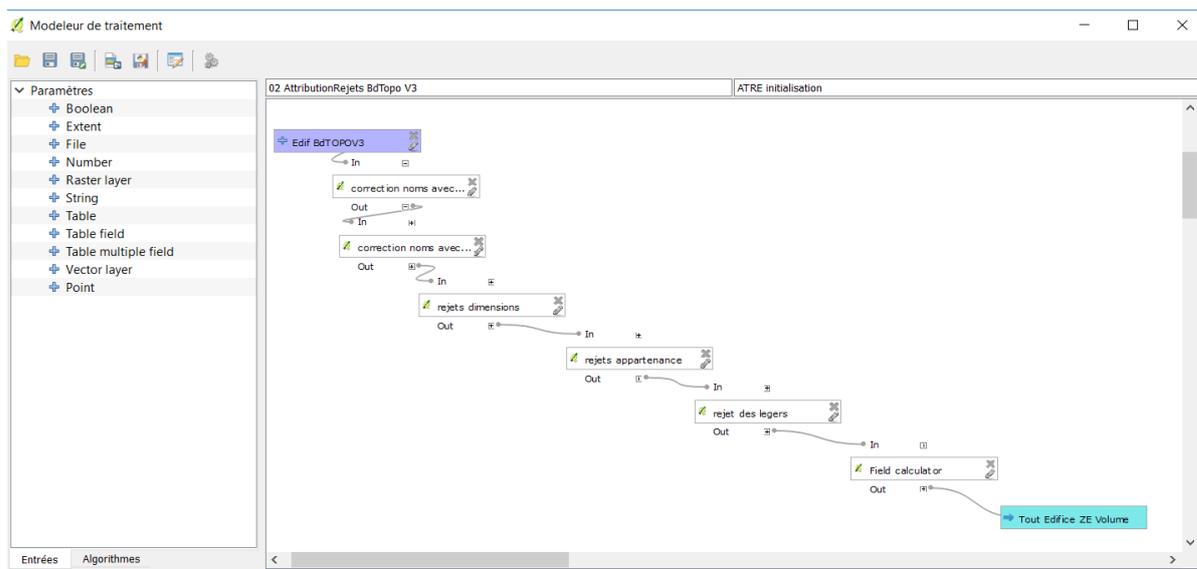


Figure 91. Schéma du modèle 02 (V3)

Ces édifices seront affectés de la valeur 1 pour l'attribut Rejet, mais conservés dans la table.

### 3. Mitoyennetés

#### 3.1. Édifices mitoyens

La recherche des édifices mitoyens et non mitoyens est nécessaire dans le cadre de la contextualisation du bâti pour éliminer les surfaces mitoyennes des surfaces d'échange du bâti avec l'extérieur<sup>90</sup>.

Lors du calcul des bilans, nous pourrions considérer les surfaces mitoyennes vers les rejets comme surfaces en contact avec un local non chauffé (LNC).

1. Partant d'une base de données géospatiale représentant le bâti en polygones, on utilise le plug-in NNJOIN<sup>91</sup> qui calcule le « Nearest Neighbour » (plus proche voisin), en utilisant les paramètres suivants :

input : <la base du bâti> ToutEdifices

join : <la base du bâti> ToutEdifices

join prefix : mty

output layer : ToutEdifices\_mty

Les édifices mitoyens (qui ont au moins un édifice mitoyen) sont ceux pour lesquels l'attribut « distance » (généré par nnjoin) est égal à 0, les isolés ont une valeur  $\neq 0$  (faire une requête ou une analyse thématique pour les différencier).

2. Sauver la table ToutEdifices\_mty dans le dossier XXX, pour un usage ultérieur.

#### 3.2. Calcul de la superficie des façades de bâtis mitoyens

3. transformer le polygone représentant l'édifice en polyligne,

MMQGIS > modify > Conv\_GeomType (polygone > polyligne (« Multilines »))

4. Enregistrer une table fac1 dans un dossier « tempo »

<sup>90</sup>Le calcul des superficies d'enveloppe mitoyennes nécessite d'intégrer tous les bâtiments (de la bdTopo IGN) dans le calcul, et pas seulement le bâti résidentiel non rejeté.

<sup>91</sup><http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/qgisplugins/NNJoin/>



La fonction suivante génère des doublons lorsque 2 façades sont mitoyennes ; elle génère autant de façades que de segments existants dans la polygone, donc aussi s'il y a un très léger changement d'orientation de la polygone.

5. puis les polygones résultantes (fac1) en autant de segments (génération des façades (segments)) :

Traitement > Boîtes à outils > Géotraitements > outils de géométrie vecteur > exploser les lignes

6. Enregistrer une table fac2 dans un dossier « tempo »

Soit utiliser le modèle fourni : 03 ExplosionEdificesEnFaçades.model

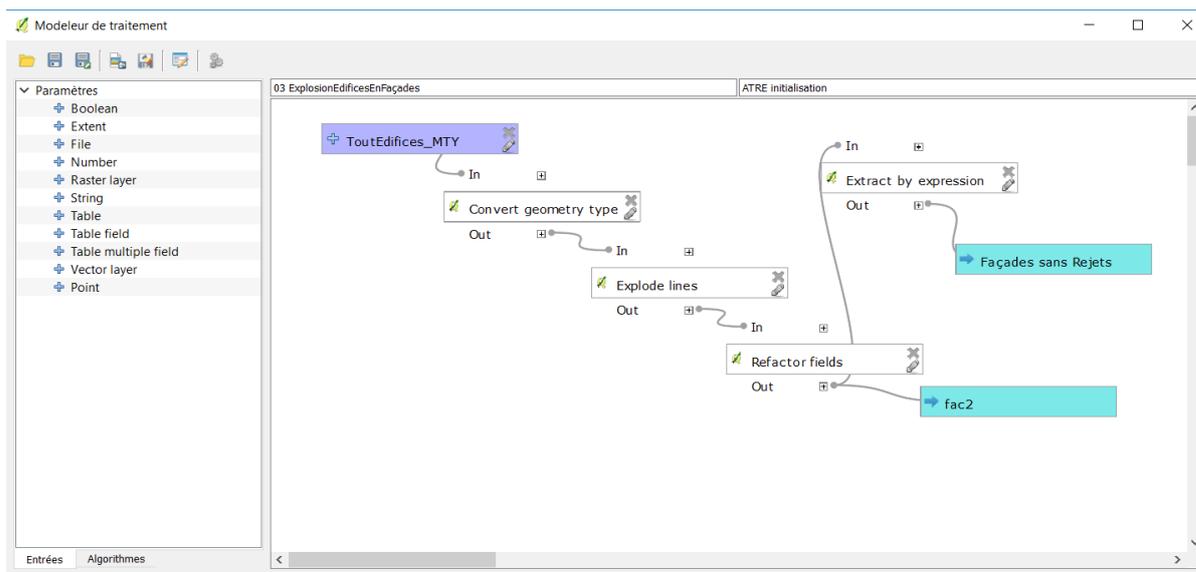


Figure 92. Schéma du modèle 03

7. rechercher les façades mitoyennes : ce sont celles dont les centroïdes des segments ont presque les mêmes coordonnées

Utiliser le plug-in NNJOIN qui calcule le « Nearest Neighbour » (plus proche voisin), en utilisant les paramètres suivants :

input : fac2 option : approximate geometries by centroid  
join : fac2 (la même table) option : approximate geometries by centroid  
join prefix : mty  
output layer : fac2 mty

Les façades mitoyennes sont celles dont la distance est inférieure ou égale à la valeur 0.1 (vérifier visuellement la validité du résultat)

Sauver les façades mitoyennes dans facMitoy, les façades non mitoyennes dans facNonMitoy

8. Calcul de la hauteur de la partie commune des façades mitoyennes (afin de calculer la superficie commune, qui devra être soustraite à la superficie de chaque façade pour obtenir la surface d'échange avec l'extérieur) :

Pour chaque entité de la table facMitoy, on prend la hauteur minimum des 2 façades mitoyennes :

9. Ajout à la table facMitoy d'un attribut calculé :

H\_Commune = min (Hauteur, mty\_Hauteu)

10. Puis calculer la surface vers les édifices rejet, créer l'attribut calculé SuMitoyRej :



## CASE

WHEN "mty\_rejet" = 1 THEN "H\_Commune" \* \$length

End

Cet attribut H\_Commune est donc affecté à chaque façade mitoyenne, identifiée par son ID, qui de plus comporte les attributs de la façade qui lui est mitoyenne (résultat de l'opération NNJOIN, ces attributs sont précédés du préfixe mty\_).

11. Pour homogénéiser la description des façades, ajouter à la table facNonMitoy le même attribut calculé :

H\_Commune = 0

12. On pourra ici réunir les 2 tables facMitoy et facNonMitoy en une seule table « ToutesFaçades » des façades de tous les bâtiments de la zone d'étude XXX

Traitement > Boîtes à outils > Geotraitements > Outils généraux de vecteur > Fusionner des couches vecteur

Les façades mitoyennes et non mitoyennes peuvent être maintenant facilement distinguées grâce à l'attribut H\_Commune = 0 (si non mitoyennes).

Sauver la table ToutesFaçades dans le dossier xxx.

On pourra nettoyer cette table en enlevant les attributs qui paraissent inutiles pour la suite (sous toute réserve), en ne conservant que : ID (que l'on renommera ID\_EDIF), HAUTEUR, Z\_MIN, Z\_MAX, NATURE, Rejet, RaisonReje et mty\_ID (que l'on renommera mty\_ID\_EDIF), mty\_HAUTEU, mty\_NATURE, distance, H\_Commune (pour conserver le lien avec le bâtiment mitoyen).

13. La superficie de la portion d'échange des façades avec l'extérieur (SurfEchange) sera calculée par la formule :

SurfEchange = round(( "HAUTEUR" - "H\_Commune" ) \* \$length )

Soit, après le point 3 utiliser le modèle fourni : 04 CalculSurfEchange.model

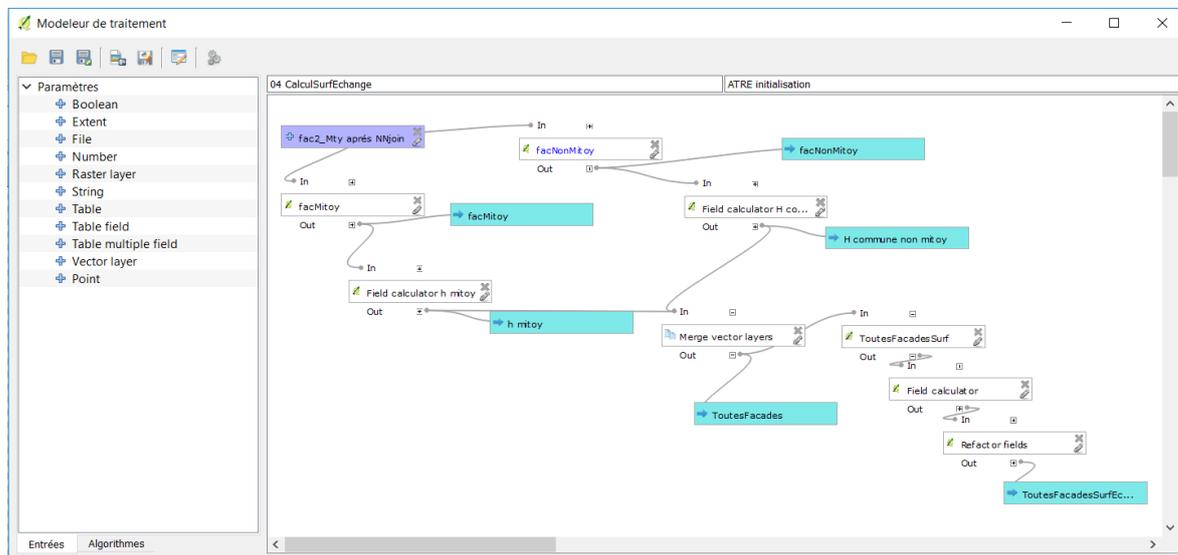


Figure 93. Schéma du modèle 04

Les façades dont l'identifiant de l'édifice sera trouvé dans la table Edifices seront en relation avec ces édifices.

On créera ainsi une table « Facades » dans le dossier xxx.



## 4. Façades et expositions

Toutes les opérations du chapitre 2 peuvent être réalisées par le modèle : 05 orientation et expo.model (QGIS).

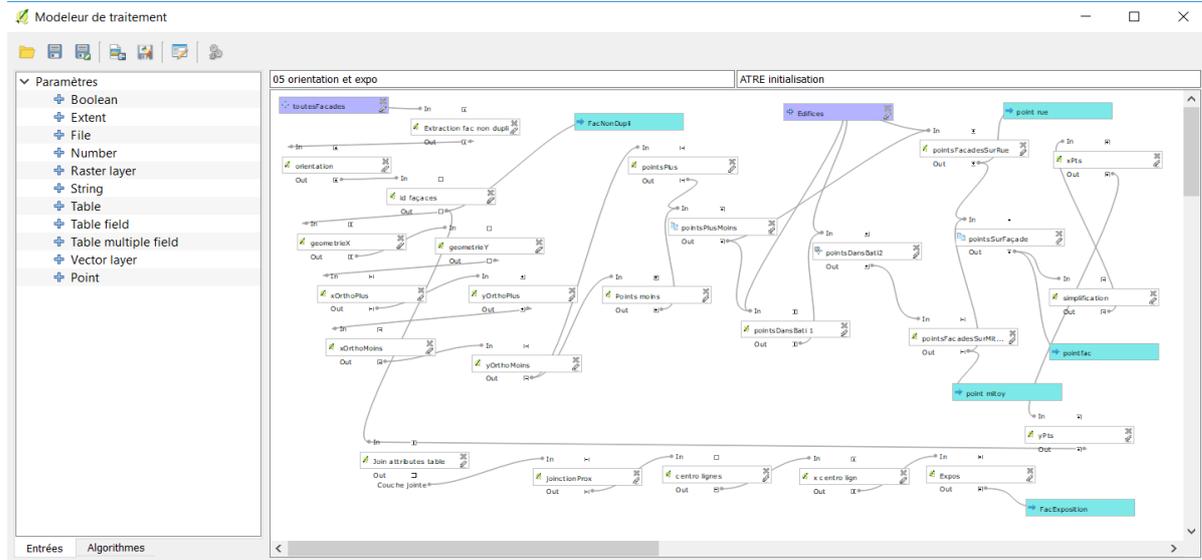


Figure 94. Schéma du modèle 05

On utilisera les tables « ToutEdifices » et « ToutesFacades ».

En vue d'un diagnostic d'ensoleillement, il s'agit, partant de ces tables, de calculer l'orientation de chaque façade, (0 ..179°) puis leur exposition par rapport au Nord (0 .. 359° (direction du vecteur normal à la façade, dirigé vers l'extérieur de l'édifice)).

1. Créer, pour chaque façade un attribut id (entier), avec le n° d'enregistrement :

$$\text{id} = \text{row\_number}$$

2. Éliminer des façades mitoyennes celles dont la hauteur est inférieure à l'autre, en ne gardant que les autres :

Sélectionner les façades :

$$\text{"SurfEchang"} > 0 \text{ or } \text{"SuMitoyRej"} > 0$$

Sauver la couche résultante dans une table temporaire FacNonDupli

3. Calculer l'ORIENTATION (0...180°) de chaque façade

Pour cela créer un nouveau champ Orient (entier, 3), calculé par l'expression

$$\text{round ( CASE WHEN} \\ \text{( ATAN ( (xat(0)-xat(-1))/(yat(0)-yat(-1)) ) * 180 / 3.1416 ) >= 0} \\ \text{THEN ( ATAN ( (xat(0)-xat(-1))/(yat(0)-yat(-1)) ) * 180 / 3.1416 )} \\ \text{ELSE} \\ \text{180 + ( ATAN ( (xat(0)-xat(-1))/(yat(0)-yat(-1)) ) * 180 / 3.1416 )} \\ \text{END )}$$

Pour calculer l'exposition des façades la solution retenue consiste à générer des points à la perpendiculaire et de part et d'autre du centroïde de chaque façade. Pour chaque segment, il s'agit de comparer le (x,y) de leurs points extrêmes avec le (X,Y) du à la normale du centroïde.

4. Créer, pour chaque façade deux attributs (coordonnées du centroïde des segments ; décimal, 10,10) :



xCtreFac=x(\$geometry)

yCtreFac=y(\$geometry)

5. Génération des points orthogonaux sur la table FacNonDupli créer les attributs calculés (xOrthoPlus, yOrthoPlus, xOrthoMoin, yOrthoMoin (décimal, 10,10) en utilisant la fonction project qui crée une géométrie ponctuelle :

xOrthoPlus= x (project(centroid(\$geometry),0.5, radians("Orient" +90)))

yOrthoPlus= y (project(centroid(\$geometry),0.5, radians("Orient" +90)))

xOrthoMoin= x (project(centroid(\$geometry),0.5, radians("Orient" -90)))

yOrthoMoin= y (project(centroid(\$geometry),0.5, radians("Orient" -90)))

6. Puis créer des « pointsPlus » (avec xOrthoPlus et yOrthoPlus) et des « pointsMoins » (avec xOrthoMoin et yOrthoMoin) avec :

Traitement > Boîtes à outils > Geotraitements > Outils de création de vecteurs > Couche de points depuis une table.

7. Fusionner les 2 tables obtenues en une seule : pointsPlusMoins

Traitement > Boîtes à outils > Geotraitements > Outils généraux de vecteurs> Fusionner des couches vecteur

8. Enregistrer les points hors bâti (pointsFacadesSurRue) :

Traitement > Boîtes à outils > Geotraitements > Outils de sélection de vecteurs > Extraire par localisation > ... (utiliser le prédicat « est disjoint »)

9. Enregistrer les points dans bâti dont l'ID\_EDIF doit être différent de l'ID de l'édifice dans lequel il est (pointsDansBati) :

Traitement > Boîtes à outils > Geotraitements > Outils de sélection de vecteurs > Extraire par localisation > ... (utiliser le prédicat « intersecte »)

Puis :

Traitement > Boîtes à outils > Geotraitements > Outils généraux de vecteurs> Joindre les attributs par localisation (utiliser le prédicat « intersecte »)

10. Sélectionner sur la couche de points obtenus tous ceux tels que :

NOT ("ID\_EDIF" = "ID\_1")

11. Sauver ce résultat dans une table pointsFacadesSurMitoyen

12. Fusionner la table PointsFacadesSurRue et la table pointsFacadesSurMitoyen dans une table PointsFacades, en ne conservant que les attributs ID\_EDIF et id (identifiant des façades)

13. calculer le xPts et yPts des points de cette table :

deux attributs (décimal, 10,10) xPts=x(\$geometry) et yPts=y(\$geometry)

14. calcul de l'exposition :

joindre la couche PointsFacades à la couche FacNonDupli (en créer une nouvelle),

en utilisant les attributs de jointure id (identifiant des façades)

et en affectant le préfixe prox\_ aux attributs de pointsFacades

15. Calculer les coord Y centroïde de la façade:

yOrthoPlus= y (project(centroid(\$geometry),0.00001, radians("Orient" +90)))

16. Calculer ensuite Expos (entier, 3) par l'expression suivante :

CASE

WHEN ("Orient" = 0)



and  
("prox\_xPts"- "xcentrolig" ) >0  
THEN 90  
WHEN ("Orient" = 0)  
and  
("prox\_xPts"- "xcentrolig" ) < 0  
THEN 270  
WHEN ("Orient" = 180)  
and  
("prox\_xPts"- "xcentrolig" ) >0  
THEN 90  
WHEN ("Orient" = 180)  
and  
("prox\_xPts"- "xcentrolig" ) < 0  
THEN 270  
WHEN ("Orient" > 0 and "Orient" <= 44)  
and  
("prox\_yPts"- centrLign) >0  
THEN ( "Orient" +270)  
WHEN ("Orient" > 0 and "Orient" <= 44)  
and  
("prox\_yPts"- centrLign) <0  
THEN ( "Orient" + 90)  
WHEN ("Orient" >= 45 and "Orient" <= 90)  
and  
("prox\_yPts"- centrLign) >0  
THEN ( "Orient" +270)  
WHEN ("Orient" >= 45 and "Orient" <= 90)  
and  
("prox\_yPts"- centrLign) <0  
THEN ( "Orient" +90)  
WHEN ("Orient" >= 91 and "Orient" <= 134)  
and  
("prox\_yPts"- centrLign) <0  
THEN ( "Orient" + 90)  
WHEN ("Orient" >= 91 and "Orient" <= 134)  
and  
("prox\_yPts"- centrLign) >0  
THEN ( "Orient" -90)  
WHEN ("Orient" >= 135 and "Orient" < 180)  
and



```

("prox_yPts"- centrLign) <0
THEN ( "Orient" + 90)
WHEN ("Orient" >= 135 and "Orient" < 180)
and
("prox_yPts"- centrLign) >0
THEN
("Orient"- 90)
ELSE 999
END

```

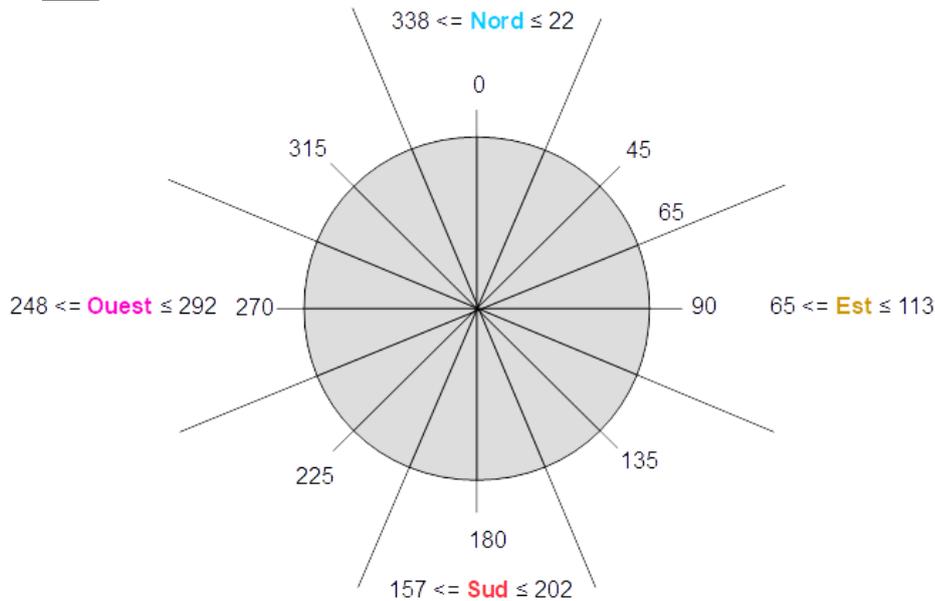


Figure 95. Orientation et exposition des façades

## Caractérisation des bâtiments grâce à la liaison avec les Fichiers Fonciers

### 4.1. Préparation des bâtiments et des TUP

Nous utiliserons la table des bâtiments caractérisée au préalable et les tables des TUP et bâtiments des Fichiers Fonciers

Au préalable, vérifier que les bâtiments conservent l'attribut volume, dans le cas contraire, calculer le volume des bâtiments.

1. Attribut calculé entier 10 chiffres

("HAUTEUR" \* \$area)

2. Assigner l'idTup (Identifiant de la TUP) des fichiers fonciers aux bâtiments (BD TOPO).

Pour donner IDTup aux bâtiments la procédure est la suivante,

3. Créer une couche temporaire des centroïdes des bâtiments en utilisant le plug-in Realcentroïde, qui permet de créer un centroïde à l'intérieur du polygone.

Après la création des centroïdes, il est possible d'utiliser le modèle 02 Bati IDTup, à utiliser après avoir calculé les centroïdes des bâtiments avec le plug-in real centroïdes.model



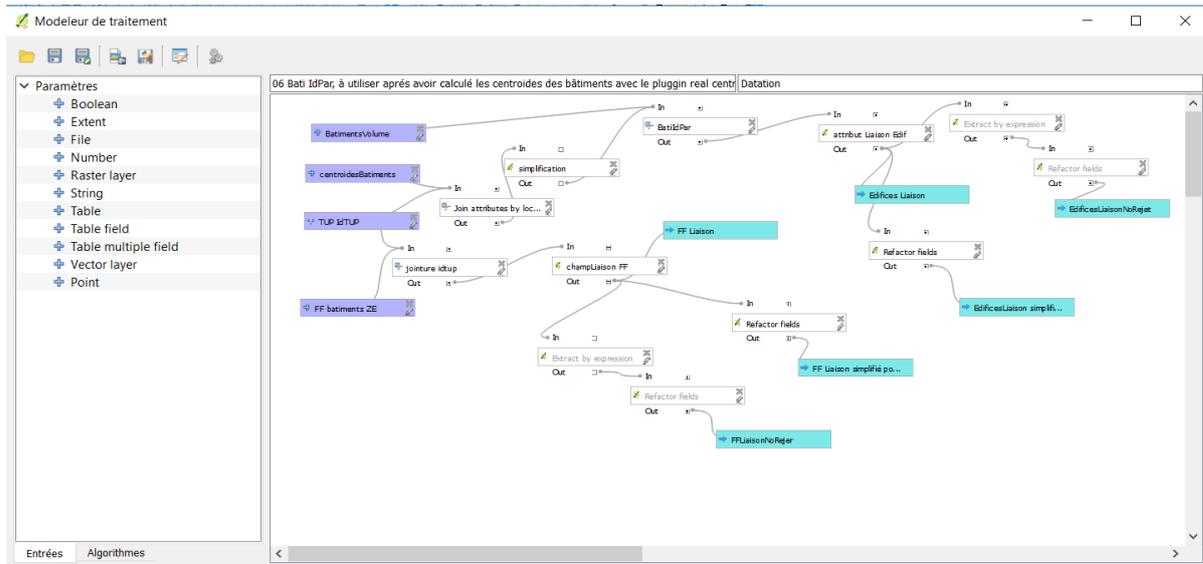


Figure 96. Schéma du modèle 06

Ce modèle exécutera toutes les opérations qui suivent jusqu'au point 8

4. Faire une jointure spatiale entre les centroïdes et la table des TUP, le résultat est une couche de points avec les ID des Bâtiments et les attributs de la TUP.
5. Nettoyer la couche des points et garder seulement les attributs ID et IDTup
6. Faire une jointure entre les bâtiments (couche édifices) et les points à travers l'attribut ID

#### 4.2. Création relation entre les bâtiments, volumes et surfaces

Créer une relation entre les bâtiments avec le plus grand volume et les bâtiments avec la plus grande surface de plancher

L'objectif est de créer un identifiant dimensionnel en comparant le volume des bâtiments (BD TOPO) et les surfaces des bâtiments (Table Bâtiments Bd FF)

ATTENTION il faut utiliser Excel pour exécuter cette opération, puis il est impératif de sauvegarder le fichier à réimporter sur QGIS en CSV, car le format XLXMS comporte des bugs de fonctionnement pour QGIS.

7. Dans la table « Edifices » créer un attribut de liaison (calculé 10 chiffres)

Liaison = @row\_number

8. Dans la table Bâtiments des FF. créer un attribut de liaison (calculé 10 chiffres)

Liaison = @row\_number

9. Faire une jointure spatiale entre les Bâtiments des FF. et la table des TUP, dans la couche résultante garder les attributs de la table Bâtiments et l'IDTup.

Sauvegarder la table Bâtiments des FF et la table ToutEdifice de la BD TOPO au format Excel (logiciel Excel de Microsoft Office). À partir de ce point, les opérations seront réalisées sur Excel.

10. Sur la table ToutEdifice garder seulement les colonnes : IDTup, volume, Liaison, créer une colonne Ordre
11. Substituer tous les « . » par des « , » et transformer la colonne Volume en une colonne nombre
12. Faire un tri sur les deux champs *IDTup* en premier A à Z, puis sur le volume tri du plus grand au plus petit (il est important que les bâtiments plus grands soient en haut ! attention, lors du tri définir la première ligne comme « titre ») en vérifiant de manière systématique les résultats.
13. Dans la colonne Ordre, dans la première ligne indiquer la valeur 1. Dans la deuxième ligne écrire l'opération :



=si(celluledecolonneIDTup=celluledecolonneIDTupdelalignedavant; celluledecolonneIDTupdelalignedavant+1;1)

(Dans mon cas celluledecolonneIDTup = b3 ; celluledecolonneIDTupdelalignedavant = b2 celluledecolonneIDTupdelalignedavant = d2)

14. Faire une copie incrémentée sur les autres lignes
15. Calculer le champ identifiant unique thématique en concaténant le champ *IDTup* et ordre.  
C'est-à-dire créer une nouvelle colonne *IdDim* avec l'opération

=CONCATENER (IDTup et Ordre)

Quand il y a un seul bâtiment sur la parcelle le résultat de l'opération sera *IDTup1*, quand il y aura plusieurs bâtiments le résultat sera : *IDTup1 – IDTup2– IDTup3...* du plus grand au plus petit

16. Sur la table Bâtiments des FF garder seulement les colonnes : *IDTup*, *spevtot*, *Liaison*, créer une colonne *Ordre*
17. Substituer tous les « . » par des « , » et transformer la colonne *spevtot* en une colonne nombre
18. Faire un tri sur les deux champs *IDTup* en premier A à Z, puis sur la *spevtot* tri du plus grand au plus petit (il est important que les bâtiments plus grands soient en haut ! attention, lors du tri définir la première ligne comme « titre » ) » en vérifiant de manière systématique les résultats.
19. Dans la colonne *Ordre*, dans la première ligne indiquer la valeur 1. Dans la deuxième ligne écrire l'opération :

=si(celluledecolonneIDTup=celluledecolonneIDTupdelalignedavant; celluledecolonneIDTupdelalignedavant+1;1)

(Dans mon cas celluledecolonneIDTup = b3 ; celluledecolonneIDTupdelalignedavant = b2 celluledecolonneIDTupdelalignedavant = d2)

20. Faire une copie incrémentée sur les autres lignes
21. Calculer le champ identifiant unique thématique en concaténant le champ *IDTup* et ordre.  
C'est-à-dire créer une nouvelle colonne *IdDim* avec l'opération

=CONCATENER (IDTup et Ordre)

Le résultat sera, quand il y a un seul bâtiment sur la parcelle sera *IDTup1*, quand il y aura plusieurs bâtiments le résultat sera : *IDTup1 – IDTup2– IDTup3...* du plus grand au plus petit

22. Sauvegarder les deux tables avec les noms *CSV\_EdificesLiaison* et *CSV\_FF\_Liaison* au format CSV
23. Faire une jointure entre les fichiers Excel et les deux tables d'origine (*Bd Topo* et *FF*), utiliser l'attribut *Liaison*
24. Sauvegarder les deux couches avec les noms *EdificesIdDim* et *FF\_IdDim* (au format Shape)

### 4.3 Assignation d'une période TABULA aux bâtiments de la BD TOPO

L'assignation des périodes à chaque type de bâtiments se fera par la en deux passages. Le premier passage concerne à utiliser la liaison entre les polygones de la BD TOPO et la table des Bâtiments des fichiers fonciers, grâce à l'attribut *IdDim* que nous avons créé au préalable. Le deuxième passage consiste à utiliser l'attribut *jannatmin* de la table des TUP, grâce à l'attribut *IdTup*.

Le deuxième passage est une simplification, car vient de l'hypothèse que sur la même unité foncière (TUP) les bâtiments ont été créés dans la même période. Suite au travail de terrain, nous avons vérifié que cette hypothèse est presque toujours valide.

25. Joindre les tables *FF\_IdDim* et *EdificesIdDim* à travers l'attribut *IdDim*
26. Créer un attribut calculé *PeriodeT\_A* per la requête :

CASE WHEN "jannatmin" <=1916 and "jannatmin" >1 THEN '01'  
WHEN "jannatmin" >1916 and "jannatmin" <=1948 THEN '02'  
WHEN "jannatmin" >1948 and "jannatmin" <=1967 THEN '03'



```

WHEN "jannatmin" >1967 and "jannatmin" <=1974 THEN '04'
WHEN "jannatmin" >1974 and "jannatmin" <=1981 THEN '05'
WHEN "jannatmin" >1981 and "jannatmin" <=1989 THEN '06'
WHEN "jannatmin" >1989 and "jannatmin" <=1999 THEN '07'
WHEN "jannatmin" >1999 and "jannatmin" <=2005 THEN '08'
WHEN "jannatmin" >2005 and "jannatmin" <=2012 THEN '09'
WHEN "jannatmin" >2012 THEN '10'
ELSE 999
END

```

27. Joindre la table des TUP avec la table *EdificesIdDim* à travers l'attribut *IdTup*

28. Créer un attribut calculé *periodeC* per la requête :

```

CASE WHEN "jannatmin " <=1916 and "jannatmin " >1 THEN '01'
WHEN "jannatmin " >1916 and "jannatmin " <=1948 THEN '02'
WHEN "jannatmin " >1948 and "jannatmin " <=1967 THEN '03'
WHEN "jannatmin " >1967 and "jannatmin " <=1974 THEN '04'
WHEN "jannatmin " >1974 and "jannatmin " <=1981 THEN '05'
WHEN "jannatmin " >1981 and "jannatmin " <=1989 THEN '06'
WHEN "jannatmin " >1989 and "jannatmin " <=1999 THEN '07'
WHEN "jannatmin " >1999 and "jannatmin " <=2005 THEN '08'
WHEN "jannatmin " >2005 and "jannatmin " <=2012 THEN '09'
WHEN "jannatmin " >2012 THEN '10'
ELSE 999
END

```

29. Créer un attribut calculé *PeriodTabu* per la requête :

```

CASE
WHEN "PeriodeT_A" = '999' THEN "PeriodeC"
WHEN "PeriodeT_A" <> '999' THEN "PeriodeT_A"
ELSE 999
END

```

30. Sauvegarder la table *EdifPeriodeTabu*.

Il sera possible d'utiliser le modèle fourni 07 Liaisons FF - Bati – Datation.model



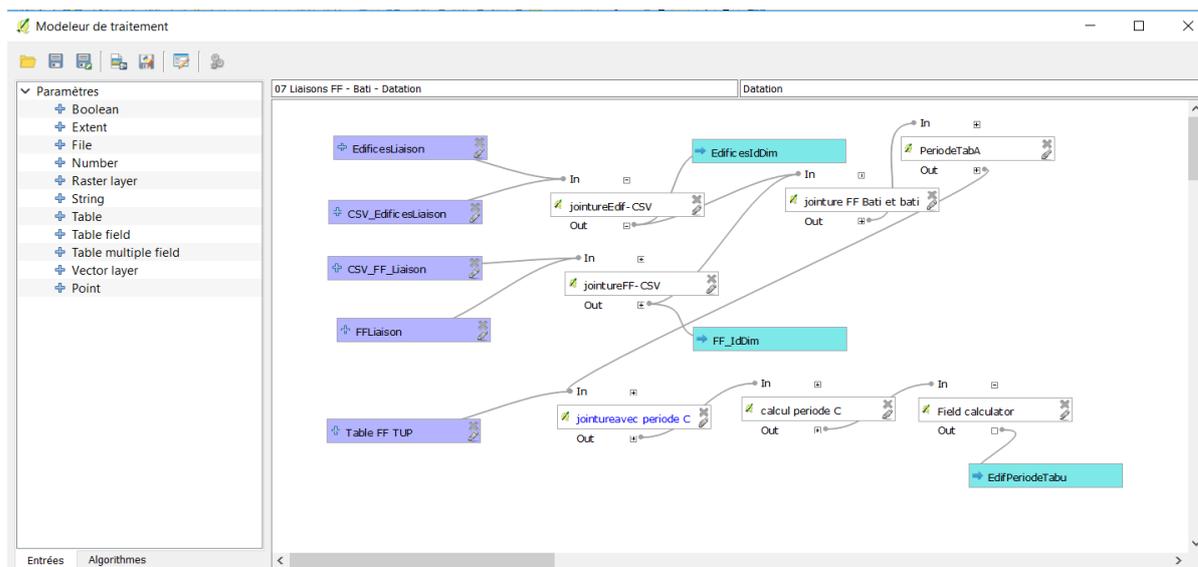


Figure 97. Schéma du modèle 07

Le modèle exécutera toutes les opérations à partir du point 21 au point 29

#### 4.4. Assignation d'une famille TABULA aux bâtiments

Pour reconnaître les familles nous utiliserons l'attribut nlocal des FF, cet attribut regroupe tout type de local, aussi les garages, commerces, etc.

Nous avons choisi nlocal car nous permet de mieux identifier les types ou un certain nombre d'appartements a été transformé en local professionnel (surtout en centre-ville).

Nous avons porté à 3 le nombre de lots pour caractériser les familles SFH et TH de Tabula.

1. Créer un calque édifices duquel nous avons éliminé au préalable tous les bâtiments rejetés et sauvegarder le calque avec le nom EdificesNonRejet

Utiliser le Plugin NNjoin EdificesNonRejet, en utilisant les paramètres suivants :

input : EdificesNonRejet

join : EdificesNonRejet

join prefix : join\_

output layer : EdificesNonRejet\_Isol

2. Créer un buffer sur le calque Édifices de 0.2 m

commande outils de géométrie vectorielle >> distance tampon fixe

3. Faire une sélection des bâtiments à l'intérieur des parcelles, ceux qui seront sélectionnés seront des bâtiments à l'intérieur d'une parcelle.
4. Sauvegarder la sélection dans un calque temporaire (Isolées 1)
5. Sélectionner les édifices dont l'attribut distance est > à 0 sauvegarder la sélection (Isolées 2)
6. Fusionner avec MMQGIS les tables Isolées 1 et 2 créer un calque IsolVrai
7. Dans la table IsolVrai créer un attribut Isol = 1
8. Corriger les éventuelles anomalies à la main, visuellement sur les plans
9. Faire une jointure entre les Tables EdificesPeriodTabula et IsolVrai (ID et ID)
10. Créer un attribut calculé FamillTabu :

CASE

WHEN "nlocal" <=3 and "isol" = 1 THEN 'SFH'

WHEN "nlocal" <=3 and "isol" =0 THEN 'TH'

WHEN "nlocal" <=10 and "nlocal" >3 THEN 'MFH'



WHEN "nlocal" >10 THEN 'AB'

END

La famille de certains bâtiments ne sera pas caractérisée, c'est pourquoi nous avons réalisé une statistique sur l'ensemble des bâtiments analysés sur le terrain pour évaluer les volumétries de chaque famille de bâtiments.

Statistiques des bâtiments terrain 5 IRIS plus Septèmes-les-Vallons :

SFH MEDIANE	TH MEDIANE	MFH MEDIANE	AB MEDIANE
553,00	506,00	1534,50	3357,50
SFH écart moyen	TH écart moyen	MFH écart moyen	AB écart moyen
352,68	435,94	896,86	6094,29
PLAGE	PLAGE	PLAGE	PLAGE
120	120	950	2400
950	950	2400	

Figure 98. Tableau des dimensions des familles des édifices relevés

La plage ci-dessus est réalisée par la somme et la soustraction de la médiane à l'écart moyen et ajustée pour éviter des vides entre les différentes familles.

11. Grâce à ces statistiques remettre à jour l'attribut FamillTabu par la requête :

CASE

WHEN ("FamillTabu" is null and "isol" = 1 and "volume" >120 and "volume" < 950 and "rejet" <> 1 )THEN 'SFH'

WHEN ("FamillTabu" is null and "isol" = 0 and "volume" >120 and "volume" < 950 and "rejet" <> 1 )THEN 'TH'

WHEN ("FamillTabu" is null and "volume" >950 and "volume" < 2400 and "rejet" <> 1) THEN 'MFH'

WHEN ("FamillTabu" is null and "volume" >2400 and "rejet" <> 1) THEN 'AB'

Else "FamillTabu"

END

12. Créer un attribut calculé PerFam :

concat ("PeriodTabu", '-', "FamillTabu")

Les cas des barres et des tours

L'hypothèse de départ est que : les barres sont composées de façades longitudinales principales et des façades pignon, souvent, fermées, les tours ont que de façades principales.

Les barres et les tours ont une volumétrie importante, minimum 3200 m3 et une hauteur minimum de 11m

13. Pour assigner la famille « barre » aux bâtiments il faut d'abord extraire les bâtiments par la requête ci-dessous :

"volume">3200 and ("periodTabu" = '03' or "periodTabu" = '04' or "periodTabu" = '05' or "periodTabu" = '06' or "periodTabu" = '07') and "hauteur" > 11

14. Créer l'ombb (oriented minimum bounding box) sur la couche extraite.

15. Créer un attribut Barre calculé.

if("HEIGHT"/ "WIDTH"<0.5, 'B','T')

16. Simplifier la couche, garder seulement l'attribut Barre.

17. Créer un tampon de 0.50 cm de la couche OMBB (Fixed distance buffer)

18. Faire une jonction spatiale entre la couche tampon et la couche EdificesPerFam



## 19. Corriger l'attribut PerFam par l'opération :

### CASE

WHEN not ("volume">3200 and ("periodTabu" = '03' or "periodTabu" = '04' or "periodTabu" = '05' or "periodTabu" = '06' or "periodTabu" = '07') and "hauteur" > 11)  
THEN concat ("PeriodTabu",',-', "FamillTabu" )

WHEN ("volume">3200 and ("periodTabu" = '03' or "periodTabu" = '04' or "periodTabu" = '05' or "periodTabu" = '06' or "periodTabu" = '07') and "hauteur" > 11) THEN concat ("PeriodTabu",',-', "Barre" )

### END

Les opérations décrites pour de la famille Tabula et de l'attribut barres (**les points du 02 au 17**) pourront être exécutées par le modèle fourni 08 Famille Tabula et Barres (avant exécuter NNJoin sur les bâtiments non rejet).

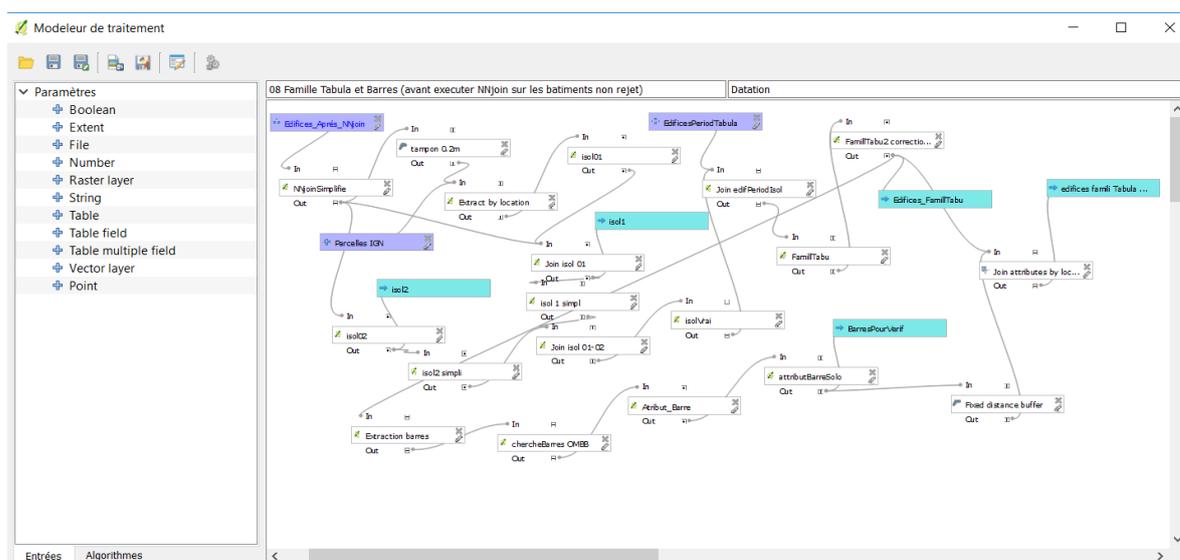


Figure 99. Schéma du modèle 08

Concernant la correction de l'attribut PerFam au point 18, nous avons créé un modèle séparé. Cela, car occasionnellement QGIS présente de soucis lors de l'exécution de la jointure spatiale. Il faudra vérifier le fichier résultat du modèle 08 puis exécuter le point 18.

De plus, l'OMBB d'une barre peut être interprétée comme une tour, des barres en forme de L, par exemple. Avant d'exécuter le modèle 09 ou la procédure 18 il est important de vérifier visuellement sur la carte l'assignation de l'attribut « barre » de manière correcte.

Puis exécuter le modèle 09 PerFam.model

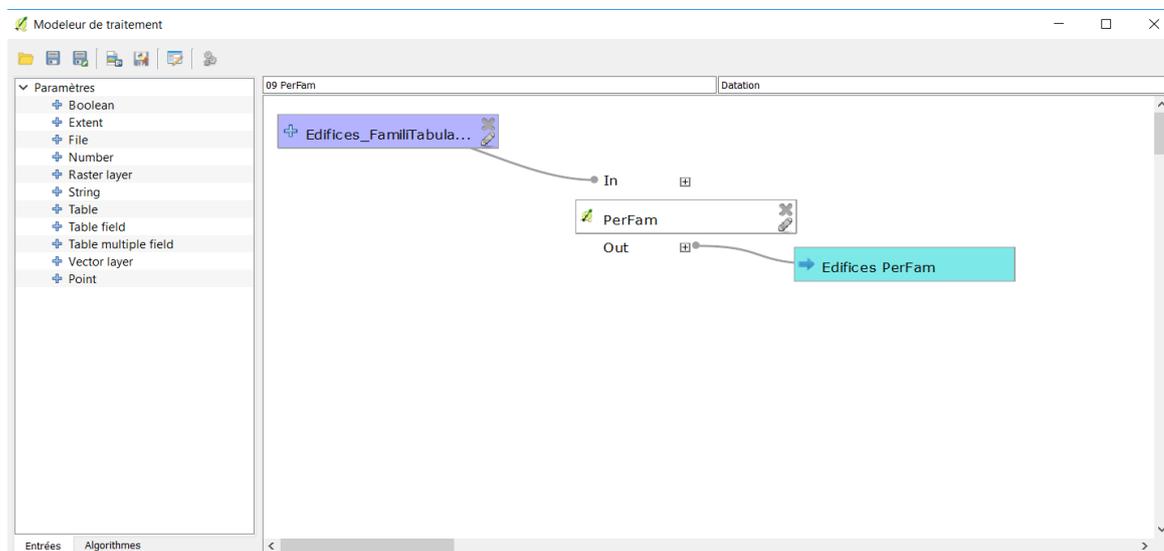


Figure 100. Schéma du modèle 09

#### 4.5. Correction des rejets avec la même hauteur

Cette opération de correction des rejets a été nécessaire lors que nous utilisons la Bd TOPO V2. Avec la Bd TOPO V3 cette opération est inutile.

La procédure consiste à comparer les rejets ayant la même hauteur et résultant sur la même parcelle des édifices et les réaffectant à la typologie du bâtiment principal, cela, car souvent ces rejets sont des parties du bâtiment qui ont été détachées lors de la rédaction de la BD TOPO V2.

Nous livrons le modèle permettant de corriger ce problème : correction des rejets avec H égale aux bâtiments.model

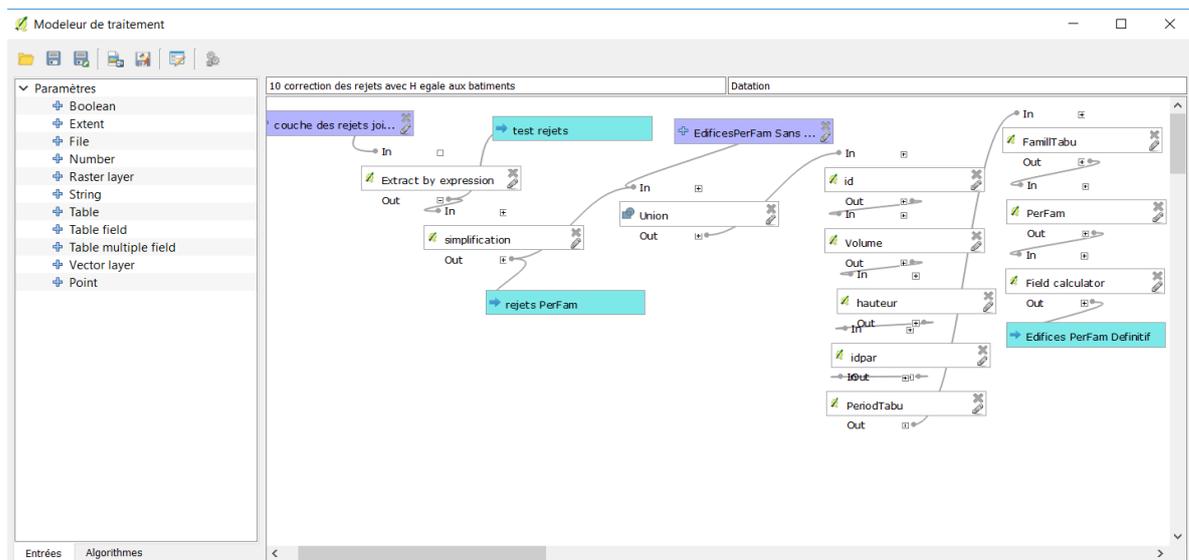


Figure 101. Schéma du modèle 10

#### 4.6. Procédure pour hiérarchiser les façades

Créer l'attribut « Hierarchie » (nombre entier 1 caractère)

Façade principale = 1

Façade secondaire = 2

Façade pignon = 3

Hypothèses de départ: nous considérons que les façades donnant sur rue sont principales et celles donnant sur une TUP voisine sont pignons.

Après l'analyse de terrain nous avons constaté que pour les maisons isolées les plus anciennes les façades qui sont à moins de 1,50 ml d'une TUP voisine (ne faisant pas partie d'une copropriété multi parcellaire) sont des façades pignons, tandis que pour les maisons à partir de 1948 seront pignon les façades à moins de 3,00 ml d'une TUP voisine.

Il faudra par la suite rajouter des types de bâtiments typiques de l'après-guerre, les barres et les tours.

Dans ces cas, si le bâtiment est une tour, ses façades sont toutes principales, si le bâtiment est une barre, les façades principales seront les façades sur l'axe le plus long. Les deux façades plus courtes peuvent être principales et secondaires. Elles sont généralement fermées si la façade est plus petite que 11 ml et ouvertes quand elle mesure plus de 11 ml.

Les petites façades résiduelles sont considérées toujours pignon si elles mesurent moins de 2 ml.

#### 4.7. Procédure pour trouver les façades pignon et sur rue

1. Attribuer aux façades l'IdTup par une jointure avec les édifices (utiliser l'attribut ID et ID\_Edif).
2. Renommer l'attribut IdTup et l'appeler Numero\_Edi

Créer des points à partir des façades à 1.5 ml de distance



3. Sur la table Façades: créer (xOrthoPlus, yOrthoPlus, xOrthoMoins, yOrthoMoins(décimal, 10,10) en utilisant la fonction project qui crée une géométrie ponctuelle :
 

« Returns a point projected from a start point using a distance and bearing (azimuth) in radians. »

xOrthoPlus= x (project(centroid(\$geometry),1.5, radians("Orient" +90)))

yOrthoPlus= y (project(centroid(\$geometry),1.5, radians("Orient" +90)))

xOrthoMoins= x (project(centroid(\$geometry),1.5, radians("Orient" -90)))

yOrthoMoins= y (project(centroid(\$geometry),1.5, radians("Orient" -90)))
4. Créer la couche « pointsPlus » (avec xOrthoPlus et yOrthoPlus ) et la couche « pointsMoins » (avec xOrthoMoins et yOrthoMoins ) avec :
 

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils de création de vecteurs > Couche de points depuis une table
5. Fusionner les 2 tables obtenues en une seule : pointsPlusMoins
6. Ne conserver que les points hors bâti : « pointsFacadesSurRue »
 

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils de sélection de vecteurs > Extraire par localisation > ... (utiliser le prédicat « est disjoint »)
7. Extraire les points dans le bâti : « pointsDansBati »
 

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils de sélection de vecteurs > Extraire par localisation > ... (utiliser le prédicat « intersecte »)
8. l'ID\_EDIF doit être différent de l'ID de l'édifice dans lequel il est (>> les façades mitoyennes!)
 

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils généraux de vecteurs> Joindre les attributs par localisation (utiliser le prédicat « intersecte »)

Puis sélectionner sur la couche de points obtenus tous ceux tels que NOT ("ID\_EDIF" = "ID")
9. Sauver ce résultat dans une table « pointsFacadesSurMitoyen »
10. Unir les couches de points dans une couche PointsFacades 1.5
11. Nettoyer la table PointsFacades1.5 et garder seulement les attributs ID\_Edif , id, Numero\_Edi
12. Créer jointure spatiale entre les points et les TUP (ne pas oublier de choisir l'option « conserver aussi les attributs non correspondants »)
13. Renommer l'attribut IdTup et l'appeler NUMERO

Les points donnant sur rue auront un Nmero\_Edif et un NUMERO = nul. Les points donnant sur la même parcelle auront un Nmero\_Edif et un NUMERO identiques. Les points donnant sur une parcelle voisine auront Nmero\_Edif et un NUMERO différents). Les points auront conservé l'id façade nous pouvons donc les joindre (jointure id) aux façades et nous pourrons facilement caractériser les façades pignon.

Création des points à 3.00 ml de distance des façades

14. Sur la table Façades: créer (xOrthoPlus3, yOrthoPlus3, xOrthoMoins3, yOrthoMoins3(décimal, 10,10) en utilisant la fonction project qui crée une géométrie ponctuelle :
 

« Returns a point projected from a start point using a distance and bearing (azimuth) in radians. »

xOrthoPlus3= x (project(centroid(\$geometry),3, radians("Orient" +90)))

yOrthoPlus3= y (project(centroid(\$geometry),3, radians("Orient" +90)))

xOrthoMoins3= x (project(centroid(\$geometry),3, radians("Orient" -90)))

yOrthoMoins3= y (project(centroid(\$geometry),3, radians("Orient" -90)))



15. Créer la couche « pointsPlus3 » (avec xOrthoPlus et yOrthoPlus ) et la couche « pointsMoins3 » (avec xOrthoMoins et yOrthoMoins ) avec :

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils de création de vecteurs > Couche de points depuis une table

16. Fusionner les 2 tables obtenues en une seule : pointsPlusMoins3  
17. Ne conserver que les points hors bâti : « pointsFacadesSurRue3 »

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils de sélection de vecteurs > Extraire par localisation > ... (utiliser le prédicat « est disjoint »)

18. Extraire les points dans le bâti: « pointsDansBati3 »

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils de sélection de vecteurs > Extraire par localisation > ... (utiliser le prédicat « intersecte »)

19. l'ID\_EDIF doit être différent de l'ID de l'édifice dans lequel il est (>> les façades mitoyennes!)

Traitement > Boites à outils > Geotraitements > Outils généraux de vecteurs > Joindre les attributs par localisation (utiliser le prédicat « intersecte »)

Puis sélectionner sur la couche de points obtenus tous ceux tels que NOT ("ID\_EDIF" = "ID")

20. Sauver ce résultat dans une table « pointsFacadesSurMitoyen3 »  
21. Unir les couches de points dans une couche PointsFacades3  
22. Nettoyer la table PointsFacades3 et garder seulement les attribut ID\_Edif , id, Numero\_Edi  
23. Créer jointure spatiale entre les points et les TUP (ne pas oublier de choisir l'option « conserver aussi les attributs non correspondants »)  
24. Renommer l'attribut IdTup et l'appeler 3M\_NUMERO  
25. joindre aux façades les édifices pour avoir l'attribut : PerFam  
26. joindre aux façades les points à 1.50 et à 3.00 mètres

## Assignment de la hiérarchie

27. Créer l'attribut Hiérarchie (numéro entier)  
28. Mettre à jour l'attribut Hiérarchie par les différentes règles ci-dessous :

CASE

WHEN ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') and ( "NUMERO EDI" is not null and "NUMERO" is null) THEN 1

WHEN ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') and ( "NUMERO EDI" = "NUMERO" and \$length > 2) THEN 2

WHEN ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') and ( "NUMERO EDI" is not "NUMERO" and "NUMERO" is not null ) THEN 3

WHEN ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') and ( \$length < 2 ) THEN 3

END

29. Ensuite :

CASE

WHEN ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like '01%') and ( "NUMERO EDI" is not null and "3M\_NUMERO" is null ) THEN 1

WHEN ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like '01%') and ( "NUMERO EDI" = "3M\_NUMERO" and \$length > 2) THEN 2

WHEN ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like '01%') and ( "NUMERO EDI" is not "3M\_NUMERO" and "3M\_NUMERO" is not null ) THEN 3

WHEN ("PerFam" not like '02%' or not "PerFam" like '01%') and (\$length < 2 ) THEN 3



WHEN "PerFam" is null THEN 3

END

30. Puis :

CASE

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') )  
and ( "NUMERO EDI" is not null and "3M\_NUMERO" is null) THEN 1

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') )  
and ( "NUMERO EDI" = "NUMERO" and \$length > 2) THEN 1

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') )  
and ( "NUMERO EDI" is not "NUMERO" and "NUMERO" is not null ) THEN 3

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%') )  
and ( \$length < 2) THEN 3

When ("PerFam" not like '%-SFH' and ("PerFam" like '02%' or "PerFam" like '01%')  
) THEN "hierarchie"

else "Hierarchie"

END

31. Ensuite :

CASE

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like  
'01%') ) and ( "NUMERO EDI" is not null and "3M\_NUMERO" is null) THEN 1

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like  
'01%') ) and ( "NUMERO EDI" = "3M\_NUMERO" and \$length > 2) THEN 1

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like  
'01%') ) and ( "NUMERO EDI" is not "3M\_NUMERO" and "3M\_NUMERO" is not  
null) THEN 3

WHEN ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like  
'01%')) and ( \$length < 2) THEN 3

When not ("PerFam" like '%-SFH' and ("PerFam" not like '02%' or "PerFam" not like  
'01%') ) THEN "hierarchie"

else "Hierarchie"

END

## **Reconnaissance des pignons dans les barres**

32. Sélectionner les barres et les tours
33. Enregistrer la sélection sur un fichier temporaire
34. Transformer polygones en lignes avec le plug-in mmQGIS modify >> convert geomety
35. Simplification de la géométrie des bâtiments à l'aide de l'outil "simplifier la géométrie" avec une tolérance de 1. Pour obtenir des polygones.
36. exploser ses polygones en lignes avec l'outil "exploser des lignes".

Normalement avec cette procédure on réduit le nombre de petites lignes pouvant être identifiées comme façade pignon.

37. Créer l'attribut "longueur" calculé (décimal 10,10)
38. Dans cette nouvelle couche, créer un champ "hierar" et le mettre à jour en appliquant les conditions suivantes (considérant que la largeur d'un pignon aveugle est de 11 m) :

CASE



WHEN "longueur" <11 then 3

WHEN "longueur" >11 then 1

ELSE 0

END

39. Créer un buffer pour ces façades hiérarchisées assez large.

40. Avec la procédure "joindre attributs par localisation" joindre l'attribut "hier" aux façades.

41. Dans façades mettre à jour le champ "Hiérarchie"

CASE

WHEN (("PerFam" like '%-B' or "PerFam" like '%-T' ) and "hierar" is not null and "Hierarchie" <> 3) then "hierar"

WHEN ( "PerFam" like '%-B' or "PerFam" like '%-T' ) and "hierar" is null then 3  
else "Hierarchie"

END

42. Après application de cette procédure, corriger à la main les façades des édifices extrêmement fragmentées.

Les opérations décrites dans les 42 points précédents peuvent entièrement être réalisées grâce aux modèles suivants : 01 Points Façades 1.5.model

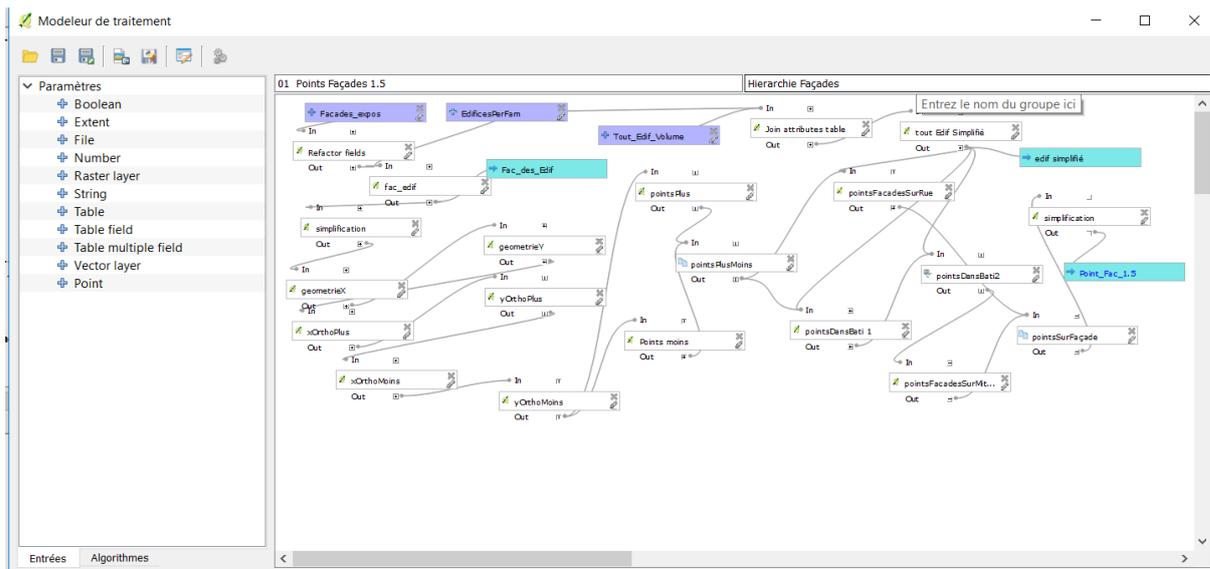


Figure 102. Schéma du modèle 01

02 Points Façades 3.model



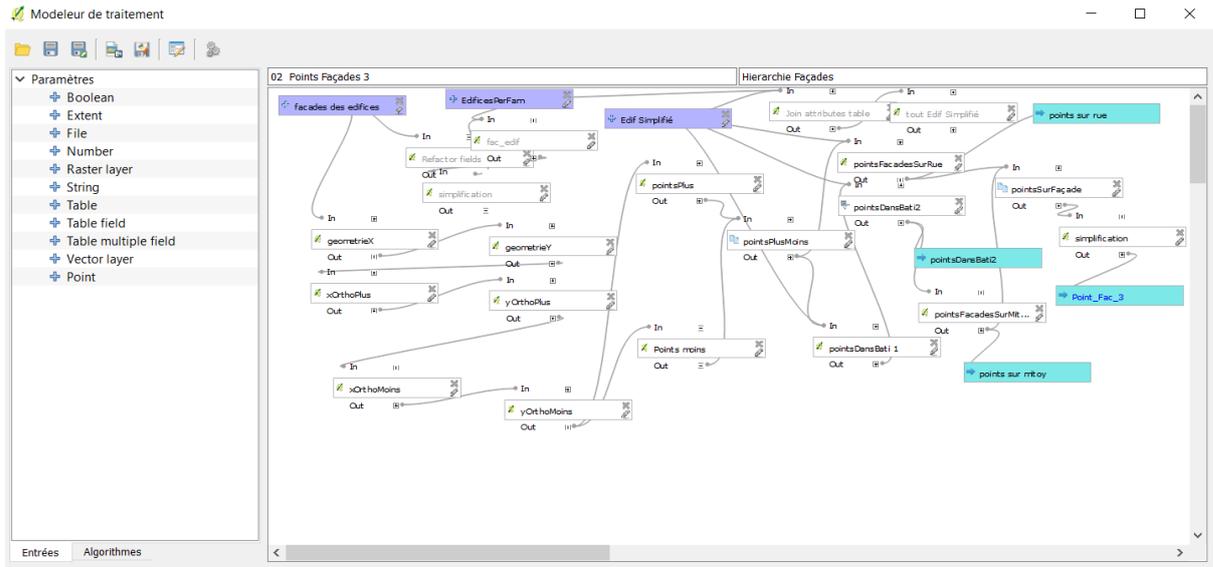


Figure 103. Schéma du modèle 02

### 03 jonction points 1.5 et 3 aux TUP IdTup.model

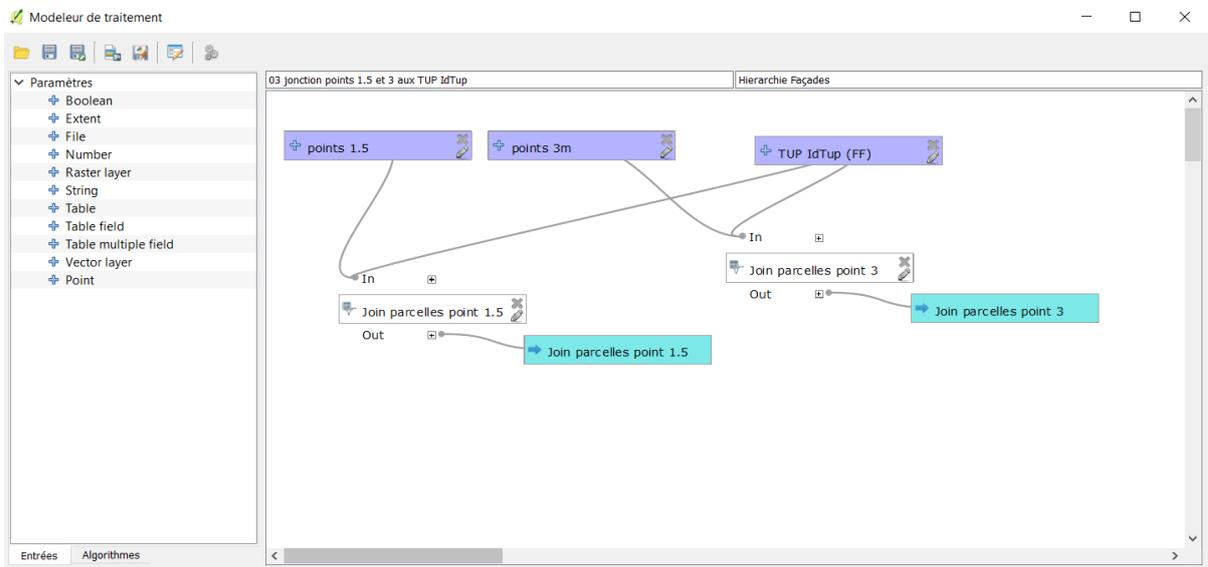


Figure 104. Schéma du modèle 03

### 04 Hiérarchisation Façades.model



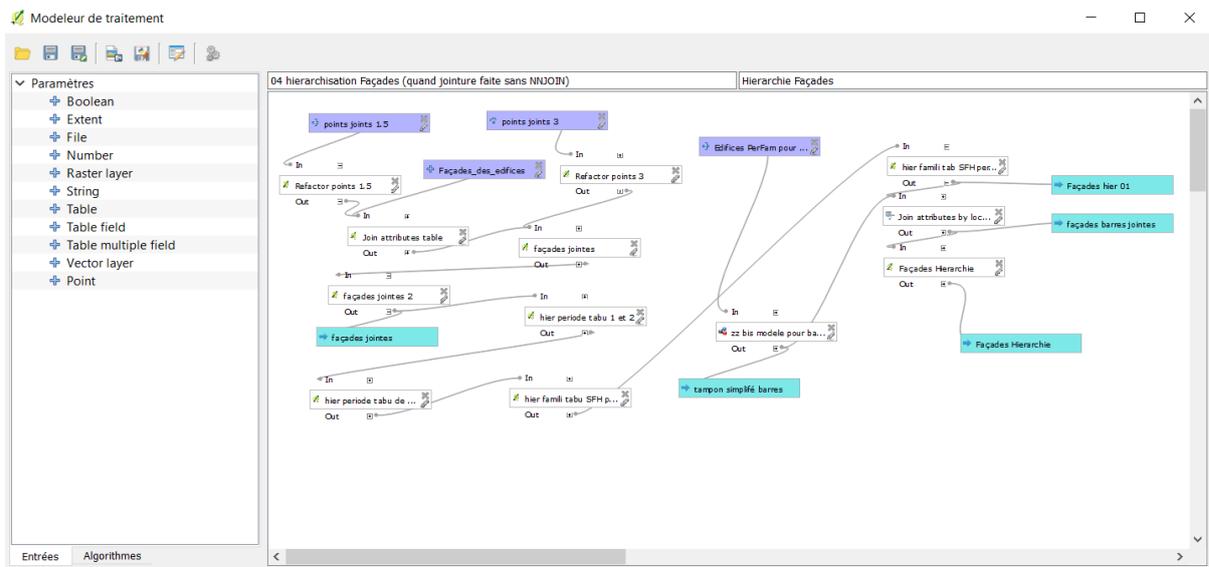


Figure 105. Schéma du modèle 04

Les modèles devront être appliqués l'un après l'autre.

#### 4.8. Transferts des objets créés et de leurs caractéristiques

1. Tout d'abord, générer les tables Couvertures et PlancherBas par copie de la table des Edifices en ne conservant que la géométrie, l'attribut PerFam et l'attribut ID, qui sera renommé ID\_EDIF,
2. Créer un attribut calculé id

@row\_number

Une fois les opérations précédentes réalisées, il s'agit de transférer les attributs nécessaires à la réalisation du bilan.

3. Réaliser une relation entre les édifices et les façades, PlancherBas et Couvertures à travers les attributs ID et ID\_Edif

Les édifices, ainsi que les autres composants pourront être joints à la table Typologie TABULA à travers l'attribut PerFam. Cela permettra d'importer les attributs nécessaires au calcul du bilan.

Lors de la jointure, donner aux caractéristiques Tabula le prédicat Typ\_

#### Calcul nombre de niveaux et surfaces affectées

Le calcul du nombre des niveaux estimés est nécessaire pour pouvoir estimer une surface de plancher et un volume chauffé.

1. Créer un attribut calculé NNivCalc

```

CASE WHEN "PeriodTabu" ='01' or "PeriodTabu" ='02' then (case
  WHEN "HAUTEUR"< 1 THEN 0
  WHEN "HAUTEUR" > 1 and "HAUTEUR"<= 4.95 THEN 1
  WHEN "HAUTEUR" > 4.95 and "HAUTEUR" <= 8.25 THEN 2
  WHEN "HAUTEUR" > 8.25 and "HAUTEUR" <= 11.55 THEN 3
  WHEN "HAUTEUR" >11.55 and "HAUTEUR" <= 14.85 THEN 4
  WHEN "HAUTEUR" > 14.85 and "HAUTEUR" <= 18.15 THEN 5
  WHEN "HAUTEUR" > 18.15 and "HAUTEUR" <= 21.45 THEN 6
  WHEN "HAUTEUR" > 21.45 and "HAUTEUR" <= 24.75 THEN 7
  WHEN "HAUTEUR" > 24.75 and "HAUTEUR" <= 28.05 THEN 8
  WHEN "HAUTEUR" > 28.05 and "HAUTEUR" <= 31.35 THEN 9

```



WHEN "HAUTEUR" > 31.35 and "HAUTEUR" <= 34.65 THEN 10  
 WHEN "HAUTEUR" > 34.65 and "HAUTEUR" <= 37.95 THEN 11  
 WHEN "HAUTEUR" > 37.95 and "HAUTEUR" <= 41.25 THEN 12  
 WHEN "HAUTEUR" > 41.25 and "HAUTEUR" <= 44.55 THEN 13  
 WHEN "HAUTEUR" > 44.55 and "HAUTEUR" <= 47.85 THEN 14  
 WHEN "HAUTEUR" > 47.85 and "HAUTEUR" <= 51.15 THEN 15  
 WHEN "HAUTEUR" > 51.15 and "HAUTEUR" <= 54.45 THEN 16  
 WHEN "HAUTEUR" > 54.45 and "HAUTEUR" <= 57.75 THEN 17  
 WHEN "HAUTEUR" > 57.75 and "HAUTEUR" <= 61.05 THEN 18  
 WHEN "HAUTEUR" > 61.05 and "HAUTEUR" <= 64.35 THEN 19  
 WHEN "HAUTEUR" > 64.35 and "HAUTEUR" <= 67.65 THEN 20  
 WHEN "HAUTEUR" > 67.65 and "HAUTEUR" <= 70.95 THEN 21  
 WHEN "HAUTEUR" > 70.95 and "HAUTEUR" <= 74.25 THEN 22  
 WHEN "HAUTEUR" > 74.25 and "HAUTEUR" <= 77.55 THEN 23  
 WHEN "HAUTEUR" > 77.55 and "HAUTEUR" <= 80.85 THEN 24  
 WHEN "HAUTEUR" > 80.85 and "HAUTEUR" <= 84.15 THEN 25  
 WHEN "HAUTEUR" > 84.15 and "HAUTEUR" <= 87.45 THEN 26  
 WHEN "HAUTEUR" > 87.45 and "HAUTEUR" <= 90.75 THEN 27  
 WHEN "HAUTEUR" > 90.75 and "HAUTEUR" <= 100.65 THEN 28  
 WHEN "HAUTEUR" > 100.65 and "HAUTEUR" <= 103.95 THEN 29  
 WHEN "HAUTEUR" > 103.95 and "HAUTEUR" <= 107.25 THEN 30

END)

WHEN "PeriodTabu" <>'01' or "PeriodTabu" <> '02' then

( case WHEN "HAUTEUR"< 1 THEN 0

WHEN "HAUTEUR" > 1 and "HAUTEUR"<= 4.2 THEN 1

WHEN "HAUTEUR" > 4.2 and "HAUTEUR" <= 7 THEN 2

WHEN "HAUTEUR" >7 and "HAUTEUR" <= 9.8 THEN 3

WHEN "HAUTEUR" >9.8 and "HAUTEUR" <= 12.6 THEN 4

WHEN "HAUTEUR" > 12.6 and "HAUTEUR" <= 15.4 THEN 5

WHEN "HAUTEUR" > 15.4 and "HAUTEUR" <= 18.2 THEN 6

WHEN "HAUTEUR" > 18.2 and "HAUTEUR" <= 21 THEN 7

WHEN "HAUTEUR" > 21 and "HAUTEUR" <= 23.8 THEN 8

WHEN "HAUTEUR" > 23.8 and "HAUTEUR" <= 26.6 THEN 9

WHEN "HAUTEUR" > 26.6 and "HAUTEUR" <= 29.4 THEN 10

WHEN "HAUTEUR" > 29.5 and "HAUTEUR" <= 32.2 THEN 11

WHEN "HAUTEUR" > 32.2 and "HAUTEUR" <= 35 THEN 12

WHEN "HAUTEUR" > 35 and "HAUTEUR" <= 37.8 THEN 13

WHEN "HAUTEUR" > 37.8 and "HAUTEUR" <= 40.6 THEN 14

WHEN "HAUTEUR" > 40.6 and "HAUTEUR" <= 43.4 THEN 15

WHEN "HAUTEUR" > 43.4 and "HAUTEUR" <= 46.2 THEN 16

WHEN "HAUTEUR" > 46.2 and "HAUTEUR" <= 49 THEN 17



```

WHEN "HAUTEUR" > 49 and "HAUTEUR" <= 51.8 THEN 18
WHEN "HAUTEUR" > 51.8 and "HAUTEUR" <= 54.6 THEN 19
WHEN "HAUTEUR" > 54.6 and "HAUTEUR" <= 57.4 THEN 20
WHEN "HAUTEUR" > 57.4 and "HAUTEUR" <= 60.2 THEN 21
WHEN "HAUTEUR" > 60.2 and "HAUTEUR" <= 63 THEN 22
WHEN "HAUTEUR" > 63 and "HAUTEUR" <= 65.8 THEN 23
WHEN "HAUTEUR" > 65.8 and "HAUTEUR" <= 68.6 THEN 24
WHEN "HAUTEUR" > 68.6 and "HAUTEUR" <= 71.4 THEN 25
WHEN "HAUTEUR" > 71.4 and "HAUTEUR" <= 74.2 THEN 26
WHEN "HAUTEUR" > 74.2 and "HAUTEUR" <= 77 THEN 27
WHEN "HAUTEUR" > 77 and "HAUTEUR" <= 79.8 THEN 28
WHEN "HAUTEUR" > 79.8 and "HAUTEUR" <= 82.6 THEN 29
WHEN "HAUTEUR" > 82.6 and "HAUTEUR" <= 85.4 THEN 30
END)
Else 0
end

```

2. Créer un attribut calculé HNewTypo :

```
("NNivCalc"*"Typ_HEtage")
```

3. Créer un attribut calculé SurfCalc

```
("NNivCalc"*$area)
```



## 5. Calcul des bilans des édifices

### 5.1. Calcul des apports solaires thermiques

Le calcul de l'ensoleillement devra être réalisé à l'extérieur de l'outil SIG QGIS. La prise en compte des masques et de l'ensoleillement réel à travers les fichiers météo, à ce jour n'est pas possible sur QGIS.

Nous utiliserons donc l'outil Sketchup pour gérer les façades en 3D, le plug-in T4SU pour évaluer la fraction solaire reçue et le logiciel Meteonorm pour obtenir les apports solaires réels par orientation.

1. Exporter une zone d'étude assez large pour prendre en compte les masques environnants même si on ne traitera au final que la zone d'étude considérée.
2. Sur la zone sélectionnée, enregistrer le fichier au format CSV en spécifiant les options de la couche suivants en ne gardant que « ID\_EDIF » et « hauteur » :

CREATE\_CSVT: NO  
GEOMETRY: AS\_WKT  
LINEFORMAT: Default  
SEPARATOR: SEMICOLON  
WRITE\_BOM: NO

3. Une fois enregistré, ouvrir le fichier avec un éditeur de texte et remplacer la première ligne afin qu'il puisse lisible par Sketchup :

WKT;id:elevation par # the\_geom:Polygon; id:int; elevation:float  
(Supprimer la lettre Z)

4. Puis enregistrer le fichier .TXT et ouvrir Sketchup, puis importer le fichier précédent. Origine bâtiment dans option d'importation
5. Extruder le fichier en fonction de l'élévation (hauteur bâtiment importée)

T4SU → Edit PrintFootExtruder

6. Traiter les intersections entre les faces des édifices
7. Exploder les faces
8. Choisir les faces verticales (murs) dans un nouveau calque sur lesquelles les calculs vont être effectués avec la fonction

### 5.2. Évaluer le SVF (facteur de vue du ciel)

9. Exécuter un Misc → « BatchProcessing » calcul du SVF, choisir un modèle de ciel (256 faces, car les calculs sont assez longs) en spécifiant une hauteur de 0 au lieu de 1,6 m proposée par défaut. Il s'agit ainsi de calculer le SVF au centre de chaque façade (mur).
10. Générer les courses solaires pour la période de chauffe (01/11 au 31/03). Le faire en deux fois, car On ne peut le faire pour toute la période. Il faut générer une première série de 01/11 au 31/12 ensuite une seconde 01/01 au 31/03.
11. Calculer le SunWiewFactor pour les murs une première fois en spécifiant la période de 01/11 au 31/12. Le calcul dure un certain temps (exemple pour l'iris Tubaneau = entre 1h et 1h30)
12. Enregistrer le résultat en cliquant sur :

t4su > New I/O > CsvWktWriter

13. Spécifier qu'il s'agit des murs et spécifier que le fichier est à enregistrer avec les coordonnées d'origine avec la possibilité de concaténer le « svf » avec « les flux solaires » correspondant à la période 01/11 au 31/12.



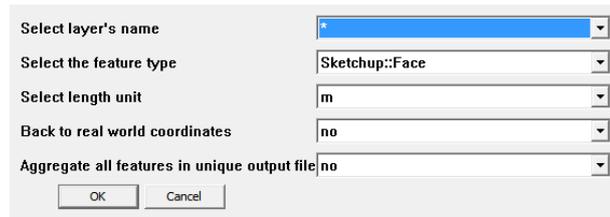


Figure 106. Détails des options à insérer

14. Ouvrir le fichier avec un éditeur de texte et modifier la première ligne :  
#the\_geom:GEOMETRY par WKT et supprimer l'argument « float »
15. Faire de même pour la seconde période 01/11 au 31/12.
16. Ouvrir ce dernier fichier avec Excel. Rajouter une colonne vide.
17. additionner les deux flux calculer et diviser le résultat par 1000 pour avoir de kWh
18. Ouvrir le fichier sur QGIS ensuite l'enregistrer au format shape (SHP)
19. utiliser MMQGIS pour transformer la géométrie en polygones  
« Modify » → « Convert Geometry Type »
20. Exploder la nouvelle géométrie en lignes avec l'outil « Exploder des lignes »
21. Utiliser NNJOIN en attribuant aux façades l'attribut « svf » et « flux total » précédemment calculé.

### 5.3. Évaluation du flux direct

22. Dans ce dernier fichier des façades créer un attribut « Direct\_met » et lui attribuer la valeur 0.

Les flux directs renseignés ici sont ceux qui sont issus du fichier météo (météonorm) pour une paroi verticale incrémentée avec une orientation qui correspond à chaque 15°. Ces flux sont en kWh. Les valeurs ci-dessous sont valables pour la ville de Marseille.

23. Attribuer ces flux en fonction de l'exposition de chaque façade avec la procédure suivante :

#### CASE

WHEN ("Expos" >= 149 and "Expos" <=180)

THEN ( "Direct\_met" +358)

WHEN ("Expos" >= 119 and "Expos" <=150)

THEN ( "Direct\_met" +269)

WHEN ("Expos" >= 89 and "Expos" <= 120)

THEN ( "Direct\_met" +164)

WHEN ("Expos" >= 59 and "Expos" <= 90)

THEN ( "Direct\_met" +72)

WHEN ("Expos" >= 29 and "Expos" <= 60)

THEN ( "Direct\_met" +15)

WHEN ("Expos" >=1 and "Expos" <=30)

THEN ( "Direct\_met" +0)

WHEN ("Expos" >= 180 and "Expos" <=209)

THEN ( "Direct\_met" +366)

WHEN ("Expos" >= 210 and "Expos" <=239)

THEN ( "Direct\_met" +289)

WHEN ("Expos" >= 240 and "Expos" <= 269)

THEN ( "Direct\_met" +186)



```

WHEN ("Expos" >=270 and "Expos" <=299)
THEN ( "Direct_met" +84)
WHEN ("Expos" >= 300 and "Expos" <= 329)
THEN ( "Direct_met" +18)
WHEN ("Expos" >=330 and "Expos" <=360)
THEN ( "Direct_met" +0)
ELSE 999
END

```

24. Dans le dernier fichier des façades créer un attribut « Dir\_faces » et leur attribuer les flux calculés

Les flux directs renseignés ici sont ceux qui sont issus d'une géométrie fictive avec plusieurs faces verticales incrémentées de 15° sans aucun masque avec la même procédure de calcul T4SU. Ces flux sont en kWh.

```

CASE
WHEN ("Expos" >= 149 and "Expos" <=180)
THEN ( "Dir_faces" +577)
WHEN ("Expos" >= 119 and "Expos" <=150)
THEN ( "Dir_faces" +345)
WHEN ("Expos" >= 89 and "Expos" <= 120)
THEN ( "Dir_faces" +270)
WHEN ("Expos" >= 59 and "Expos" <= 90)
THEN ( "Dir_faces" +117)
WHEN ("Expos" >= 29 and "Expos" <= 60)
THEN ( "Dir_faces" +0)
WHEN ("Expos" >=1 and "Expos" <=30)
THEN ( "Dir_faces" +0)
WHEN ("Expos" >= 180 and "Expos" <=209)
THEN ( "Dir_faces" +577)
WHEN ("Expos" >= 210 and "Expos" <=239)
THEN ( "Dir_faces" +345)
WHEN ("Expos" >= 240 and "Expos" <= 269)
THEN ( "Dir_faces" +270)
WHEN ("Expos" >=270 and "Expos" <=299)
THEN ( "Dir_faces" +117)
WHEN ("Expos" >= 300 and "Expos" <= 329)
THEN ( "Dir_faces" +0)
WHEN ("Expos" >=330 and "Expos" <=360)
THEN ( "Dir_faces" +0)
ELSE 999
END

```

25. Le calcul peut être plus précis avec incrémentation de 15° au lieu de 30°



## CASE

WHEN ("Expos" >= 164 and "Expos" <=180)  
THEN ( "Dir\_faces" +590)

WHEN ("Expos" >= 149 and "Expos" <=165)  
THEN ( "Dir\_faces" +550)

WHEN ("Expos" >= 134 and "Expos" <= 150)  
THEN ( "Dir\_faces" +480)

WHEN ("Expos" >= 119 and "Expos" <= 135)  
THEN ( "Dir\_faces" +396)

WHEN ("Expos" >= 104 and "Expos" <= 120)  
THEN ( "Dir\_faces" +308)

WHEN ("Expos" >= 89 and "Expos" <= 105)  
THEN ( "Dir\_faces" +223)

WHEN ("Expos" >= 74 and "Expos" <= 90)  
THEN ( "Dir\_faces" +146)

WHEN ("Expos" >= 59 and "Expos" <= 75)  
THEN ( "Dir\_faces" +82)

WHEN ("Expos" >= 44 and "Expos" <= 60)  
THEN ( "Dir\_faces" +36)

WHEN ("Expos" >= 29 and "Expos" <= 45)  
THEN ( "Dir\_faces" +11)

WHEN ("Expos" >= 14 and "Expos" <= 30)  
THEN ( "Dir\_faces" +2)

WHEN ("Expos" >= 0 and "Expos" <= 15)  
THEN ( "Dir\_faces" +0)

WHEN ("Expos" >= -180 and "Expos" <=-164)  
THEN ( "Dir\_faces" +590)

WHEN ("Expos" >= -165 and "Expos" <=-149)  
THEN ( "Dir\_faces" +550)

WHEN ("Expos" >= -150 and "Expos" <= -134)  
THEN ( "Dir\_faces" +480)

WHEN ("Expos" >= -135 and "Expos" <= -119)  
THEN ( "Dir\_faces" +396)

WHEN ("Expos" >= -120 and "Expos" <= -104)  
THEN ( "Dir\_faces" +308)

WHEN ("Expos" >= -105 and "Expos" <= -89)  
THEN ( "Dir\_faces" +223)

WHEN ("Expos" >= - 90 and "Expos" <= -74)  
THEN ( "Dir\_faces" +146)

WHEN ("Expos" >= -75 and "Expos" <= -59)  
THEN ( "Dir\_faces" +82)



WHEN ("Expos" >= -60 and "Expos" <= -44)  
THEN ( "Dir\_faces" +36)  
WHEN ("Expos" >= -45 and "Expos" <= -29)  
THEN ( "Dir\_faces" +11)  
WHEN ("Expos" >= -30 and "Expos" <= -14)  
THEN ( "Dir\_faces" +2)  
WHEN ("Expos" >= -15 and "Expos" <= 0)  
THEN ( "Dir\_faces" +0)  
ELSE 999  
END

CASE

WHEN ("Expos" >= 164 and "Expos" <=180)  
THEN ( "Dir\_faces" +590)  
WHEN ("Expos" >= 149 and "Expos" <=165)  
THEN ( "Dir\_faces" +550)  
WHEN ("Expos" >= 134 and "Expos" <= 150)  
THEN ( "Dir\_faces" +480)  
WHEN ("Expos" >= 119 and "Expos" <= 135)  
THEN ( "Dir\_faces" +396)  
WHEN ("Expos" >= 104 and "Expos" <= 120)  
THEN ( "Dir\_faces" +308)  
WHEN ("Expos" >= 89 and "Expos" <= 105)  
THEN ( "Dir\_faces" +223)  
WHEN ("Expos" >= 74 and "Expos" <= 90)  
THEN ( "Dir\_faces" +146)  
WHEN ("Expos" >= 59 and "Expos" <= 75)  
THEN ( "Dir\_faces" +82)  
WHEN ("Expos" >= 44 and "Expos" <= 60)  
THEN ( "Dir\_faces" +36)  
WHEN ("Expos" >= 29 and "Expos" <= 45)  
THEN ( "Dir\_faces" +11)  
WHEN ("Expos" >= 14 and "Expos" <= 30)  
THEN ( "Dir\_faces" +2)  
WHEN ("Expos" >= 0 and "Expos" <= 15)  
THEN ( "Dir\_faces" +0)  
WHEN ("Expos" >= 180 and "Expos" <=194)  
THEN ( "Dir\_faces" +590)  
WHEN ("Expos" >= 195 and "Expos" <=209)  
THEN ( "Dir\_faces" +550)  
WHEN ("Expos" >= -210 and "Expos" <= 224)



```

THEN ( "Dir_faces" +480)
WHEN ("Expos" >= 225 and "Expos" <= 239)
THEN ( "Dir_faces" +396)
WHEN ("Expos" >= 240 and "Expos" <= 254)
THEN ( "Dir_faces" +308)
WHEN ("Expos" >= 255 and "Expos" <= 269)
THEN ( "Dir_faces" +223)
WHEN ("Expos" >= 270 and "Expos" <= 284)
THEN ( "Dir_faces" +146)
WHEN ("Expos" >= 285 and "Expos" <= 299)
THEN ( "Dir_faces" +82)
WHEN ("Expos" >= 300 and "Expos" <= 314)
THEN ( "Dir_faces" +36)
WHEN ("Expos" >= 315 and "Expos" <= 329)
THEN ( "Dir_faces" +11)
WHEN ("Expos" >= 330 and "Expos" <= 344)
THEN ( "Dir_faces" +2)
WHEN ("Expos" >= 345 and "Expos" <= 360)
THEN ( "Dir_faces" +0)
ELSE 999
END

```

#### 5.4. Calcul de la fraction d'ensoleillement

26. Dans le dernier fichier des façades, créer un attribut « farc\_esol ».

Celui sera le résultat de la division entre le flux total des façades et le direct des faces sans masque (de la géométrie fictive) :

```
"flux_dir" / "Dir_faces"
```

Pour ajuster le flux total calculé pour chaque façade en fonction des flux directs issus des fichiers météo il faut à présent créer un nouvel attribut que l'on nommera Direct\_final (attribut calculé).

```
"Direct_met" * "farc_esol"
```

#### 5.5. Évaluation du flux diffus

27. Dans le dernier fichier des façades, créer un attribut « diffu\_met » et leur attribuer la valeur des flux estimés par Météonorm

Directs renseignés ici sont ceux qui sont issus du fichier météo (Météonorm) pour une paroi verticale incrémentée avec une orientation qui correspond à chaque 15°. Ces flux sont en kWh.

28. Attribuer ces flux en fonction de l'exposition de chaque façade avec la procédure suivante :

```

CASE
WHEN ("Expos" >= 149 and "Expos" <=180)
THEN ( "diffu_met" +176)
WHEN ("Expos" >= 119 and "Expos" <=150)
THEN ( "diffu_met" +159)
WHEN ("Expos" >= 89 and "Expos" <= 120)

```



```

THEN ("diffu_met" +138)
WHEN ("Expos" >= 59 and "Expos" <= 90)
THEN ("diffu_met" +119)
WHEN ("Expos" >= 29 and "Expos" <= 60)
THEN ("diffu_met" +106)
WHEN ("Expos" >=1 and "Expos" <=30)
THEN ("diffu_met" +103)
WHEN ("Expos" >= 180 and "Expos" <=209)
THEN ("diffu_met" +178)
WHEN ("Expos" >= 210 and "Expos" <=239)
THEN ("diffu_met" +164)
WHEN ("Expos" >= 240 and "Expos" <= 269)
THEN ("diffu_met" +142)
WHEN ("Expos" >= 270 and "Expos" <=299)
THEN ("diffu_met" +121)
WHEN ("Expos" >= 300 and "Expos" <= 329)
THEN ("diffu_met" +103)
WHEN ("Expos" >=330 and "Expos" <=360)
THEN ("diffu_met" +103)
ELSE 999
END

```

29. Remplacement des valeurs nulles

```

CASE
WHEN "frac_ensol" is null then 0
ELSE "frac_ensol"
END

```

30. Pour ajuster le flux diffus météo « diffu\_met » de chaque façade en fonction du « svf » il faut à présent créer un nouvel attribut que l'on nommera « diffu\_final » (attribut calculé)

```
"diffu_met"*"svf"
```

31. Au final, créer un argument ray\_final qui sera la somme de « Direct\_final » et de « diffu\_final »

```
"diffu_final"*"Direct_final"
```

## 5.6. Calcul des apports solaires thermiques à travers les fenêtres

Les apports thermiques sont ceux qui traversent réellement les menuiseries et contribuent au chauffage de l'habitation. Les apports seront calculés sur la base des m<sup>2</sup> de surfaces vitrées, déduction faite des embrasures des murs et du facteur solaire des fenêtres.

1. En premier lieu, faire une jointure spatiale entre les façades de la zone d'étude et les façades avec l'attribut Ray\_Final
2. Puis calculer les apports thermiques attribut calculés Apports :



case

when ("Expo" > 345) or ("Expo" < 15) or ("Expo" = 15) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur0" )

when ("Expo" > 15) and ("Expo" < 45) or ("Expo" = 45) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur30" )

when ("Expo" > 45) and ("Expo" < 75) or ("Expo" = 75) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur60" )

when ("Expo" > 75) and ("Expo" < 105) or ("Expo" = 105) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur90" )

when ("Expo" > 105) and ("Expo" < 135) or ("Expo" = 135) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur120" )

when ("Expo" > 135) and ("Expo" < 165) or ("Expo" = 165) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur150" )

when ("Expo" > 165) and ("Expo" < 195) or ("Expo" = 195) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur180" )

when ("Expo" > 195) and ("Expo" < 225) or ("Expo" = 225) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur210" )

when ("Expo" > 225) and ("Expo" < 255) or ("Expo" = 255) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur240" )

when ("Expo" > 255) and ("Expo" < 285) or ("Expo" = 285) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur270" )

when ("Expo" > 285) and ("Expo" < 315) or ("Expo" = 315) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur300" )

when ("Expo" > 315) and ("Expo" < 345) or ("Expo" = 345) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "Typ\_Fsolai" \* "FactMur330" )

else 0

end

32. De la même manière nous pouvons calculer les apports solaires qui traversent les menuiseries rénovées, dans ce cas le facteur solaire a été fixé à 0.45 attribut calculé ApportsRen :

case

when ("Expo" > 345) or ("Expo" < 15) or ("Expo" = 15) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur0" )

when ("Expo" > 15) and ("Expo" < 45) or ("Expo" = 45) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur30" )

when ("Expo" > 45) and ("Expo" < 75) or ("Expo" = 75) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur60" )

when ("Expo" > 75) and ("Expo" < 105) or ("Expo" = 105) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur90" )

when ("Expo" > 105) and ("Expo" < 135) or ("Expo" = 135) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur120" )

when ("Expo" > 135) and ("Expo" < 165) or ("Expo" = 165) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur150" )

when ("Expo" > 165) and ("Expo" < 195) or ("Expo" = 195) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur180" )

when ("Expo" > 195) and ("Expo" < 225) or ("Expo" = 225) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur210" )

when ("Expo" > 225) and ("Expo" < 255) or ("Expo" = 255) then ( "Ray\_Final" \* "SurfBaies" \* "0.45" \* "FactMur240" )



```

when ("Expo" > 255) and ("Expo" < 285) or ("Expo" = 285) then ( "Ray_Final" *
"SurfBaies" * "0.45" * "FactMur270" )
when ("Expo" > 285) and ("Expo" < 315) or ("Expo" = 315) then ( "Ray_Final" *
"SurfBaies" * "0.45" * "FactMur300" )
when ("Expo" > 315) and ("Expo" < 345) or ("Expo" = 345) then ( "Ray_Final" *
"SurfBaies" * "0.45" * "FactMur330" )
else 0
end

```

## 5.7. Calcul des apports internes

Pour calculer les apports internes nous nous sommes référés à la méthode 3CL, qui propose une équation pour estimer de manière simplifiée et approximative ces apports :

$$A_i = 4,17 \times S_h \times N_{ref}$$

Avec :

4,17 : représente les apports internes dissipés dans le logement en W/m<sup>2</sup>. Cette valeur correspond à une énergie dissipée égale à 100 Wh/ (jour.m<sup>2</sup> Shab) et est une valeur conventionnelle représentative du comportement et de l'équipement moyens des occupants des logements en France.

S<sub>h</sub> : surface habitable du logement (m<sup>2</sup>)

N<sub>ref</sub> : correspond aux nombres d'heures de la période de chauffage. Cette valeur varie selon l'emplacement de du logement étudié. Elle est donnée par le tableau présenté en [annexe N°].

Dans le cadre de notre travail de recherche nous allons estimer les déperditions de l'enveloppe et les déperditions par renouvellement d'air au fil externe de la façade. De la même manière nous allons évaluer les apports internes au fil de la façade externe du bâtiment.

1. Calcul de la surface S<sub>h</sub> (attribut calculé SurfCalc)

$$(\$area * "NNivCalc")$$

2. Calcul des apports internes A<sub>i</sub> (attribut calculé ApportInt)

$$("SurfCalc" * 4.17 * (N_{ref} \text{ nombres d'heures de chauffage}) * "ratioApptInt") / 1000$$

L'attribut ratio apports internes (ratioApptInt) est un attribut calculé à partir de la différence, par famille de bâtiments, entre les surfaces calculées et les surfaces déclarées comme habitables dans les fichiers fonciers. Cela a été appliqué pour ne pas surestimer les apports internes.

## 5.8. Calcul des déperditions

Une fois assignées les caractéristiques on peut calculer les déperditions :

Les déperditions des façades

1. Calcul des surfaces baies : SurfBaies, attribut calculé :

CASE

WHEN "Hierarchie" =1 THEN (( "Typ\_PosFenP" \* "SurfEchang" ) /100)

WHEN "Hierarchie" =2 THEN (( "Typ\_PosFenSec" \* "SurfEchang" ) /100)

ELSE 0

END

2. Puis calculer les surfaces opaques OPac, attribut calculé :

$$"SurfEchang" - "SurfBaies"$$

3. Le calcul des déperditions par les façades et les ponts thermiques des façades grâce aux DJU (degrés jours unifiés) du climat local ; dans la couche des façades, attribut calculé DeperdFac :

$$\frac{((DJU * 24 * "SurfBaies" * "Typ_UwF") / 1000) + ((DJU * 24 * "OPac" * "Typ_UfP") / 1000) + ((DJU * 24 * "Typ_Psi" * "SurfEchang") / 1000)}$$



#### Déperditions des couvertures

4. Calcul des déperditions par les couvertures et les ponts thermiques dans la couche des couvertures, attribut calculé DeperdCouv :

$$\frac{((DJU * 24 * \$area * "Typ Ucouve" ) / 1000) + ((DJU * 24 * "Typ Psi" * \$area ) / 1000)}$$

#### Déperditions des Planchers bas

5. Calcul des déperditions par les Planchers bas et les ponts thermiques dans la couche des planchers bas, attribut calculé DeperdPIB :

$$\frac{((1600 * 24 * \$area * "RatioExt" * "UReelCave" ) / 1000) + ((1600 * 24 * \$area * "ratioLNC" * "UReelCave" * 0.8) / 1000) + ((1600 * 24 * \$area * "RatioTP" * "UplancherB" ) / 1000) + ((1600 * 24 * "Psi" * \$area ) / 1000)}$$

#### Les déperditions ventilation

Pour calculer les déperditions par ventilation nous utiliserons l'attribut hauteur calculée, car nous considérons seulement le volume chauffé.

6. Calcul des déperditions par ventilation dans la couche des édifices, attribut calculé DepVent :

$$\frac{(\$area * HNewTypo * 0.34 * DJU * 24) / 1000}$$

### 5.9. Calcul du bilan

Une fois évalués les déperditions et les apports nous pouvons calculer le bilan. Pour calculer le bilan de l'édifice, il sera nécessaire de rapporter à l'édifice les déperditions et les apports par élément d'enveloppe.

Pour faire ce transfère nous avons créé des relations entre les façades, les planchers bas, les toitures et les édifices à travers l'attribut ID et ID\_Edif.

Vérifier que les relations soient actives dans le rideau projet >> options du projet

Les relations devront être nommées de la manière suivante :

7. Relation entre édifices et façades :

Nom de la relation : Facades des Edifices

Couche référençante (enfant) : Façades

Champ référençant ID\_Edif

Couche de référence (parent) : Edifices

Champ de reference ID

id : FacadesEdifices

8. Relation entre édifices et les planchers bas :

Nom de la relation : Planchers des Edifices

Couche référençante (enfant) : Plancher\_Bas

Champ référençant ID\_Edif

Couche de référence (parent) : Edifices

Champ de reference ID

id : PlanchersEdifices

9. Relation entre édifices et les Couvertures :

Nom de la relation : Couvertures des Edifices

Couche référençante (enfant) : Couvertures

Champ référençant ID\_Edif

Couche de référence (parent) : Edifices



Champ de reference ID

id : CouverturesEdifices

Grâce aux relations il sera possible d'agréger les résultats des calculs faits sur les différents éléments d'enveloppe.

10. Création de l'attribut calculé DepFac

relation\_aggregate( 'Facades', 'sum', "DeperdFac" )

11. Création de l'attribut calculé DepPB

relation\_aggregate( 'PlanchersEdifices', 'sum', "DeperdPIB" )

12. Création de l'attribut calculé DepCouv

relation\_aggregate( 'CouverturesEdifices', 'sum', " DeperdCouv" )

13. Création de l'attribut calculé App\_M\_Orig, pour calculer la somme des apports solaires de chaque façade

relation\_aggregate( 'Facades', 'sum', " Apports" )

14. Calcul du bilan (attribut calculé Bilan)

("DepFac" + "DepPB" + "DepCouv" + "DepVent")-("App\_M\_Orig"+ "ApportInt")

15. Calcul du bilan au m<sup>2</sup> (attribut calculé Bilan)

("Bilan"/"SurfCalc")

### **Les calculs avec les hypothèses de rénovation de l'enveloppe**

Dans le cadre du projet ATRE ont été relevés des taux de rénovation des différents composants des édifices. Nous pouvons calculer le bilan en considérant les caractéristiques d'éléments d'enveloppe rénovés.

Il est aussi possible de faire des hypothèses de rénovation future et vérifier l'impact des différentes améliorations de l'habitat.

Pour faire ce travail il faudra exécuter les mêmes opérations énumérées sur le chapitre 7.4, mais en utilisant les attributs mis à jour lors de la rénovation.

Cela concerne les déperditions comme les apports solaires, car en modifiant les menuiseries le facteur solaire change.

Le facteur solaire et la conductance U des menuiseries rénovées ont été fixés respectivement à 62% et à 2.6 Wm<sup>2</sup>K

### **Façades rénovées**

1. Créer l'attribut ApportsRen (apports menuiseries rénovées)

case

when "TauxRenov" =100 then "SurfBaies" \* "Ray\_Final" \* 0.62

when "TauxRenov" <100 then ("SurfBaies" \* "Ray\_Final" \* 0.62\*("TauxRenov"/100) )  
+ ("Apports" \* (1-("TauxRenov"/100)))

else 0

end

2. Créer l'attribut DeperdRen (déperditions menuiseries rénovées)

(case

when "TauxRenov" =100 then (DJU\*24\* "SurfBaies" \* "2.6")/1000)

when "TauxRenov" <100 then (DJU\*24\* "SurfBaies" \* "2.6")/1000) \*("TauxRenov"/100)  
)+( "DeperdFac" \* (1-("TauxRenov"/100)))

else 0



$$\text{end}) + ((\text{DJU} * 24 * \text{"OPac"} * \text{"Typ\_UfP"}) / 1000) + ((\text{DJU} * 24 * \text{"Typ\_Psi"} * \text{SurfEchang}) / 1000)$$

### Sur le calque des planchers bas et couvertures

Aujourd'hui nous n'avons pas d'hypothèses que la rénovation des composantes plancher bas et toitures, mais le procédé sera identique à celui des façades, lors que les attributs seront renseignés.

### Agrégation des déperditions des bâtiments rénovés

Utiliser les mêmes procédures employées pour l'agrégation des déperditions.

3. Création de l'attribut calculé DepFacRen

$$\text{relation\_aggregate}(\text{'Façades'}, \text{'sum'}, \text{"DeperdRen"})$$

4. Création de l'attribut App\_M\_Ren

$$\text{relation\_aggregate}(\text{'Façades'}, \text{'sum'}, \text{"ApportsRen"})$$

5. Calcul du bilan avec la prise en compte des hypothèses de rénovation.

$$(\text{"DepFacRen"} + \text{"DepPB"} + \text{"DepCouv"} + \text{"DepVent"}) - (\text{"App\_M\_Ren"} + \text{"ApportInt"})$$

Les opérations décrites ci-dessus peuvent être réalisées à l'aide de 3 modèles à appliquer l'un à la suite de l'autre.

Modèle 11 : bilan-façades et calcul surf baies. Modèle (à appliquer aux façades caractérisées avec les attributs TABULA fournis)

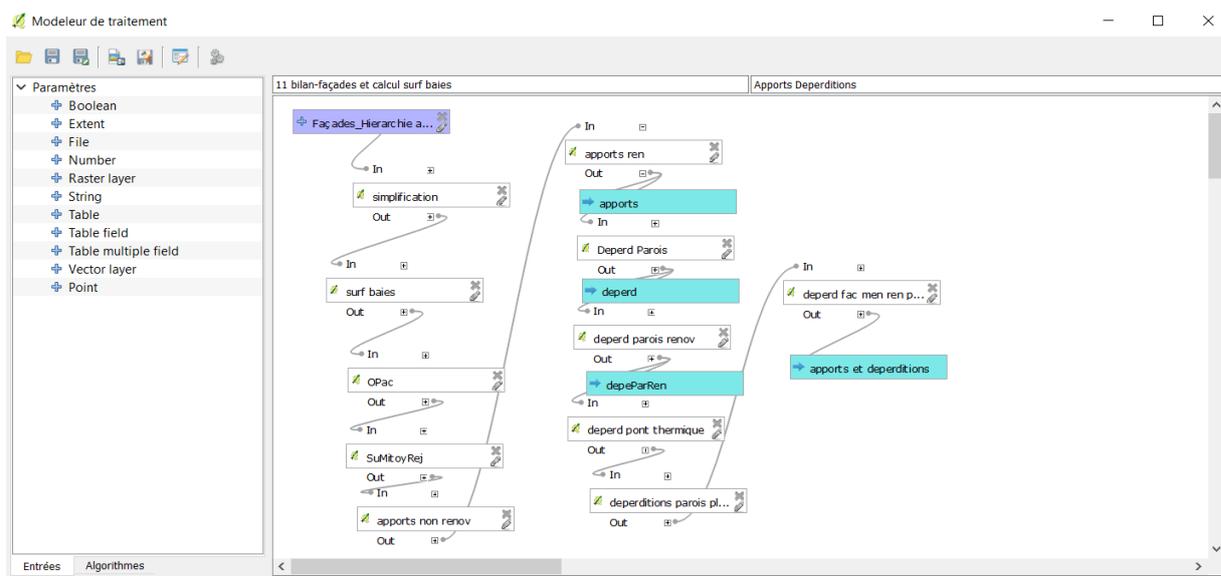


Figure 107. Schéma du modèle 11

Modèle12 : création PI Bas et Couvertures. Modèle (à appliquer aux édifices caractérisés avec les attributs TABULA fournis)





## Table des figures

Figure 1. Plateforme de rénovation énergétique (Source: ALEC)	10
Figure 2. Thermographie aérienne – Source : Site officiel de la Ville de Marseille Plan Interactif	12
Figure 3. Approches de modélisation de la consommation énergétique des bâtiments à grande échelle (Swan & Ugursal, 2009)	13
Figure 4. Approches de modélisation des consommations énergétiques à différentes échelles du territoire	15
Figure 5. Comparaison entre typologies existantes et périodes considérées dans le classement du parc de logements existants.	19
Figure 6. Grille de classification de la nomenclature TABULA (Rochard et al., 2015)	21
Figure 7. Classification de la nomenclature 123 Réno, maisons individuelles (SOL.A.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA, 2013)	22
Figure 8. Classification de la nomenclature 123 Réno, immeubles collectifs (SOL.A.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA, 2013)	23
Figure 9. Influence de la qualité des données 3D sur le calcul du SVF (Brasebin et al., 2012)	27
Figure 10. Nomenclature LCZ (adapté de (Stewart et al., 2012)).	32
Figure 11. Les 5 niveaux de description dans CityGML.	35
Figure 12. Les 5 niveaux de description dans CityGML Sce: (Benner et al, 2016).	36
Figure 13. Organisation générale des données de l'ADE "energie", Sce: Benner et al, 2016.	36
Figure 14. Les principes du BIM (Sce : sightline-group.com).	37
Figure 15. Les composantes de la précarité énergétique. Source : EDIF et ALPHEEIS	39
Figure 16. Proposition d'une démarche de modélisation selon une approche ascendante et l'exploitation de données de consommations d'énergie à l'échelle de l'IRIS ou de la commune	50
Figure 17. Structure générale de l'information.	50
Figure 18. Principes d'organisation de la base de données projetée.	50
Figure 19. Comparaison des classifications par périodes constructive et famille de bâtiment dans TABULA et 123 Réno	53
Figure 20. Processus "d'extinction et d'apparition" des types sur le territoire	54
Figure 21. Passage entre nomenclature TABULA et 123 Réno et affinement du diagnostic.	55
Figure 22. Processus de saisie des caractéristiques des édifices pour la production du bilan.	57
Figure 23. Les interventions et leur impact sur les édifices, leur enveloppe et leur environnement.	58
Figure 24. Une zone d'étude et son environnement - Maquette 2D1/2 produite par QGIS2threejs.	62
Figure 25. Facteur de vue du ciel, calculé grâce à la transmission à SKYHELIOS de l'ensemble des édifices étudiés et de leur contexte.	63
Figure 26. Taux de logements privés potentiellement indignes en 2011	67
Figure 27. Localisation des 14 projets de Marseille Rénovation Urbaine	71
Figure 28. Localisation des 35 pôles d'intervention du projet Grand Centre-Ville de Marseille	72
Figure 29. Synthèse des politiques publiques Habitat/Énergie	74
Figure 30. Carte de situation des 5 IRIS étudiés.	77
Figure 31. Schéma de principe de la décomposition des édifices de la BD TOPO IGN	78
Figure 32. BD TOPO Version 3: IRIS Gasquy	79
Figure 33. Schéma de principe concernant le rejet des annexes et la création d'attributs	80
Figure 34. Rejet des annexes, IRIS Gasquy	80
Figure 35. Bd TOPO, IRIS Gasquy avant le rejet des annexes, du bâti léger et du bâti industriel	81
Figure 36. Bd TOPO, IRIS Gasquy après le rejet des annexes, du bâti léger et du bâti industriel	82
Figure 37. BD TOPO (gauche) et photo aérienne de deux édifices traités de manière différente (droite)	82
Figure 38. Exemple d'incohérence de découpage des quatre bâtiments en bande. BD TOPO (à gauche) en comparaison avec photo aérienne Google (à droite)	83
Figure 39. Tables principales des fichiers fonciers	84
Figure 40. Tables agrégées des fichiers fonciers	85
Figure 41. Différence entre les contours des parcelles (bleu) et des unités foncières (rouge)	86
Figure 42. Schémas de création des points bâtiment de la base Bâtiment des FF (source CEREMA)	88
Figure 43. Principe de liaison entre édifice et caractéristiques du type.	89
Figure 44. Schéma de principe de la contextualisation des analyses	89
Figure 45. Schéma de principe de liaison entre édifices de la BD TOPO, fichiers fonciers et nomenclature TABULA	92
Figure 46. Schéma des caractéristiques du type reliées aux bâtiments sur le territoire	93
Figure 47. Exemple de maisons de la famille TH (Terraced House) contenant 2 et 3 locaux	94



Figure 48. Formulaire de désignation des bâtiments	100
Figure 49. Formulaire de désignation du type	100
Figure 50. Formulaire permettant de préciser l'historique du bâtiment	101
Figure 51. Formulaire permettant de préciser les planchers bas	102
Figure 52. Formulaire de désignation des façades	103
Figure 53. Exemple de découpage des surfaces vitrées d'une façade	104
Figure 54. Schéma de principe sur la création des relations entre les différents éléments d'enveloppe	106
Figure 55. Schéma de caractérisation des façades	107
Figure 56. Orientation et exposition des façades	108
Figure 57. Les orientations des façades de deux IRIS à tissu pavillonnaire (Gasquy) et dense (Thubaneau)	109
Figure 58. Exemples de reconnaissance automatique des façades sur trois IRIS différents	111
Figure 59. Exemple de reconnaissance automatique des façades dans un lotissement des années 1930	111
Figure 60. Les résultats de la hiérarchisation automatique des façades des barres	112
Figure 61. Schéma de caractérisation des planchers bas	113
Figure 62. Schéma de caractérisation des couvertures	114
Figure 63. Synthèse des étapes permettant d'estimer le flux global arrivant sur chaque façade	119
Figure 64. Exemple de résultats de rayonnement solaire global KW.h/m <sup>2</sup> de façade durant la saison de chauffe avec prise en compte des masques dus aux bâtiments environnants : IRIS « Thubaneau » (gauche) et IRIS « Pervanches » (droite)	120
Figure 65. SVF au niveau du sol : IRIS « Thubaneau » (gauche) et IRIS « Pervanches » (à droite)	122
Figure 66. Schéma de principe du calcul des besoins en chauffage des édifices	124
Figure 67. Méthodologie : sources de données et étapes de traitement	126
Figure 68. Reconnaissance des types d'édifice (à gauche) et photo aérienne issue de GoogleMaps (à droite) : IRIS Thubaneau	129
Figure 69. Cartographie des bilans des besoins de chauffage (kWh/m <sup>2</sup> .an) à l'échelle des édifices pour la zone nord de la commune de Septèmes-les-Vallons	132
Figure 70. Carte de chaleur des bilans des besoins de chauffage (kWh/m <sup>2</sup> .an) de la zone nord de la commune de Septèmes-les-Vallons	132
Figure 71. Carte de chaleur des bilans des besoins de chauffage (kWh/an) de la zone nord de la commune de Septèmes-les-Vallons	133
Figure 72. Exemple de requête par édifice permettant d'extraire des données en vue d'une évaluation des gains et coûts de la réhabilitation d'un édifice	135
Figure 73. Besoins de chauffage générés à l'échelle de chaque bâtiment en kWh/m <sup>2</sup> .an	136
Figure 74. Besoins de chauffage générés par parcelle en kWh/m <sup>2</sup> .an	136
Figure 75. Carte de chaleur représentant les besoins de chauffage en valeur absolue (kWh/an)	137
Figure 76. Carte de chaleur représentant les besoins de chauffage rapportés aux logements (kWh/log.an)	137
Figure 77. Carte des besoins de chauffage au m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> .an) habitable	138
Figure 78. Zones à enjeux identifiées par la Mairie	142
Figure 79. Sélection des bâtiments visés	143
Figure 80. Clichés thermographiques pris sur un immeuble collectif (Les Collines)	144
Figure 81. Localisation, besoin énergétique et clichés thermographiques (Les Caillols)	144
Figure 82. En jaune les bâtiments appartenant à la zone d'étude	149
Figure 83. Image Google Earth (rue dans laquelle a été menée l'analyse des données recueillies)	152
Figure 84. Image Google Earth montrant le bâtiment analysé et bilans des besoins de chauffage extraits de l'atlas (kWh/m <sup>2</sup> )	153
Figure 85. Première étape d'organisation des bases de données. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille	158
Figure 86. Seconde étape d'organisation des bases de données. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille	159
Figure 87. Superposition des données énergétiques et avec les données socio-économiques (Septèmes Nord)	159
Figure 88. Superposition des données énergétiques et avec les données socio-économiques (Septèmes Sud)	160
Figure 89. Schéma du modèle 01	164
Figure 90. Schéma du modèle 02	165
Figure 91. Schéma du modèle 02 (V3)	166
Figure 92. Schéma du modèle 03	167
Figure 93. Schéma du modèle 04	168
Figure 94. Schéma du modèle 05	169
Figure 95. Orientation et exposition des façades	172



<i>Figure 96. Schéma du modèle 06</i>	173
<i>Figure 97. Schéma du modèle 07</i>	176
<i>Figure 98. Tableau des dimensions des familles des édifices relevés</i>	177
<i>Figure 99. Schéma du modèle 08</i>	178
<i>Figure 100. Schéma du modèle 09</i>	179
<i>Figure 101. Schéma du modèle 10</i>	179
<i>Figure 102. Schéma du modèle 01</i>	183
<i>Figure 103. Schéma du modèle 02</i>	184
<i>Figure 104. Schéma du modèle 03</i>	184
<i>Figure 105. Schéma du modèle 04</i>	185
<i>Figure 106. Détails des options à insérer</i>	189
<i>Figure 107. Schéma du modèle 11</i>	199
<i>Figure 108. Schéma du modèle 12</i>	200
<i>Figure 109. Schéma du modèle 13</i>	200



## Table des graphiques

Gaph. 1. Le sentiment d'aisance financière des ménages. Source : INSEE, enquête budget des familles 2011	43
Gaph. 2. Gain énergétique en % selon l'année de construction	48
Gaph. 3. Parmi les logements rénovés, types de travaux réalisés selon le statut d'occupation du logement en %	48
Gaph. 4. Évolution des exigences des RT résidentiel dans le neuf en France	64
Gaph. 5. Part des dépenses d'énergie dans le revenu total des ménages en fonction de l'année d'achèvement du logement	65
Gaph. 6. Facture d'énergie en fonction de la surface habitée (100 = dépense annuelle moyenne par ménage en 2006)	65
Gaph. 7. Répartition typologique en consommation des logements en RP/HLM-81-IND.	66
Gaph. 8. Nombre des édifices présents sur chacun des cinq IRIS épartis par périodes constructives	97
Gaph. 9. Taux de rénovation des menuiseries par famille et période constructive	105
Gaph. 10. Prise en compte des facteurs solaires en fonction des épaisseurs des murs (facteurs estimés à l'aide du logiciel Pleaides-Comfie en tenant compte du fichier météo de Marseille)	121
Gaph. 11. Comparaison des résultats des simulations solaires pour l'IRIS « Pervanches » (faible densité)	122
Gaph. 12. Comparaison des résultats des simulations solaires pour l'IRIS « Thubaneau » (haute densité)	123
Gaph. 13. Comparaison entre la reconnaissance des types d'édifices avec les méthodes automatiques et in situ	128
Gaph. 14. Taux d'erreur lié aux procédures de hiérarchisation des façades dans les différentes zones d'étude	130
Gaph. 15. Coefficient de forme moyen par famille de bâtiments	140
Gaph. 16. Surfaces en m <sup>2</sup> habitables cumulés par famille	140
Gaph. 17. Répartition des besoins de chauffage par famille et par élément en kWh/an	141
Gaph. 18. Besoins de chauffage des maisons SFH en kWh/an	141
Gaph. 19. Gains suite à rénovation des maisons SFH en kWh/an	142
Gaph. 20. Répartition des économies de chauffage par élément et par famille kWh/an	147
Gaph. 21. Économies de chauffage par élément d'enveloppe et par famille	148
Gaph. 22. Estimation des gisements économiques de rénovation par famille de bâtiments et par élément d'enveloppe	148
Gaph. 23. Répartition des déperditions et des apports solaires (menuiseries vitrées) par famille et par élément en kWh/an	150
Gaph. 24. Gains thermiques possibles par famille et par élément en kWh/an	150
Gaph. 25. Estimation des coûts des travaux par type et par élément	151



## Table des tableaux

Tableau 1. Classes des ponts thermiques prises en compte dans les calculs des déperditions (EPISCOPE, Publications / Download, 2016)	22
Tableau 2. Comparaison des consommations énergétiques de différentes organisations urbaines sommaires de maisons individuelles (Monteil, 2011)	28
Tableau 3. Caractéristique du ménage et/ou du bâti selon le degré du risque. Source : Pré diagnostics de la précarité énergétique - Diagnostic du Val-de-Marne	40
Tableau 4. Profils-types des ménages en précarité énergétique selon les différents indicateurs	41
Tableau 5. Groupes de ménages subissant une part élevée de dépenses énergétiques résidentielles. Source : INSEE, enquête « Budget des familles » 2006	41
Tableau 6. Dépenses pré-engagées en lien avec le découpage des quintiles. Source : Insee « Budget des familles » 2006	43
Tableau 7. Catégorisation des ménages selon le revenu disponible par personne. Source : ALEC Métropole Marseille	44
Tableau 8. Caractéristiques et montant des travaux selon les ménages entre 2008 et 2012. Extrait de (Ministère de l'Environnement, mai 2017) - Source données Phébus, volet Clode	44
Tableau 9. Les facteurs incitant à la rénovation différents paramètres. * Revenu faible (1er et 2ème quintiles), de revenu moyen (3ème et 4ème quintiles) et de revenu élevé (5ème quintile). Source : CHARLIER, Efficacité énergétique dans le bâtiment et paradoxe énergétique: quelles conséquences pour la transition énergétique?, 2014	45
Tableau 10. Les facteurs incitant à la rénovation différents paramètres. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille	46
Tableau 11. Données à connaître pour définir une enveloppe type	52
Tableau 12. Combustible principal de chauffage des RP/HLM du territoire	68
Tableau 13. Objectifs quantitatifs du PIG 2015-2019 de MPM	70
Tableau 14. Présentation synthétique des sources de données analysées	76
Tableau 15. Nombre de logements et datation des immeubles, base-ic-logement-2014 de l'INSEE	78
Tableau 16. Nombre des rejets et taux d'erreur dans la reconnaissance des rejets	81
Tableau 17. Types considérés selon la nomenclature TABULA	90
Tableau 18. Attribut de la table des bâtiments FF	91
Tableau 19. Attributs de la BD FF Bâtiments	93
Tableau 20. Volumes relevés et plages choisies pour assigner une famille aux édifices	95
Tableau 21. Exemple de façades étudiées pour le calcul des parties ouvrantes	104
Tableau 22. Nombre de bâtiments résidentiels dont le taux de rénovation a été relevé lors des campagnes in situ	105
Tableau 23. Synthèse concernant le croisement entre les différentes nomenclatures	116
Tableau 24. Caractérisation du type SFH 01	116
Tableau 25. Nombre d'édifices traités dans les différentes zones d'étude	128
Tableau 26. Composition du parc bâti résidentiel de la commune Septèmes-les-Vallons par période constructive et par famille	139
Tableau 27. Nombre d'édifices, surfaces de planchers cumulées et besoins de chauffage cumulés des bâtiments étudiés	139
Tableau 28. Synthèse des données concernant les édifices étudiés	145
Tableau 29. Récapitulatif des besoins obtenus à partir de l'extraction des données de l'atlas	146
Tableau 30. Gains énergétiques et coûts moyens des différents bouquets	146
Tableau 31. Hypothèses chiffrage des travaux	147
Tableau 32. Composition du parc bâti de la zone analysée par période et famille	149
Tableau 33. Nombre, surfaces et besoins de chauffage des bâtiments de la zone étudiée	150
Tableau 34. Données extraites à l'échelle de la rue	152
Tableau 35. Données extraites au niveau du bâtiment analysé	152
Tableau 36. Comparaison entre les données Distributeurs et celles estimées à partir de l'atlas	153
Tableau 37. Distribution par statut d'occupation selon les IRIS. Source : Document d'analyse - ALEC Métropole Marseille. Donnée INSEE 2014	155
Tableau 38. Croisement Surfaces et statut d'occupation. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille	155
Tableau 39. Croisements Age, surfaces parmi les propriétaires. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille	156



<i>Tableau 40. Répartition par tranches de revenus des IRIS étudiés. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille – Données INSEE 2014</i>	156
<i>Tableau 41. Croisement Revenus, surfaces et tranches d'âges parmi les propriétaires. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille – Données INSEE 2014</i>	157
<i>Tableau 42. Les différentes périodes de l'âge du bâti selon les bases de données. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille – Données INSEE et TABULA</i>	157
<i>Tableau 43. Recoupement âge bâti INSEE-Tabula. Source : Document de synthèse - ALEC Métropole Marseille – Données INSEE et TABULA</i>	158



## Bibliographie

**ADEME** Campagne 2015 OPEN, travaux achevés en 2014 // Observatoire Permanent de l'amélioration Énergétique du logement. - 2015.

**ADEME** CHIFFRES CLÉS DU BÂTIMENT 2013 [Rapport] / ADEME. - Valbonne : [s.n.], 2013. - p. 92.

**Anne Ruas** 3D et Généralisation [Conférence] // Journées SIG3D. - [s.l.] : CNRS - Groupement de Recherche MAGIS, 2013.

**APUR** Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes [En ligne] // apur.org. - 12 2007. - 27 12 2015. - <http://www.apur.org/sites/default/files/documents/246.pdf>.

**Arnfield A. John** Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island [Revue]. - [s.l.] : Dr Radan Huth, 01 2003. - 1 : Vol. 23. - p. 130. - 10.1002/joc.859.

**a'urba - Agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine** Rénovation thermique du parc bâti résidentiel de la CUB [Rapport] : Tech. rep. / Agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine. - Bordeaux : [s.n.], 2011.

**Autran Jacques et Berna Kattia Villadiego** L'évolution de l'occupation et l'utilisation des sols du littoral, de la Ciotat à Port-Saint-Louis du Rhône – Caractérisation des interventions littorales en vue de l'estimation de leur incidence sur l'évolution des températures [Rapport] : Rapport final de recherche / Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Marseille – Laboratoire abc ; OBSERVATOIRE « HOMMES-MILIEUX » Littoral méditerranéen. - Marseille : OHM « Littoral méditerranéen », 2014. - p. 46.

**Azouzi Mounir et Merminod Bertrand** Qualité des données spatiales [Revue] // Mensuration, photogrammétrie, génie rural. - Zürich : Herausgeber, 18 12 1996. - 12/96 : Vol. 94. - pp. 645-649. - <http://www.e-periodica.ch/digbib/view?var=true&pid=geo-006:1996:94::1746#5>.

**BAIR Sabine [et al.]** Quantifier et caractériser les ménages en précarité énergétique // Les ménages et la consommation d'énergie. - [s.l.] : Le service de l'observation et des Statistiques, Ministère de l'Environnement; de l'Energie et de la Mer en Charge des Relations Internationales pour le Climat, pages 8-17, mars 2017.

**Batton-Hubert Mireille, Pinet François et Desjardin Eric** Site de l'Action Prospective (AP) "Incertitude Épistémique" du GDR MAGIS [Conférence] // Incertitude épistémique – Des données aux modèles en Géomatique. - Saint-Etienne : DEAS Research Network Design of Environmental & Agricultural Systems, 2013 .

**Bechtel Benjamin [et al.]** Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities [Revue] // International Journal of Geo-Information / éd. Kainz Wolfgang. - [s.l.] : MDPI, 2 02 2015. - 4 : Vol. ISPRS Int. - pp. 199-219. - [www.mdpi.com/journal/ijgi/](http://www.mdpi.com/journal/ijgi/) . - 2220-9964.

**Belmaaziz Mohamed, Autran Jacques et Cadoni Gianluca** L'élaboration et l'exploitation d'un atlas des gisements de rénovation énergétique Vers un outil fédérateur [Conférence] // SCAN'16. - Toulouse : PUN - Editions Universitaires de Lorraine, 8-9/09/2016. - p. 334. - 9782814301719.



**Benner Joachim, Geiger Andreas et Häfele Karl-Heinz** Virtual 3D City Model Support for Energy Demand Simulations on City Level – The CityGML Energy Extension [Conférence] // 21st International Conference on Urban Planning and Regional Development in the Information Society GeoMultimedia 2016 . - Hamburg : Manfred SCHRENK, Vasily V. POPOVICH, Peter ZEILE, Pietro ELISEI, Clemens BEYER, 2016. - pp. 777-787. - [http://conference.corp.at/archive/CORP2016\\_20.pdf](http://conference.corp.at/archive/CORP2016_20.pdf). - ISBN 978-3-9504173-0-2 (CD), 978-3-9504173-1-9 (print) .

**Bonhomme Marion** contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine [Rapport] : Master's thesis / Université de TOULOUSE / INSA TOULOUSE. - 2013.

**Borel Rémi** Documentation sur les fichiers d'origine [En ligne] // geoinformations developpement-durable. - CETE Nord-Picardie, 09 02 2012. - 1.2. - 16 12 2016. - <http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/documentation-sur-les-fichiers-d-origine-r887.html>.

**BOZONNET Emmanuel [et al.]** Du bâtiment à la ville, du microclimat à la demande énergétique // Jac Fol. Futur de l'Habitat. - [s.l.] : Co-édition Jean-Michel Place / PUCA, pages 139-154, 2008.

**Brasebin Mickael [et al.]** Measuring the impact of 3D data geometric modeling on spatial analysis Illustration with Skyview factor [Conférence] // 3u3d Conference. Usage, Usability, and Utility of 3D City Models. - Nantes : Ensa NANTES, 29-30/10/2012.

**Brasebin Mickaël** Les données géographiques 3D pour simuler l'impact de la réglementation urbaine sur la morphologie du bâti [Rapport] : Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paris-Est, Spécialité : Sciences et Technologies de l'Information Géographique / Université Paris-Est - École doctorale MSTIC; Institut National de l'Information Géographique et Forestière - Laboratoire COGIT. - Paris : [s.n.], 02/04/2014. - p. 239. - <http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/BRASEBIN/theseMB-Final.pdf>.

**CERC PACA** Analyse Techno-financière de la rénovation énergétique en Provence-Alpes-Côte d'Azur // Résultats de l'étude 2016 à partir des dossiers "Habiter mieux" de l'ANAH. - avril 2017.

**CERC PACA** Enquête ménages sur la rénovation énergétique dans les territoires de PACA // Fiche territoire Aix-Marseille Provence. - février 2018.

**CEREMA Direction territoriale Est ; INSA de Strasbourg; l'ENTPE; Maison Paysanne de France** Modélisation du comportement thermique du bâtiment ancien avant 1948 [Rapport] = BATAN : Rapport de Synthèse / CEREMA Direction territoriale Est ; DGUHC; ADEME; DGALN. - 2011. - p. 20.

**CEREMA** Recensement des usages et études locales s'appuyant sur les Fichiers fonciers [Rapport] : Tech. rep. / CEREMA. - 2014.

**CETE de l'Est; ENTPE; Maisons paysannes de France** Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie [Rapport] : Rapport de synthèse / Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de l'Est ; Direction générale de l'urbanisme de l'habitat et de la construction - bureau QC2 (DGUHC). - 2007. - p. 71.

**Chao Ren, Yan-yung Ng Edward et Lutz Katschner** Urban climatic map studies: a review [Article] // International Journal of Climatology. - [s.l.] : Dr Radan Huth, 27 10 2010. - 15 : Vol. 31. - pp. 2213–2370. - <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.2237/full>. - 1097-0088.

**CHARLIER Dorothée** Efficacité énergétique dans la bâtiment et paradoxe énergétique: quelles conséquences pour la transition énergétique? // Transition Énergétique, industriels et marchés. - [s.l.] : Revue d'économie industrielle, 148, 4e trimestre, 2014.

**CHARLIER Dorothée** La rénovation énergétique en France dans le secteur résidentiel privé. - [s.l.] : Revue de l'OFCE n°128, pages 395 à 419, ISSN 1265-9576, ISBN 9782312998301, 2013.

**Charlot-Valdieu Catherine, Outrequin, Philippe** Elaboration des stratégies patrimoniales et territoriales : Politiques de l'habitat, énergie et effet de serre [Rapport] / Recherche financée par le Plan Urbanisme Construction et Architecture (PUCA) ; BET La Calade et Association SUDEN. - Valbonne : [s.n.], 2010. - p. 225.

**Ching Jason [et al.]** WUDAPT, an international collaborative project for climate relevant physical geography data for the world's cities [Conférence] // American Meteorological Society meeting. - New Orleans : [s.n.], 10-14/01/2016. - [http://www.wudapt.org/wp-content/uploads/2016/02/AMSExtAbs2016.WUDAPT.Ching\\_.pdf](http://www.wudapt.org/wp-content/uploads/2016/02/AMSExtAbs2016.WUDAPT.Ching_.pdf).

**Ching Jason** WUDAPT: Conceptual framework for an international community urban morphology database to support meso-urban and climate models [Article] // Urban Climate News. - [s.l.] : INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE, 09 2012. - 45. - pp. 6-17. - <http://urban-climate.org/newsletters/IAUC045.pdf>.

**Chiodo Rémy [et al.]** Plateforme locale de rénovation de l'habitat sur le territoire de MPM [Rapport] : Rapport de l'étude de préfiguration / Agence Locale de l'Energie et du Climat. - Marseille : [s.n.], 22/05/2015.

**Chiodo Rémy et Papon Vincent** MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION SOCIO-ÉNERGÉTIQUE DU PARC RESIDENTIEL [En ligne] // alec metropole marseillaise. - 10 2014. - 22 12 2015. - [http://www.alecmetropolemarseillaise.fr/fileadmin/user\\_upload/mediatheque/ALE/documents/ALEC\\_MM\\_-\\_Methodologie\\_de\\_caracterisation\\_de\\_l\\_habitat\\_-\\_141104.pdf](http://www.alecmetropolemarseillaise.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/ALE/documents/ALEC_MM_-_Methodologie_de_caracterisation_de_l_habitat_-_141104.pdf).

**Cities on Power** ABOUT THE PROJECT [En ligne] // Cities on Power. - 29 12 2014. - 24 01 2017. - <http://www.citiesonpower.eu/en>.

**CNRS - Groupement de Recherche MAGIS SIG3D** : La troisième dimension en géomatique [En ligne] // gdr-magis. - 22 05 2014. - 19 01 2017. - <http://gdr-magis.imag.fr/index.php/aps-methodologiques/aps-representation-visualisation/52-ap/174-sig3d-la-troisieme-dimension-en-geomatique>.

**CNRTL** Portail Lexical [En ligne] // cnrtl. - 2013. - 14 12 2016. - <http://www.cnrtl.fr/definition/atlas>.

**Coccolo Silvia et Kämpf Jérôme Henri** Urban energy simulation based on a new data model paradigm: the Citygml application domain extension energy. A case study in the EPFL campus of Lausanne [Conférence] // 14th Conference of International Building Performance Simulation Association,., - Hyderabad : IBPSA, 7-9/12/2015. - pp. 595-600. - <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2015/p3013.pdf>.

**Colombert Morgane** Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville [Rapport] : Thèse pour obtenir le grade de Docteur / Génie urbain ; l'Université Paris-Est ; École Doctorale Ville et Environnement. - Paris : l'Université Paris-Est, 2008. - p. 541. - <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/document>.

**Data 4 Action** Collaboration pour l'échange de données sur l'énergie [En ligne] // Data 4 Action. - 01 01 2017. - 24 01 2017. - <http://data4action.eu/fr/>.

**DE MUNCK Cécile** Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville. - [s.l.] : Université de Toulouse, Ecole doctorale Sciences de l'Univers de l'Environnement et de l'Espace, Centre National des Recherches Météorologiques, 8 novembre 2013.

**Devillers Rodolphe, Bédard Yvan et Gervais Marc** Indicateurs de qualité pour réduire les risques de mauvaise utilisation des données géospatiales [Revue] // Revue Internationale de Géomatique. - [s.l.] : Lavoisier, 2004. - 1 : Vol. 14. - pp. 35-57. - <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/22242/ch03.html>. - 1260-5875.

**DHUP** Etude socio-technico-économique du gisement de travaux de rénovation énergétique dans le secteur immobilier résidentiel [Rapport]. - 2011.

**Dominique Groleau** PSMV, économies d'énergie et gisement en énergie renouvelable : impact des facteurs urbains sur les potentialités solaires et lumineuses des bâtiments, [Conférence] // Patrimoine bâti et développement durable. - Grenoble : Association Nationale Villes et pays d'art et d'histoire, 15-16/10/2009. - pp. 141-150.

**DRIEA Ile de France** BâtiSig et BâtiStato [En ligne] // DRIEA Ile de France. - 31 07 2013. - 24 01 2017. - [http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/batisig-et-batistato-deux-outils-de-l-observatoire-a4334.html?id\\_rubrique=2088](http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/batisig-et-batistato-deux-outils-de-l-observatoire-a4334.html?id_rubrique=2088).

**Emmanuel Devys Gilles Gesquière** La modélisation de la ville : Interopérabilité et intégration des données et modèles urbains : standards, normes et tendances [Revue] // La Revue du CGDD (Commissariat Général au Développement Durable). - 09 2012. - pp. 92-106. - [http://liris.cnrs.fr/gilles.gesquiere/Publications/2011\\_Devys\\_Gesquiere\\_RevueCGDD.pdf](http://liris.cnrs.fr/gilles.gesquiere/Publications/2011_Devys_Gesquiere_RevueCGDD.pdf).

**Energies Demain** Approche de la précarité énergétique liée au transport et à la mobilité à l'échelle de l'Aire Métropolitaine de Lille [Rapport] : Rapport méthodologique / Aire Métropolitaine de Lille. - Lille : Aire, 2015. - p. 72. - Coordination et pilotage technique de la démarche exploratoire assurés par La Mission Bassin Minier Nord – Pas-de-Calais.

**Energies Demain** Suivi de l'impact énergie-climat des secteurs résidentiel et tertiaire en région Centre [Rapport] : Rapport d'étude. - Orléans : Oreges Centre-Val de Loire, 2011. - p. 110.

**Energies Demain; l'Union Sociale pour l'habitat Rhône-Alpes; ARRA HLM** Efficacité énergétique et précarisation des locataires du logement social en Rhône-Alpes [Rapport] : Rapport de synthèse / Observatoire Régional de l'Habitat et du Logement. - Lyon : L'Observatoire Régional de l'Habitat et du Logement, 2008. - p. 26.

**EPISCOPE IEE Projects TABULA +** Publications / Download [En ligne] // episcopes. - 03 2016. - 19 12 2016. - <http://episcopes.eu/communication/download/>.

**EPISCOPE IEE Projects TABULA + Publications / Download [En ligne] // episcopes. - 06 09 2016. - 21 12 2016. - <http://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/calc/tabula-values.xlsx>.**

**Escourrou Gisèle** Climat et microclimat urbains, pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques localisées [Rapport]. - Région d'Ile-de-France : IAURIF, 1995. - p. 168. - B000XA043A.

**Faraut Serge [et al.]** Des bases de données urbaines aux simulations énergétiques. Le projet MApUCE [Conférence] // Actes du séminaire SCAN'16. - Toulouse : PUN - Editions Universitaires de Lorraine., 8-9/09/2016. - 978-2-8143-0289-1 .

**Fargette Mireille, Loireau Maud et Libourel Thérèse** Modèle générique pour la mise en œuvre d'Observatoires Scientifiques – [Conférence] // Atelier « Autour du concept d'Observatoire en environnement ». - Biarritz : INFORSID , 26-29/05/2015.

**Fazia Ali-Touder et Ji Limei** Building energy demand under urban climate and climate change conditions with considération of urban morphology and building typology - GIS mapping of the city of Stuttgart [Conférence] // 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium of the urban environment. - Toulouse : ICUC9, 06/2015.

**Ferriès Bernard et Bonhomme Marion** La maquette numérique, un moyen d'augmenter la densité informationnelle d'un territoire [Conférence] // Scan'14 / éd. Bignon Jean-Claude, Halin Gilles et Kubicki Sylvain. - Luxembourg : Presses universitaires de Nancy - Editions Universitaires de Lorraine, 18/06/2014. - p. 334 . - 9782814301719.

**FinSH** Habitat à vocation sociale: sortir de la précarité énergétique // Un guide pour les bailleurs, collectivités et associations. - [s.l.] : Projet FinSH : outils pratiques, Collection Habitat, Solidarité et Maîtrise de l'Energie, Financial and Support Instruments for Fuel Poverty in Social Housing.

**Flaxman Michael** Geodesign: Fundamental Principles and Routes Forward [Conférence] // GeoDesign Summit 2010. - 2010.

**Gandon Fabien** Ontologies informatiques [En ligne] // Interstices. - Interstices, 22 05 2006. - 18 01 2017. - [https://interstices.info/jcms/c\\_17672/ontologies-informatiques](https://interstices.info/jcms/c_17672/ontologies-informatiques).

**GERARD Marie-Maud [et al.]** Etat des Lieux de la Precarité Energétique en Provence-Alpes-Côtes d'Azur. - [s.l.] : Conseil Regional Provence-Alpes-Cote d'Azur, janvier 2012.

**Gil Jorge** City Information Modelling (CIM) - Towards an extended network-based description for BIM and Smart Cities [Conférence] // Workshop 17th of March 2015, Space Syntax Ltd, London. - London : [s.n.], 2015.

**Guilhem Simon et Henry Jean-Baptiste** La thermographie aérienne pour la cartographie des déperditions thermiques des bâtiments [Conférence] // Rencontres SIG La Lettre. - Paris : ROUGE VIF, 04/05/2010.

**Halbout Hervé** SIG & BIM : Une alliancen écessaire pour le bien commun Ou : le BIM, y passer ou y rester [Article] // Géomatique Expert. - [s.l.] : Cimax, 03-04 2016. - 109. - pp. 20-27.

**Halbout Hervé** SIG, modélisation 3D et BIM : une complémentarité indispensable [Article] // Géomatique Expert. - [s.l.] : Cimax , 01-02 2016. - 108. - pp. 30-32.

**Hanrot Stéphane** Evaluation relative de la qualité architecturale : une approche par le point de vue des acteurs [Article] // Cahiers Ramau - La Qualité Architecturale - Acteurs Et Enjeux / éd. Vilette Editions De La. - 04 2005. - 2009. - 5. - ISBN 978-2-915456-47-9.

**Henry Jean-Baptiste, Pierrard Sylvain et Ridoux Pascal** Thermographie aérienne des villes - Mythes et réalités [Article] // Revue XYZ. - 01-03 2009. - 118. - pp. 37-40.

**IAU** Amélioration énergétique du parc résidentiel francilien: les enjeux socio-économiques [Rapport] : Rapport Technique / IAU Île de France. - PARIS : [s.n.], 2010. - p. 177.

**IGN** BD TOPO [En ligne]// IGN Espace Professionnel. - IGN, 2012 . - 28 01 2019. - <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>.

**IGN** BD TOPO métadonnées [En ligne]// IGN. - 01 12 2012. - 12 03 2018. - [http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC\\_Metadonnees\\_2-0.pdf](http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_Metadonnees_2-0.pdf).

**Intelligent Energy Europe TABULA and EPISCOPE** Tabula Web Tool [En ligne] // Tabula Web Tool. - 24 08 2016. - 21 12 2016. - <http://webtool.building-typology.eu/#bm>.

**Jacques Autran et Thierry Lochard** Systèmes, Modélisation, Géostatistiques [En ligne] // Cybergeo : European Journal of Geography . - CNRS-UMR Géographie-cités 8504, 18 09 2015. - 739. - 17 01 2017. - <https://cybergeo.revues.org/27221>. - 10.4000/cybergeo.27221.

**Jones Thomas Bassett; Simon Lannon; Mahmoud Elsayed; Diana Waldron; Phil** Calcolare il potenziale solare del tessuto urbano con SketchUp e HTB2 [Conférence] // ENERGY FORUM 2012. - 2012. - p. 202.

**Julien Bigorgne** Les îlots de chaleur urbain à Paris - Cahier#1 [Rapport] : Rapport de l'APUR- projet EPICEA / APUR. - Paris : APUR, 2015. - p. 38. - [http://www.apur.org/sites/default/files/documents/ilot\\_chaleur\\_urbains\\_paris\\_cahier1.pdf](http://www.apur.org/sites/default/files/documents/ilot_chaleur_urbains_paris_cahier1.pdf).

**Katzschner Lutz [et al.]** Cartographie du confort thermique et zonage [Rapport] / Centre for Renewable Energy Sources – CRES, Department of Buildings, Greece ; RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. - [s.l.] : EPTALOFOS S.A, 2004. - p. 67. - ISBN: 960-86907-2-2.

**Kavgica M. [et al.]** A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector [Article] // Building and Environment. - [s.l.] : Elsevier, 07 2010. - 7 : Vol. 45. - pp. 1683–1697.

**Kevin Hartwell Thomas Leduc** T4SU: analyses et représentations des vues du ciel, du soleil et des saillances paysagères dans le contexte d'un outil de CAO [Conférence] // SAGEO'2016. - Nice : [s.n.], 6-9/12/2016.

**Khalfi Besma [et al.]** F-Perceptory: un environnement pour la modélisation de bases de données géographiques gérant l'imprécision [Conférence] // SAGEO 2016. - Nice : SAGEO , 6-8/12/2016.

**Knissel Jens [et al.]** Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln [Rapport] : rapport technique / Institut Wohnen und Umwelt Annastraße. - Darmstadt : [s.n.], 2006. - ISBN - Nr.: 3 – 932074 – 87 – 4 .



**Krüger A. et Kolbe T. H.** BUILDING ANALYSIS FOR URBAN ENERGY PLANNING USING KEY INDICATORS ON VIRTUAL 3D CITY MODELS - THE ENERGY ATLAS OF BERLIN [Conférence] // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B2, 2012, XXII ISPRS Congress. - Melbourne : ISPRS, 01/09/2012. - Vol. Volume XXXIX-B2. - pp. 145-150. - <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B2/145/2012/isprsarchives-XXXIX-B2-145-2012.pdf>.

**LAROUSSE** DICTIONNAIRE DE FRANÇAIS LAROUSSE [En ligne] // LAROUSSE. - 2016. - 14 12 2016. - <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/atlas/6119?q=atlas#6098>.

**Lemonsu Aude, Grimmond Christine Susan B et Masson Valéry** Modeling the Surface Energy Balance of the Core of an Old Mediterranean City: Marseille [Article] // Journal of Applied Meteorology. - 01 02 2004. - Vol. 43. - pp. 3012-327.

**Loga Tobias, Stein Britta et Diefenbach Nikolaus** TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable [Article] // Energy and Buildings / éd. elsevier. - 15 11 2016. - Vol. 132. - pp. 4-12.

**Loga Tobias, Stein Britta et Diefenbach Nikolaus** TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable [Revue] // Energy and Buildings. - [s.l.] : elsevier, 2016. - 132. - pp. 04-12.

**Luc Adolphe** Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment [Conférence] // Seventh International IBPSA Conference. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2001. - pp. 679-684. - [http://www.inive.org/members\\_area/medias/pdf/Inive%5CIBPSA%5CUFSC481.pdf](http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CIBPSA%5CUFSC481.pdf).

**Lyon ADEME-PCET de la Métropole de** Identifier et maîtriser les risques associés aux Îlots de Chaleur Urbains (ICU) [En ligne] // observatoire pctet-ademe. - ADEME, 23 12 2015. - 09 01 2017. - <http://observatoire.pctet-ademe.fr/action/fiche/69/identifier-et-maitriser-les-risques-associes-aux-ilots-de-chaleur-urbains-icu>.

**Lyon ADEME-PCET de la Métropole de** Identifier et maîtriser les risques associés aux Îlots de Chaleur Urbains (ICU) [En ligne] // observatoire pctet-ademe. - ADEME, 23 12 2015. - 09 01 2017. - <http://observatoire.pctet-ademe.fr/action/fiche/69/identifier-et-maitriser-les-risques-associes-aux-ilots-de-chaleur-urbains-icu>.

**Maresca Bruno** La précarité énergétique pose la question du coût du logement en France [Article] // Consommation et modes de vie, N° 258. - [s.l.] : Crédoc, mars 2013.

**MARIE** Build a new Energy Renovation Strategy around the Mediterranean [En ligne] // MARIE / éd. Européenne Union. - 2011. - 23 01 2017. - <http://www.marie-medstrategic.eu/fr.html>. - Vers l'efficacité énergétique des bâtiments méditerranéens existants : Projet stratégique européen.

**Matzarakis Andreas et Matuschek Olaf** Sky view factor as a parameter in applied climatology rapid estimation by the SkyHelios model [Article] // Meteorologische Zeitschrift. - 01 02 2011. - 01 : Vol. 20. - pp. 39-45.

**Meo Yves** Projets 3D et bases de données topographiques et photogrammétriques à moyennes et grandes échelles [Conférence] // Assemblée générale annuelle de l'AFIGEO. - Marseille : [s.n.], 03/06/2015.

**Mignard Clément et Nicole Christophe** Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVE3D [Article] // Computers in Industry. - [s.l.] : Elsevier , 12 2014. - 9 : Vol. Volume 65. - pp. 1276–1290. - Special Issue on The Role of Ontologies in Future Web-based Industrial Enterprises.

**Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer des Relations Internationales pour le Climat** Les travaux de rénovation thermique: des gisements importants chez les ménages en précarité énergétique [Rapport]. - mai 2017.

**Monteil Alexis** Analyse de la sensibilité pour la modélisation du comportement thermique d'un quartier par approche typologique, lors de la phase de reconstruction [Rapport] : Mémoire de master. - Nantes : [s.n.], 2011. - p. 80.

**Nikolopoulou Dr Marialena** Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique [Rapport] / Centre for Renewable Energy Sources – CRES, Department of Buildings, Greece ; RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. - [s.l.] : EPTALOFOS S.A, 2004 . - p. 67. - ISBN: 960-86907-2-2.

**Pageaud Dorothée et Camille Carré SOeS** La France vue par Corine Land Cover, outil européen de suivi de l'occupation des sols [Article] // Le point sur / éd. developpement-durable.gouv.fr. - 04 2009. - 10. - p. 4.

**Philippe BLANC** Atlas du potentiel solaire photovoltaïque et thermodynamique en région PACA [Rapport] : Rapport final - Edition 1.1 / Unité de recherche commune MINES ParisTech ; ARMINES. - Paris : Centre Energétique et Procédés (CEP), Unité de recherche commune MINES ParisTech / ARMINES, 2011. - p. 103. - [http://www.atlas-solaire.fr/wiki/images/7/72/ATLAS\\_SOLAIRE\\_PACA\\_-\\_Rapport\\_final\\_-\\_nov\\_2011\\_-\\_Ed1.1.pdf](http://www.atlas-solaire.fr/wiki/images/7/72/ATLAS_SOLAIRE_PACA_-_Rapport_final_-_nov_2011_-_Ed1.1.pdf).

**Pins-Loze Etienne et AREC-Poitou-Charente** Caractérisation des ménages exposés à la précarité énergétique [Rapport] / Insee Poitou-Charentes. - Poitiers : INSEE, 2015. - p. 4. - ISSN : 2274-8164.

**Potier Valérie et Dallibert Denis** Identifier le potentiel d'installation de panneaux solaires sur toiture - Cas de l'Ille-et-Vilaine [Rapport] : rapport de recherche / Direction territoriale Ouest, Département Villes et Territoires / Groupe Connaissance des Territoires ; CEREMA. - Nantes : CEREMA, 19/08/2014 . - p. 44. - Version 4.

**Pouget-Consultants [et al.]** Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France [Rapport] : Rapport Technique. - Paris : EPISCOPE, 2015. - p. 121.

**PUCA-ADEME-ANAH** Précarité énergétique : enseignements d'un programme de recherche et d'expérimentation [Rapport]. - Paris : PUCA, 2010.

**RAGE** Rapport RAGE Analyse détaillée du parc résidentiel existant [Rapport] = Rapport RAGE : Rapport technique / Programme PACTE ; Ministère Développement Durable. - 2012. - p. 145.

**Rawlings JM [et al.]** The Need for New Building Energy Models to Support SME Carbon Reduction [Conférence] // 4th TSBE EngD Conference. - University of Reading : [s.n.], 2013.

**Raynaud Maxime** Evaluation ex-post de l'efficacité de solutions de rénovation énergétique en résidentiel [Rapport] : Thèse pour obtenir le grade de docteur Spécialité "Énergétique" / École nationale supérieure des mines de Paris. - Paris : [s.n.], 2014 . - p. 238.



**Rochard U., Shanthirabalan S. et Consultants POUGET** FR\_EPISCOPE [En ligne] = National report on pilot actions // EPISCOPE. - 11 2015. - Deliverable D3.1. - 30 05 2016. - [http://episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/pilot\\_actions/FR\\_EPISCOPE\\_LocalCaseStudy\\_Pouget.pdf](http://episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/pilot_actions/FR_EPISCOPE_LocalCaseStudy_Pouget.pdf).

**Runz Cyril de** Imperfection, temps et espace : modélisation, analyse et visualisation dans un SIG archéologique [Rapport] : Thèse de doctorat en Informatique / Université de Reims Champagne-Ardenne; Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Santé. - Reims : [s.n.], 2008. - [http://www.academia.edu/726250/Imperfection\\_temps\\_et\\_espace\\_mod%C3%A9lisation\\_analyse\\_et\\_visualisation\\_dans\\_un\\_SIG\\_arch%C3%A9ologique](http://www.academia.edu/726250/Imperfection_temps_et_espace_mod%C3%A9lisation_analyse_et_visualisation_dans_un_SIG_arch%C3%A9ologique).

**Rutkowsky Perrine et Bocquet Martin** Nouveautés autour des Fichiers fonciers 2014 et 2015 [Article] // SIGNATURE . - [s.l.] : CEREMA, 09 2016. - 61. - pp. 7-10.

**Santamouris M. [et al.]** Cooling the cities, rafraîchir les villes [Ouvrage] / éd. Presses Les. - Paris : Ecole des Mines de Paris, 2004. - p. 263. - ISBN 978-2911762543.

**Sanyuan Niu, Wei Pan et Yisong Zhao** A BIM-GIS Integrated Web-bases Visualization System for Low Energy Building Design [Conférence] // The 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) joint with the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE). - Tianjin : Elsevier, 2015. - Vol. Volume 121. - pp. 2184–2192.

**Siret Daniel [et al.]** Développement et mise en oeuvre d'un SIG 3D environnemental urbain, [Article] // Revue Internationale de Géomatique. - [s.l.] : Lavoisier, 2006. - 01 : Vol. 16. - pp. 71-91. - ISSN : 1260-5875.

**SOL.A.I.R.; HABITAT ET SOCIETE; SKALA** 123 Réno [En ligne] // 123 Réno / prod. Provence-Alpes-Côte d'Azur Région. - MARIE; programme MED, 2013. - 01 12 2016. - [www.123reno-med.eu](http://www.123reno-med.eu). - Outil en ligne d'aide à la génération de bouquets d'amélioration énergétique permettant d'atteindre le facteur 4 sur des typologies de logements clairement identifiées.

**Stemmers Koen A. [et al.]** Morphologie urbaine [Rapport] / Centre for Renewable Energy Sources – CRES, Department of Buildings, Greece ; projet RUROS – Rediscovering the Urban Realm. - [s.l.] : EPTALOFOS S.A, 2004. - p. 67. - ISBN: 960-86907-2-2.

**Stewart I. D. et Oke T. R.** Local Climate Zones for Urban Temperature Studies [Article] // Bulletin of the American Meteorological Society. - 12 12 2012. - pp. 1879-1900.

**Swan Lukas G. et Ugursal V. Ismet** Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques [Article] // Renewable and Sustainable Energy Reviews / éd. ScienceDirect. - [s.l.] : Elsevier, 10 2009. - 8 : Vol. 13. - pp. 1819–1835.

**TABULA Project** Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. [Rapport] : Tech. rep. / Union européenne. - 2010.

**TABULA Project Team** Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project [Rapport] : Final Project Report. - Darmstadt : Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2012. - p. 172.



**Ter Minassian Hovig** La réhabilitation thermique des bâtiments anciens à Paris : comment concilier protection du patrimoine et performance énergétique ? [Article] // Cybergeog : European Journal of Geography. - [s.l.] : Cybergeog , 2011. - document 536. - p. 20.

**Thorel Mathieu** Aide à la décision multicritère pour la prescription de scénarios d'amélioration énergétique via une approche globale [Rapport] : Thèse de doctorat / Génie Civil et Sciences de l'Habitat ; Université de Grenoble. - Grenoble : [s.n.], 16/10/2014. - p. 278.

**Traisnel Jean-Pierre** Habitat et développement durable. Bilan rétrospectif et prospectif [Article] // Les Cahiers du CLIP. - Meudon : IDDRI, 04 2001. - 13. - pp. 5-72.

**Troispoux Gilles** La qualité des données géographiques - État des lieux pour un débat [Rapport] : Rapport d'étude / CERTU. - Lyon : [s.n.], 2010.

**Union Européenne** La Directive Européenne Inspire [En ligne] = La directive européenne Inspire : de nouvelles obligations et de nouveaux atouts pour les autorités publiques // MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER. - 20 08 2010. - 16 12 2016. - <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-directive-europeenne-Inspire-de.html>.

**Val-de-Marne Conseil Général** Etude pour le repérage de la précarité énergétique dans le Val-de-Marne // Analyse à l'échelle de l'IRIS, Rapport d'étude. - Val-de-Marne : Pôle Architecture et Environnement, Direction du Développement Durable, septembre 2013.

**Vicentini Giovanni** Procedura gis per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici residenziali e del potenziale solare, geotermico e di riduzione del fabbisogno [Rapport] : Tech. rep. / Provence de Turin. - Turin : Provincia di Torino , 2013. - p. 31.

**Vignon Jérôme** Précarité énergétique : Vigilance et clairvoyance [Article] // CERAS "Revue Projet". - mars 2013. - pp. 6-16.

**WUDAPT** The World Urban Database [En ligne] // The World Urban Database and Access Portal Tools. - 01 2017. - 19 01 2017. - <http://www.wudapt.org/>.



