

**TRANSITION(S)**  
**2050**  
CHOISIR MAINTENANT  
AGIR POUR LE CLIMAT

Dec.  
2021

HORIZONS 

# Modèle ANTONIO (trANSiTION ecologique des IOgements)

---

Notice technique

**RAPPORT FINAL**

---

## REMERCIEMENTS

Contributeurs à la première version de l'outil élaborée en 2019 ou à sa mise à jour :

Sophie ATTALI  
Christophe BESLAY  
Albane GASPARD (ADEME)  
Bruno LAFFITE (ADEME)  
Anne LEFRANC (ADEME)  
Philippe LEONARDON (ADEME)  
Marie-Laure NAULEAU (ADEME)  
Edouard TOULOUSE  
Nicolas MAIRET (Enerdata)  
Laura SUDRIES (Enerdata)  
Tom NICO (I Care)  
Patrick FOLTZENLOGEL (I Care)  
Julien PAULOU (I Care)  
Adèle DORE (I Care)

## CITATION DE CE RAPPORT

BRIAND-BOUCHER Vincent, REMONTET Lucas, VAN Minh-Thuy, GUIGNARD Quentin, ROUSSELOT Marie, PINTO DA ROCHA Frédéric, ARQUIN Charles, PARC Julien, LECLECH Rodrigue, ADEME. 2021. Modèle ANTONIO, Notice technique.

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

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'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

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

**ADEME**

20, avenue du Grésillé  
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2020AC000056

**Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :** Energies Demain, Enerdata, Pouget Consultants

**Coordination technique - ADEME :** GASPARD Albane

Direction/Service : Direction Ville et Territoires Durables / Service Bâtiment

## SOMMAIRE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUME .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>AVANT-PROPOS .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>1. INTRODUCTION .....</b>  | <b>8</b>  |
| 1.1. Un outil complémentaire aux outils existants .....                               | 8         |
| 1.2. Approche de la modélisation .....  | 8         |
| 1.2.1. Un outil initialisé avec la base de données Enerter® .....                     | 9         |
| 1.2.2. ...mais compatible avec les outils existants.....                              | 9         |
| <b>2. ARCHITECTURE GENERALE DE L'OUTIL .....</b>                                      | <b>10</b> |
| 2.1. Périmètre géographique .....   | 10        |
| 2.2. Les différents modules .....   | 10        |
| 2.3. Segmentation du parc.....  | 13        |
| 2.4. Caractérisation des ménages .....  | 14        |
| 2.5. Le paramétrage .....   | 14        |
| <b>3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MODULES .....</b>                                | <b>16</b> |
| 3.1. Démographie et dynamique du parc de logements .....                              | 16        |
| 3.1.1. Données initiales .....  | 16        |
| 3.1.2. L'évolution du parc de logements.....  | 16        |
| 3.2. Le module chauffage .....  | 17        |
| 3.2.1. L'évolution du parc de systèmes et des rendements .....                        | 17        |
| 3.2.1.1. L'évolution du parc .....  | 17        |
| 3.2.1.2. L'évolution des rendements .....   | 20        |
| 3.2.2. Les besoins de chauffage et les rénovations de l'enveloppe .....               | 20        |
| 3.2.2.1. Besoins de chauffage initial des logements.....                              | 20        |
| 3.2.2.2. Principe des rénovations de l'enveloppe des logements .....                  | 21        |
| 3.2.3. Passage des besoins aux consommations .....                                    | 22        |
| 3.2.3.1. Consommations conventionnelles, appoints et consommations « réelles ».....   | 22        |
| 3.2.3.2. Impact du niveau de vie.....   | 23        |
| 3.2.3.2.1. Impact sur les rythmes de rénovation .....                                 | 23        |
| 3.2.3.2.2. Impact sur la « sobriété contrainte » .....                                | 23        |
| 3.2.3.3. Sobriété volontaire.....   | 24        |
| 3.2.4. Limites de l'outil .....   | 24        |
| 3.3. Le module ECS .....  | 25        |
| 3.3.1. Schéma de principe.....  | 25        |
| 3.3.2. L'évolution du parc de systèmes et des rendements pour l'ECS .....             | 27        |
| 3.3.2.1. Le parc initial de systèmes ECS.....   | 27        |
| 3.3.2.2. Evolution du parc de systèmes ECS combinés.....                              | 28        |
| 3.3.2.3. Evolution du parc de systèmes ECS individuels .....                          | 29        |
| 3.3.2.4. Evolution du parc de systèmes ECS dans le neuf.....                          | 29        |
| 3.3.2.5. Evolution des rendements .....   | 30        |
| 3.3.3. Le calcul des besoins d'énergie pour chauffer l'ECS.....                       | 31        |
| 3.3.3.1. Consommation annuelle moyenne d'ECS et besoins énergétiques associés .....   | 31        |
| 3.3.3.2. Appoint solaire.....   | 32        |
| 3.3.3.3. Raccordement des laves linges et laves vaisselles sur de l'ECS solaire ..... | 32        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.3.4. Impact du niveau de vie .....   | 32        |
| 3.3.4. Limites de l'outil .....  | 33        |
| <b>3.4. Le module climatisation .....</b>  | <b>33</b> |
| 3.4.1. L'évolution du parc de systèmes de climatisation .....  | 33        |
| 3.4.2. PAC réversibles .....   | 33        |
| 3.4.2.1. Parc total de systèmes de climatisation.....  | 34        |
| 3.4.2.2. PACs air air entièrement dédiées à la climatisation et systèmes mobiles .....                           | 34        |
| 3.4.3. Calcul des besoins et consommations énergétiques liés à l'utilisation des systèmes de climatisation ..... | 34        |
| 3.4.3.1. Besoins réels.....  | 34        |
| 3.4.3.2. Consommations réelles .....   | 34        |
| <b>3.5. Le module électricité spécifique.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.6. Le module Eclairage.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3.7. La consommation électrique de la ventilation .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.8. Le module ACV .....</b>  | <b>39</b> |
| 3.8.1. Hypothèses et périmètre de l'étude ACV .....  | 39        |
| 3.8.2. Bases de données.....   | 40        |
| 3.8.2.1. Création d'une classification commune .....   | 40        |
| 3.8.2.2. Création d'un équipement type.....  | 40        |
| 3.8.2.3. Majoration des impacts .....  | 40        |
| 3.8.3. Calculs .....   | 41        |
| <b>4. UTILISATION DE L'OUTIL .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>4.1. Utilisation standard .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>4.2. Utilisation avancée.....</b>   | <b>42</b> |
| 4.2.1. Modifications massives de paramètres.....   | 42        |
| 4.2.2. Ajouts de nouveaux paramètres d'entrée .....  | 42        |
| 4.2.3. Ajouts de nouveaux indicateurs de sortie.....   | 43        |
| 4.2.4. Utilisation spécifique dans le cadre de la modélisation Transition(s) 2050.....                           | 43        |

## **RESUME**

Ce document présente la notice technique du modèle ANTONIO (trANSiTION ecologique des logements), utilisé par l'ADEME dans le cadre de Transition(s) 2050.

Le modèle permet de projeter à 2050, en France métropolitaine, les consommations d'énergie des différents usages dans les résidences principales. Les usages inclus dans le modèle sont : le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS), la climatisation, l'électricité spécifique (équipements blancs, bruns, gris) et l'éclairage. Il s'appuie également sur un module permettant de faire évoluer la composition du parc de logements. Il est complété par un module d'Analyse de Cycle de Vie qui calcule l'impact environnemental du flux d'équipements modélisé.

Le modèle permet la prise en compte de tous les usages dans un unique outil intégré.

## AVANT-PROPOS

Ce document présente la notice du modèle ANTONIO utilisé dans le cadre de Transition(s) 2050 pour projeter les consommations d'énergie dans le logement à 2050. Il a pour objectif de documenter la logique de calcul, les sources et les limites du modèle.

Le lecteur intéressé par les scénarios Transition(s) 2050, et notamment la manière dont les projections obtenues via ANTONIO prennent place dans les scénarios de contribution du logement à la neutralité carbone et s'articulent aux autres modèles utilisés dans le domaine du bâtiment, est invité à consulter les livrables de la démarche sur : <https://transitions2050.ademe.fr/> et les notices d'utilisation des autres modèles<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Notamment le modèle USES 2: ATTALI Sophie, TOULOUSE Edouard (2021), Modèle USES 2. Notice technique, et MICO : Coda Stratégies, ADEME (2021), Guide d'utilisation du modèle MICO

# 1. Introduction

---

## 1.1. Un outil complémentaire aux outils existants

L'outil ANTONIO (trANSiTiON ecologique des IOgements) prend place dans un ensemble de modèles dont dispose l'ADEME. Dans le domaine du chauffage, l'ADEME possède d'ores et déjà le modèle MEFNIS (Modèle Énergie FiScalité)<sup>2</sup>, modèle technicoéconomique de simulation de l'évolution de la performance énergétique du parc résidentiel français, pour modéliser l'évolution des modes de chauffage. Les modélisations réalisées avec MEFNIS permettent de représenter l'évolution des rythmes de rénovation et des changements de système de chauffage en réponse à une modification des conditions économiques impactant le coût global actualisé des différentes alternatives se présentant aux ménages, en tenant compte de leur capacité d'investissement et autres effets structurels.

Concernant les consommations d'électricité spécifique, l'ADEME dispose de l'outil développé dans le cadre de USE 2030, étude prospective sur les usages spécifiques de l'électricité (dont une partie des hypothèses a été mise à jour dans le cadre de la présente étude). Cet outil permet de reconstituer très finement les dynamiques de parc d'équipements blancs, gris, bruns, et d'estimer les consommations d'énergie associées.

ANTONIO ne vise pas à substituer MEFNIS et USE2030 par un autre modèle mais à les compléter afin de constituer un **outil global intégré permettant d'appréhender l'ensemble des consommations d'énergie du secteur résidentiel** et en capacité de combler plusieurs limitations identifiées :

- Pas de lien entre les technologies chauffage et Eau Chaude Sanitaire ;
- Pas de modélisation explicite des appoints ;
- Pas de possibilité de tenir compte d'une composante sociologique les comportements (choisis ou subis) des ménages ;
- Pas de modulation possible du déploiement des technologies selon le contexte géographique ;
- Pas de prise en compte des consommations d'énergie grise liées au déploiement des équipements.

Cet outil apporte donc de nombreuses fonctionnalités complémentaires mais présente aussi des limites, précisées dans la suite pour chaque module. Elles sont liées à la méthodologie retenue ou aux limites de développement permises dans le cadre de l'exercice Transition(s) 2050. Notamment, seules les consommations des résidences principales sont prises en compte actuellement.

## 1.2. Approche de la modélisation

Par rapport aux modèles existants, l'outil intègre donc les fonctionnalités suivantes :

- La prise en compte de **tous les usages** dans un unique outil intégré ;
- L'intégration des **chauffages d'appoint** ;
- La possibilité de paramétrier une **sobriété contrainte** sur des critères économiques ;
- Le **lien entre les équipements de chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire** ;
- La possibilité de lier le développement du gaz naturel à la présence actuelle des réseaux et celle des réseaux de chaleur urbains à la densité urbaine ;
- L'intégration d'un module d'Analyse de Cycle de Vie<sup>3</sup> permettant notamment d'estimer les consommations d'énergie grise.

---

<sup>2</sup> Ce modèle a été mis à disposition du CSTB

<sup>3</sup> Le module d'Analyse de Cycle de Vie n'a pas été utilisé dans le cadre de l'exercice Transition(s) 2050 et donc non mis à jour par rapport aux versions précédentes de l'outil

### **1.2.1. Un outil initialisé avec la base de données Enerter® ...**

Cette approche de la modélisation nécessite notamment de pouvoir lier les logements à leurs occupants. Energies Demain a réalisé ce travail afin de constituer la base de données Enerter® qui associe chaque logement à un ménage (avec une localisation à l'IRIS, sur la base des fichiers détail du recensement).

Enerter® décrit le parc de logements selon une typologie fine permettant de segmenter le parc initial selon la catégorie de logements (résidence principale, résidences secondaires, logements vacants), le type de logement (maison ou immeuble collectif, parc privé ou social) et l'énergie et le mode de chauffage. De plus, sur chacun des segments des résidences principales, Enerter® permet d'associer une répartition des ménages selon leur caractéristiques socio-économiques et selon leur localisation géographique.

Un descriptif de la méthode de construction de la base Enerter® est disponible à l'adresse suivante : <https://energies-demain.com/enerter-bati/>

### **1.2.2. ...mais compatible avec les outils existants**

La structure d'ANTONIO a été définie pour permettre une intégration aisée des données d'initialisation provenant d'Enerter®, mais il est tout à fait envisageable de réaliser cette initialisation avec d'autres données dès lors que la structure est respectée c'est-à-dire une répartition du parc selon le type de logement, la période de construction, la performance de l'enveloppe et le système de chauffage.

## 2. Architecture générale de l'outil

### 2.1. Périmètre géographique

Le modèle ANTONIO couvre la France métropolitaine.

### 2.2. Les différents modules

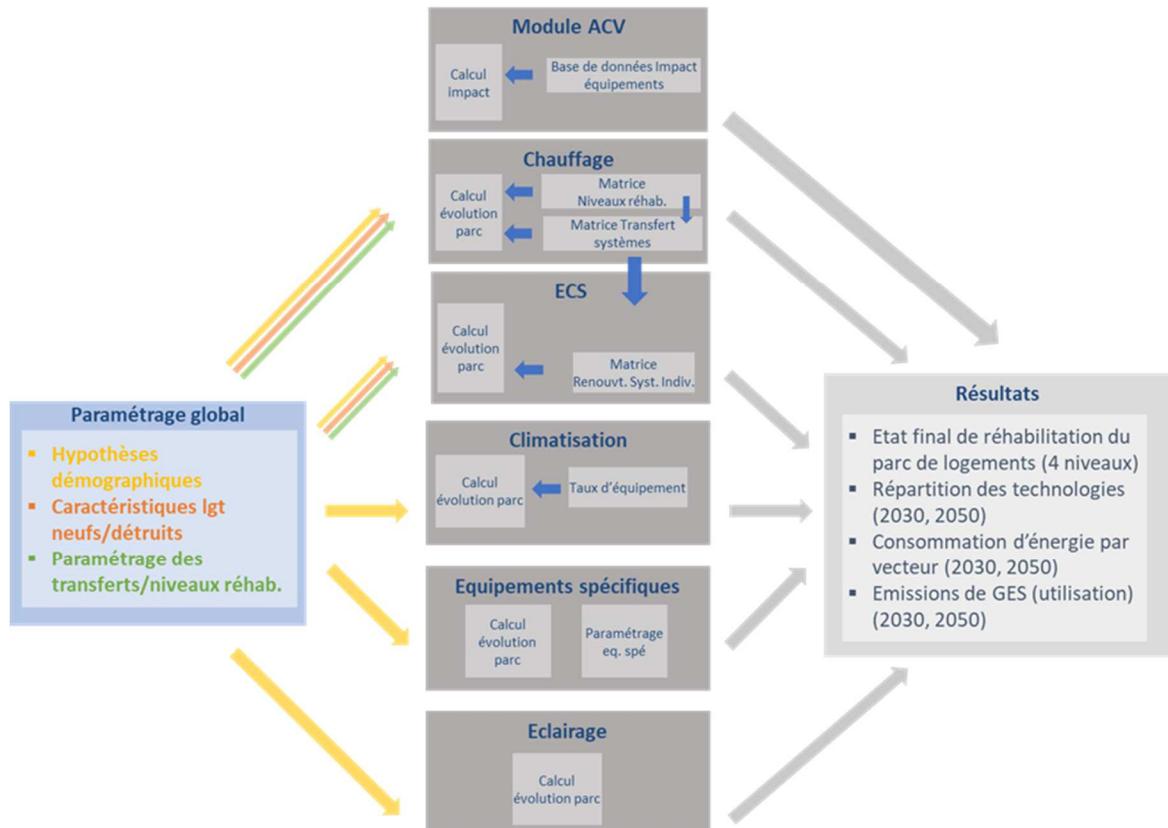


Figure 1 : Structure modulaire de l'outil

Le modèle prend la forme d'un **fichier Excel** appelé « moteur\_calcul », composé de modules pour chaque usage (sous la forme d'un ou plusieurs onglets) comme présenté Figure 2. Un fichier supplémentaire, assorti d'un jeu d'hypothèses spécifiques, est construit pour chaque scénario, afin de faciliter à la fois le paramétrage de l'outil ainsi que sa lecture. Ces **fichiers Scénario** ne comportent que les onglets de paramétrage et de résultats.

| CHAUFFAGE                                   |                  |          |          |          |                    |          |                    |           |                  | EAU CHAUDE SANITAIRES                 |         |         |                    |          |                    |          |         |         |  |
|---|------------------|----------|----------|----------|--------------------|----------|--------------------|-----------|------------------|---------------------------------------|---------|---------|--------------------|----------|--------------------|----------|---------|---------|--|
| DONNEES CONSOMMATIONS                       |                  |          |          |          |                    |          |                    |           |                  | DONNEES CONSOMMATIONS                 |         |         |                    |          |                    |          |         |         |  |
| Consommation chauffage par type de logement |                  |          |          |          |                    |          |                    |           |                  | Consommation ECS par type de logement |         |         |                    |          |                    |          |         |         |  |
| Clé_Parc                                    | Type de logement | Code     | Nom      | Surface  | Nombre de logement | Année    | Consommation (MWh) | Clé_Parc  | Type de logement | Code                                  | Nom     | Surface | Nombre de logement | Année    | Consommation (MWh) |          |         |         |  |
| 1   | R.HM             | 15620375 | 10442241 | 10520107 | 10715152           | 15583495 | 200040300          | 2         | H.M              | 1545405                               | 3456569 | 3466533 | 3474692            | 25655932 | 19520576           | 1753554  | 6748353 |         |  |
| 2   | PAC-AE           | 20236012 | 10442241 | 10520107 | 10715152           | 15583495 | 200040300          | 2         | H.M              | 1545405                               | 3456569 | 3466533 | 3474692            | 25655932 | 19520576           | 1753554  | 6748353 |         |  |
| 3   | PAC-ElecSpec     | 21237072 | 21236009 | 21236009 | 21245512           | 27544468 | 310101582          | 364042376 | 3                | H.M                                   | 1545405 | 3456569 | 3466533            | 3474692  | 25655932           | 19520576 | 1753554 | 6748353 |  |
| TOTAL                                       |                  |          |          |          |                    |          |                    | TOTAL     |                  |                                       |         |         |                    |          |                    |          |         |         |  |

| DONNEES CONSOMMATIONS              |                   |          |         |         |                    |          |                    |           |                | DONNEES CONSOMMATIONS       |          |          |                    |           |                    |           |           |           |           |
|------------------------------------|-------------------|----------|---------|---------|--------------------|----------|--------------------|-----------|----------------|-----------------------------|----------|----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Consommation par type de chauffage |                   |          |         |         |                    |          |                    |           |                | Consommation par type d'ECS |          |          |                    |           |                    |           |           |           |           |
| Clé_Clfsp                          | Mode de chauffage | Code     | Nom     | Surface | Nombre de logement | Année    | Consommation (MWh) | Clé_Clfsp | Mode d'ECS     | Code                        | Nom      | Surface  | Nombre de logement | Année     | Consommation (MWh) |           |           |           |           |
| 1                                  | CCO-CU            | 10362347 | 1056070 | 2204540 | 29569              | 10424299 | 1053494            | 1         | Classefge_ebas | 1261650                     | 1261650  | 1261650  | 1261650            | 29352     | 9620410            | 9620410   | 9620410   | 9620410   |           |
| 2                                  | CCO-Fuel          | 15203011 | 1040505 | 2404035 | 358704             | 7166773  | 10424299           | 2         | Gasified       | 1514652                     | 1514652  | 1514652  | 1514652            | 29352     | 107556             | 107556    | 107556    | 107556    |           |
| 3                                  | CCC-ElectroH      | 21249177 | 2142433 | 10716   | 2010125            | 21429179 | 10424299           | 3         | Fuel           | 1514652                     | 1514652  | 1514652  | 1514652            | 29352     | 0                  | 0         | 0         | 0         |           |
| 4                                  | CCC-Chaleur       | 10424299 | 0       | 0       | 0                  | 0        | 0                  | 4         | ElectroH       | 3050558                     | 3050558  | 3050558  | 3050558            | 29352     | 107556             | 107556    | 107556    | 107556    |           |
| 5                                  | CCC-Chaleur       | 10424299 | 0       | 0       | 0                  | 0        | 0                  | 5         | Electro        | 47510                       | 47510    | 47510    | 47510              | 29352     | 107556             | 107556    | 107556    | 107556    |           |
| 6                                  | CCC-Chaleur       | 10424299 | 0       | 0       | 0                  | 0        | 0                  | 7         | Boil           | 92570                       | 31344    | 50823    | 502474             | 343508    | 343508             | 343508    | 343508    | 343508    |           |
| 8                                  | CCC-Chaleur       | 10424299 | 0       | 0       | 0                  | 0        | 0                  | 9         | Gas            | 20205                       | 20205    | 20205    | 20205              | 29352     | 107556             | 107556    | 107556    | 107556    |           |
| 9                                  | CCC-Chaleur       | 10424299 | 0       | 0       | 0                  | 0        | 0                  | 10        | Thermo         | 4351914                     | 4351914  | 5146523  | 6172158            | 14541954  | 14541954           | 14541954  | 14541954  | 14541954  |           |
| 11                                 | Todex-Gas         | 0        | 0       | 0       | 0                  | 0        | 0                  | 12        | Total          | 21237072                    | 21236009 | 21245512 | 27544468           | 310101582 | 364042376          | 364042376 | 364042376 | 364042376 | 364042376 |
| TOTAL                              |                   |          |         |         |                    |          |                    | TOTAL     |                |                             |          |          |                    |           |                    |           |           |           |           |

| DONNEES EQUIPEMENTS |                |         |         |         |                    |          |                    |           |                   | Répartition des équipements d'ECS |          |          |                    |           |                    |           |                   |           |           |
|---------------------|----------------|---------|---------|---------|--------------------|----------|--------------------|-----------|-------------------|-----------------------------------|----------|----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------|
| Clé_Equip           | Mode d'ECS     | Code    | Nom     | Surface | Nombre de logement | Année    | Consommation (MWh) | Clé_Equip | Type d'équipement | Code                              | Nom      | Surface  | Nombre de logement | Année     | Consommation (MWh) | Clé_Equip | Type d'équipement | Code      | Matière   |
| 1                   | Classefge_ebas | 1261650 | 1261650 | 1261650 | 1261650            | 29352    | 9620410            | 1         | Classefge_ebas    | 1261650                           | 1261650  | 1261650  | 1261650            | 29352     | 9620410            | 9620410   | 9620410           | 9620410   | 9620410   |
| 2                   | Gasified       | 2287052 | 2287052 | 2287052 | 2287052            | 29352    | 107556             | 2         | Fuel              | 1514652                           | 1514652  | 1514652  | 1514652            | 29352     | 107556             | 107556    | 107556            | 107556    | 107556    |
| 3                   | ElectroH       | 3050558 | 3050558 | 3050558 | 3050558            | 29352    | 107556             | 4         | Electro           | 47510                             | 47510    | 47510    | 47510              | 29352     | 107556             | 107556    | 107556            | 107556    | 107556    |
| 5                   | Electro        | 47510   | 47510   | 47510   | 47510              | 29352    | 107556             | 6         | Boil              | 92570                             | 31344    | 50823    | 502474             | 343508    | 343508             | 343508    | 343508            | 343508    | 343508    |
| 7                   | Gas            | 20205   | 20205   | 20205   | 20205              | 29352    | 107556             | 8         | Thermo            | 4351914                           | 4351914  | 5146523  | 6172158            | 14541954  | 14541954           | 14541954  | 14541954          | 14541954  | 14541954  |
| 9                   | Thermo         | 4351914 | 4351914 | 5146523 | 6172158            | 14541954 | 14541954           | 10        | Total             | 21237072                          | 21236009 | 21245512 | 27544468           | 310101582 | 364042376          | 364042376 | 364042376         | 364042376 | 364042376 |
| TOTAL               |                |         |         |         |                    |          |                    | TOTAL     |                   |                                   |          |          |                    |           |                    |           |                   |           |           |

Figure 2 : Illustration de l'outil réalisé

Plus précisément, dans le moteur de calcul, les modules suivants ont été créés :

- Module Dynamique du Parc**: le module dynamique du parc est principalement composé de l'onglet Parc\_lgts. Cet onglet permet de faire évoluer le parc de logements selon leur catégorie (Résidences principales, Résidences secondaires ou occasionnelles, logements vacants). Ce module permet ainsi d'explorer les leviers d'action de réinvestissement des logements secondaires ou vacants. Ce module s'inspire de la logique d'ensemble du modèle OTELo.
- Module chauffage**: le module chauffage est principalement composé de 4 onglets :
  - L'onglet Calcul\_chauff** qui permet de réaliser l'ensemble des calculs sur les consommations d'énergie dues au chauffage. Cet onglet prend en compte les évolutions du parc de logement et intègre les hypothèses concernant la réhabilitation des logements et les changements de système en appelant les deux onglets présentés en suivant.
  - L'onglet Transfert\_syst** est composé de matrices de passage qui permettent de matérialiser pour chaque renouvellement d'équipement l'évolution de la répartition des nouveaux équipements.
  - L'onglet Transfert\_rehab** est composé de matrices de passage qui permettent de modéliser les rénovations du bâti et l'évolution des niveaux de rénovation des logements du parc.
  - L'onglet Besoins de chauffage** contient les hypothèses concernant les besoins énergétiques conventionnels pour chaque segment de logements existants et neufs, ainsi que les gains liés aux différents niveaux de réhabilitation.
- Module ECS**: le module ECS est composé de 2 onglets :
  - L'onglet Calcul\_ECS** qui permet de réaliser l'ensemble des calculs sur les consommations d'énergie dues à l'eau chaude sanitaire. Cet onglet prend en compte les évolutions du parc de logement et intègre les hypothèses concernant les changements de système de chauffage en appelant l'onglet Transfert\_systECS.
  - L'onglet Transfert\_systECS** est composé de deux matrices de passage. La première permet de modéliser pour chaque renouvellement d'équipement individuel l'évolution de la répartition des nouveaux équipements individuels d'ECS. A noter que les renouvellements d'équipements d'ECS combinés sont conditionnés par le renouvellement des modes de chauffage. La seconde matrice permet de modéliser les équipements ECS des logements construits.

- **Module climatisation**: ce module est composé de l'onglet Calcul\_clim qui permet de réaliser l'ensemble des calculs sur les consommations d'énergie dues à l'usage des systèmes de climatisation. Cet onglet prend en compte les évolutions du parc de logement et intègre les hypothèses concernant l'évolution des types de systèmes et des besoins.
- **Module électricité spécifique (équipements blancs, bruns, gris)**: le module électricité spécifique est composé d'un unique onglet (Calcul\_ElecSpé), reprenant principalement les sorties du modèle USE 2 de l'ADEME jusqu'à 2030 et faisant évoluer les différents paramètres (taux d'équipement, puissance, etc.) sur la base d'hypothèses de modélisation sur la période 2030-2050.
- **Module éclairage**: le module éclairage est composé d'un seul onglet (Eclairage) qui évolue différents paramètres (selon le type de ménage et de technologies : nombre de lampes, durée d'allumage par lampe, puissance moyenne et consommation annuelle des ménages).
- **Module ACV**: le module ACV permet de calculer l'impact environnemental du flux d'équipements modélisé. L'hypothèse de base est que l'impact environnemental des produits en 2050 sera identique à leur impact actuel (en l'absence de données prospective sur l'impact environnemental des équipements). Le périmètre de l'ACV est du berceau à la tombe, l'unité fonctionnelle est « utiliser un équipement sur sa durée de vie ».

Ces 7 modules spécifiques se basent sur des hypothèses communes qui sont regroupées dans différents onglets de paramétrage. Les paramètres identiques dans tous les scénarios sont dans le moteur de calcul. Les paramètres spécifiques à chaque scénario sont dans les fichiers Scenario.

Pour les paramètres identiques, on retrouve les onglets suivants dans le moteur de calcul :

- **Onglet ménages** : regroupe les paramétrages concernant la répartition des ménages dans le parc de logement ;
- **Onglet Rendement** : regroupe les hypothèses d'évolution des rendements.

Pour les paramètres spécifiques, on retrouve les onglets suivants dans chaque fichier scénario :

- **Onglet paramétrage** : regroupe l'ensemble des paramétrage généraux (périodes de calcul, démographie, etc.) ainsi que des paramètres plus spécifiques nécessaires aux différents calculs (hypothèses de construction et déconstruction sur le parc, besoins spécifiques, etc.) ;
- **Onglet paramétrage avancé** : regroupe plusieurs ensembles de paramètres relatifs :
  - **Aux Localisation et apponts** : regroupe les paramétrages concernant la répartition des chauffages d'appoint et des données de localisation (présence d'un réseau gaz) dans le parc de logements ;
  - **Aux Prix** : regroupe les hypothèses concernant l'évolution des prix de l'énergie et les calculs intermédiaires liés à la prise en compte de la sobriété contrainte ;
  - **Aux Emissions** : regroupe les hypothèses concernant l'évolution des facteurs d'émissions des différents vecteurs énergétiques.
- **Onglet Calcul\_Equip** : regroupe les hypothèses relatives au taux d'équipement des appareils électriques.

Enfin, les résultats du modèle associés au scénario sont présentés dans deux onglets différents :

- **Onglets Résultats détaillés énergie et ACV** : présentent, sous forme de tableau, les résultats de la modélisation ;
- **Onglet Tableau de bord énergie et ACV** (cf. ci-dessous) : présentent, sous forme de graphiques les résultats agrégés de la modélisation.

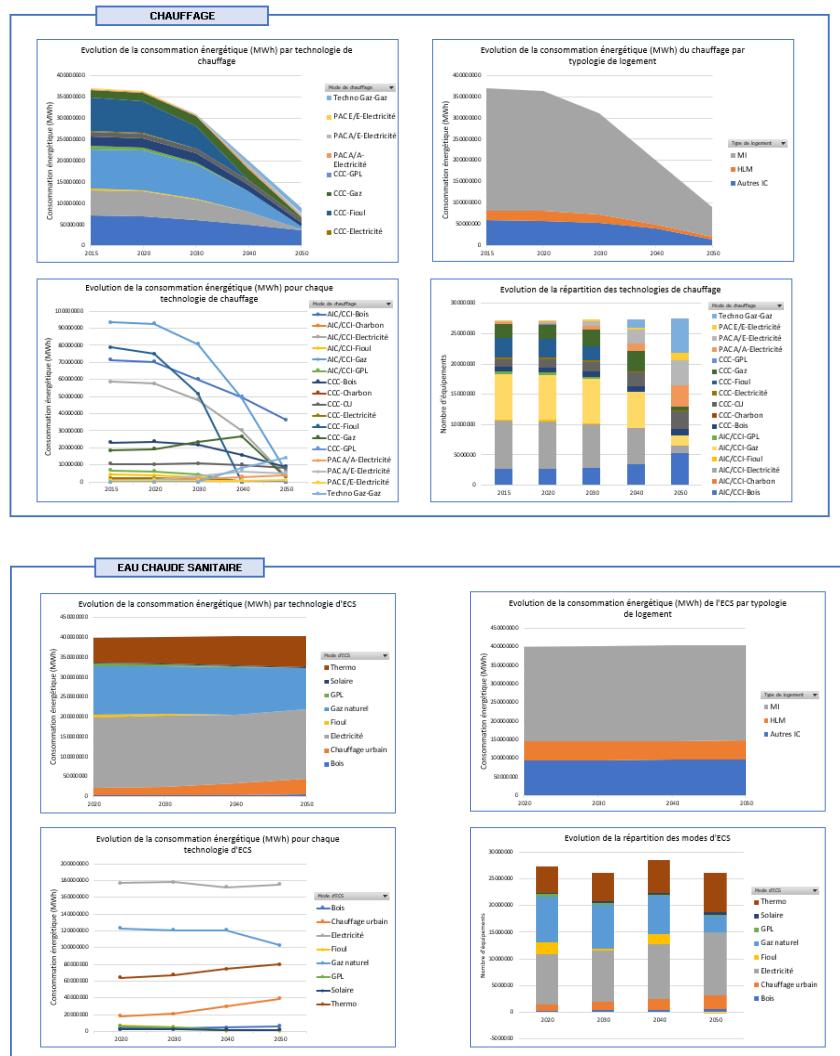


Figure 3 : Illustration de l'onglet Tableau de bord

### **2.3. Segmentation du parc**

Pour le calcul des consommations dues au chauffage, l'évolution du parc de logement a été considérée. Pour cela, le parc initial existant d'ENERTER® (modèle d'Énergies Demain – parc issu du RGP de 2015) a été utilisé, des hypothèses concernant le rythme de rénovation, de construction et de déconstruction de logements ont ensuite été intégrées pour faire évoluer le parc initial.

Le parc est segmenté selon quatre caractéristiques principales :

- 3 types de logement : maison individuelle, HLM collectif, autre logement collectif ;
- 4 périodes de construction du logement : Avant 1970, 1970-2000, 2000-2015, 2015 et plus ;
- 4 niveaux de performance énergétique de l'enveloppe : ces niveaux de performance sont définis à partir de seuils appliqués aux besoins thermiques conventionnels pour le chauffage et la production d'ECS ;
- 17 modes de chauffage : 7 modes de chauffage collectifs (RCU, gaz, fioul, électricité, GPL, PAC Hybride gaz/électricité, bois), 6 modes de chauffage individuels (gaz, fioul, électricité, GPL, PAC Hybride gaz/électricité, bois), 4 modes non différenciés (PAC Air/Air, Air/Eau, Eau/Eau, et PAC gaz).

Chaque segment correspond à une ligne du tableau Excel dans l'onglet « Calcul\_chauffage ». Ainsi, une ligne correspond par exemple à : maison individuelle, 1970-2000, performance de l'enveloppe faible,

chauffage central collectif au gaz. Le nombre de logements par segment (et donc par ligne) évolue au fil du temps, les logements passant d'un segment à l'autre lorsque les modes de chauffage et/ou le niveau de réhabilitation évoluent.

Des données sur le parc de logements concernant le type d'unité urbaine d'appartenance, la part des chauffages appoints et des raccordements possibles au réseau de gaz sont également disponibles par segment.

## **2.4.Caractérisation des ménages**

Dans l'objectif d'intégrer une dimension sociale aux scénarios, une segmentation des ménages a été réalisée pour chaque segment de logement (cf. Figure 5). La caractérisation pour chaque logement du ménage qui l'occupe et l'estimation des revenus est réalisée notamment via un rapprochement des fichiers « détail logements » et « détail individus » du RGP 2015 (cf. Rapport méthodologique Enerter® en annexe). Cette segmentation permet de connaître :

- La composition des ménages (personne seule, couple sans enfant, couple avec enfants, famille monoparentale, autre) : pour chaque segment de logement, la part de ces différents types de ménage est précisée
- Le nombre moyen de personnes par ménage pour chaque segment
- La répartition des tranches d'âge pour chaque segment
- La répartition des niveaux de revenus pour chaque segment

| Données initiales 2015 |                  |          | Composition du ménage (part en nombre de ménages) |                    |                    |                      |       | Nbre moyen de personnes/ménage |                      |       |                          |             | tranches d'âge |             |              |             |             | Niveaux de revenus |             |     |  |  |
|------------------------|------------------|----------|---|--------------------|--------------------|----------------------|-------|--------------------------------|----------------------|-------|--------------------------|-------------|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-----|--|--|
| Type / Statut          | Syst             | Age      | Personne seule                                    | Couple sans enfant | Couple avec enfant | Famille monoparental | Autre | Couple avec enfant             | Famille monoparental | Autre | Nbre moyen de pers / log | inf. 30 ans | 10 à 70 ans    | sup. 70 ans | 1er quintile | 2e quintile | 3e quintile | 4e quintile        | 5e quintile |     |  |  |
| M1                     | CCC-CU           | Av. 1970 | 30%   | 29%                | 33%                | 4%                   | 5%    | 3,9                            | 2,9                  | 2,4   | 2,4                      | 18%         | 59%            | 23%         | 22%          | 20%         | 19%         | 19%                | 20%         | 21% |  |  |
| M1                     | CCC-Gaz          | Av. 1970 | 32%   | 32%                | 27%                | 3%                   | 5%    | 3,8                            | 2,8                  | 2,2   | 2,2                      | 15%         | 53%            | 31%         | 20%          | 20%         | 19%         | 19%                | 20%         | 21% |  |  |
| M1                     | CCC-Poul         | Av. 1970 | 35%   | 23%                | 3%                 | 5%                   | 3,6   | 2,6                            | 2,0                  | 2,0   | 13%                      | 52%         | 38%            | 18%         | 18%          | 18%         | 21%         | 24%                | 16%         | 21% |  |  |
| M1                     | CCC-Charbon      | Av. 1970 | 34%   | 33%                | 25%                | 3%                   | 5%    | 3,8                            | 2,8                  | 2,2   | 2,2                      | 19%         | 55%            | 26%         | 23%          | 20%         | 16%         | 16%                | 16%         | 21% |  |  |
| M1                     | CCC-GPL          | Av. 1970 | 33%   | 33%                | 26%                | 3%                   | 5%    | 3,7                            | 2,7                  | 2,1   | 2,1                      | 15%         | 55%            | 29%         | 21%          | 20%         | 18%         | 20%                | 23%         | 23% |  |  |
| M1                     | CCC-Charbon      | Av. 1970 | 33%   | 33%                | 26%                | 3%                   | 5%    | 3,7                            | 2,7                  | 2,1   | 2,1                      | 15%         | 55%            | 29%         | 21%          | 20%         | 18%         | 20%                | 23%         | 23% |  |  |
| M1                     | CCC-Bio          | Av. 1970 | 27%   | 30%                | 34%                | 4%                   | 5%    | 4,1                            | 3,1                  | 2,5   | 2,5                      | 13%         | 65%            | 22%         | 12%          | 15%         | 18%         | 24%                | 31%         | 31% |  |  |
| M1                     | A/C/C-Eau        | Av. 1970 | 29%   | 30%                | 33%                | 4%                   | 5%    | 3,9                            | 2,9                  | 2,4   | 2,4                      | 13%         | 59%            | 28%         | 15%          | 18%         | 20%         | 22%                | 25%         | 25% |  |  |
| M1                     | A/C/C-Foul       | Av. 1970 | 33%   | 34%                | 25%                | 3%                   | 5%    | 3,8                            | 2,8                  | 2,2   | 2,2                      | 11%         | 53%            | 35%         | 21%          | 20%         | 18%         | 20%                | 22%         | 22% |  |  |
| M1                     | A/C/C-Electric   | Av. 1970 | 32%   | 32%                | 28%                | 3%                   | 5%    | 3,6                            | 2,6                  | 2,1   | 2,1                      | 17%         | 58%            | 24%         | 19%          | 19%         | 19%         | 21%                | 23%         | 23% |  |  |
| M1                     | A/C/C-Charbon    | Av. 1970 | 33%   | 34%                | 25%                | 3%                   | 5%    | 3,8                            | 2,8                  | 2,3   | 2,2                      | 13%         | 56%            | 32%         | 18%          | 18%         | 17%         | 21%                | 25%         | 25% |  |  |
| M1                     | A/C/C-Charbon    | Av. 1970 | 32%   | 33%                | 28%                | 3%                   | 5%    | 3,8                            | 2,8                  | 2,2   | 2,2                      | 10%         | 60%            | 0%          | 0%           | 0%          | 0%          | 0%                 | 0%          | 0%  |  |  |
| M1                     | A/C/C-Bio        | Av. 1970 | 30%   | 31%                | 21%                | 3%                   | 5%    | 3,8                            | 2,8                  | 2,3   | 2,3                      | 15%         | 63%            | 23%         | 17%          | 18%         | 19%         | 23%                | 25%         | 25% |  |  |
| M1                     | PAC A/A          | Av. 1970 | 32%   | 32%                | 27%                | 3%                   | 5%    | 3,6                            | 2,6                  | 2,1   | 2,1                      | 17%         | 58%            | 24%         | 19%          | 19%         | 19%         | 21%                | 23%         | 23% |  |  |
| M1                     | PAC A/A-Electric | Av. 1970 | 32%   | 32%                | 28%                | 3%                   | 5%    | 3,6                            | 2,6                  | 2,2   | 2,2                      | 17%         | 59%            | 24%         | 19%          | 19%         | 19%         | 21%                | 23%         | 23% |  |  |
| M1                     | PAC E/E-Electric | Av. 1970 | 32%   | 32%                | 28%                | 3%                   | 5%    | 3,6                            | 2,6                  | 2,2   | 2,2                      | 17%         | 58%            | 24%         | 19%          | 19%         | 19%         | 21%                | 23%         | 23% |  |  |
| M1                     | Techno Gaz-Gaz   | Av. 1970 | 31%   | 32%                | 28%                | 3%                   | 5%    | 3,7                            | 2,7                  | 2,2   | 2,2                      | 0%          | 0%             | 0%          | 0%           | 0%          | 0%          | 0%                 | 0%          | 0%  |  |  |

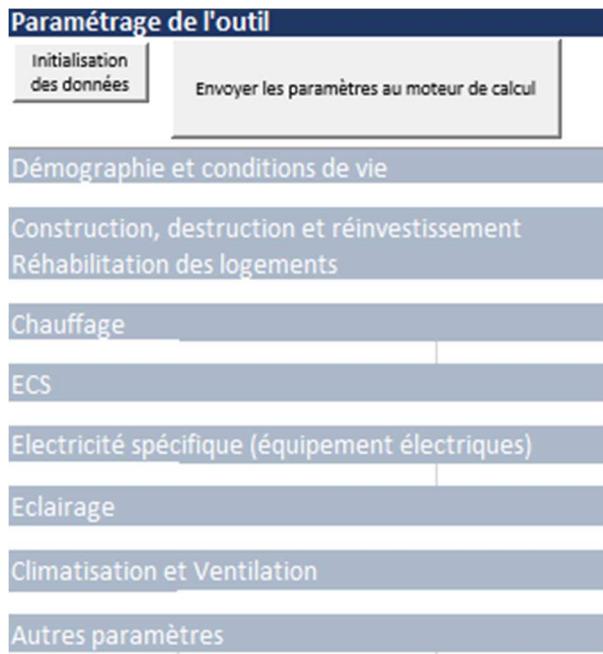
Figure 4 : Illustration de la segmentation des ménages (onglet Ménages)

Actuellement, ces données sur les ménages sont utilisées :

- Pour le calcul des besoins d'ECS : le nombre de personnes moyen par ménage ainsi que le niveau de revenu moyen du segment de logements (sobriété contrainte) sont intégrés ;
- Pour moduler la consommation en chauffage : il est possible de modéliser une réduction du chauffage en fonction du niveau de revenu moyen du segment de logements (sobriété contrainte) ;
- Pour moduler le rythme des rénovations : le nombre de rénovations par segment peut être rendu dépendant du niveau de revenu moyen du segment.

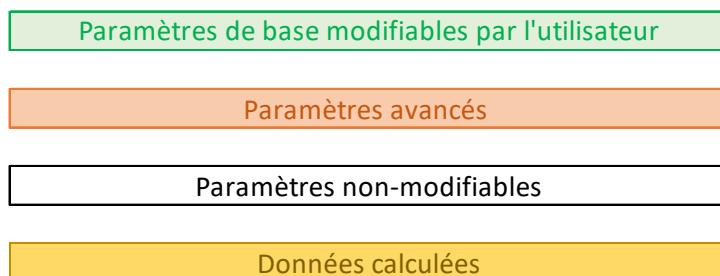
## **2.5.Le paramétrage**

Les paramètres permettant de constituer les différents scénarios sont pour la majorité d'entre eux regroupés dans l'onglet « Paramétrage » et classés par section, soient communes soit spécifiques aux différents modules. Quelques paramètres restent cependant modifiables dans l'onglet « Paramétrage avancé » mais un lien vers ceux-ci est cependant intégré dans l'onglet « Paramétrage » afin d'y accéder aisément.



Le code couleur suivant permet de repérer les paramètres modifiables dans cet onglet et les autres feuilles accessibles via les liens.

### Légende



Voici une description de la légende :

- **Paramètres de base modifiables par l'utilisateur** : il s'agit des paramètres d'entrée à modifier par l'utilisateur en priorité. Ce sont des paramètres considérés comme indispensables à renseigner ;
- **Paramètres avancés** : il s'agit de paramètres plus complexes à manipuler que les paramètres de base, il est déconseillé de les modifier pour un utilisateur non-averti ;
- **Paramètres non-modifiables** : il est strictement déconseillé de modifier ces paramètres ;
- **Données calculées** : ces données sont calculées à partir d'autres paramètres, il ne faut pas modifier les formules de ces cellules.

### 3. Principe de fonctionnement des modules

#### 3.1. Démographie et dynamique du parc de logements

##### 3.1.1. Données initiales

Les résidences principales ainsi que les logements vacants et les résidences secondaires sont réparties sur chacun des segments d'après la base de données Enerter® par type de logement, période de construction et énergie de chauffage.

| Dynamique du parc de logements |        |       |                     |       |      |      |         |            |      | Données initiales ENERTER 2015 |                        |         |                        |        |                   |   |                                |         |                          | 2020   |                              |    |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
|--------------------------------|--------|-------|---------------------|-------|------|------|---------|------------|------|--------------------------------|------------------------|---------|------------------------|--------|-------------------|---|--------------------------------|---------|--------------------------|--------|------------------------------|----|------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------|---|---|---|--|--|--|--|
| Clé_iv<br>PLJ                  | Statut | TYPLJ | Sta                 | Clé_t | Syst | SYST | Clé_Age | Age        | CLEF | REHAB                          | Résidences principales |         | Résidences secondaires |        | Logements vacants |   | Logements vacants courte durée |         | Logements vacants longue |        | Delta Résidences principales |    | Résidences secondaires |   | Logements vacants courte durée |   | Logements vacants longue |   |   |   |  |  |  |  |
|                                |        |       |                     |       |      |      |         |            |      |                                |                        |         |                        |        |                   |   |                                |         |                          |        |                              |    |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 1     | CCC-CU              |       |      |      | 1       | avant 1970 | 111  | 1                              | 797                    | 82      | 183                    | 137    | 31                | - | 29                             | 92      | 153                      | 153    | 35                           | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 2     | CCC-Gaz             |       |      |      | 1       | avant 1970 | 121  | 1                              | 3 808                  | 320     | 356                    | 267    | 60                | - | 74                             | 356     | 297                      | 297    | 67                           | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 3     | CCC-Fioul           |       |      |      | 1       | avant 1970 | 131  | 1                              | 6 800                  | 1 773   | 903                    | 677    | 154               | - | 299                            | 1 978   | 754                      | 1 978  | 171                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 4     | CCC-Electricité     |       |      |      | 1       | avant 1970 | 141  | 1                              | 91                     | 22      | 14                     | 11     | 2                 | - | 4                              | 24      | 12                       | 3      | 3                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 5     | CCC-GPL             |       |      |      | 1       | avant 1970 | 151  | 1                              | 321                    | 104     | 44                     | 33     | 8                 | - | 17                             | 116     | 37                       | 37     | 8                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 6     | PAC Hybride CCC-EI  |       |      |      | 1       | avant 1970 | 161  | 1                              | -                      | -       | -                      | -      | -                 | - | -                              | -       | -                        | -      | -                            | -  | -                      | - | -                              | - | -                        | - | - |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 7     | CCC/CCI-Bois        |       |      |      | 1       | avant 1970 | 171  | 1                              | 105 852                | 18 182  | 16 392                 | 12 294 | 2 787             | - | 3 806                          | 20 282  | 13 685                   | 13 685 | 3 102                        | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 8     | AIC/CCI-Gaz         |       |      |      | 1       | avant 1970 | 181  | 1                              | 193 908                | 8 932   | 18 119                 | 13 589 | 3 080             | - | 2 917                          | 9 963   | 15 126                   | 15 126 | 3 429                        | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 9     | AIC/CCI-Fioul       |       |      |      | 1       | avant 1970 | 191  | 1                              | 367 855                | 58 698  | 48 845                 | 36 634 | 8 304             | - | 11 862                         | 65 476  | 40 778                   | 40 778 | 9 243                        | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 10    | AIC/CCI-Electricité |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1101 | 1                              | 20 864                 | 4 205   | 3 200                  | 2 400  | 544               | - | 819                            | 4 690   | 2 672                    | 2 672  | 606                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 11    | AIC/CCI-GPL         |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1111 | 1                              | 29 736                 | 7 040   | 4 103                  | 3 077  | 698               | - | 1 240                          | 7 852   | 3 426                    | 3 426  | 776                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 12    | PAC Hybride CCI-EI  |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1121 | 1                              | -                      | -       | -                      | -      | -                 | - | -                              | -       | -                        | -      | -                            | -  | -                      | - | -                              | - | -                        | - |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 13    | AIC-Bois            |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1131 | 1                              | 523 396                | 140 362 | 81 052                 | 60 789 | 13 779            | - | 24 645                         | 156 572 | 67 665                   | 67 665 | 15 337                       | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 14    | PAC A/A-Electricité |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1141 | 1                              | 2                      | 1       | 0                      | 0      | 0                 | - | 0                              | 1       | 0                        | 0      | 0                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 15    | PAC A/E-Electricité |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1151 | 1                              | 21                     | 2       | 3                      | 2      | 1                 | - | 1                              | 2       | 3                        | 1      | 1                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 16    | PAC E/E-Electricité |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1161 | 1                              | 2                      | 0       | 0                      | 0      | 0                 | - | 0                              | 0       | 0                        | 0      | 0                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 1                              | MI     | 17    | PAGaz-Gaz           |       |      |      | 1       | avant 1970 | 1171 | 1                              | -                      | -       | -                      | -      | -                 | - | -                              | -       | -                        | -      | -                            | -  | -                      | - | -                              | - | -                        | - | - |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 1     | CCC-CU              |       |      |      | 1       | avant 1970 | 211  | 1                              | 36 308                 | 195     | 2 436                  | 1 827  | 414               | - | 276                            | 218     | 2 034                    | 2 034  | 461                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 2     | CCC-Gaz             |       |      |      | 1       | avant 1970 | 221  | 1                              | 48 368                 | 270     | 3 879                  | 2 909  | 659               | - | 435                            | 301     | 3 238                    | 3 238  | 734                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 3     | CCC-Fioul           |       |      |      | 1       | avant 1970 | 231  | 1                              | 11 943                 | 130     | 980                    | 735    | 167               | - | 117                            | 146     | 819                      | 819    | 186                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 4     | CCC-Electricité     |       |      |      | 1       | avant 1970 | 241  | 1                              | 1 211                  | 5       | 122                    | 91     | 21                | - | 13                             | 5       | 101                      | 23     | 101                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 5     | CCC-GPL             |       |      |      | 1       | avant 1970 | 251  | 1                              | 774                    | 4       | 79                     | 59     | 13                | - | 9                              | 4       | 66                       | 15     | 15                           | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 6     | PAC Hybride CCC-EI  |       |      |      | 1       | avant 1970 | 261  | 1                              | -                      | -       | -                      | -      | -                 | - | -                              | -       | -                        | -      | -                            | -  | -                      | - | -                              | - | -                        | - | - | - |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 7     | CCC/CCI-Bois        |       |      |      | 1       | avant 1970 | 271  | 1                              | 2 144                  | 8       | 177                    | 133    | 30                | - | 19                             | 8       | 148                      | 33     | 33                           | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 8     | AIC/CCI-Gaz         |       |      |      | 1       | avant 1970 | 281  | 1                              | 14 801                 | 98      | 1 187                  | 890    | 202               | - | 135                            | 109     | 991                      | 991    | 225                          | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 9     | AIC/CCI-Fioul       |       |      |      | 1       | avant 1970 | 291  | 1                              | 227                    | 5       | 19                     | 14     | 5                 | - | 2                              | 5       | 16                       | 4      | 4                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 10    | AIC/CCI-Electricité |       |      |      | 1       | avant 1970 | 2101 | 1                              | 1 480                  | 33      | 149                    | 111    | 25                | - | 19                             | 37      | 37                       | 124    | 28                           | 28 | -                      |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 11    | AIC/CCI-GPL         |       |      |      | 1       | avant 1970 | 2111 | 1                              | 371                    | 5       | 38                     | 28     | 6                 | - | 4                              | 5       | 31                       | 7      | 7                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 12    | PAC Hybride CCI-EI  |       |      |      | 1       | avant 1970 | 2121 | 1                              | -                      | -       | -                      | -      | -                 | - | -                              | -       | -                        | -      | -                            | -  | -                      | - | -                              | - | -                        | - | - | - |  |  |  |  |
| 2                              | HLM    | 13    | AIC-Bois            |       |      |      | 1       | avant 1970 | 2131 | 1                              | 250                    | 8       | 21                     | 15     | 4                 | - | 3                              | 9       | 17                       | 4      | 4                            | -  |                        |   |                                |   |                          |   |   |   |  |  |  |  |

##### 3.1.2. L'évolution du parc de logements

Le nombre total de logements est la somme du nombre de résidences principales, de logements vacants et de résidences secondaires. **Le périmètre est « restreint » aux logements hébergeant les ménages ordinaires** vivant en maison individuelle ou immeuble collectif (hors hôtels et foyers et au sens INSEE des ménages ordinaires, i.e. hors population vivant en habitat communautaire, en habitation mobile ou sans-abris), soit 97% de la population.

L'évolution du nombre de résidences principales est déterminée à partir de l'évolution démographique sur le périmètre considéré, des variations du nombre de personnes par ménage et du nombre de personnes privées de logements. L'outil permet de fixer des hypothèses pour ces 3 paramètres.

Par ailleurs, en faisant évoluer les taux de logements vacants et de résidences secondaires, il est possible de modéliser la conversion de ceux-ci en résidences principales (ou à l'inverse de réduire le stock de résidences principales). Un taux de destruction des résidences principales existantes étant en outre fixé, l'outil permet alors de **calculer le nombre de logements neufs à construire pour héberger l'ensemble de la population considérée**.

|   | 2015       | 2015 - 2020 | 2020 - 2030 | 2030 - 2040 | 2040 - 2050 |
|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Taux d'accroissement moyen annuel de la population            |            | 0,399%      | 0,261%      | 0,189%      | 0,087%      |
| Population (fin de période)                                   | 62 477 758 | 63 733 439  | 65 419 049  | 66 667 155  | 67 247 837  |
| Nombre de personnes par logement                              | 2,23       | 2,16        | 2,15        | 2,13        | 2,12        |
| Nombre de logements total (fin de période)                    | 33 958 448 | 36 055 000  | 36 198 015  | 36 066 088  | 35 608 400  |
| Dont résidences principales (=Nombre de ménages + relogement) | 28 040 513 | 29 460 000  | 30 643 029  | 31 567 618  | 32 188 178  |
| Taux de résidences secondaires                                | 9,5%       | 10,0%       | 7,5%        | 5,0%        | 2,5%        |
| Dont résidences secondaires                                   | 3 224 605  | 3 597 000   | 2 709 162   | 1 800 470   | 890 210     |
| Taux de vacances courte durée                                 | 5,9%       | 6,2%        | 5,8%        | 5,4%        | 5,0%        |
| Taux de vacances longue durée*                                | 1,3%       | 1,4%        | 1,4%        | 1,5%        | 1,5%        |
| Taux de vacances longue durée zone tendue (A, Abis)*          | 0,3%       | 0,3%        | 0,5%        | 0,8%        | 1,0%        |
| Taux de vacances longue durée zone non tendue (B1, B2, C)*    | 1,1%       | 1,1%        | 0,9%        | 0,7%        | 0,5%        |
| Dont logements vacants  | 2 693 330  | 2 998 000   | 2 845 824   | 2 698 000   | 2 530 012   |
| Dont logements vacants courte durée                           | 2 019 998  | 2 248 500   | 2 108 246   | 1 951 933   | 1 780 420   |
| Dont logements vacants longue durée *                         | 457 866    | 509 660     | 522 111     | 530 600     | 534 126     |
| Evolution du taux de destruction net des logements            |            | 0,3%        | 0,3%        | 0,2%        | 0,15%       |
| *non destinés à la démolition                                 |            |             |             |             |             |
| Nombre de logements construits                                |            | 2 491 656   | 898 058     | 477 454     | 14 200      |
| Réponse à l'évolution du nombre de ménages                    |            | 1 419 487   | 1 183 029   | 924 589     | 620 560     |
| Evolution du nombre de logements vacants*                     |            | 280 296     | -           | 127 803     | -           |
| Evolution du nombre de résidences secondaires                 |            | 372 395     | -           | 887 838     | -           |
| Compensation des variations du parc                           |            | 419 477     | 730 670     | 609 380     | 471 888     |
| *non destinés à la démolition                                 |            |             |             |             |             |
| Taux de logements vacants                                     | 8%         | 8,3%        | 7,9%        | 7,5%        | 7%          |
| dont taux de vacances zone tendue (A, Abis)                   | 22%        | 22%         | 23%         | 26%         | 29%         |
| dont taux de vacances zone non tendue (B1, B2, C)             | 78%        | 78%         | 77%         | 74%         | 71%         |
| dont taux de vacances courte durée                            | 75%        | 75%         | 74%         | 72%         | 70%         |
| dont taux de vacances longue durée*                           | 17%        | 17%         | 18%         | 20%         | 21%         |
| *non destinés à la démolition                                 |            |             |             |             |             |
| Personnes privées de logement personnel                       | 935 000    | 935 000     | 734 643     | 601 071     | 467 500     |

## 3.2.Le module chauffage

### 3.2.1. L'évolution du parc de systèmes et des rendements

#### 3.2.1.1. L'évolution du parc

L'évolution du parc des systèmes de chauffage est basée sur des matrices de transfert appliquées sur chacune des périodes de la simulation, par type de logement (onglet « Transfert\_Syst\_Chaffage »). Par exemple ci-dessous la matrice appliquée aux systèmes de chauffage des maisons individuelles pour la première période (2015-2020).

| Cd_Syst_Chaff                    | Syst_Chaff | Cd_Frange | Frange | CCC-CU | CCC-Gaz | CCC-Fioul | CCC-Electricité | CCC-GPL | CCC-H2 | CCC/CCI-Bois | AIC/CCI-Gaz | AIC/CCI-Fioul | AIC/CCI-Electricité | AIC/CCI-GPL | AIC/CCI-H2 | AIC-Bois | PAC A/A-Elect | PAC A/E-Elect | PAC E/E-Elect | PACgaz-Gaz |    |    |
|----------------------------------|------------|-----------|--------|--------|---------|-----------|-----------------|---------|--------|--------------|-------------|---------------|---------------------|-------------|------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------|----|----|
| Cd_Syst_Chaff                    | Syst_Chaff | Cd_Frange | Frange | Mi     | Mi      | Mi        | Mi              | Mi      | Mi     | Mi           | Mi          | Mi            | Mi                  | Mi          | Mi         | Mi       | Mi            | Mi            | Mi            |            |    |    |
| <b>Transferts NR - Période 1</b> |            |           |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             |            |          |               |               |               |            |    |    |
| <b>Transferts :</b>              |            |           |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             |            |          |               |               |               |            |    |    |
| CCC-CU                           | Mi         | 25%       | 100%   |        |         |           |                 |         |        | 0%           | 20%         |               |                     |             |            |          | 10%           | 20%           | 5%            | 0%         |    |    |
| CCC-Gaz                          | Mi         | 20%       | 45%    |        |         |           |                 |         |        | 0%           | 30%         |               |                     |             |            |          | 10%           | 30%           | 5%            | 0%         |    |    |
| CCC-Fioul                        | Mi         | 33%       | 5%     | 20%    |         |           |                 |         |        | 0%           | 30%         |               |                     |             |            |          | 20%           | 2%            | 1%            | 0%         |    |    |
| CCC-Electricité                  | Mi         | 33%       | 0%     | 57%    |         |           |                 |         |        | 0%           | 20%         |               |                     |             |            |          | 20%           | 2%            | 1%            | 0%         |    |    |
| CCC-GPL                          | Mi         | 25%       | 5%     |        |         |           |                 | 20%     |        | 0%           | 30%         |               |                     |             |            |          | 10%           | 30%           | 5%            | 0%         |    |    |
| CCC-H2                           | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         | 100%   |              |             |               |                     |             |            |          |               |               |               |            |    |    |
| CCC/CCI-Bois                     | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        | 100%         |             |               |                     |             |            |          |               |               |               |            |    |    |
| AIC/CCI-Gaz                      | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        |              | 45%         |               |                     |             |            |          | 0%            | 20%           | 10%           | 20%        | 5% | 0% |
| AIC/CCI-Fioul                    | Mi         | 33%       |        |        |         |           |                 |         |        |              | 5%          | 20%           |                     |             |            |          | 0%            | 30%           | 10%           | 30%        | 5% | 0% |
| AIC/CCI-Electricité              | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        |              | 0%          |               | 57%                 |             |            |          | 0%            | 20%           | 2%            | 1%         | 0% |    |
| AIC/CCI-GPL                      | Mi         | 17%       |        |        |         |           |                 |         |        |              | 5%          |               | 0%                  | 20%         |            | 0%       | 30%           | 10%           | 30%           | 5%         | 0% |    |
| AIC/H2                           | Mi         | 17%       |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     | 100%        |            |          |               |               |               |            |    |    |
| AIC-Bois                         | Mi         | 17%       |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             | 100%       |          |               |               |               |            |    |    |
| PAC A/A-Electricité              | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             |            |          | 100%          |               |               |            |    |    |
| PAC A/E-Electricité              | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             |            |          |               | 100%          |               |            |    |    |
| PAC E/E-Electricité              | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             |            |          |               |               | 100%          |            |    |    |
| PACgaz-Gaz                       | Mi         | 25%       |        |        |         |           |                 |         |        |              |             |               |                     |             |            |          |               |               |               | 100%       |    |    |

En ligne on trouve les systèmes présents en début de période et en colonne en fin de période.

La première colonne indique le taux de renouvellement pour l'ensemble de la période pour chaque système et les colonnes suivantes la répartition selon les systèmes neufs par lesquels l'ancien système est substitué. Par exemple, on peut lire que 33% des systèmes au fioul (AIC/CCI fioul) sont remplacés entre 2015 et 2020. 5% de ces systèmes sont remplacés par du gaz, 30% par du bois, 10% par des PAC Air/Air, 30% par des PAC Air/eau et 5% par des PAC Eau/Eau, tandis que les 20% restant sont renouvelés à l'identique.

Afin de simplifier le remplissage de ces matrices, des tableaux synthétiques ont été intégrés à l'onglet « Paramétrage » qui permettent de remplir automatiquement l'onglet « Transfert\_Syst\_Chauffage ».

Sont ainsi fixés :

- La **durée de vie moyenne des systèmes**, qui permet de calculer le taux de renouvellement sur chaque période

Durée de vie moyenne des systèmes (années)

| CCC-CU | CCC-Gaz | CCC-Fioul | CCC-Electricité | CCC-GPL | CCC-H2 | CCC/CCI-Bois | AIC/CCI-Gaz |
|--------|---------|-----------|-----------------|---------|--------|--------------|-------------|
| 20     | 25      | 15        | 15              | 20      | 20     | 20           | 20          |

Ces taux de renouvellement peuvent être accrus en considérant une **anticipation des renouvellements lors des réhabilitations** (on peut en particulier supposer que les rénovations lourdes vont générer plus de changement de système). Cet effet est paramétré via le tableau suivant qui permet de définir un taux d'augmentation du rythme de changements selon le niveau initial et final de performance des logements lors des réhabilitations (cf. § « Rénovation de l'enveloppe »). La structure des calculs dans l'outil ne permet cependant pas de cibler ces changements de systèmes supplémentaires sur les seuls logements qui seront réhabilités (ni a fortiori selon le niveau de performance des réhabilitations) mais s'applique de manière uniforme sur tous les logements selon leur performance initiale.

Part des systèmes changés lors de la rénovation (anticipation par rapport à la durée de vie moyenne)

| Saut de performance | Niveau initial                         | 1  | 1   | 1   | 2   | 2   | 3   |
|---------------------|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | Niveau final                           | 2  | 3   | 4   | 3   | 4   | 4   |
|                     | changement supplémentaires de systèmes | 5% | 10% | 20% | 10% | 20% | 15% |

- Les **substitutions de systèmes** pour les Maisons individuelles et les Immeubles collectifs. Le principe est le même que pour les matrices précédentes mais simplifié. La première colonne permet de fixer les taux de transfert vers les réseaux de chaleur urbains (distincte selon que le système de chauffage initial est collectif ou individuel), les colonnes suivantes, la répartition du restant vers les autres types de système (le total des colonnes hors réseau de chaleur urbains est donc égal à 100%).

Transferts de systèmes de chauffage (valeur maximale modifiable selon le contexte)

|         |                   | Immeubles collectifs    | Vers RCU pour IC en CCC | Période 1     |         |         |         |            |               |         |     |                 |
|---------|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|---------|---------|---------|------------|---------------|---------|-----|-----------------|
|         |                   |                         |                         | Le reste vers |         |         |         |            |               |         |     |                 |
| Origine |                   |                         |                         | Bois          | PAC A/A | PAC A/E | PAC E/E | Elec Joule | Chaudière Gaz | PAC Gaz | H2  | sans changement |
|         | Fioul/GPL/Charbon | 10%                     | 20%                     | 10%           | 20%     | 5%      |         | 5%         |               |         | 40% |                 |
|         | Gaz               |                         | 15%                     | 10%           | 10%     | 20%     | 5%      |            |               |         |     | 55%             |
|         | Elec hors PAC     |                         | 15%                     | 2%            | 15%     | 2%      | 1%      |            |               |         |     | 80%             |
|         |                   | Vers RCU pour IC en CCI |                         |               |         |         |         |            |               |         |     |                 |
|         |                   | Fioul/GPL/Charbon       | 5%                      |               |         |         |         |            |               |         |     |                 |
|         |                   | Gaz                     | 5%                      |               |         |         |         |            |               |         |     |                 |

- **Evolution spécifique au chauffage bois** : deux fonctionnalités sont disponibles spécifiquement pour le bois :
  - o Possibilité de **faire varier la proportion des différents types de combustibles** pour les systèmes individuels et collectifs ;
  - o Possibilité de **moduler le recours aux appoints bois installés** : en effet certains ménages peuvent conserver ces systèmes mais ne pas les utiliser pour diverses raisons (économiques, contraintes physiques...). Par ailleurs l'outil ne permet pas de « supprimer » ces systèmes du parc d'équipements.

Evolution de la répartition des nouveaux systèmes bois en système de chauffage principal

|   |  | En système principal |            |            |            |            |
|---|--|----------------------|------------|------------|------------|------------|
|   |  | Installés en 2015    | 2020       | 2030       | 2040       | 2050       |
| Part des systèmes indépendants            | Foyers ouverts<br>Poêle, Insert ou cheminée à foyer fermé à bûches<br>Poêle à granulés | 94%<br>6%            | 70%<br>30% | 50%<br>50% | 50%<br>50% | 45%<br>55% |
|   | Chaudière à bûches<br>Chaudière à granulés indiv.                                      | 88%<br>12%           | 75%<br>25% | 50%<br>50% | 40%<br>60% | 40%<br>60% |
| Part des systèmes centralisés individuels | Chaudière à granulés collect.  | 60%                  | 64%        | 73%        | 81%        | 90%        |
|   | Chaudière à plaquettes   | 40%                  | 36%        | 27%        | 19%        | 10%        |

Evolution de la mobilisation des appoints bois

→ ce paramétrage permet de tenir compte d'un recours variable au chauffage au bois en fonction de l'intérêt économique de cette énergie (base 100 p/r année initiale)

|  | En 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|---------|------|------|------|------|
| Part des apponts bois existants installés utilisés | 100%    | 90%  | 90%  | 90%  | 90%  |

- Evolution spécifique aux apponts fioul :** ce paramétrage permet de faire varier le recours à l'appoint fioul selon les périodes, afin notamment de pouvoir simuler une disparition de ce combustible.

|  | En 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|---------|------|------|------|------|
| Evolution du taux d'appoint fioul par rapport à 2015 | 100%    | 100% | 0%   | 0%   | 0%   |

Les taux de substitution indiqués précédemment sont des valeurs maximales qui peuvent être modulées selon plusieurs paramètres (options activables ou non) :

- Disponibilité du réseau gaz :** le taux de transfert vers le gaz est modulé selon le taux de disponibilité du réseau pour chaque segment de logement. Ainsi, si l'on choisit de convertir au gaz au maximum 30% des systèmes fioul, et que le gaz est disponible uniquement pour 50% des logements d'un segment donné, alors seulement 15% de ces logements seront convertis au gaz. Les taux de conversion vers les autres systèmes sont ajustés pour maintenir un taux de transfert global identique.
- Raccordement aux réseaux de chaleur urbains selon le type d'unité urbaine : les logements de chaque segment sont répartis selon 4 types d'unité urbaine (Rural, UU de 2 000 à 19 999 hab., UU de 20 000 à 99 999 hab., et UU d'au moins 100 000 hab).** Il est possible de moduler les taux maximums de transfert vers les RCU selon le type de territoire. Ainsi si l'on considère que dans les territoires ruraux il est beaucoup plus compliqué de créer des réseaux de chaleur, on pourra par exemple supposer que le taux de transfert vers les RCU dans ces territoires sont réduits de 80%. Le taux de transfert global vers les RCU pour un segment donné sera alors réduit selon cette proportion au prorata du nombre de logements situés en secteur rural sur ce segment.

Tous les calculs de transfert de systèmes sur les logements existants sont réalisés dans l'onglet « Calcul\_chauffage », colonnes K à N.

- Modélisation des PAC Hybrides :**

Pour rappel, une PAC hybride est une PAC électrique air/eau ou eau/eau à laquelle est adjointe une chaudière gaz à condensation qui assure la « relève » de la PAC afin de relever la température de l'eau du secondaire lors des pointes de chauffage ou pour la production d'ECS.

La modélisation des PAC hybrides est réalisée dans l'outil en considérant les COP moyens des PAC air/eau et les rendements des chaudières gaz à condensation (on ne réalise pas d'hypothèses de rendement spécifiques pour ces systèmes). Afin d'appliquer un traitement homogène aux autres systèmes mono-énergie, la PAC hybride est considérée comme un système purement électrique et un post traitement appliquée aux tableaux des résultats détaillés permet de calculer la consommation de gaz associée. Ce traitement est transparent pour l'utilisateur qui doit simplement indiquer dans l'onglet Paramétrage l'évolution de la part de la production des PAC Hybrides couverte par le gaz pour les différentes périodes de modélisation.

|  | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|------|------|------|------|------|
| Part d'utilisation de la chaudière gaz (%) | 20%  | 20%  | 20%  | 20%  | 20%  |

### 3.2.1.2. L'évolution des rendements

Les hypothèses d'évolution des rendements des systèmes neufs sont précisées dans l'onglet « Rendements ».

Pour les systèmes gaz et bois, l'outil intègre la possibilité de définir une part de ces systèmes comme des **cogénérations**. Le rendement « global » indiqué est le rendement « chaleur » si le système n'est pas une cogénération ou le rendement chaleur+électricité si tel est le cas. Le rendement de production d'électricité est par ailleurs indiqué pour les cogénérations. En fonction du taux de systèmes supposés être des cogénération (taux définit dans l'onglet « paramétrage »), on recalcule un rendement « chaleur » et un rendement « électricité » pour l'ensemble du parc du systèmes considéré. Ainsi si 10% des chaudières gaz sont des cogénérations, que le rendement global est de 90% et le rendement électrique des cogénérations de 40%, alors le rendement électrique moyen du parc est de 4% et le rendement chaleur de 86% (ce sont des rendements « fictifs » qui permettent de calculer les consommations et productions).

Les consommations d'énergie de chaque segment de parc existant en fin de période sont calculées à partir des consommations de la part du segment dont le système n'a pas été modifié auxquelles sont ajoutées les consommations des « nouveaux » logements du parc disposant de systèmes neufs (systèmes identiques renouvelés ou changement de système). A ces consommations sont ajoutées celles des logements neufs et retirées celles des logements détruits. Les rendements moyens sont ensuite calculés pour chaque segment par le ratio Consommation totale / besoins totaux.

Dans l'ordre des calculs, **les transferts de systèmes sont réalisés avant la réhabilitation**. Ceci n'impacte pas les résultats dès lors que les taux de réhabilitation ne dépendent pas des systèmes. L'outil intègre cependant la fonctionnalité (non utilisée dans les scénarios produits) de pouvoir moduler les taux de réhabilitation selon le type de système (cf. § « rénovation de l'enveloppe »). On retiendra donc que cette modulation s'applique sur les systèmes finaux et non initiaux.

*Les calculs des consommations sont réalisés dans l'onglet « Calcul\_chauffage », colonnes BA à BU.*

*Les calculs des rendements moyens pour chaque période et segment de parc sont réalisés dans l'onglet « Calcul\_chauffage », colonnes CE à CI.*

## 3.2.2. Les besoins de chauffage et les rénovations de l'enveloppe

### 3.2.2.1. Besoins de chauffage initial des logements

Les besoins de chauffage initiaux sont estimés pour chaque segment de parc à partir du modèle de calcul d'Enerter® (voir <https://energies-demain.com/enerter-bati/>). Il s'agit des besoins calculés de manière « conventionnelle » à climat normal. Ces données initiales sont intégrées directement dans l'onglet « Calcul\_Chauffage » (colonne AV).

Les logements sont classés selon 4 niveaux de performance liés aux besoins thermiques pour le chauffage. Les systèmes de production ne sont pas pris en compte afin de décorrérer la performance de l'enveloppe de celle des systèmes.

Les 4 niveaux de performance implémentés dans l'outil correspondent au regroupement des logements d'après les besoins thermiques « conventionnels » en énergie finale ( $B_{th\_EF}$ ) selon les seuils suivants :

- Niveau 1 :  $330 \text{ kWh/m}^2 < B_{th\_EF}$
- Niveau 2 :  $150 \text{ kWh/m}^2 < B_{th\_EF} \leq 330 \text{ kWh/m}^2$
- Niveau 3 :  $90 \text{ kWh/m}^2 < B_{th\_EF} \leq 150 \text{ kWh/m}^2$
- Niveau 4 :  $B_{th\_EF} \leq 90 \text{ kWh/m}^2$

L'**impact du réchauffement climatique** sur les besoins conventionnels futurs est paramétrable (dans la sections « Autres paramètres » de l'onglet « Paramétrage »). Les valeurs suivantes, retenues pour l'exercice, sont celles utilisées pour les simulations AME/AMS.

| 2015-2020 | 2021-2030 | 2031-2040 | 2040-2050 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,995     | 0,984     | 0,966     | 0,947     |

Tableau 1 : Facteurs de réduction des besoins de chauffage liée au réchauffement climatique (Valeur du coefficient de réduction en fin de période (hypothèses AME-AMS))

A partir de ces besoins initiaux déterminés pour chaque segment, on calcule les gains liés à chaque rénovation, i.e. à chaque changement de niveau de performance (onglet « Besoins de chauffage », colonnes K à Q). Ainsi, par exemple, un facteur multiplicatif de 64% (réduction de 36%) sera appliqué à une maison individuelle ancienne qui passe du niveau de performance 2 au niveau 3.

### 3.2.2.2. Principe des rénovations de l'enveloppe des logements

Comme indiqué précédemment, il est considéré 4 niveaux de performance de l'enveloppe (qui intègrent la ventilation de manière implicite). Les rénovations considérées permettent donc de faire passer les logements d'un niveau initial à un niveau supérieur. Le paramétrage des rythmes de rénovation consiste à fixer pour chaque période le taux annuel pour chacune des 6 combinaisons de saut de niveaux possibles ainsi qu'illustré dans le tableau suivant. Ainsi selon la première ligne de ce tableau, 1,8% du parc de logements de niveau 1 va connaître chaque année une rénovation vers le niveau 2 durant les première et deuxième périodes, puis 2%/an durant les troisième et quatrième périodes.

| Niveau initial | Niveau final | 2015 - 2020 | 2021 - 2030 | 2031 - 2040 | 2041 - 2050 |
|----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1              | 2            | 1,8%        |             | 1,8%        | 2,0%        |
| 1              | 3            | 0,5%        | 1,0%        | 1,5%        | 2,0%        |
| 1              | 4            | 0,1%        | 0,4%        | 0,8%        | 1,0%        |
| 2              | 3            | 1,0%        | 1,2%        | 1,5%        | 2,0%        |
| 2              | 4            | 0,4%        | 0,5%        | 0,5%        | 1,0%        |
| 3              | 4            | 0,1%        | 0,5%        | 0,5%        | 1,0%        |

Le niveau 4, initialement défini pour classer le parc actuel, est cependant relativement large, et ne permet pas de préciser de manière suffisamment fine les objectifs d'évolution du parc vers une performance globale importante et donc de modéliser l'impact de scénarios impliquant des hypothèses différentes sur ce segment, pour tenir compte notamment des différences de performance finale entre des rénovations globales très performantes (industrialisées ou non) et des rénovations par étapes plus ou moins optimisées.

A cette fin, le paramétrage suivant est intégré à l'outil afin de préciser la performance des rénovations complètes du niveau 4 :

|                   | Par des rénovations de "niveaux 4" selon le type de rénovation |                 |               |                       |
|-------------------|--|-----------------|---------------|-----------------------|
|                   | E=0  | BBC en une fois | BBC par étape | Gestes non coordonnés |
| Maisons           | 5,0%   | 10,0%           | 15,0%         | 70,0%                 |
| HLM               | 5,0%   | 30,0%           | 30,0%         | 35,0%                 |
| Autres collectifs | 5,0%   | 10,0%           | 15,0%         | 70,0%                 |

L'utilisateur peut également paramétriser le besoin associé à chaque rénovation performante de niveau 4 :

| Besoins en kWh/m <sup>2</sup> SHAB des logements réhabilité au niveau 4 (réhabilitation "complète") |      |                 |               |                       |
|---|------|-----------------|---------------|-----------------------|
| TYPL  | E=0  | BBC en une fois | BBC par étape | Gestes non coordonnés |
| 1   | 25,0 | 45,0            | 56,3          | 67,5                  |
| 2   | 25,0 | 45,0            | 51,8          | 63,0                  |
| 3   | 25,0 | 45,0            | 51,8          | 63,0                  |

Afin d'aider l'utilisateur à fixer les taux annuels de saut de niveaux pour chaque combinaison, un tableau affiche automatiquement les taux résultants selon le nombre de niveaux gagnés (saut de 1, 2 ou 3 niveaux) sur l'ensemble du parc. Les hypothèses précédentes conduisent ainsi à un taux de rénovation globale de 1%/an sur la période 2015-2020 dont 0.7% de 1 niveaux et 0.3% de 2 niveaux (les sauts de 3 niveaux étant inférieurs à 0.05%).

| Aide pour calage : sauts de niveaux résultant sur l'ensemble du parc |             |             |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | 2015 - 2020 | 2021 - 2030 | 2031 - 2040 | 2041 - 2050 |
| 1 niveau   | 0,7%        | 0,9%        | 0,9%        | 1,1%        |
| 2 niveaux  | 0,3%        | 0,3%        | 0,3%        | 0,4%        |
| 3 niveaux  | 0,0%        | 0,0%        | 0,1%        | 0,0%        |
| <i>total</i>   | 1,0%        | 1,2%        | 1,2%        | 1,5%        |

Afin d'affiner le ciblage des rénovations, il est possible de moduler ces taux selon le type de logement et la période de construction. A noter que cet ajustement est manuel et qu'il faut donc s'assurer que cette modulation permet de conserver la valeur globale fixée précédemment (l'indicateur calculé sous le tableau doit rester à 100%).

Ces taux peuvent aussi être modulés pour chaque période selon les types de système de chauffage. Cette modulation conduit cependant à modifier les taux globaux fixés précédemment (pas de rééquilibrage entre les systèmes pour maintenir les taux globaux).

Les taux de rénovation indiqués ici sont des taux maximums qui peuvent être modulés à la baisse en fonction du niveau de vie (cf. § « impact du niveau de vie »).

Le même principe de réhabilitation est appliqué pour les logements vacants réinvestis ou les résidences secondaires converties en résidences principales. Les taux appliqués ne sont cependant pas dans ce cas des taux de réhabilitation annuels mais correspondent à la part de logements réhabilités au moment de leur introduction dans le parc des résidences principales (qui potentiellement pourront ensuite connaître d'autres rénovations selon le principe décrit précédemment).

*Ces hypothèses de rythmes de rénovation permettent de calculer les tableaux de l'onglet « Transfert\_rehab » qui détaillent les taux à appliquer pour chaque segment de parc. Ces tableaux sont ensuite utilisés pour réaliser les transferts de parc liés à la rénovation dans l'onglet « Calcul chauffage » (colonnes AB à AE pour le parc, AW à AZ pour les besoins de chauffage, BQ à BU pour les consommations théoriques).*

*Nota 2 : Les transferts de segments de parc pour la rénovation étant réalisés après les transferts de parc pour les changements de systèmes, si des taux de rénovations différentiés sont appliqués en fonction des systèmes, ceux-ci s'appliqueront donc aux systèmes finaux.*

### 3.2.3. Passage des besoins aux consommations

#### 3.2.3.1. Consommations conventionnelles, appoints et consommations « réelles »

Le passage des besoins aux consommations conventionnelles est réalisé simplement en appliquant le rendement global moyen pour chacun des systèmes.

Pour chaque type de système de chauffage principal, la part de logements possédant un chauffage d'appoint est définie pour 3 types d'appoints : bois, électricité et fioul. Ces données sont initialisées à partir d'Enerter® dans l'onglet « Localisation et appoints ». La part des besoins couverts par l'appoint (lorsqu'il est présent) est quant à elle précisée dans l'onglet « Besoins de chauffage ». La consommation du chauffage d'appoint est alors calculée simplement en multipliant la consommation conventionnelle par la part des logements disposant d'un appoint et la part des besoins couverts par cet appoint.

Les consommations réelles initiales (2015) sont calées sur les consommations de chauffage par énergie du parc résidentiel (résidences principales) fournies par le SDES/CEREN ou par les dernières études conduites par l'ADEME pour le bois<sup>4</sup>. Ces facteurs de calage (onglet « Besoins de chauffage », ligne 46) sont très variables selon le type d'énergie. Ainsi les coefficients suivants sont appliqués :

| charbon | fioul | GPL | gaz naturel | bois | chauffage urbain | Electricité |
|---------|-------|-----|-------------|------|------------------|-------------|
| 62%     | 65%   | 67% | 77%         | 75%  | 91%              | 42,4%       |

<sup>4</sup> ADEME (2018), *Etude sur le chauffage domestique au bois - marchés et approvisionnement*

Tableau 2 : Facteurs de calage des consommations théoriques ENERTER 2015 sur les données nationales de consommation de chauffage par énergie

On peut noter que ces facteurs permettent de « corriger » globalement l'ensemble des incertitudes provenant des erreurs d'affectation des systèmes, de l'estimation des besoins, des rendements des systèmes, des parts de chauffage d'appoint... ainsi et surtout que des différences entre consommations conventionnelles et réelles liées au comportement des occupants (cf. § suivant sur l'impact du niveau de vie et la « sobriété contrainte »). Compte-tenu que l'effet comportemental est dominant, on n'applique pas de correction aux logements chauffés par des pompes à chaleur, considérant le coût énergétique relativement faible d'utilisation de ces systèmes.

Les facteurs appliqués sont conservés pour toutes les périodes de simulation uniquement pour les logements non rénovés ou faiblement rénovés (niveau 1 et 2). **Pour les logements assez ou très performants, on considère en effet que les consommations réelles se rapprochent des consommations théoriques** compte tenu des coûts énergétiques limités.

### 3.2.3.2. Impact du niveau de vie

L'utilisateur peut choisir de considérer un impact du niveau de vie des ménages sur 2 aspects :

- Les rythmes de rénovation (fixés en base par l'utilisateur)
- L'intensité de la sobriété énergétique

Cette fonctionnalité est activée via l'onglet paramétrage, section « Démographie et conditions de vie ».

| <u>Impact du niveau de vie sur les rythmes de rénovation :</u>   | 0  | de 0 (pas d'impact) à 1 (hauts revenus favorisés)                                |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
|--|--|--|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| <u>Impact du niveau de vie sur les restrictions de consommations :</u>   | oui  | "non" : pas d'impact ; "oui" : Restriction selon le coefficient de niveau de vie |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
| <u>"Budget énergie" pour les ménages contraints :</u><br><small>Au-delà de ce budget un facteur de modulation des consommations est appliqué selon le niveau de vie des ménages (si la fonctionnalité est activée si dessus)</small> | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2020</th> <th>2030</th> <th>2040</th> <th>2050</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">MI</td> <td style="text-align: center;">1500</td> <td style="text-align: center;">1500</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">HLM</td> <td style="text-align: center;">1500</td> <td style="text-align: center;">1500</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Autres IC</td> <td style="text-align: center;">1500</td> <td style="text-align: center;">1500</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;"><b>"Budget acceptable" sans restriction pour le chauffage (à coût de l'énergie constant)</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;"><b>Part maxi du budget énergie (Chauffage+ECS) sans contrainte</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">10%</td> </tr> </tbody> </table> <p style="color: red; font-size: small;">Attention le budget énergie global est plus faible que le seul budget "Chauffage" &gt;&gt; Augmenter le budget global</p> |  |      | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | MI | 1500 | 1500 | 1000 | 1000 | 1000 | HLM | 1500 | 1500 | 1000 | 1000 | 1000 | Autres IC | 1500 | 1500 | 1000 | 1000 | 1000 |  | <b>"Budget acceptable" sans restriction pour le chauffage (à coût de l'énergie constant)</b> |  |  |  |  |  | <b>Part maxi du budget énergie (Chauffage+ECS) sans contrainte</b> |  |  |  |  |  | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% |
|  | 2015   | 2020   | 2030 | 2040 | 2050 |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
| MI   | 1500   | 1500   | 1000 | 1000 | 1000 |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
| HLM  | 1500   | 1500   | 1000 | 1000 | 1000 |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
| Autres IC  | 1500   | 1500   | 1000 | 1000 | 1000 |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
|  | <b>"Budget acceptable" sans restriction pour le chauffage (à coût de l'énergie constant)</b>   |  |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
|  | <b>Part maxi du budget énergie (Chauffage+ECS) sans contrainte</b>   |  |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
|  | 10%  | 10%  | 10%  | 10%  | 10%  |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
| Budget seuil pour modulation maximale = "Budget acceptable" X  | 2  |  |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |
| Taux de modulation maximum des consommations :   | 50%  | Accès à l'onglet "Prix" pour modulation fine <a href="#">selon le mode</a>       |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |

Pour chaque segment de parc, un **coefficent de niveau de vie moyen** est calculé (onglet « Calcul Chauffage », colonnes BV à BZ) à partir de la répartition des ménages par quintiles de revenus provenant des données d'initialisation (onglet « Ménages »). Ce coefficient, défini de manière linéaire, est égal à 0 si tous les ménages appartiennent au premier quintile, et 1 si tous les ménages appartiennent au cinquième quintile. Ce coefficient évolue au cours du temps en fonction des transferts de parc réalisés.

#### 3.2.3.2.1. Impact sur les rythmes de rénovation

Un coefficient d'impact est déterminé à partir du coefficient de niveau de vie par la formule :

$$\text{Coef impact} = (\text{coef niveau de vie})^{\text{facteur_de_niveau_de_vie}}$$

Où facteur\_de\_niveau\_de\_vie est la valeur saisie dans l'onglet paramétrage comprise entre 0 et 1 (0 : pas d'effet du niveau de vie, 1 : effet maximum). Quand l'effet est maximum, les taux de réhabilitation fixés précédemment sont multipliés par le coefficient de niveau de vie sur chaque segment (donc pas d'effet si le segment est composé uniquement de ménages les plus aisés et aucune réhabilitation si uniquement des ménages les plus pauvres).

#### 3.2.3.2.2. Impact sur la « sobriété contrainte »

L'outil permet de prendre en compte un effet de « sobriété contrainte » pour les ménages les moins aisés.

Pour le chauffage, lorsque la fonctionnalité est activée, cet effet est paramétré de la manière suivante :

- Un budget chauffage « acceptable » est défini pour chaque période et chaque type de logement ainsi qu'un budget « seuil » au-dessus duquel la restriction est maximale taux de modulation maximal fixé) ;
- Le coût de la consommation « conventionnelle » du chauffage principal (on « néglige » le chauffage d'appoint qui représente une faible partie, excepté pour le bois qui n'est généralement pas cher voire gratuit) est comparé au budget acceptable ;
  - Si coût < budget acceptable → pas de modulation ;
  - Si coût > budget seuil → la consommation est modulée en multipliant la consommation théorique par le taux de modulation maximale ;
  - Si budget acceptable < coût < budget seuil, le taux de modulation est compris entre 100% et le taux maximale (variation linéaire).

Cette modulation s'applique à la part des consommations conventionnelles des ménages les moins aisés défini comme (1-coef de niveau de vie) soit 100% si coef de niveau de vie = 0.

En 2015, le budget chauffage « acceptable » est fixé à 1500€/an. Cette valeur correspond à une sorte de « point neutre » pour lequel l'activation de la modulation des consommations selon le niveau de vie n'affecte quasiment pas les résultats de la modélisation dans l'outil. Afin de simuler une prise en compte de cette modulation, on pourra donc, partant de cette valeur, soit la réduire au cours du temps (considérant que le budget disponible pour l'énergie est contraint) et/ou augmenter le prix de l'énergie.

*Note relative au calage des consommations : Cette valeur de 1500€/an ne correspond cependant pas à un montant réel de la facture des ménages au-delà duquel une limitation des consommations est appliquée. En effet, les consommations « réelles » produites par l'outil sont issues de consommations conventionnelles provenant d'ENERTER® auxquelles sont appliqués des facteurs de calage pour approcher au mieux les consommations de chauffage de référence par énergie (publiées par le SDES – cf. explications données plus haut). Il est cependant possible d'essayer d'approcher ces consommations de références en appliquant le « modèle de sobriété » décrit plus haut directement aux consommations conventionnelles ENERTER®. Cet exercice conduit à fixer un montant de chauffage maximal acceptable de 850€/an et une réduction maximale correspondant à 30% de la consommation conventionnelle. Dans ces conditions, les consommations totales sont équivalentes ; celles du gaz, du fioul, du GPL et du bois sont très proches ; celles des RCU sont inférieures aux consommations réelles et celles de l'électricité plus élevées. Pour les RCU ce résultat est assez en phase avec les surconsommations observées dans des enquêtes telles que Phébus liées à des capacités de régulation souvent assez limitées pour ce mode de chauffage. La surestimation du chauffage électrique pourrait être liée au phénomène inverse (mais aussi à une certaine incertitude sur l'estimation des consommations réelles).*

### 3.2.3.3. Sobriété volontaire

Certains ménages, pour diverses raisons, peuvent choisir de restreindre volontairement leur « confort » par rapport aux normes moyennes. L'impact du comportement de ces ménages (de même que pour les ménages contraints) est intégré dans le calage des consommations réelles opéré à l'année de début de la modélisation (2015). L'outil permet pour les périodes suivantes de faire varier la part de la population qui adopte volontairement un comportement sobre, en réduisant la température moyenne de chauffage et/ou en limitant le nombre de douche et/ou en optant partiellement pour des douches froides. Le paramétrage de cette sobriété volontaire est réalisé comme suit :

| Sobriété volontaire :  | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|------|------|------|------|------|
| Population non contrainte choisissant de restreindre son "confort" |      |      | 30%  | 20%  | 10%  |
| Réduction de la température de consigne de chauffage               |      | 2 °C |      |      |      |
| Réduction du nombre de douches                                     |      | 20%  |      |      |      |
| Part de douches froides  |      | 30%  |      |      |      |

### 3.2.4. Limites de l'outil

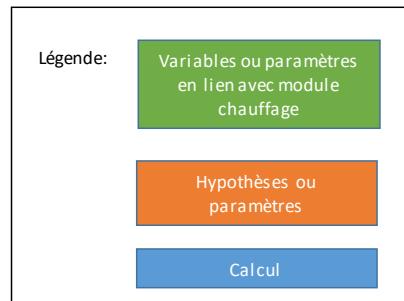
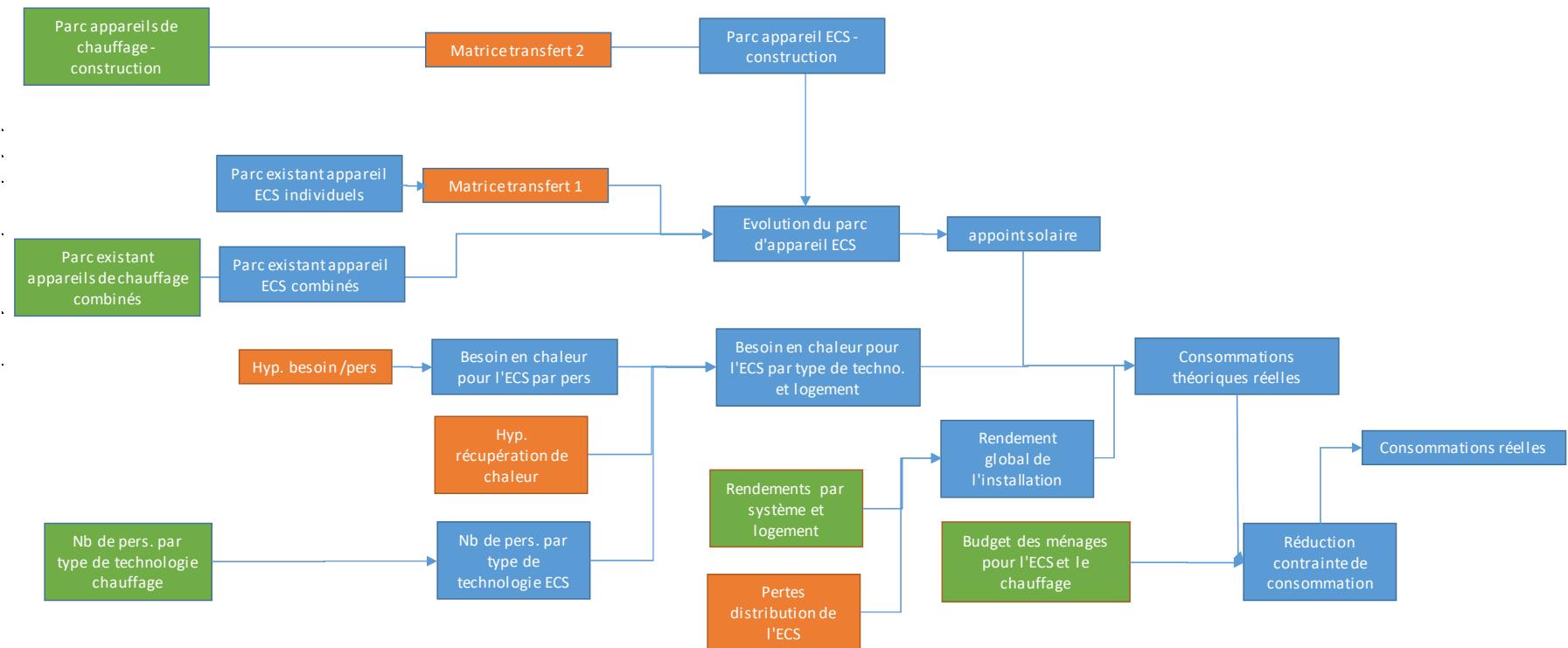
Cet outil ne permet pas :

- La modélisation des **consommations des résidences secondaires** et de leur évolution

- La **modélisation d'impact des travaux**: l'ensemble du parc de logements est décomposé selon une segmentation pour laquelle il est nécessaire de calculer au préalable les consommations initiales et l'impact des travaux de réhabilitation.
- La **modélisation technico-économique des travaux**: les rythmes et types de gestes de rénovation et de changements de systèmes ne sont pas automatiquement calculés par l'outil notamment en fonction de leur rentabilité respective mais sont fixés par l'utilisateur. L'outil ne permet donc pas de tester l'impact de modifications des conditions économiques telles que le coût de l'énergie, le coût des travaux ou l'attribution de subventions.
- **L'évolution de la composition sociologique du parc**: la répartition des ménages dans les logements selon la segmentation retenue est réalisée selon l'état initial du parc et de ses occupants (2015 ici) de même que la répartition des logements selon le type d'unité urbaine ou la disponibilité de l'accès au réseau gaz. L'outil ne permet pas de transférer des ménages d'un segment vers un autre, la caractérisation sociologique du parc reste donc constante (sauf si les réhabilitations sont favorisées selon le niveau de revenu, le facteur de niveau de vie du segment évoluant alors).
- L'outil ne permet pas de considérer **d'extension des réseaux de gaz** (où on décide dans ce cas de ne pas tenir compte de la contrainte de présence initiale du réseau).
- **Les modes de chauffage**: l'outil permet de segmenter le parc selon 17 types de chauffage ce qui limite les possibilités de détailler les systèmes de manière très précise. Ainsi par exemple pour le chauffage au bois, un seul système regroupe tous les types d'apports quel que soit notamment le combustible utilisé (mais aussi par exemple pour les différentes performances de chaudières). Il serait cependant envisageable d'adoindre à l'outil un module complémentaire permettant de détailler les systèmes pour chaque segment.
- L'outil ne permet pas en l'état la **réhabilitation des logements construits après 2015**. En effet un seul segment regroupant tous ces logements construits jusqu'en 2050 avec les plus performants construits après 2012 il n'existe donc pas de « classe » de performance plus élevée. Par ailleurs les mêmes rythmes de changement de système sont appliqués à ces logements neufs qu'au reste du parc : la durée de vie moyenne dépend du système et l'âge moyen des systèmes n'est pas recalculé pour chaque segment de parc de logement, les mêmes taux de changement sont donc appliqués. Ceci induit donc une surestimation des changements sur le parc neuf (logiquement sans effet notable sur les performances puisque des systèmes récents sont remplacés par des systèmes neufs).
- **L'amélioration des rendements des systèmes est légèrement sous-estimée** (et donc les consommations légèrement surestimées): en effet pour chaque période de calcul les systèmes retirés du parc sont affectés du rendement moyen de ce parc et non d'un rendement dégradé correspondant à des systèmes sortants plus anciens.
- **Les consommations de chauffage globales par énergie sont calées sur les données du bilan national en 2015. Les facteurs de calages induits sont supposés représenter les incertitudes de modélisation ainsi que les écarts entre les comportements des ménages et les hypothèses de conventionnelles.** Pour les projections, on suppose que les consommations réelles des logements rénovés se rapprochent des valeurs « théoriques » (un paramètre permettant cependant de tenir compte des malfaçons). Cette hypothèse, qui permet d'éviter de sous-évaluer les consommations projetées, mériterait d'être consolidée par des données spécifiques permettant de comparer les consommations théoriques et réelles dans des logements performants.

### **3.3. Le module ECS**

#### **3.3.1. Schéma de principe**



### 3.3.2. L'évolution du parc de systèmes et des rendements pour l'ECS

#### 3.3.2.1. Le parc initial de systèmes ECS

Le parc de systèmes ECS considéré est décliné par type de logement (maison individuelle, HLM, ou autres immeuble collectif) et de technologie (Chauffage urbain, gaz naturel, fioul, électricité, GPL, bois, H2, CET). La technologie « électricité » représente l'ensemble du parc des chauffe-eau électriques et des CET. Les systèmes d'ECS solaires sont considérés comme technologie d'appoint aux technologies Gaz, Electricité, Bois et CET.

Le parc initial global de systèmes ECS en 2015 est obtenu à partir des données de la base de données Enerter®. Le millésime 2015 de la base Enerter® ne distinguait pas explicitement, au sein des systèmes ECS électriques, les chauffe-eaux classiques des CET. Une paramétrisation a donc été introduite pour les identifier (onglet Paramétrage). On lit ainsi dans le tableau ci-dessous que pour les logements équipés de systèmes de chauffage utilisant le vecteur électrique (effet Joule ou PAC) en maison individuelle en 2015, 96% sont dotés de chauffe-eau électriques et 4% de CET.

De même, la base Enerter® permet de déterminer en 2015 la part des systèmes de chauffage combinés à un système ECS.

| Répartition par types d'équipements (classiques/performants) du CU dans les MI et des systèmes de chauffages électriques combinés |                |          |            |           |            |           |            |           |            |           |            |
|---|----------------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
|   |                | 2015     |            | 2015-2020 |            | 2021-2030 |            | 2031-2040 |            | 2041-2050 |            |
|   |                | ECS elec | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo |
| MI  | CCC-CU         | 74%      | 26%        | 74%       | 26%        | 70%       | 30%        | 50%       | 50%        | 30%       | 70%        |
| MI  | CCC-Electricit | 96%      | 4%         | 85%       | 15%        | 64%       | 36%        | 45%       | 55%        | 25%       | 75%        |
| MI  | AIC/CCI-Electr | 96%      | 4%         | 85%       | 15%        | 70%       | 30%        | 50%       | 50%        | 1%        | 99%        |
| MI  | PAC A/A-Elect  | 96%      | 4%         | 85%       | 15%        | 70%       | 30%        | 50%       | 50%        | 1%        | 99%        |
| MI  | PAC A/E-Elect  | 96%      | 4%         | 85%       | 15%        | 70%       | 30%        | 50%       | 50%        | 1%        | 99%        |
| MI  | PAC E/E-Elect  | 96%      | 4%         | 85%       | 15%        | 70%       | 30%        | 50%       | 50%        | 1%        | 99%        |
| HLM/Autres IC   | CCC-CU         |          |            |           |            |           |            |           |            |           |            |
| HLM/Autres IC   | CCC-Electricit | 100%     | 0%         | 94%       | 6%         | 90%       | 10%        | 60%       | 40%        | 5%        | 95%        |
| HLM/Autres IC   | AIC/CCI-Electr | 100%     | 0%         | 94%       | 6%         | 90%       | 10%        | 60%       | 40%        | 5%        | 95%        |
| HLM/Autres IC   | PAC A/A-Elect  | 100%     | 0%         | 99%       | 1%         | 98%       | 2%         | 60%       | 40%        | 5%        | 95%        |
| HLM/Autres IC   | PAC A/E-Elect  | 100%     | 0%         | 99%       | 1%         | 98%       | 2%         | 60%       | 40%        | 5%        | 95%        |
| HLM/Autres IC   | PAC E/E-Elect  | 100%     | 0%         | 99%       | 1%         | 98%       | 2%         | 60%       | 40%        | 5%        | 95%        |

|               |                | 2015     |            | 2015-2020 |            | 2021-2030 |            | 2031-2040 |            | 2041-2050 |            |
|---------------|----------------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
|               |                | ECS elec | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo | ECS elec  | ECS thermo |
| MI            | CCC-Electricit | 96%      | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         |
| MI            | AIC/CCI-Electr | 96%      | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         |
| MI            | PAC A/A-Electr | 96%      | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         |
| MI            | PAC A/E-Electr | 96%      | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         |
| MI            | PAC E/E-Electr | 96%      | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         | 96%       | 4%         |
| HLM/Autres IC | CCC-Electricit | 100%     | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         |
| HLM/Autres IC | AIC/CCI-Electr | 100%     | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         |
| HLM/Autres IC | PAC A/A-Electr | 100%     | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         |
| HLM/Autres IC | PAC A/E-Electr | 100%     | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         |
| HLM/Autres IC | PAC E/E-Electr | 100%     | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         | 100%      | 0%         |

### 3.3.2.2. Evolution du parc de systèmes ECS combinés

On distingue l'évolution du parc des systèmes d'ECS combinés aux systèmes de chauffage et celle du parc des systèmes d'ECS individuels.

**L'évolution du parc des systèmes d'ECS combinés est basée sur l'évolution des systèmes de chauffage combinés.** L'évolution de celui-ci est calculée à chaque période à l'aide des hypothèses de taux de systèmes combinés exprimés en systèmes de chauffage. On peut lire dans le tableau ci-dessous, que 6% des systèmes de chauffage au bois dans les maisons individuelles sont combinés, i.e. permettent également de produire de l'ECS. Ces valeurs se règlent dans la plage A197: W249 de l'onglet « Paramétrage ».

| Taux de systèmes combinés (exprimés en systèmes de chauffage) |    |    |                     |       |
|---|----|----|---------------------|-------|
| 2015/2020   |    |    |                     |       |
| 1   | MI | 1  | CCC-CU              | 0%    |
| 1   | MI | 2  | CCC-Gaz             | 0%    |
| 1   | MI | 3  | CCC-Fioul           | 0%    |
| 1   | MI | 4  | CCC-Electricité     | 100%  |
| 1   | MI | 5  | CCC-GPL             | 0%    |
| 1   | MI | 6  | CCC-H2              | 90%   |
| 1   | MI | 7  | CCC/CCI-Bois        | 6%    |
| 1   | MI | 8  | AIC/CCI-Gaz         | 73%   |
| 1   | MI | 9  | AIC/CCI-Fioul       | 65%   |
| 1   | MI | 10 | AIC/CCI-Electricité | 98.4% |
| 1   | MI | 11 | AIC/CCI-GPL         | 63%   |
| 1   | MI | 12 | AIC/CCI-H2          | 90%   |
| 1   | MI | 13 | AIC-Bois            | 5%    |
| 1   | MI | 14 | PAC A/A-Electricité | 98.4% |

L'ensemble des changements de systèmes combinés liés aux changements des systèmes de chauffage sont répercutés sur les systèmes ECS. Les systèmes de chauffage combinés qui ne seraient pas remplacés par des systèmes combinés se traduisent dans l'onglet de calcul\_ECS par de nouveaux systèmes ECS individuels (et inversement). Le même principe est appliqué pour les logements vacants réinvestis ou les résidences secondaires converties en résidences principales.

### 3.3.2.3. Evolution du parc de systèmes ECS individuels

Pour calculer l'évolution du parc de systèmes individuels, une matrice de transfert est appliquée sur chacune des périodes de la simulation, par type de logement (onglet «Transfert\_systECS», lignes 1 à 34). La première colonne de la matrice indique le taux de renouvellement pour l'ensemble de la période pour chaque système et les colonnes suivantes la répartition selon les systèmes neufs par lesquels l'ancien système est substitué. Par exemple ci-dessous la matrice appliquée aux systèmes ECS des maisons individuelles pour la première période (2015-2020). On peut lire dans la matrice ci-dessous que 25% des systèmes chauffe-eau électriques à effet Joule des maisons individuelles sont remplacés entre 2015 et 2020. 95% de ces systèmes sont remplacés par des systèmes électriques thermodynamiques tandis que les 5% restant sont renouvelés à l'identique.

|                                   |            |           | DECAL       | 0   |      |       |            |     |      |      |        |
|-----------------------------------|------------|-----------|-------------|-----|------|-------|------------|-----|------|------|--------|
| Retour paramétrage                |            |           | Cd_Syst_ECS | 1   | 2    | 3     | 4          | 5   | 6    | 7    | 8      |
|                                   |            |           | Syst_ECS    | CU  | Gaz  | Fioul | Elec Joule | GPL | Bois | H2   | Thermo |
|                                   |            |           | Cd_Frange   | 1   | 1    | 1     | 1          | 1   | 1    | 1    | 1      |
|                                   |            |           | Frange      | MI  | MI   | MI    | MI         | MI  | MI   | MI   | MI     |
| Cd_Sys                            | Syst_ECS   | Cd_Frange | Frange      |     |      |       |            |     |      |      |        |
| <b>Transferts NRJ - Période 1</b> |            |           |             |     |      |       |            |     |      |      |        |
| erts :                            |            |           |             |     |      |       |            |     |      |      |        |
| 1                                 | CU         | 1         | MI          | 25% | 100% | 0%    | 0%         | 0%  | 0%   | 0%   | 0%     |
| 2                                 | Gaz        | 1         | MI          | 20% | 0%   | 99%   | 0%         | 0%  | 0%   | 0%   | 0%     |
| 3                                 | Fioul      | 1         | MI          | 56% | 0%   | 0%    | 0%         | 0%  | 0%   | 0%   | 0%     |
| 4                                 | Elec Joule | 1         | MI          | 25% | 0%   | 0%    | 5%         | 5%  | 0%   | 0%   | 0%     |
| 5                                 | GPL        | 1         | MI          | 25% | 0%   | 0%    | 0%         | 5%  | 0%   | 0%   | 0%     |
| 6                                 | Bois       | 1         | MI          | 17% | 0%   | 0%    | 0%         | 0%  | 100% | 0%   | 0%     |
| 7                                 | H2         | 1         | MI          | 17% | 0%   | 0%    | 0%         | 0%  | 0%   | 100% | 0%     |
| 8                                 | Thermo     | 1         | MI          | 25% | 0%   | 1%    | 95%        | 95% | 95%  | 0%   | 0%     |

Afin de simplifier le remplissage de ces matrices, des tableaux synthétiques ont été intégrés à l'onglet « Paramétrage » qui permettent de remplir automatiquement l'onglet « Transfert\_Syst\_ECS ».

Sont ainsi fixés :

- La **durée de vie moyenne des systèmes**, qui permet de calculer le taux de renouvellement sur chaque période (lignes 253 à 256 de l'onglet « Paramétrage »).

| Durée de vie moyenne des systèmes |     |       |            |     |      |    |        |  |
|-----------------------------------|-----|-------|------------|-----|------|----|--------|--|
| CU                                | Gaz | Fioul | Elec Joule | GPL | Bois | H2 | Thermo |  |
| 20                                | 25  | 9     | 20         | 20  | 30   | 30 | 20     |  |

- Les **substitutions** pour les Maisons individuelles et les Immeubles collectifs (Lignes 257 à 270 de l'onglet « Paramétrage »)

| Transferts de systèmes individuels ECS |       | Période 1 |       |            |     |      |    |        |                 |
|--|-------|-----------|-------|------------|-----|------|----|--------|-----------------|
| Immeubles collectifs                   |       | Gaz       | Fioul | Elec Joule | GPL | Bois | H2 | Thermo | sans changement |
| Origine                                | Fioul |           |       |            | 10% |      |    |        | 90%             |
|  | Gaz   |           |       |            |     |      |    |        | 0%              |
|  | Elec  |           |       |            |     |      |    |        | 100%            |
|  | GPL   |           |       |            |     |      |    |        | 90%             |

Le principe est le même que pour les matrices précédentes mais simplifié. Les lignes représentent les vecteurs d'origine qui sont répartis vers les types de systèmes en colonne (le total des colonnes hors RCU est donc égal à 100%).

### 3.3.2.4. Evolution du parc de systèmes ECS dans le neuf

Pour chaque logement construit, une matrice de passage permet de déterminer le système ECS (lignes) en fonction de son système de chauffage (colonnes) pour chaque type de logement (onglet «Transfert\_systECS», lignes 67 à 99). Par exemple ci-dessous la matrice appliquée aux systèmes ECS des maisons individuelles pour la première période (2015-2020). On peut lire par exemple que parmi les maisons neuves dotées d'un chauffage central au gaz, 90% possèdent un chauffage ECS au gaz, 5% un chauffe-eau électrique et 5% un chauffe-eau thermodynamique.

|                |              | 2015-2020 |         |         |             |         |        |              |             |             |                 |             |            |          |                 |                 |            |      |
|----------------|--------------|-----------|---------|---------|-------------|---------|--------|--------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|------------|----------|-----------------|-----------------|------------|------|
|                |              | 1-1       | 2-1     | 3-1     | 4-1         | 5-1     | 6-1    | 7-1          | 8-1         | 9-1         | 10-1            | 11-1        | 12-1       | 13-1     | 14-1            | 15-1            | 16-1       | 17-1 |
| Cd_Syst_Chauff | Transferts : |           |         |         |             |         |        |              |             |             |                 |             |            |          |                 |                 |            |      |
| Syst_Chauff    |              | CCC-CU    | CCC-Gaz | CCC-Fio | CCC-Electri | CCC-GPL | CCC-H2 | CCC/CC1-Bois | AIC/CC1-Gaz | AIC/CC1-Fio | AIC/CC1-Electri | AIC/CC1-GPL | AIC/CC1-H2 | AIC-Bois | PAC A/A-Electri | PAC E/E-Electri | PACgaz-Gaz |      |
| Cd_Frange      |              | MI        | MI      | MI      | MI          | MI      | MI     | MI           | MI          | MI          | MI              | MI          | MI         | MI       | MI              | MI              | MI         |      |
| Frange         |              |           |         |         |             |         |        |              |             |             |                 |             |            |          |                 |                 |            |      |
| 75%            | 0%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 0%     | 0%           | 0%          | 0%          | 0%              | 0%          | 0%         | 0%       | 0%              | 0%              | 0%         |      |
| 0%             | 90%          | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 95%    | 0%           | 0%          | 0%          | 0%              | 0%          | 0%         | 0%       | 0%              | 0%              | 100%       |      |
| 0%             | 0%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 95%    | 0%           | 0%          | 0%          | 0%              | 0%          | 0%         | 0%       | 0%              | 0%              | 0%         |      |
| 20%            | 5%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 53%    | 3%           | 5%          | 50%         | 0%              | 0%          | 70%        | 50%      | 50%             | 50%             | 0%         |      |
| 0%             | 0%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 0%     | 0%           | 0%          | 0%          | 0%              | 0%          | 0%         | 0%       | 0%              | 0%              | 0%         |      |
| 0%             | 0%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 0%     | 0%           | 0%          | 0%          | 0%              | 0%          | 0%         | 0%       | 0%              | 0%              | 0%         |      |
| 0%             | 0%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 0%     | 0%           | 0%          | 0%          | 0%              | 0%          | 0%         | 0%       | 0%              | 0%              | 0%         |      |
| 5%             | 5%           | 0%        | 0%      | 0%      | 0%          | 0%      | 45%    | 2%           | 0%          | 50%         | 0%              | 0%          | 30%        | 50%      | 50%             | 50%             | 0%         |      |

Sur le même principe que pour les autres matrices de passage, afin de simplifier le remplissage de ces matrices, des tableaux synthétiques ont été intégrés à l'onglet « Paramétrage » (lignes 257 à 295) qui permettent de remplir automatiquement, pour chaque période et type de logement, l'onglet « Transfert\_Syst\_ECS ». Les lignes représentent les systèmes auxquels sont affectés des systèmes ECS en colonne.

| Immeubles collectifs |                     | Syst. ECS - Période 1 |     |            |      |      |    |        |  |
|----------------------|---------------------|-----------------------|-----|------------|------|------|----|--------|--|
| Chauffage            | CU                  | Gaz                   | Fio | Elec.Joule | GPL  | Bois | H2 | Thermo |  |
|                      | CCC-CU              | 93%                   |     |            | 6%   |      |    | 1%     |  |
|                      | CCC-Gaz             |                       | 90% |            | 9%   |      |    | 1%     |  |
|                      | CCC-Fio             |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC-Electricité     |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC-GPL             |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC-H2              |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC/CC1-Bois        |                       |     |            | 98%  |      |    | 2%     |  |
|                      | AIC/CC1-Gaz         |                       |     | 95%        | 4%   |      |    | 1%     |  |
|                      | AIC/CC1-Fio         |                       |     |            | 98%  |      |    | 2%     |  |
|                      | AIC/CC1-Electricité |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | AIC/CC1-GPL         |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | AIC/CC1-H2          |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | AIC-Bois            |                       |     |            | 98%  |      |    | 2%     |  |
| Maison individuelles |                     | Syst. ECS - Période 1 |     |            |      |      |    |        |  |
| Chauffage            | CU                  | Gaz                   | Fio | Elec.Joule | GPL  | Bois | H2 | Thermo |  |
|                      | CCC-CU              | 75%                   |     |            | 20%  |      |    | 5%     |  |
|                      | CCC-Gaz             |                       | 90% |            | 5%   |      |    | 5%     |  |
|                      | CCC-Fio             |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC-Electricité     |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC-GPL             |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC-H2              |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | CCC/CC1-Bois        |                       |     |            | 53%  |      | 2% | 45%    |  |
|                      | AIC/CC1-Gaz         |                       |     | 95%        | 3%   |      |    | 2%     |  |
|                      | AIC/CC1-Fio         |                       |     |            | 50%  |      |    | 50%    |  |
|                      | AIC/CC1-Electricité |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | AIC/CC1-GPL         |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | AIC/CC1-H2          |                       |     |            |      |      |    |        |  |
|                      | AIC-Bois            |                       |     |            | 70%  |      |    | 30%    |  |
|                      | PAC A/A-Electricité |                       |     |            | 50%  |      |    | 50%    |  |
|                      | PAC A/E-Electricité |                       |     |            | 50%  |      |    | 50%    |  |
|                      | PAC E/A-Electricité |                       |     |            | 50%  |      |    | 50%    |  |
|                      | PACgaz-Gaz          |                       |     |            | 100% |      |    |        |  |

### 3.3.2.5. Evolution des rendements

Les hypothèses d'évolution des rendements des systèmes sont précisées dans l'onglet « Rendements ». Il s'agit, pour chaque technologie et type de logement, d'un rendement moyen sur le parc d'équipements utilisant le même vecteur énergétique. Le rendement de l'appareil de production est calculé à partir des rendements des systèmes de chauffage, sauf le rendement du CET dont l'évolution est fixée. Le rendement de production d'ECS est affecté d'un **facteur de dégradation** compris entre 1% et 30% pour prendre en compte les pertes liées au stockage et à la distribution. Ceci permet ainsi d'obtenir des rendements globaux moyens d'installation par type de logements et technologie sur le parc existant.

Il est possible de paramétriser une **modulation du rendement global** de l'installation par défaut dans l'onglet « Paramétrage » avec :

- D'une part, un **facteur de réduction des pertes liées à un mauvais calorifugeage** (c'est-à-dire une amélioration du calorifugeage)
- D'autre part, la possibilité de prendre en compte des **systèmes de récupération de chaleur** (la paramétrisation portant à la fois sur le gain de rendement et les taux d'équipements par type de logements).

#### Amélioration calorifugeage réseau (% de pertes)

| Indice des pertes énergétiques (par rapport à 2015) | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|------|------|------|------|------|
|   | 100% | 80%  | 50%  | 20%  | 10%  |

#### Récupération de chaleur

| Gain de consc.          | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
|                         | 45%  | 50%  | 60%  | 70%  | 75%  |
| taux équipe             | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| MI                      | 0%   | 2%   | 5%   | 10%  | 15%  |
| HLM                     | 0%   | 3%   | 6%   | 12%  | 20%  |
| Autres IC               | 0%   | 3%   | 8%   | 16%  | 25%  |
| <b>Fact. Modulation</b> |      |      |      |      |      |
| MI                      | 100% | 99%  | 97%  | 93%  | 89%  |
| HLM                     | 100% | 99%  | 96%  | 92%  | 85%  |
| Autres IC               | 100% | 99%  | 95%  | 89%  | 81%  |

Les calculs des rendements moyens pour chaque période et segment de parc sont réalisés dans l'onglet « Calcul\_ECS », colonnes CX à DB.

Les calculs des consommations théoriques réelles (sans contrainte de niveau de vie) sont réalisés dans l'onglet « Calcul\_ECS », colonnes DC à DG.

### 3.3.3. Le calcul des besoins d'énergie pour chauffer l'ECS

#### 3.3.3.1. Consommation annuelle moyenne d'ECS et besoins énergétiques associés

Le besoin en ECS et l'énergie nécessaire associée pour la chauffer est calculé par personne en utilisant les paramètres de l'onglet Paramétrage. Il est possible de faire évoluer par période :

- L'indice des besoins
- La température de l'eau du réseau d'eau froide
- La température en sortie de ballon par période
- La part des douches dans les besoins d'ECS (un paramétrage pour l'ensemble de la période)
- La température de l'eau du réseau d'eau froide
- La température en sortie de ballon par période.

#### Consommation annuelle moyenne d'ECS

|  | Indice des besoins | m3/j/pers en 2015 |   |       |       |
|--|--------------------|-------------------|---|-------|-------|
| 2015                                     | 12,8 m3/pers/an    | 1                 | 0,035 m3/j  |       |       |
| 2020                                     | 12,1 m3/pers/an    | 0,95              | (35L /pers plus ou moins 14 L à 55°C)   |       |       |
| 2030                                     | 11,5 m3/pers/an    | 0,9               | Guide technique ADEME / COSTIC : les besoins d'ECS en habitat individuel et collectif |       |       |
| 2040                                     | 10,2 m3/pers/an    | 0,8               |   |       |       |
| 2050                                     | 10,2 m3/pers/an    | 0,8               |   |       |       |
|  | 2015               | 2020              | 2030  | 2040  | 2050  |
| température du réseau d'eau froide       | 16 °C              | 16 °C             | 16 °C   | 16 °C | 16 °C |
| température de l'ECS en sortie de ballon | 55 °C              | 55 °C             | 55 °C   | 55 °C | 55 °C |
| chaleur spécifique                       | 1,1628 kWh/m3/°C   |                   |   |       |       |

Part des douches dans le besoin d'ECS : 50%

Un besoin réel est ensuite calculé par segment ECS en multipliant le besoin unitaire par le nombre de personnes par logement par segment (technologie ECS, type de logement).

La consommation théorique est ensuite obtenue en appliquant le rendement global de l'installation (voir §. 2.2.5).

Cette consommation théorique correspond à la consommation réelle si l'on considère que le niveau de vie des ménages n'impacte pas les consommations pas de sobriété contrainte. Dans le cas contraire, une consommation contrainte est calculée (voir paragraphe ci-dessous).

### 3.3.3.2. Appoint solaire

La couverture en appooints solaires est paramétrée dans l'onglet « Localisation et appooints », colonnes O à AA. On y fixe la proportion des logements (par type) avec appoint solaire, la couverture des besoins par l'appooint solaire (50% par défaut) ainsi que la répartition des appooints solaires selon l'énergie associée de production d'ECS (Gaz naturel, électricité, Bois ou CET).

Dans l'onglet Calcul-ECS, pour chaque segment, la partie du besoin couverte par l'appooint solaire est retranchée du segment principal (Gaz naturel, électricité, Bois ou CET); l'ensemble de ces besoins couverts par l'apport solaire est sommé dans une rubrique : « Solaire » (à partir de la ligne 32 de l'onglet Calcul\_ECS).

### 3.3.3.3. Raccordement des laves linges et laves vaisselles sur de l'ECS solaire

L'outil permet de modéliser les consommations d'énergie solaire supplémentaires associées au raccordement des laves linges et laves vaisselles sur de l'ECS solaire directement sur le chauffe-eau solaire via des paramètres dans l'onglet Paramètre. Ces consommations d'énergie sont soustraites des consommations du module électricité spécifique.

| Raccordement équipements LL LV sur ECS Solaire |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| Maisons  |      |      |      |      |      |
| taux d'équipe                                  | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| LL   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |
| LV   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |
| couverture des besoins                         | 50%  | 50%  | 50%  | 50%  | 50%  |

### 3.3.3.4. Impact du niveau de vie

L'outil permet de prendre en compte un effet de « sobriété contrainte » sur l'ECS pour les ménages les moins aisés. Cette fonctionnalité est activée via l'onglet paramétrage, section « Paramètres pour le calcul des besoins en chaleur pour l'ECS ».

**Impact du niveau de vie sur les restrictions de conso. :** non

Pour l'ECS, lorsque la fonctionnalité est activée, cet effet est paramétré de la manière suivante :

- Pour chaque segment de parc ECS, un **coefficent de niveau de vie moyen** est calculé (onglet « Ménages », lignes 824 à 849) à partir de la répartition des ménages par quintiles de revenus provenant des données d'initialisation (onglet « Ménages »).
- Un budget ECS « acceptable » est défini pour chaque période et chaque type de logement ainsi qu'un budget « seuil » au-dessus duquel la restriction est maximale (taux de modulation maximal fixé) en fonction du budget maximum « énergie » ;
- Le coût de la consommation « théorique » d'ECS est comparé au budget acceptable ;
  - Si coût < budget acceptable → pas de modulation ;
  - Si coût > budget seuil → la consommation est modulée en multipliant la consommation théorique par le taux de modulation maximale ;
  - Si budget acceptable < coût < budget seuil, le taux de modulation est compris entre 100% et le taux maximal (variation linéaire).

### 3.3.4. Limites de l'outil

Les limites de l'outil sur le module d'ECS sont les suivantes :

- L'outil permet de segmenter le parc selon **8 types de systèmes de production ECS, ce qui limite les possibilités de détailler les systèmes de manière très précise**. Ainsi par exemple pour la production ECS utilisant le vecteur électrique, un seul segment regroupe PACs et système Joule. L'outil calcul un rendement moyen de ce segment en fonction du nombre de chaque type de systèmes. Il serait cependant envisageable d'ajouter à l'outil un module complémentaire permettant de détailler les systèmes pour chaque segment.
- De même que pour le module chauffage, **l'amélioration des rendements des systèmes est légèrement sous-estimée** (et donc les consommations légèrement surestimées) : en effet pour chaque période de calcul les systèmes retirés du parc sont affectés du rendement moyen de ce parc et non d'un rendement dégradé correspondant à des systèmes sortants plus anciens.
- Le modèle semble **sous-estimer les consommations de solaire thermique** comme constaté lors du calage sur des données 2015 du SDES (différence de 0.9TWh avec les données SDES). Ce point est à investiguer, en revoyant le calage, voire la paramétrisation de ces consommations au sein du modèle<sup>5</sup>.

## 3.4. Le module climatisation<sup>6</sup>

### 3.4.1. L'évolution du parc de systèmes de climatisation

Les systèmes de climatisation considérés sont les suivants :

- Les systèmes réversibles climatisation / chauffage :
  - Pac Air/air
  - Pac Air / eau
  - Pac Eau / eau
- Les systèmes de climatisation uniquement dédiés à l'usage climatisation :
  - Pac Air / air utilisées uniquement pour la climatisation
  - Systèmes de climatisation mobiles

La segmentation du parc de logements suit celle de l'outil (Maisons individuelles, HLM, Autres immeubles collectifs).

### 3.4.2. PAC réversibles

Le parc des 3 types de PAC réversibles est calculé à partir du parc considéré dans l'onglet Calcul\_chauff (calcul des besoins pour les différents systèmes de chauffage) auquel on applique une hypothèse de taux de systèmes réversibles pour obtenir les systèmes fonctionnant effectivement en mode climatisation. Le taux des systèmes réversibles est calé de sorte à retrouver les parts de marchés PAC/ systèmes de climatisation électriques supposés dans AME / AMS (Onglet Paramétrage).

taux de pac réversibles

|           |               | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|
| MI        | Pac air / air | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| MI        | Pac air/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| MI        | Pac eau/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| HLM       | Pac air / air | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| HLM       | Pac air/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| HLM       | Pac eau/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| Autres IC | Pac air / air | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| Autres IC | Pac air/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| Autres IC | Pac eau/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |

<sup>5</sup> Dans l'exercice Transition(s) 2050, cette différence a été ajoutée en sortie de modèle pour correspondre aux données SDES

<sup>6</sup> Dans l'exercice Transition(s) 2050, le module Climatisation d'ANTONIO n'a pas été mobilisé. Les données produites par le modèle MICO sont venues se substituer. En effet, le modèle MICO, dédié spécifiquement à la climatisation, permet d'approcher plus finement ces consommations.

#### taux de pac utilisées pour le chauffage et réversibles

|           |               | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|
| MI        | Pac air / air | 80%  | 80%  | 80%  | 80%  | 80%  |
| MI        | Pac air/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| MI        | Pac eau/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| HLM       | Pac air / air | 8%   | 10%  | 15%  | 20%  | 25%  |
| HLM       | Pac air/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| HLM       | Pac eau/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| Autres IC | Pac air / air | 8%   | 10%  | 15%  | 20%  | 25%  |
| Autres IC | Pac air/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |
| Autres IC | Pac eau/eau   | 8%   | 10%  | 25%  | 50%  | 95%  |

#### 3.4.2.1. Parc total de systèmes de climatisation

Le nombre total de systèmes de climatisation dans les logements est calculé en appliquant un taux d'équipements au parc de logement (Onglet Paramétrage).

| Taux d'équipement des logements | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| MI                              | 5%   | 6%   | 12%  | 21%  | 30%  |
| HLM                             | 5%   | 6%   | 12%  | 21%  | 30%  |
| Autres IC                       | 5%   | 6%   | 12%  | 21%  | 30%  |
| Taux d'équipement des logements |      |      |      |      |      |
| MI                              | 5%   | 8%   | 12%  | 20%  | 30%  |
| HLM                             | 5%   | 8%   | 12%  | 20%  | 30%  |
| Autres IC                       | 5%   | 8%   | 12%  | 20%  | 30%  |
| <i>total du parc</i>            | 5%   | 8%   | 12%  | 20%  | 30%  |

#### 3.4.2.2. PACs air air entièrement dédiées à la climatisation et systèmes mobiles

Le nombre de systèmes de climatisation non réversibles (PACs air air entièrement dédiées à la climatisation et systèmes mobiles) est obtenu par bouclage, en faisant la différence entre le nombre total de systèmes de climatisation et le nombre de PAC réversibles. Ces systèmes de climatisation non réversibles sont répartis entre PACs air / air et systèmes mobiles via le tableau suivant dans l'onglet Paramétrage.

#### Répartition des systèmes utilisés uniquement pour la climatisation

|           | 2015             | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |     |
|-----------|------------------|------|------|------|------|-----|
| MI        | Pac air / air    | 45%  | 50%  | 60%  | 70%  | 80% |
| MI        | Systèmes mobiles | 55%  | 50%  | 40%  | 30%  | 20% |
| HLM       | Pac air / air    | 1%   | 2%   | 5%   | 5%   | 5%  |
| HLM       | Systèmes mobiles | 99%  | 98%  | 95%  | 95%  | 95% |
| Autres IC | Pac air / air    | 1%   | 2%   | 5%   | 5%   | 5%  |
| Autres IC | Systèmes mobiles | 99%  | 98%  | 95%  | 95%  | 95% |

#### 3.4.3. Calcul des besoins et consommations énergétiques liés à l'utilisation des systèmes de climatisation

##### 3.4.3.1. Besoins réels

Les besoins réels sont calculés en multipliant le nombre de systèmes de climatisation par un besoin en climatisation exprimé en kWh/logement (tiré des hypothèses de l'exercice AME / AMS (Onglet Paramétrage)).

| hyp AMS            | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| besoin (kWh/logem) | 505  | 525  | 565  | 602  | 641  |

##### 3.4.3.2. Consommations réelles

Les consommations énergétiques sont calculées en divisant les besoins réels par les rendements des installations. Les rendements de climatisation des PACs réversibles correspondent aux rendements utilisés dans la modélisation des consommations de chauffage.

Un facteur d'efficacité (hypothèses AME/AMS) est appliqué pour prendre en compte l'amélioration des rendements des systèmes au cours du temps.

Faute d'étude de cadrage sur le rendement des systèmes de climatisation mobile, un rendement tiré de fiches techniques de produits est intégré dans l'Onglet Rendements, section Climatisation (I.92). Ces

fiches produits présentent des rendements nominaux qui sont dégradés pour refléter le rendement réel de ces équipements (exemple : l'EER nominal des climatisation mobiles de 2.4 (valeur fixée par la directive eco conception des climatiseurs simple conduit) devient un EER réel de 1 en 2015).

| TYPL      | Techno        | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|
| MI        | Pac air / air | 2,00 | 2,10 | 2,19 | 2,28 | 2,59 |
| MI        | Pac air/eau   | 2,40 | 2,52 | 2,63 | 2,74 | 3,11 |
| MI        | Pac eau/eau   | 3,00 | 3,15 | 3,29 | 3,42 | 3,89 |
| MI        | Autres        | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,14 | 1,30 |
| HLM       | Pac air / air | 2,00 | 2,10 | 2,19 | 2,28 | 2,59 |
| HLM       | Pac air/eau   | 2,40 | 2,52 | 2,63 | 2,74 | 3,11 |
| HLM       | Pac eau/eau   | 3,00 | 3,15 | 3,29 | 3,42 | 3,89 |
| HLM       | Autres        | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,14 | 1,30 |
| Autres IC | Pac air / air | 2,00 | 2,10 | 2,19 | 2,28 | 2,59 |
| Autres IC | Pac air/eau   | 2,40 | 2,52 | 2,63 | 2,74 | 3,11 |
| Autres IC | Pac eau/eau   | 3,00 | 3,15 | 3,29 | 3,42 | 3,89 |
| Autres IC | Autres        | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,14 | 1,30 |

### 3.5. Le module électricité spécifique

Ce module est constitué de deux onglets : « Calcul\_ElecSpe » et « ElecSpé Paramétrage ».

Les données d'entrée de l'onglet « Calcul\_ElecSpé » sont issues de la modélisation via USES 2 pour la période 2009 - 2030. Deux scénarios sont ensuite calculés pour les périodes 2035 – 2050 :

- Un **scénario linéaire**, qui est une extrapolation linéaire des résultats de USES 2. Les coefficients directeurs utilisés pour cette régression linéaire sont calculés dans le tableau « Calculs des coefficients de corrélation et coefficient directeur », colonne AF à AJ. En fonction du coefficient de corrélation, qui mesure la qualité de la régression linéaire, deux coefficients directeurs peuvent être choisis :
  - Si le coefficient de régression linéaire calculé sur la période 2009 – 2030 est supérieur ou égal à 0,9 (linéarité correcte), alors le coefficient directeur correspondant est choisi sur cette même période ;
  - Si le coefficient de régression linéaire calculé sur la période 2009 – 2030 est inférieur à 0,9 (faible probabilité de linéarité), alors la régression linéaire n'est réalisée que sur la période 2020 – 2030 (plus grande probabilité de linéarité sur une période plus courte).
- Un **scénario linéaire stabilisé**, qui fonctionne sur le même principe d'extrapolation linéaire, avec deux coefficients directeurs possibles selon la valeur de coefficient de régression linéaire. Afin de palier la présence de valeur de consommation négatives du scénario linéaire et d'obtenir une stabilisation de ces valeurs, le coefficient directeur est divisé par 2 en première période (2030 – 2035) puis par 3 et 4 en 2nde (2035 – 2040) et 3ème (2040 – 2050) période.

Le choix de l'un de ces scénarios se fait dans l'onglet Paramétrage, comme le montre l'illustration ci-dessous :

| Usage        | Equipement       | Scénario choisi               |
|--------------|------------------|-------------------------------|
| Froid        | Froid négatif    | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Froid positif    | Scénario linéaire 'stabilisé' |
| Lavage       | Lave linge       | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Sèche linge      | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Lave vaisselle   | Scénario linéaire 'stabilisé' |
| Cuisson      | Four             | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Table            | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Cuisinière       | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Micro-onde       | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Mini four        | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Hotte            | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Cafetière        | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Petits appareils | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              |                  |                               |
| Nettoyage    | Aspirateur       | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Fer à repasser   | Scénario linéaire 'stabilisé' |
| Informatique | Ecran            | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Ordinateur       | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Tablette         | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Boîtier          | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Lecteur          | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Console          | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Imprimante       | Scénario linéaire 'stabilisé' |
| Domotique    | Compteur         | Scénario linéaire 'stabilisé' |
|              | Capteur          | Scénario linéaire 'stabilisé' |

NB : Les lignes grisées (consommations annuelles d'un appareil moyen, moyenne par ménage, France) sont calculées à partir des lignes précédentes. La régression linéaire n'a pas été appliquée à ces lignes.

Les colonnes correspondant au « remplissage auto » appellent les valeurs calculées dans l'un des deux scénarios linéaire ou linéaire stabilisé, en fonction du choix de l'utilisateur en colonne G. Le taux de modulation (colonne H) est alors appliqué à ces valeurs, permettant d'éliminer les valeurs aberrantes (par exemple les valeurs négatives pour les puissances moyennes).

Enfin, un « remplissage manuel » permet à l'utilisateur de saisir ses propres données s'il en a, celles-ci venant se substituer aux données calculées par le remplissage auto.

Le tableau « Scénario 2 », colonnes BA à BC de l'onglet « Calcul\_ElecSpe », permet de faire le lien entre le remplissage manuel (s'il est rempli) ou le remplissage auto, et l'onglet « ElecSpé Paramétrage ». Ainsi, dans ce tableau, différents facteurs de modulation sont appliqués aux valeurs calculées dans les colonnes « remplissage »

- Le facteur de modulation sur le taux d'équipement ;
- Le facteur de modulation sur la puissance ou consommation par cycle moyenne du parc ;
- Le facteur de modulation sur le temps d'utilisation (h/an).

Ces trois facteurs (que l'on retrouve dans l'onglet « Paramétrage », section « Electricité spécifique » à partir de la ligne 318) sont des combinaisons de 7 autres facteurs de modulation :

|                                  | Facteur de modulation | Description   | Facteur impacté   |
|----------------------------------|-----------------------|---|---|
| Facteurs comportementaux         | 1                     | Sobriété comportementale limitant la puissance d'utilisation  | Puissance d'utilisation ou consommation par cycle moyen du parc                     |
|                                  | 2                     | Sobriété comportementale limitant les heures d'utilisation  | Temps d'utilisation   |
|                                  | 3                     | Diminution du taux d'équipement (hors mutualisation)  | Taux d'équipement   |
|                                  | 4                     | Mutualisation des équipements   | Aucun impact sur la consommation - Impact sur énergie grise et matière (module ACV) |
|                                  | 5                     | Choix à l'achat d'équipements moins consommateurs (notamment taille)                                | Puissance d'utilisation ou consommation par cycle moyen du parc                     |
| Facteurs technico-réglementaires | 6                     | Achat d'équipement de faible classe énergétique   | Puissance d'utilisation ou consommation par cycle moyen du parc                     |
|                                  | 7                     | Amélioration technologique de la performance des équipements (incluant les ruptures technologiques) | Puissance d'utilisation ou consommation par cycle moyen du parc                     |

Ces facteurs de modulation sont prédéfinis dans l'onglet Paramétrage et restent modifiables si l'utilisateur le souhaite (pour des utilisateurs expérimentés), comme le montre l'illustration ci-dessous.

#### Paramètres influant sur les scénarios

##### Facteurs comportementaux

###### Facteur de modulation 1 :

| Description                 | <i>Sobriété comportementale limitant la puissance d'utilisation</i>    |               |                          |             |
|-----------------------------|--|---------------|--------------------------|-------------|
| Facteur impacté             | <i>Puissance d'utilisation ou consommation par cycle moyen du parc</i> |               |                          |             |
| Equipement concerné         | Froid négatif  | Froid positif | Lave linge               | Sèche linge |
| Facteur de sobriété 2035    | 2%   | 2%            | 30%                      |             |
| Facteur de sobriété 2040    | 4%   | 4%            | 40%                      |             |
| Facteur de sobriété 2050    | 5%   | 5%            | 50%                      |             |
| Commentaires / Explications | Mesure d'architectur   |               | Le lavage à froid (i.e.) |             |

## 3.6. Le module Eclairage

Ce module se matérialise par l'onglet « Eclairage ».

| Ménage                  | Technologie   | 2015               |                          |                         |                                      |                   |                                    |                        |
|-------------------------|---------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------|
|                         |               | Données par ménage |                          |                         |                                      | Calcul total      |                                    |                        |
|                         |               | Nombre de lampes   | Durée d'allumage / lampe | Puissance (moyenne) (W) | Consommation annuelle / ménage (kWh) | Nombre de ménages | Consommation annuelle totale (MWh) | Emissions GES (teqCO2) |
| Ménage peu consommateur | LED           |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
|                         | LFC           |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
|                         | halogène      |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
|                         | incandescence |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
| Ménage moyen            | LED           | 4                  | 370                      | 10                      | 14,8                                 | 27 278 135        | 403 716                            | 46 831                 |
|                         | LFC           | 6                  | 370                      | 15                      | 33,3                                 | 27 278 135        | 908 362                            | 105 370                |
|                         | halogène      | 13                 | 370                      | 50                      | 240,5                                | 27 278 135        | 6 560 391                          | 761 005                |
|                         | incandescence | 2                  | 370                      | 60                      | 44,4                                 | 27 278 135        | 1 211 149                          | 140 493                |
| Ménage consommateur     | LED           |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
|                         | LFC           |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
|                         | halogène      |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
|                         | incandescence |                    |                          |                         |                                      |                   | -                                  | -                      |
| TOTAL                   |               |                    |                          | 288,6                   | 27 278 135                           | 9 083 619         | 1 053 700                          |                        |

Trois types de ménages sont considérés :

- Ménage peu consommateur ;
- Ménage moyen ;
- Ménage consommateur.

Et pour chacun de ces types, 4 technologies de lampes sont modélisées :

- LED ;
- LFC (lampe fluocompacte) ;
- Halogène ;
- Incandescence.

L'utilisateur peut modifier les paramètres suivants, pour 2015, 2030 et 2050 :

- Nombre de lampes ;
- Durée d'allumage par lampe ;
- Puissance moyenne ;
- Répartition des types de ménages (peu/moyen ou consommateur).

Les consommations annuelles totales (MWh) sont ensuite calculées.

### **3.7. La consommation électrique de la ventilation**

La consommation électrique de la ventilation est calculée à partir de la consommation unitaire annuelle de chaque type de système et d'hypothèses d'installation des différents systèmes sur le parc existant, neuf et réhabilité.

Les tableaux suivants, de l'onglet paramétrage, précisent les hypothèses retenues.

#### **Consommation des systèmes de ventilation (kWhef/log.an)**

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Naturelle          | 0   |
| Naturelle assistée | 88  |
| VMC SF Auto        | 528 |
| VMC SF Hygro B     | 176 |
| VMC DF             | 352 |

#### **Répartition des systèmes de ventilation des logements existants**

| Type de logement | Naturelle | VMC SF Auto | VMC SF Hygro B | VMC DF |
|------------------|-----------|-------------|----------------|--------|
| MI               | 51%       | 39%         | 10%            | 0%     |
| HLM              | 50%       | 40%         | 10%            | 0%     |
| Autres IC        | 50%       | 40%         | 10%            | 0%     |

#### **Répartition des systèmes de ventilation dans les constructions neuves**

| Année       | Type de logement | VMC SF Hygro B | VMC DF |
|-------------|------------------|----------------|--------|
| 2015 - 2020 | MI               | 95%            | 5%     |
|             | HLM              | 98%            | 2%     |
|             | Autres IC        | 98%            | 2%     |
| 2020 - 2030 | MI               | 87%            | 13%    |
|             | HLM              | 95%            | 5%     |
|             | Autres IC        | 95%            | 5%     |
| 2030 - 2040 | MI               | 78%            | 22%    |
|             | HLM              | 93%            | 7%     |
|             | Autres IC        | 93%            | 7%     |
| 2040 - 2050 | MI               | 70%            | 30%    |
|             | HLM              | 90%            | 10%    |
|             | Autres IC        | 90%            | 10%    |

#### **Répartition des systèmes de ventilation par type de rénovation**

| Type de rénovation    | Type de logement | Naturelle assistée | VMC SF Hygro B | VMC DF |
|-----------------------|------------------|--------------------|----------------|--------|
| E=0                   | MI               |                    | 30%            | 70%    |
|                       | HLM              |                    | 70%            | 30%    |
|                       | Autres IC        |                    | 70%            | 30%    |
| BBC en une fois       | MI               |                    | 70%            | 30%    |
|                       | HLM              | 20%                | 75%            | 5%     |
|                       | Autres IC        | 20%                | 75%            | 5%     |
| BBC par étape         | MI               |                    | 70%            | 30%    |
|                       | HLM              | 20%                | 75%            | 5%     |
|                       | Autres IC        | 20%                | 75%            | 5%     |
| Gestes non coordonnés | MI               |                    | 90%            | 10%    |
|                       | HLM              | 40%                | 60%            |        |
|                       | Autres IC        | 40%                | 60%            |        |

### **3.8. Le module ACV**

Le module ACV se compose de 4 onglets :

- Deux onglets « Base de données » :
  - BDD Impact ;
  - BDD Impact Source.
- Deux onglets « Résultats » :
  - Module ACV 1 Calc ;
  - Module ACV 1 GRAPHs.

#### **3.8.1. Hypothèses et périmètre de l'étude ACV**

L'hypothèse de base est que l'impact environnemental des produits en 2050 sera identique à leur impact actuel (en l'absence de données prospective sur l'impact environnemental des équipements).

Le périmètre de l'ACV est du berceau à la tombe, l'unité fonctionnelle est « utiliser un équipement sur sa durée de vie ».

Les indicateurs d'impacts choisis sont les suivants :

- Changement climatique (kg CO<sub>2</sub>eq/unité fonctionnelle) ;
- Epuisement des ressources (kg Sbeq/unité fonctionnelle) ;
- Qualité de l'air (kg PM<sub>2,5</sub>/unité fonctionnelle ou m<sup>3</sup>/unité fonctionnelle).

### 3.8.2. Bases de données

Deux sources principales sont utilisées pour calculer l'impact environnemental des composants :

- L'étude ADEME « Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement » (2018) qui propose une évaluation du « poids matière » de nombreux équipements d'électricité spécifique ;
- La base INIES, qui recense l'ensemble des données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment.

Les données issues de l'étude ADEME sont compilées dans l'onglet « BDD Impact Source », puis appelées dans l'onglet « BDD Impact ».

Il est à noter que les données disponibles dans ces deux sources n'ont pas pu permettre de réaliser l'ACV des équipements mentionnés dans le module éclairage.

#### 3.8.2.1. Crédit d'une classification commune

Les impacts recensés dans l'étude ADEME ne sont pas classés selon les mêmes étapes du cycle de vie que dans la base INIES. Ainsi, dans l'onglet « BDD Impact », il s'agissait de classifier les impacts environnementaux selon une grille commune. Le tableau ci-dessous récapitule les correspondances adoptées.

| Etude ADEME « Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement » | Etude actuelle<br>Prospective Logements | Base INIES                |
|---|---|---------------------------|
| ECV1 <sup>7</sup>   | Fabrication                             | Fabrication/Production    |
| ECV2  |   |                           |
| ECV3  |   |                           |
| ECV4_Assemblage   | Installation/Assemblage                 | Installation/Construction |
| ECV4_Distribution   | Distribution                            |                           |
| ECV5  | Vie en œuvre                            | Utilisation               |
| ECV6  | Fin de vie                              | Fin de vie                |

Pour les FDES<sup>8</sup> par défaut<sup>9</sup> issues de la base INIES, il a été considéré que 70% de l'impact de la phase « installation/construction » correspondant à notre étape « assemblage », tandis que 30% de cet impact serait alloué à l'étape de « distribution ».

Les impacts environnementaux consolidés selon la grille choisie sont présentés, pour les 3 indicateurs choisis, dans les colonnes AO à BI.

#### 3.8.2.2. Crédit d'un équipement type

De plus, il a été considéré que chaque équipement pouvait être la combinaison de plusieurs équipements type des bases de données (jusqu'à 3 équipements pour un composant). Par exemple, le composant « sèche-linge » sera représenté par les équipements « sèche-linge à pompe à chaleur », « sèche-linge à évacuation » et « sèche-linge à condensation ». Ainsi, on retrouve ces 3 équipements dans l'onglet « BDD Impact », colonnes C à H. Le poids associé à chaque équipement est également précisé.

#### 3.8.2.3. Majoration des impacts

Par ailleurs, les fiches choisies sur la base INIES (correspondent aux équipements de chauffage et d'ECS) sont pour la plupart des fiches « par défaut », majorées. Il s'agit de FDES éditées par le Ministère afin de combler le manque de FDES individuelles ou collectives déposées par les fabricants. Ainsi, pour homogénéiser les impacts et éviter que les fiches majorées n'altèrent l'analyse environnementale, il a été

<sup>7</sup> Etape de Cycle de Vie 1

<sup>8</sup> Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire

<sup>9</sup> Les fiches « par défaut » de la base INIES, majorées de 30% en moyenne, ont été éditées par le Ministère afin de combler le manque de FDES individuelles ou collectives déposées par les fabricants.

**choisi de majorer l'ensemble des impacts.** Une formule permet simplement de multiplier par 1,3 les impacts issus de fiches individuelles ou collectives.

### 3.8.3. Calculs

Les calculs sont réalisés dans l'onglet « Module ACV 1 CALC », à partir de la base de données consolidée « BDD Impact ».

Le flux des équipements utilisés est calculé pour 4 périodes, à partir des onglets « Calcul\_Elec\_Spé » et « Paramétrage ». Ces périodes sont les suivantes :

- 2015 – 2020 ;
- 2020 – 2030 ;
- 2030 – 2040 ;
- 2040 – 2050.

Ainsi, cette feuille est constituée de résultats pour 4 périodes, pour 3 indicateurs environnementaux (Changement climatique, Epuisement des ressources, Qualité de l'air) et pour 5 étapes de cycle de vie (Fabrication, Distribution, Installation/assemblage, Vie en œuvre, Fin de vie), soit plus de 60 colonnes.

Le calcul des flux prend en compte les équipements renouvelés de la période précédente et les nouveaux équipements, auxquels les équipements détruits pendant la période ont été retranchés.

Le taux de renouvellement est calculé comme suit :

$$\text{Renouvellement} = \tau_{\text{équipement}} \times \text{nombre de ménages} \times \frac{\text{durée de la période}}{\text{durée de vie de l'équipement}}$$

Les flux d'équipements sont ensuite multipliés par les impacts environnementaux unitaires issus de la « BDD Impact ».

Les résultats graphiques sont présentés dans l'onglet « Module ACV1 GRAPHS ».

## 4. Utilisation de l'outil

---

### 4.1. Utilisation standard

L'utilisation standard convient pour des modifications ponctuelles des paramètres :

- simples 
- ou avancés 

La procédure pour modifier un paramètre et récupérer les résultats est la suivante :

1. Ouvrir le Scenario souhaité ;
2. Modifier le ou les paramètres souhaités ;
3. Cliquer sur le bouton « **Envoyer les paramètres au moteur de calcul** » en haut de l'onglet Paramétrage ;
4. Attendre que la fenêtre pop-up se ferme ;
5. Visualiser les résultats dans les onglets Tableaux de Bord et Résultats détaillés.

### 4.2. Utilisation avancée

#### 4.2.1. Modifications massives de paramètres

Pour une modification massive de paramètres utilisés pour, par exemple, une recherche empirique permettant d'atteindre un objectif ciblé (y/c en utilisant le solveur d'Excel), l'utilisation standard est peu adaptée car très chronophage voire impossible sans modification des macros.

Dans ce cas, la procédure à suivre est la suivante :

1. Ouvrir le scenario souhaité.
2. Cliquer sur le bouton « **Envoyer les paramètres au moteur de calcul** » en haut de l'onglet Paramétrage. Le moteur de calcul est ainsi chargé avec les paramètres du scénario souhaité
3. Ouvrir le moteur de calcul
- 4.Modifier le ou les paramètres directement dans le moteur de calcul jusqu'à obtenir le résultat souhaité (le calcul est réalisé automatiquement en temps réel).
5. Une fois que les résultats sont satisfaisants, reporter manuellement le ou les nouveaux paramètres dans le fichier Scénario.
6. Fermer le moteur de calcul.
7. Cliquer sur le bouton « **Envoyer les paramètres au moteur de calcul** » en haut de l'onglet Paramétrage.
8. Vérifier que les résultats ainsi obtenus correspondent bien à ceux obtenus dans le moteur de calcul à l'étape 4.

#### 4.2.2. Ajouts de nouveaux paramètres d'entrée

Pour ajouter de nouveaux paramètres dans l'onglet « Paramétrage », la procédure à suivre est la suivante :

1. Modifier à l'identique l'onglet « Paramétrage » de l'ensemble des fichiers scénario ainsi que celui du moteur de calcul de façon à faire apparaître le paramètre souhaité ;
2. Assurez-vous que le format (code couleur) des cellules de ces nouveaux paramètres correspondent soit aux paramètres de bases soit aux paramètres avancés ;
3. Modifier les modules du moteur de calcul concerné par ce nouveau paramètre ;
4. Réaliser une réinitialisation des champs transmis par la macro en cliquant sur le bouton « Initialisation des données » pour chaque fichier de scénario.

#### **4.2.3. Ajouts de nouveaux indicateurs de sortie**

Pour ajouter de nouveaux indicateurs de sortie dans un onglet « Résultats détaillés\_ », la procédure est la suivante :

1. Dans le fichier moteur de calcul, faites apparaître vos nouveaux indicateurs de sortie.
2. Nommer chaque plage contiguë « output\_xx » avec xx de façon à ne pas écraser une plage existante.

Les onglets « tableaux de bord » des fichiers scénarios sont calculés à partir des autres onglets de ces mêmes fichiers et ne proviennent pas du moteur. Il est donc possible d'ajouter ou modifier les résultats de ces « tableaux de bord » indépendamment du moteur mais les éventuelles modifications devront être dupliquées sur l'ensemble des fichiers scénarios.

#### **4.2.4. Utilisation spécifique dans le cadre de la modélisation Transition(s) 2050**

Dans le cadre de cet exercice, les résultats des modules suivants n'ont pas été utilisés :

- **Module ACV** : les données en sortie, conservées dans les fichiers scénarios pour éviter de déstructurer l'outil, ne sont pas valorisées car un exercice matière multisectoriel global est réalisé en parallèle ;
- **Module Climatisation** : les résultats des calculs produits par le moteur d'Antonio ne sont pas utilisés. Les données intégrées dans les fichiers de scénarios proviennent des calculs réalisés par un outil externe (MICO) dont les résultats, restreints au périmètre des seules résidences principales d'Antonio, sont mis en forme et copiés dans les onglets résultats\_détaillés\_énergie.

## L'ADEME EN BREF

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

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

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

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

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

## LES COLLECTIONS DE L'ADEME

### FAITS ET CHIFFRES



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

### CLÉS POUR AGIR



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

### ILS L'ONT FAIT



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

### EXPERTISES



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

### HORIZONS



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



HORIZONS

## Modèle ANTONIO (trANSiTION écologique des logements)

Ce document présente la notice technique du modèle ANTONIO (trANSiTION écologique des logements), utilisé par l'ADEME dans le cadre de Transition(s) 2050.

Le modèle permet de projeter à 2050, en France métropolitaine, les consommations d'énergie des différents usages dans les résidences principales. Les usages inclus dans le modèle sont : le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS), la climatisation, l'électricité spécifique (équipements blancs, bruns, gris) et l'éclairage. Il s'appuie également sur un module permettant de faire évoluer la composition du parc de logements. Il est complété par un module d'Analyse de Cycle de Vie qui calcule l'impact environnemental du flux d'équipements modélisé.

Le modèle permet la prise en compte de tous les usages dans un unique outil intégré.

*Quelle sera la consommation d'énergie des logements en France en 2050 ?*

*Le modèle ANTONIO de l'ADEME permet de projeter cette consommation à 2050 et permet d'établir des scénarios de contribution du secteur résidentiel à la transition écologique.*

