# CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES BÂTIMENTS FRANCILIENS D'ENSEIGNEMENT

## Synthèse

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
DIRECTION RÉGIONALE ÎLE-DE-FRANCE

ARENE
Expertise et ressources pour un développement durable

îledeFrance

## Pilotage

Cette étude a été lancée et pilotée par l'ARENE Île-de-France et l'ADEME direction régionale Île-de-France ; l'étude technique a été réalisée par le cabinet Énergies Demain.

**Pour obtenir de plus amples informations sur le déroulement de cette étude ou obtenir des données spécifiques, vous pouvez contacter :**

**Marc BOITEL – ARENE Île-de-France**

Chef de projet Énergie Climat

m.boitel@areneidf.org

**Stefan LOUILLAT – ADEME direction régionale Île-de-France**

Responsable du Pôle Energie

stefan.louillat@ademe.fr

**Coordination éditoriale :**

**Pascale CÉRON et Elise FAURE – ARENE Île-de-France**

# SOMMAIRE


**1 INTRODUCTION ..... 5**

**2 ETAT DES LIEUX DU PARC ..... 6**

*CE QU'IL FAUT RETENIR* ..... 6
**STRUCTURE DU PARC D'ETABLISSEMENTS ..... 6**
LES NIVEAUX D'ENSEIGNEMENT ..... 6
AGE DU PARC BATI ..... 7
ENERGIES DE CHAUFFAGE ..... 8

**3 CONSOMMATIONS ET EMISSIONS ..... 10**

*CE QU'IL FAUT RETENIR* ..... 10
**QUELQUES ELEMENTS DE COMPREHENSION PREALABLES ..... 10**
**CONSOMMATION D'ENERGIE ..... 10**
BILAN ENERGETIQUE (ENERGIE FINALE) ..... 10
BILAN ENERGETIQUE (ENERGIE PRIMAIRE) ..... 11
CONSOMMATION D'ENERGIE PAR NIVEAU D'ENSEIGNEMENT ..... 11
CONSOMMATION D'ENERGIE DEPARTEMENTALE ..... 12
**EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ..... 13**

**4 SYNTHESE DES GISEMENTS D'ECONOMIE ..... 14**

*CE QU'IL FAUT RETENIR* ..... 14
**LES PRINCIPAUX LEVIERS ..... 14**
**CONSTRUCTION DES GESTES DE TRAVAUX ..... 15**
**SYNTHESE ..... 15**

**5 SCENARIOS PROSPECTIFS ..... 17**

*CE QU'IL FAUT RETENIR* ..... 17
**SCENARIOS PROSPECTIFS ..... 17**
**HYPOTHESES ..... 17**
EVOLUTION DES SURFACES DU PARC ..... 17
CARACTERISTIQUES THERMIQUES DES BATIMENTS NEUFS ..... 18
HYPOTHESES STRUCTURANTES DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... 18
**RESULTATS ..... 20**
ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE FINALE ..... 20
EVOLUTION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE PRIMAIRE ..... 22
EVOLUTION DES EMISSIONS DE GES ..... 23

**6 DETAILS METHODOLOGIQUES ..... 24**

PERIMETRE DE L'ETUDE ..... 24
RECONSTITUTION DE L'ETAT DES LIEUX DU PARC ..... 25
MODELISATION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES ..... 26

# 1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'élaboration du Tableau de Bord de l'Énergie de la région Île-de-France, l'ADEME et l'ARENE ont souhaité améliorer l'état des connaissances concernant le secteur tertiaire par la réalisation de l'étude des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre liées aux bâtiments d'enseignement et de recherche.

A partir de l'état des lieux réalisé, une étude poussée des gisements d'économies disponibles a permis de construire des scénarios prospectifs d'évolution des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre à horizon 2050.

La restitution des résultats de cette étude est composée de cinq sections :

- **L'état des lieux quantitatif et structurel du parc d'établissements d'enseignement et de recherche ;**
- **La présentation du bilan régional des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la branche « Enseignement Recherche » ;**
- **Une synthèse des principaux « potentiels et gisements » permettant de réduire les consommations énergétiques ainsi que les émissions de GES ;**
- **L'évolution tendancielle attendue sur la branche, ainsi que deux propositions d'évolution des consommations et des émissions de GES permettant d'atteindre les objectifs de réduction à horizon 2020 et 2050.**

Dans une dernière section (n°6), le document fournit des éléments synthétiques portant sur le périmètre et la méthode développée tout au long de l'étude.

**Avertissement**

L'étude réalisée tend à fournir une photographie fidèle de la structure du parc et des consommations d'énergies des établissements d'enseignement et de recherche de la région Île-de-France. Cependant, malgré une importante collecte de données opérée sur cette branche, il n'a pas été possible d'avoir une connaissance suffisamment pertinente de la présence et de l'utilisation des énergies renouvelables et de récupération.

Ainsi, ces énergies ne seront pas prises en compte dans la phase d'état des lieux du parc et de reconstitution des consommations d'énergies. La faiblesse du parc et des consommations concernées ne portent cependant pas préjudice aux résultats présentés.

# 2 ETAT DES LIEUX DU PARC

### *Ce qu'il faut retenir*

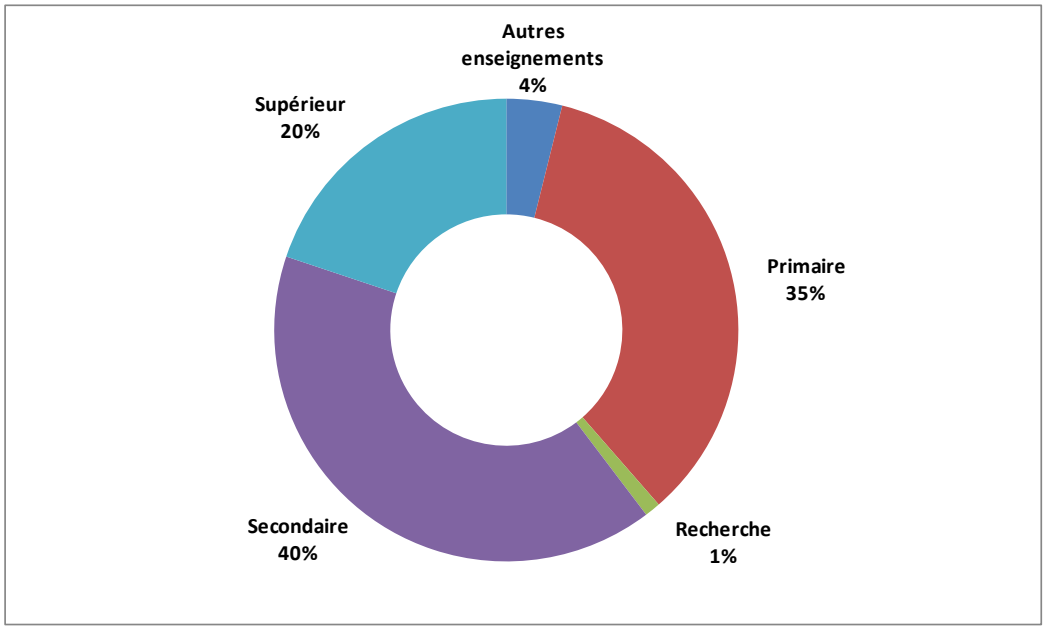
*Les établissements d'enseignements primaire et secondaire sont les plus représentés en termes de surfaces chauffées. Le parc d'établissements d'enseignement et de recherche de la région Île-de-France est vieillissant avec les deux tiers des surfaces chauffées appartenant à des établissements construits avant 1974. Enfin, le gaz de réseau chauffe 54 % des établissements régionaux et 60 % des surfaces, devant le fuel et le chauffage urbain (respectivement 16 % et 15 % des surfaces chauffées avec ces énergies).*

## Structure du parc d'établissements

### Les niveaux d'enseignement

La région Île-de-France compte un peu plus de 10 000 établissements d'enseignement et de recherche (comptant plus de 2,8 millions d'élèves) dont l'implantation géographique et la taille divergent fortement selon la nature de l'activité exercée. Les établissements d'enseignement primaire (représentant plus des deux tiers des établissements d'enseignement de la région) sont caractérisés par leur taille modeste et leur implantation diffuse sur le territoire, à l'inverse des établissements d'enseignement secondaire et supérieur.

Figure 1 : répartition des surfaces chauffées selon le niveau d'enseignement




La branche « Enseignement Recherche » compte 36 millions de m² de surfaces chauffées en Île-de-France (environ 17 % des surfaces chauffées du secteur tertiaire régional[1]). **Les principaux niveaux d'enseignement en termes de surfaces chauffées sont les établissements d'enseignement secondaire (40 % des surfaces) et d'enseignement**

[1] Données issues du modèle ENERTER© Tertiaire (Energies Demain)

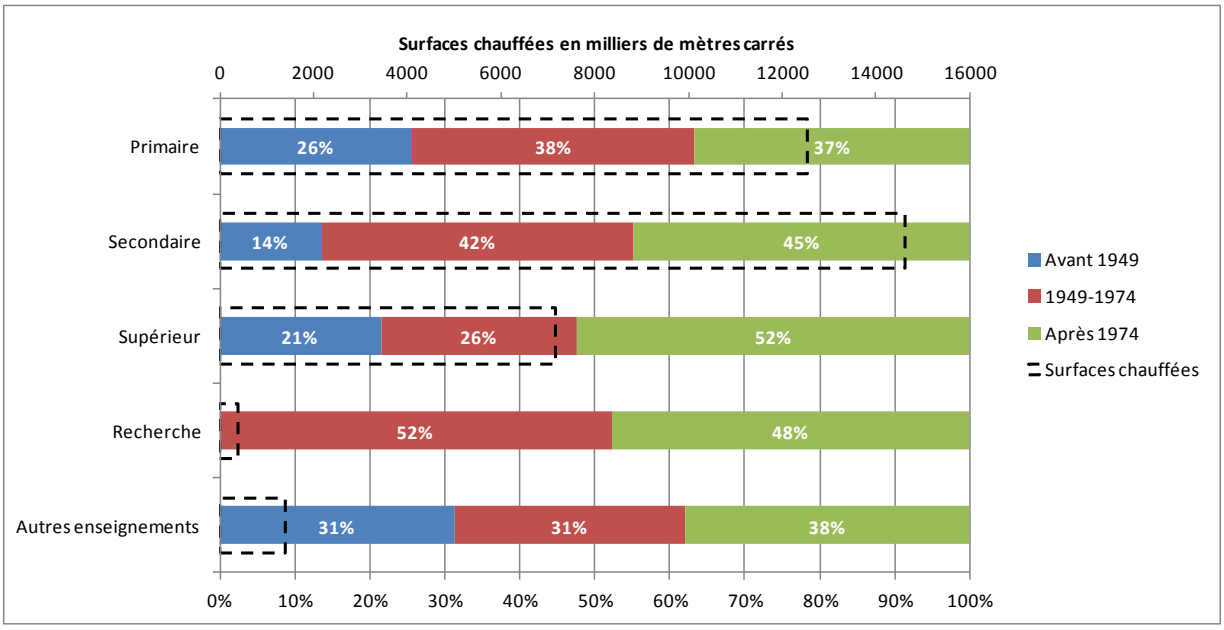
**primaire (35 % des surfaces). Cependant, malgré une proportion moindre, les surfaces chauffées régionales de l'enseignement supérieur représentent plus de 20 % des surfaces nationales pour ce niveau d'enseignement.**

Au sein des établissements d'enseignement secondaire, les collèges comptabilisent la moitié des surfaces chauffées contre un tiers pour les lycées d'enseignements général et technologique et seulement 16 % pour les lycées professionnels.

## Age du parc bâti

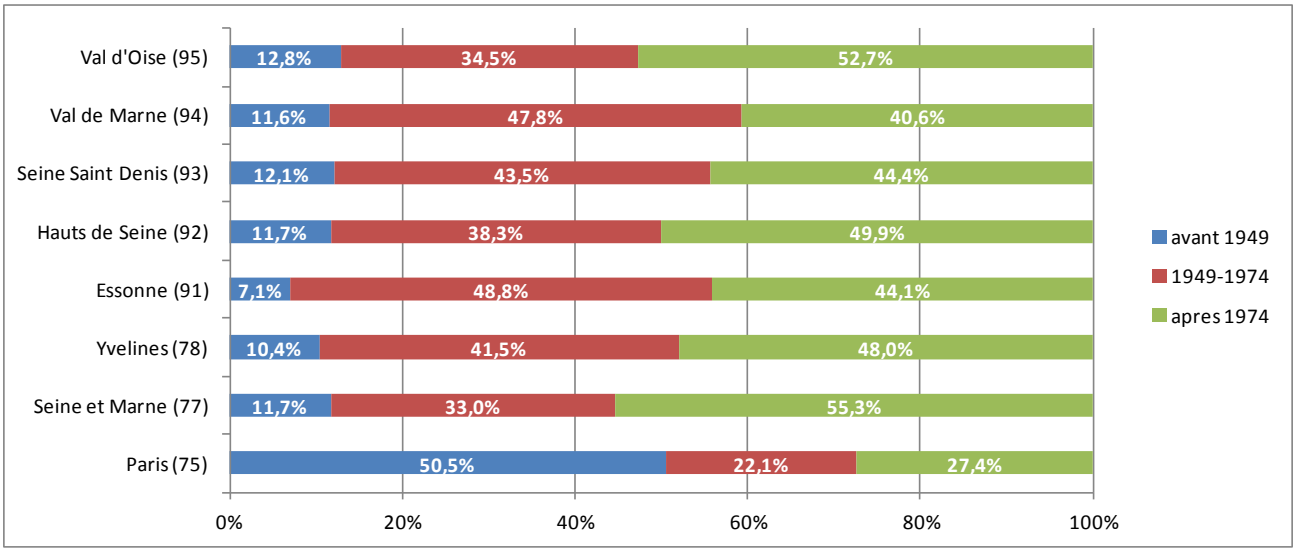
Le graphique proposé ci-dessous présente la répartition des surfaces chauffées selon la période de construction des établissements d'enseignement.

Figure 2 : Surfaces chauffées selon la période de construction et le niveau d'enseignement




Les établissements sont construits dans leur grande majorité avant 1974. Les établissements d'enseignement primaire sont les plus anciens, près des deux tiers de leurs surfaces datent d'avant 1974 et 26 % avant 1949. Les établissements d'enseignement secondaire ont connu quant à eux une vague de construction importante entre 1949 et 1974, correspondant à la période de l'après-guerre, connue comme la période du « un collège par jour ».

Figure 3 : Répartition des surfaces chauffées selon la période de construction à l'échelle départementale




De façon cohérente au regard du territoire, la ville de Paris présente une répartition temporelle des surfaces d'établissements singulière comparativement aux autres départements de la région. À l'inverse des départements du Val-d'Oise et de la Seine-et-Marne, dont le parc est beaucoup plus récent (respectivement 52,7 % et 55,3 % des

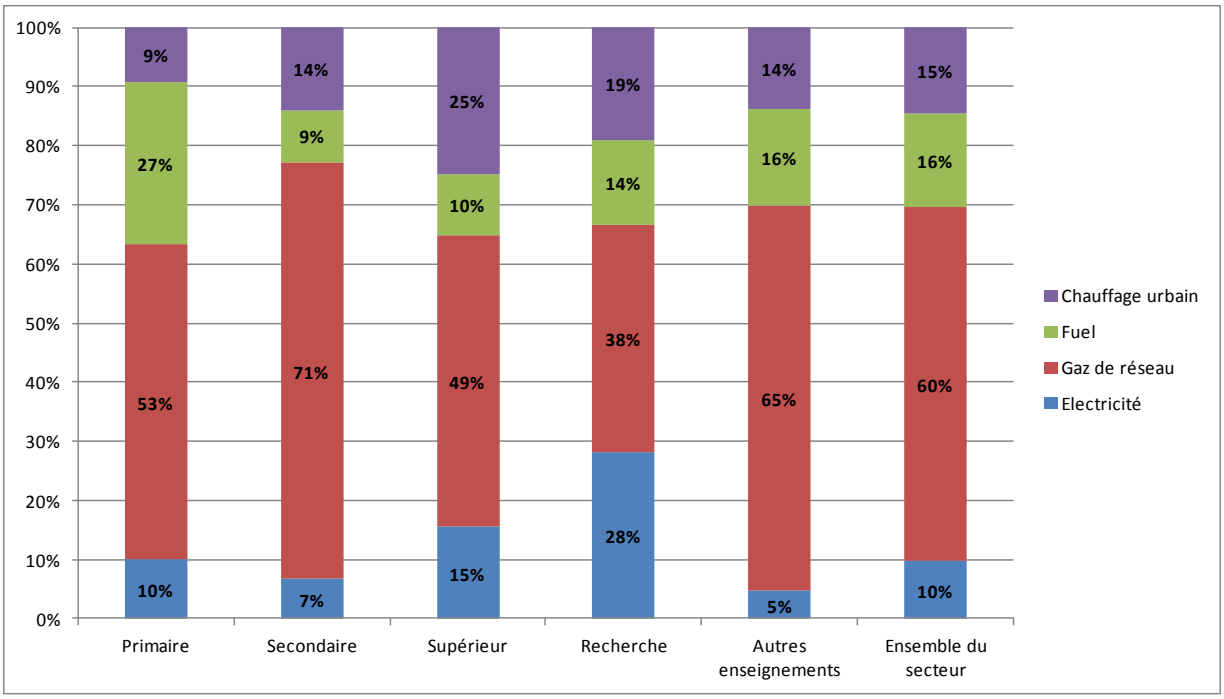
surfaces construites après 1974), plus de 70 % des surfaces chauffées appartiennent à des établissements construits avant 1974 dans la ville de Paris

## Energies de chauffage

**Le gaz de réseau est l'énergie de chauffage de 54 % des établissements d'enseignement et de recherche de la région Île-de-France, et représente une part de marché surfacique de 60 %.**

De plus, les parts de marché des énergies de chauffage de la région Île-de-France mettent en exergue la densité urbaine qui caractérise le territoire régional à travers un fort taux d'équipement en infrastructures de réseaux des communes, expliquant ainsi des parts de marché de gaz et de chauffage urbain supérieures à la moyenne nationale pour la branche « enseignement recherche » (respectivement 57 % et 11 %), au détriment de l'énergie fuel (23 % au niveau national).

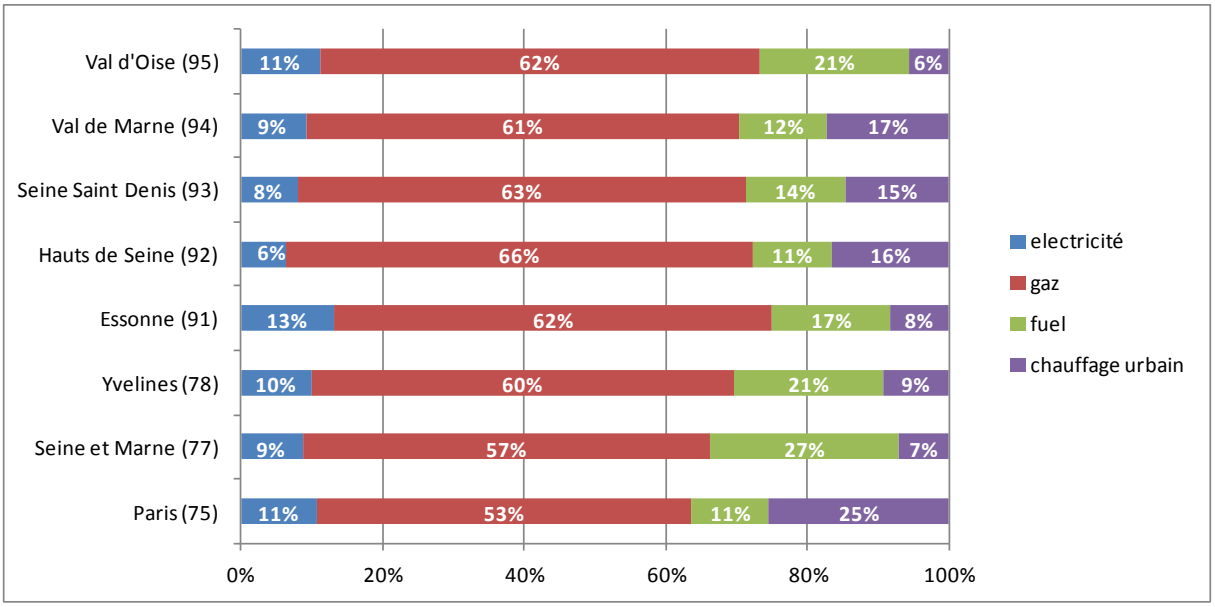
Figure 4 : répartition des surfaces chauffées par énergie de chauffage et niveau d'enseignement




Le détail par niveau d'enseignement montre une certaine disparité :

- le gaz représente plus de 50 % des surfaces chauffées des établissements d'enseignement primaire, secondaire et des autres enseignements, établissements plus généralement chauffés avec des systèmes centralisés de production de chaleur (soit du fait de leur taille importante soit du fait d'une régulation plus aisée) ;
- le fuel équipe avant tout les établissements primaires dont les bâtiments sont présents de manière diffuse sur le territoire régional, et donc dans une proportion de communes non équipées en infrastructures de réseau (gaz ou chauffage urbain) importante ;
- le chauffage électrique est très présent dans les établissements de recherche de tailles modestes, et dans la grande majorité des cas climatisés. L'usage d'équipements de production de chaleur et de climatisation réversibles explique ainsi la part importante de l'énergie électrique ;
- enfin, les établissements d'enseignement supérieur possèdent un quart des surfaces chauffées avec de la chaleur urbaine, notamment expliqué par la présence importante de ces établissements dans des communes équipées de réseau de chaleur (principalement dans la ville de Paris).

Figure 5 : Parts de marché surfacique des énergies de chauffage à l'échelle départementale




À l'échelle départementale, les parts de marché sont relativement homogènes, à l'exception des Yvelines, du Val-d'Oise et de la Seine-et-Marne qui présentent une part d'énergie fuel plus élevée que la moyenne régionale (16 %). Cet écart s'explique en partie par une présence de chauffage urbain plus faible que dans les autres départements.

# 3 CONSOMMATIONS ET ÉMISSIONS

### *Ce qu'il faut retenir*

L'usage du chauffage est responsable de 68 % des consommations d'énergie finale et de 80 % des émissions de gaz à effet de serre des établissements d'enseignement et de recherche. Les établissements les plus énergivores sont les établissements d'enseignement primaire, du fait de son parc de bâtiments vieillissants provoquant des consommations de chauffage élevées, ainsi que les établissements d'enseignements supérieur et de recherche, du fait des consommations d'électricité spécifique importantes (taux d'équipement en bureautique et process élevés).

## Quelques éléments de compréhension préalables

Les consommations et émissions de gaz à effet de serre (GES) sont exprimées pour l'année de référence **2009**.

Les données de consommations et d'émissions sont **corrigées du climat**. Les consommations d'énergie sont exprimées en **énergie finale** par défaut, sauf si le contraire est spécifié.

Les données sont issues du Modèle ENERTER© Tertiaire et **calées à la fois sur les données régionales de cadrage (*données régionales de consommation unitaire du tertiaire*, CEREN 2007) et sur une collecte de données de consommation au niveau des établissements franciliens.**

Les émissions prises en compte dans la suite de ce document sont liées au fonctionnement des bâtiments d'enseignement et de recherche. Elles sont uniquement d'ordre énergétique (liées à la consommation d'énergie).

## Consommation d'énergie

### Bilan énergétique (énergie finale)

En 2009, les établissements d'enseignement et de recherche ont consommé **6 246 GWh d'énergie finale,** correspondant à 11 % des consommations du secteur tertiaire francilien. Le gaz de réseau et l'électricité sont les deux principales énergies consommées, à hauteur de 46 % et 28 %. La consommation des établissements se répartit ainsi par usage et énergie :

Tableau 1 : consommation d'énergie finale dans les établissements d'enseignement et de recherche

| *En GWhEF à climat normal* | Electricité | Gaz de réseau | Fuel | Chauffage urbain | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Chauffage** | 336,5 | 2 462,7 | 826,1 | 624,1 | **4 249,5** | ***68 %*** |
| **ECS** | 116,8 | 285,0 | 62,1 | 106,7 | **570,7** | ***9,1 %*** |
| **Climatisation** | 8,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **8,5** | ***0,1 %*** |
| **Electricité spécifique** | 1 083,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **1 083,3** | ***17,3 %*** |
| **Cuisson** | 196,2 | 137,7 | 0,0 | 0,0 | **333,9** | ***5,3 %*** |
| **Total** | **1 741,3** | **2 885,5** | **888,3** | **730,8** | **6 245,9** | ***100 %*** |
| **%** | ***27,9 %*** | ***46,2 %*** | ***14,2 %*** | ***11,7 %*** | ***100 %*** | |

**Le chauffage et les usages spécifiques de l'électricité sont les plus consommateurs**. À eux deux ils concernent plus de 85 % des consommations d'énergie de la branche. Les usages de bureautique (informatique, photocopieuses…) et de process (forces motrices, équipements de laboratoires…) représentent 42 % des consommations d'électricité spécifique, contre 39 % pour l'éclairage, 10 % pour le froid alimentaire (réfrigérateurs) et 9 % pour les ventilations mécaniques et les auxiliaires de systèmes de production (ventilo convecteurs, pompes…).

Cependant, il est important de noter que les valeurs de consommation d'électricité spécifique modélisées dans le cadre de cette étude sont nettement plus élevées que celles fournies par le CEREN (30kWh/m².an dans le cadre de cette étude contre 18kWh/m².an pour le CEREN). Le choix de maintenir ces résultats malgré le décalage observé avec les données de cadrage régionales a été motivé par la cohérence de ces consommations d'électricité spécifique avec celles issues de la collecte de données réalisée.

Enfin, les consommations de climatisation sont plus basses du fait des faibles taux d'équipements en climatisation des établissements d'enseignement et de recherche.

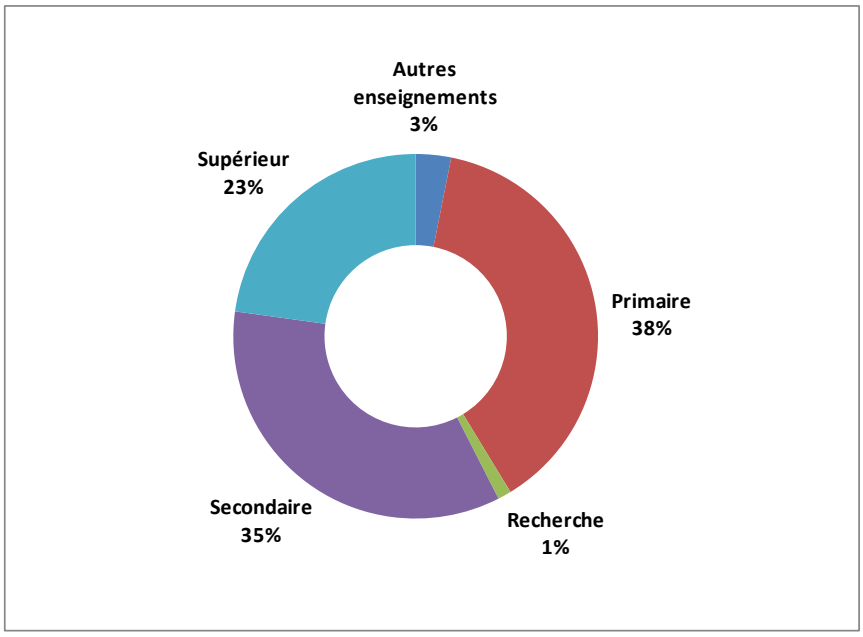
## Bilan énergétique (énergie primaire)

Tableau 2 : consommation d'énergie primaire dans les établissements d'enseignement et de recherche

| *En GWhEP à climat normal* | Electricité | Gaz de réseau | Fuel | Chauffage urbain | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Chauffage** | 868,2 | 2 462,7 | 826,1 | 624,1 | **4 781,2** | ***53,1 %*** |
| **ECS** | 301,4 | 285,0 | 62,1 | 106,7 | **755,3** | ***8,4 %*** |
| **Climatisation** | 22,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **22,0** | ***0,2 %*** |
| **Electricité spécifique** | 2 794,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **2 794,8** | ***31,1 %*** |
| **Cuisson** | 506,1 | 137,7 | 0,0 | 0,0 | **643,8** | ***7,2 %*** |
| **Total** | **4 492,6** | **2 885,5** | **888,3** | **730,8** | **8 997,2** | ***100 %*** |
| **%** | ***49,9 %*** | ***32,1 %*** | ***9,9 %*** | ***8,1 %*** | ***100 %*** | |

## Consommation d'énergie par niveau d'enseignement

Figure 6 : répartition des consommations d'énergie finale selon le niveau d'enseignement

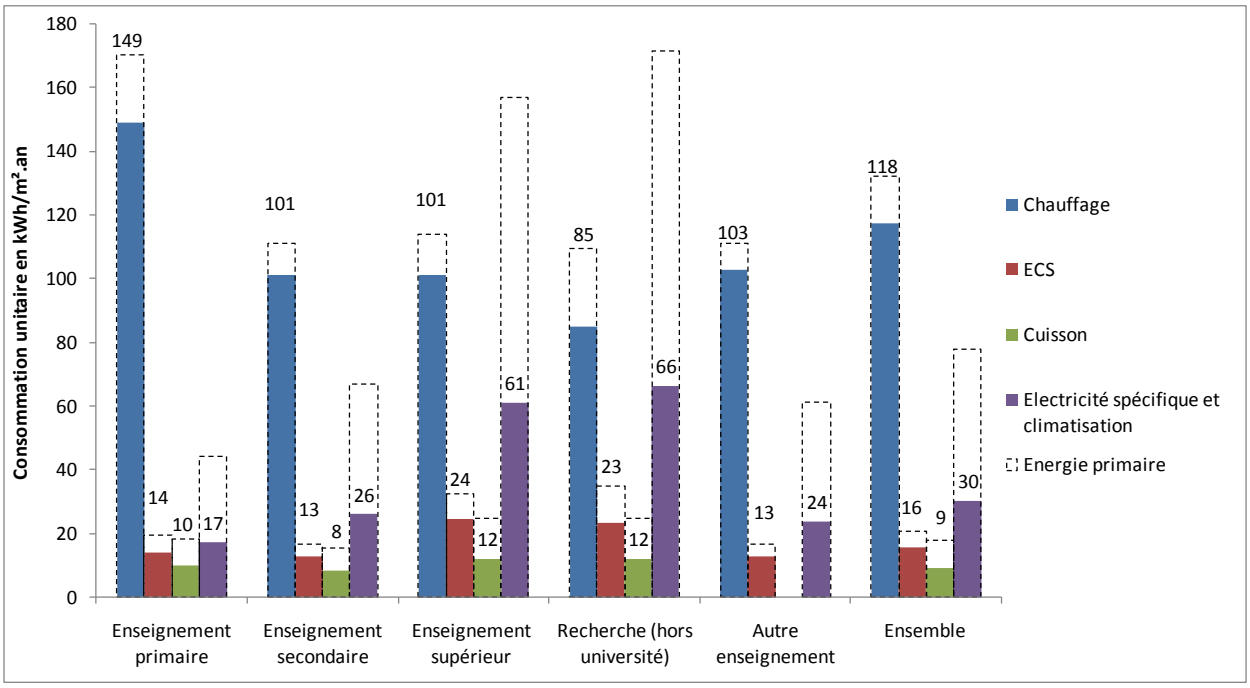



La répartition des consommations d'énergie selon le niveau d'enseignement est globalement à l'image de la répartition des surfaces chauffées. **Les établissements d'enseignements primaire et secondaire représentent plus de 70 % des consommations d'énergie finale de la branche.**

Les établissements les plus énergivores unitairement sont les établissements d'enseignement supérieur, primaire et de recherche (respectivement 199 kWh/m².an, 190 kWh/m².an et 187 kWh/m².an), contrairement aux établissements d'enseignement secondaire (148 kWh/m².an).

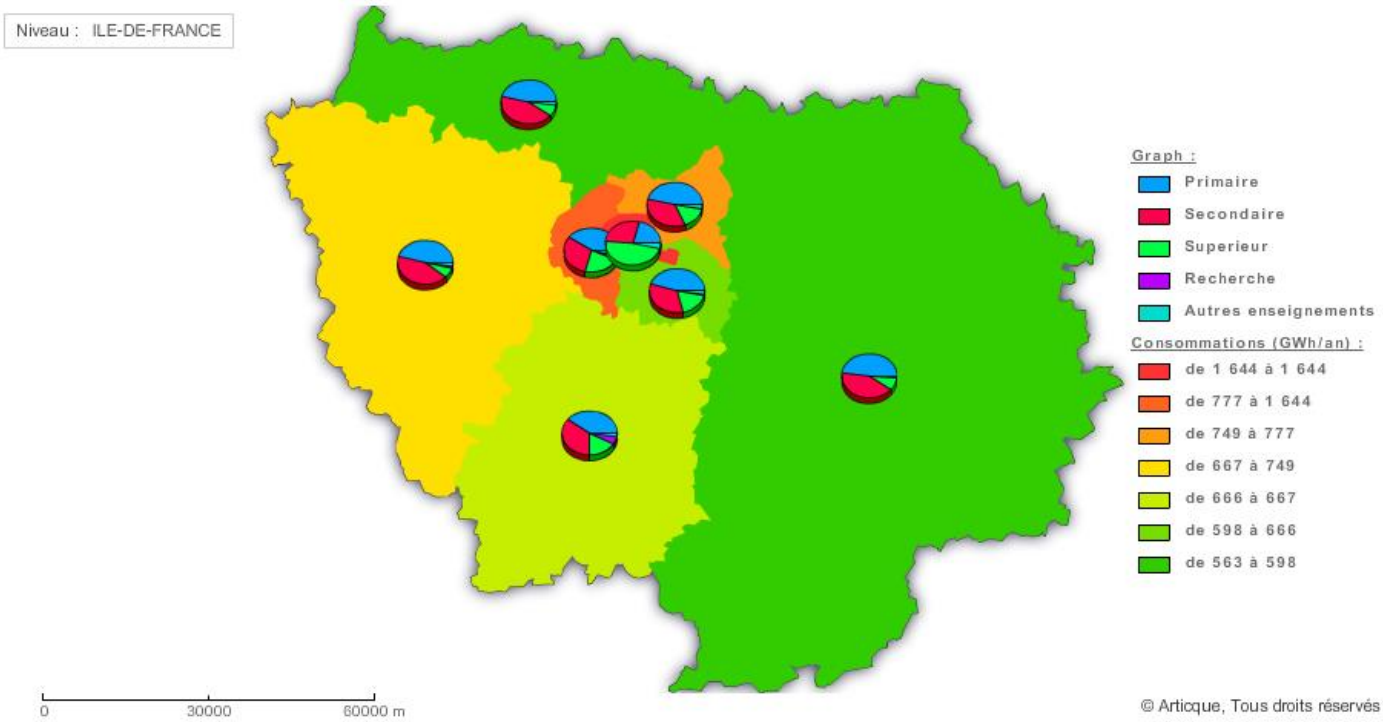
Cependant, les usages de l'énergie à l'origine des consommations unitaires élevées de ces établissements sont différents. Les établissements d'enseignement primaire consomment avant tout de l'énergie de chauffage, du fait d'un parc d'établissements vieillissant (consommation unitaire de chauffage de 149 kWh/m².an). Tandis que les établissements d'enseignement ssupérieur et de recherche ont des consommations unitaires d'électricité spécifique élevées (respectivement 61 kWh/m².an et 66 kWh/m².an), expliquant ainsi le caractère énergivore de ces bâtiments.

Figure 7 : consommations unitaires d'énergie finale et primaire selon l'usage et le niveau d'enseignement (les valeurs renseignées sur le graphique sont celles des consommations unitaires d'énergie finale), en kWh/m².an




## Consommation d'énergie départementale

Figure 8 : Consommations d'énergie finale départementale selon le niveau d'enseignement




La répartition des consommations énergétiques selon le niveau d'enseignement met en opposition les départements centraux (Ville de Paris, Hauts-de-Seine, Val-de-Marne, Seine-Saint-Denis) et périphériques avec deux structures des consommations différentes. Dans le cas des départements centraux, l'enseignement supérieur et la recherche sont responsables d'une part non négligeable des consommations, égalant celle de l'enseignement secondaire dans le cas des Hauts-de-Seine et la dépassant pour la Ville de Paris. À l'inverse, les départements périphériques présentent des consommations avant tout liées aux écoles primaires et aux établissements d'enseignement secondaire, en proportions quasiment égales. Ces différences structurelles expliquent les variations départementales constatées sur les consommations par usage (variation de la part de l'électricité spécifique en fonction de l'importance de l'enseignement supérieur dans la consommation d'énergie).

## Emissions de gaz à effet de serre

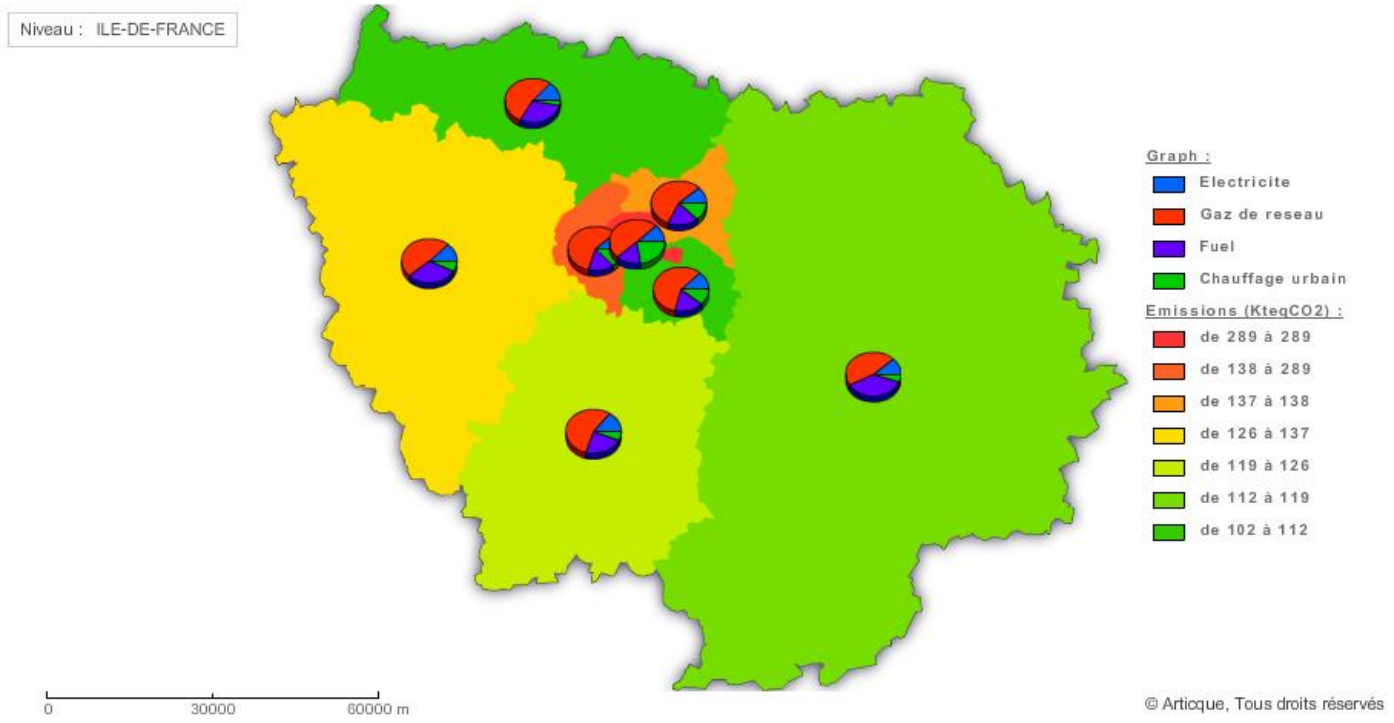
**Les émissions totales de la branche « Enseignement Recherche » en Île-de-France s'élèvent en 2009 à 1 128 kteq $CO_2$.**

**Plus de 80 % de ces émissions sont générées par le chauffage des établissements**. La consommation d'énergies fossiles (chauffage urbain, gaz, fuel) est responsable de 87 % des émissions de GES de la branche.

Tableau 3 : émissions de GES établissements d'enseignement et de recherche

| Origine | Emissions (kteq $CO_2$) | % |
|---|---|---|
| **Electricité** | 147,7 | ***13 %*** |
| **Gaz de réseau** | 596,2 | ***53 %*** |
| **Fuel** | 241,1 | ***21 %*** |
| **Chauffage urbain** | 143,5 | ***13 %*** |
| **Total** | **1 128,5** | ***100 %*** |

Figure 9 : Émissions de GES départementales selon l'énergie consommée




À l'échelle départementale, les parts de marché des énergies de chauffage pèsent sur le bilan des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, les départements de la grande couronne présentent une part plus importante d'émissions liées aux consommations de fuel que dans les départements de la petite couronne.

# 4 SYNTHÈSE DES GISEMENTS D'ÉCONOMIE

### *Ce qu'il faut retenir*

Quatre gestes de travaux ont été retenus afin d'évaluer les gisements d'économies d'énergie disponibles. Ils permettent d'atteindre des gains allant de 32 % (geste « modeste système ») à 67 % (geste « maximal »), c'est-à-dire une économie maximale supérieure à 4 000 GWh/an. Les gains les plus élevés sont obtenus sur les consommations liées au chauffage des bâtiments, du fait de la réhabilitation thermique des bâtiments et du changement des systèmes de production. Malgré la réduction importante des consommations, les temps de retour sur investissement restent supérieurs à 30 ans, en ne considérant aucune aide financière et un prix de l'énergie constant.

Le but poursuivi dans le cadre de cette partie est d'évaluer de manière « statique », c'est-à-dire sans prise en compte de toute dimension temporelle, le potentiel maximal d'économies d'énergie réalisable sur les consommations d'énergie du parc bâti d'établissements d'enseignement et de recherche pour les usages de chauffage, d'électricité spécifique et d'eau chaude sanitaire. Il est à noter qu'aucune substitution énergétique n'est opérée.

## Les principaux leviers

Quatre leviers d'actions principaux ont été identifiés pour réduire les consommations d'énergie dans les établissements d'enseignement et de recherche franciliens :

- **Réhabilitation thermique**

Le chauffage représente 68 % de la consommation d'énergie finale de la branche. La réhabilitation thermique des bâtiments permet de limiter cette consommation. Elle concerne les travaux de changement des ouvertures, d'isolation du toit, des murs et du plancher, d'amélioration de la ventilation, etc.

Trois niveaux de réhabilitation sont proposés :

- Niveau d'exigence type Règlementation Thermique (RT) existant « élément par élément ». Cette rénovation est appliquée uniquement aux parois dont les performances sont en deçà des exigences règlementaires. Les bâtiments récents ne seront donc pas concernés par ce geste;
- Niveau d'exigence type RT existant « globale ». L'ensemble des bâtiments seront rénovés de manière à respecter les exigences de la RT existant « globale », préconisant une diminution des consommations totales d'au moins 30 %;
- Niveau d'exigence BBC (Bâtiment Basse Consommation). L'ensemble des bâtiments du parc sera rénové.

- **Changement des systèmes de chauffage et de ventilation**

La démarche de changement des systèmes a pour but de quantifier les gains obtenus par l'amélioration des performances des systèmes existants. Les modes de production resteront donc les mêmes, avec cependant des performances accrues (les meilleures du marché selon le type d'équipement). Les systèmes de production de chauffage, les pompes de distribution, la régulation ainsi que les ventilations mécaniques seront concernés.

- **Changement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS)**

L'eau chaude sanitaire est à l'origine de 9 % des consommations d'énergie de la branche. Cette consommation peut décroître en remplaçant les systèmes actuels de production par de meilleures technologies.

- **Amélioration de l'éclairage**

Il s'agit d'améliorer la performance des équipements d'éclairage par des technologies basse consommation.

## Construction des gestes de travaux

A partir de ces leviers d'actions identifiés, quatre gestes de travaux ont été construits :

**Geste « Modeste bâti »**

Le niveau de réhabilitation RT existant « élément par élément » est appliqué aux parois des bâtiments ne respectant pas son niveau d'exigence. Les systèmes de chauffage, ECS et éclairage restent inchangés.

**Geste « Modeste système »**

Seuls les systèmes (chauffage, ECS et éclairage) sont remplacés par de meilleures technologies sans réhabilitation du bâti.

**Geste « Intermédiaire »**

Le niveau de réhabilitation d'exigence RT existant « globale » est appliqué à tous les bâtiments du parc d'établissements d'enseignement et de recherche. L'ensemble des systèmes de production sont remplacés par de meilleures technologies.

**Geste « Maximal »**

Le niveau de réhabilitation d'exigence BBC est appliqué à l'ensemble des bâtiments du parc. Les systèmes de production sont remplacés par de meilleures technologies.

## Synthèse

Le tableau ci-après présente le potentiel maximal par geste de travaux ainsi que le gain obtenu par rapport à l'état initial. **Attention, ils ne sont pas additionnables.**

Tableau 4 : Potentiels et gains par geste de travaux et usage de l'énergie (en GWh/an d'énergie finale)

| Usage de l'énergie | Potentiel (en GWh/an)/gain | Geste « Modeste bâti » | Geste « Modeste système » | Geste « Intermédiaire » | Geste « Maximal » |
|---|---|---|---|---|---|
| **Chauffage** | *Potentiel* | 2 314,4 | 1 625,0 | 3 627,0 | 3 826,1 |
| | *Gain* | *54 %* | *38 %* | *85 %* | *90 %* |
| **ECS** | *Potentiel* | 0 | 189,6 | 189,6 | 189,6 |
| | *Gain* | *0 %* | *33 %* | *33 %* | *33 %* |
| **Eclairage** | *Potentiel* | 0 | 279,2 | 279,2 | 279,2 |
| | *Gain* | *0 %* | *66 %* | *66 %* | *66 %* |
| **Total (tous usages)** | *Potentiel* | **2 320,1** | **1 982,7** | **3 985,7** | **4 183,9** |
| | *Gain* | ***37 %*** | ***32 %*** | ***64 %*** | ***67 %*** |

Les différences observées entre les gains totaux et par usage sont le fait des consommations d'auxiliaires (pompes de distribution et émetteurs) qui décroissent avec les consommations de chauffage, du fait de l'augmentation des

consommations de ventilation (liées à l'utilisation de ventilations doubles flux performantes possédant deux moteurs).

L'estimation des coûts induits par la mise en œuvre des gestes de travaux est proposée ci-dessous. Ceux-ci prennent en compte les coûts des matériaux d'isolation ainsi que des nouveaux systèmes de production. Afin d'exprimer de la façon la plus pertinente possible l'estimation des coûts des bouquets de travaux, une fourchette constituée d'un coût minimal et maximal est proposée. Cette évaluation économique permettra donc de fournir un ordre de grandeur et de relativiser les gains en termes de consommation énergétique exposés ci-dessus.

Tableau 5 : Temps de retour sur investissement « brut »

| | « Modeste bâti » | | « Modeste système » | | « Intermédiaire » | | « Maximal » | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. |
| **Coût en millions d'euros HT** | **2 481,6** | **3 433,4** | **4 542,8** | **5 561,2** | **8 817,4** | **10 903,1** | **11 150,5** | **14 186,8** |
| **Temps de retour « Brut » (en années)** | **21** | **29** | **40** | **50** | **41** | **50** | **49** | **63** |

Le temps de retour sur investissement « brut » est fourni à titre indicatif. Il est calculé sur la base des coûts de l'énergie fixe et sans aucune aide financière. Il met cependant en exergue le meilleur rendement du geste « Modeste bâti », qui permet d'atteindre un gain important des consommations d'énergie en ne touchant que le parc bâti vieillissant.

# 5 SCÉNARIOS PROSPECTIFS

### *Ce qu'il faut retenir*

Les consommations d'énergies ainsi que les émissions de GES évoluent tendanciellement à la baisse du fait de la réhabilitation des bâtiments et de l'amélioration des systèmes en fin de vie. Cependant, les efforts à fournir afin de respecter les objectifs de réduction des consommations d'énergie (objectif - 38 % sur les consommations d'énergie primaire du bâti existant à horizon 2020) et des émissions de GES (division par un facteur 4 des émissions à horizon 2050) sont importants et doivent être mis en œuvre rapidement pour être soutenables.

## Scénarios prospectifs

Afin de mettre en perspective les gains obtenus par l'application des gisements présentés ci-dessus, trois scénarios prospectifs ont été élaborés :

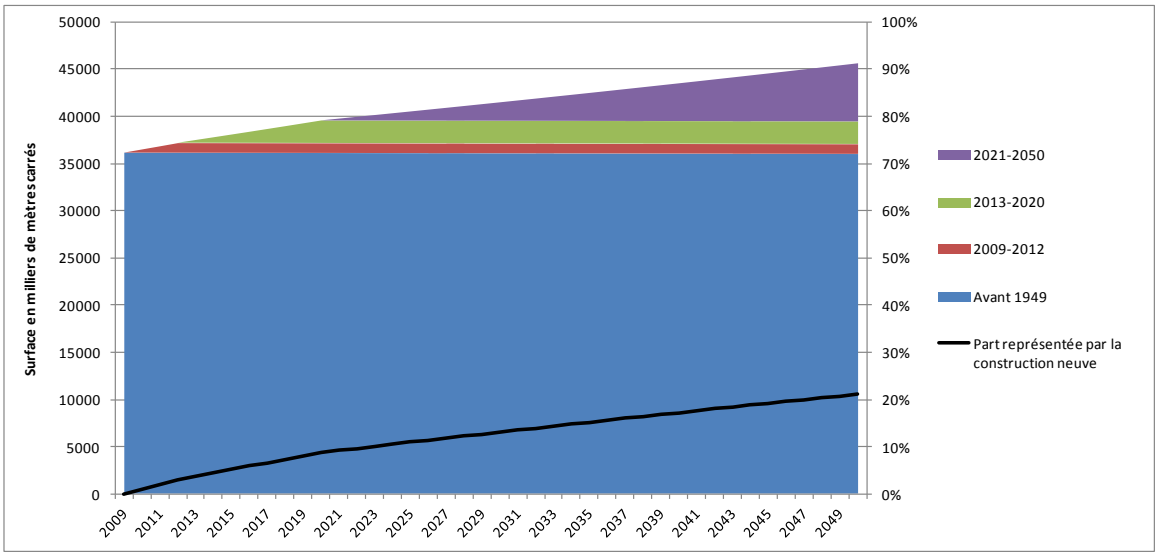
- ✓ **un scénario tendanciel « pré Grenelle »** symbolisant une continuité avec les consommations actuelles ;
- ✓ **un scénario «- 38 % »** montrant l'effort à fournir afin de respecter l'engagement de réduction de - 38 % des consommations d'énergies primaires du bâti existant à horizon 2020 ;
- ✓ **Un scénario « facteur 4 »**, tendant à respecter les engagements en termes de réduction des consommations d'énergies et d'atteinte du facteur 4 sur les émissions de gaz à effet de serre à horizon 2050.

## Hypothèses

### Evolution des surfaces du parc

L'évolution des surfaces du parc d'établissements d'enseignement et de recherche est basée sur une dynamique d'entrées et de sorties de bâtiments dans le parc. Les taux choisis dans le cadre des scénarios prospectifs sont corrigés par le dynamisme du parc depuis 1999 (données SITADEL), et par la croissance de la population par tranche d'âge à horizon 2040 (estimations de l'INSEE).

Figure 10 : Évolution des surfaces chauffées à horizon 2050




La part de la construction neuve dans le parc (courbe noire) croît de façon lente à horizon 2050. Elle pèse 9 % du parc en 2020 et seulement 21 % en 2050. Les efforts devront donc se concentrer essentiellement sur le bâti existant dans l'optique d'atteindre les objectifs de réduction des consommations énergétiques et des émissions de GES.

## Caractéristiques thermiques des bâtiments neufs

Les hypothèses d'évolution de la qualité thermique des bâtiments neufs prennent en compte l'application des règlementations thermiques successives.

## Hypothèses structurantes des scénarios prospectifs

### Réhabilitation

Le taux annuel de réhabilitation du parc représente la part surfacique annuelle du parc touché par des travaux de réhabilitation. Ce taux est changeant selon les années et le scénario.

Tableau 6 : Taux annuel de réhabilitation du parc existant (construit avant 2009)

| | 2009-2012 | | 2012-2020 | | 2021-2050 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Scénario** | **Parc public** | **Parc privé** | **Parc public** | **Parc privé** | **Parc public** | **Parc privé** |
| **Tendanciel** | 1 % | 1 % | 1 % | 1 % | 1 % | 1 % |
| **« -38% »** | 1 % | 1 % | 12 % | 8 % | 0 % | 0 % |
| **« Facteur 4 »** | 1 % | 1 % | 12 % | 12 % | 0 % | 0 % |

Tableau 7 : Niveau d'exigence appliqué lors de la réhabilitation (voir partie 4)

| | 2009-2012 | | 2012-2020 | | 2021-2050 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Scénario** | **Parc public** | **Parc privé** | **Parc public** | **Parc privé** | **Parc public** | **Parc privé** |
| **Tendanciel** | Modeste bâti | Modeste bâti | Modeste bâti | Modeste bâti | Intermédiaire | Intermédiaire |
| **« -38% »** | Modeste bâti | Modeste bâti | Intermédiaire | Intermédiaire | Intermédiaire | Intermédiaire |
| **« Facteur 4 »** | Modeste bâti | Modeste bâti | Maximal | Maximal | Maximal | Maximal |

Il est à noter que les systèmes de ventilation sont changés lors de la réhabilitation du bâti.

### Renouvellement des systèmes de chauffage de production d'ECS en fin de vie

La rotation des systèmes s'effectue en fin de vie des équipements. Une durée de vie de 20 ans est retenue pour les systèmes de production de chauffage et d'ECS quelle que soit l'énergie, à l'exception des échangeurs de chauffage urbain dont la durée de vie est de 40 ans. L'amélioration des rendements des systèmes lors du remplacement est constante jusqu'à atteindre les performances des meilleures technologies existantes en 2050.

### Parts de marché des énergies de chauffage et d'ECS

Des substitutions énergétiques sont envisagées lors du changement des systèmes de production d'énergie de chauffage et d'ECS.

Voici les grandes règles adoptées concernant les parts de marché des énergies dans les bâtiments neufs et lors du remplacement des systèmes en fin de vie :

- ✓ **Scénario tendanciel** : les parts de marché des énergies de chauffage et d'ECS évoluent dans la continuité des tendances observées à l'échelle nationale, à savoir une diminution progressive de la part du fuel (quel que soit le niveau d'enseignement considéré) au profit de l'électricité et de la biomasse. Il est à noter que 5 % des surfaces des bâtiments neufs sont équipés d'ECS solaire (l'énergie solaire couvre 1 % des besoins des surfaces du parc en 2050) ;
- ✓ **Scénario « - 38 % »** : mêmes hypothèses que précédemment, à l'exception des systèmes électriques neufs qui seront des systèmes performants (type pompe à chaleur). L'énergie solaire de production d'ECS occupe une part de marché de 10 % dans les bâtiments neufs et lors du remplacement des systèmes en fin de vie (l'énergie solaire couvre 20 % des besoins des surfaces du parc en 2050) ;
- ✓ **Scénario « facteur 4 »** : hypothèses similaires aux précédentes, avec une diminution de l'énergie de chauffage gaz, dont une partie (20 % des surfaces) est substituée par de la biomasse lors du remplacement des systèmes de production de chauffage en fin de vie. Les hypothèses concernant l'ECS sont identiques aux précédentes.

### Usage de climatisation

Les consommations de climatisation tendent à augmenter tendanciellement du fait de la hausse des taux d'équipements, tant dans les bâtiments neufs que dans l'existant.

### Usage d'éclairage

Les consommations d'éclairage tendent à diminuer tendanciellement du fait de la croissance de la pénétration des technologies basse consommation. Ainsi, les bâtiments existants verront leur consommation liée à cet usage décroître à horizon 2050 de 20 % dans le cadre du scénario tendanciel et du gain maximal identifié précédemment (66 %) dans le cadre des scénarios « - 38 % » et « facteur 4 ». Il est à noter que les bâtiments construits après 2009 seront équipés intégralement d'ampoules basses consommations.

### Usages de froid alimentaire, bureautique et process

De même que pour les consommations d'éclairage, les consommations de froid alimentaire tendent à diminuer tendanciellement du fait des taux de pénétration des technologies performantes (réfrigérateurs classe A ou supérieure…). Un gain de 20 % sur les consommations de cet usage a été retenu pour les bâtiments existants à horizon 2050 dans le cadre des scénarios tendanciel et « - 38 % », et de 30 % pour le scénario « facteur 4 ». Les bâtiments neufs étant déjà équipés de technologies performantes.

Concernant les consommations de bureautique et process, les tendances montrent une croissance des taux d'équipements (en bureautique notamment) tirant ainsi les consommations à la hausse. Tendanciellement, une hausse de 15 % de ces consommations à horizon 2050 dans les bâtiments existants a été retenue, les bâtiments neufs étant déjà équipés.

Dans le cadre des scénarios « - 38 % » et « facteur 4 », des gains de 10 % et 30 % ont été retenus à horizon 2050 sur les consommations de ces usages. La diminution de ces consommations se basent sur une hypothèse de maîtrise de l'évolution des taux d'équipements et d'adoption de comportements vertueux permettant des économies importantes.

### Usage de cuisson

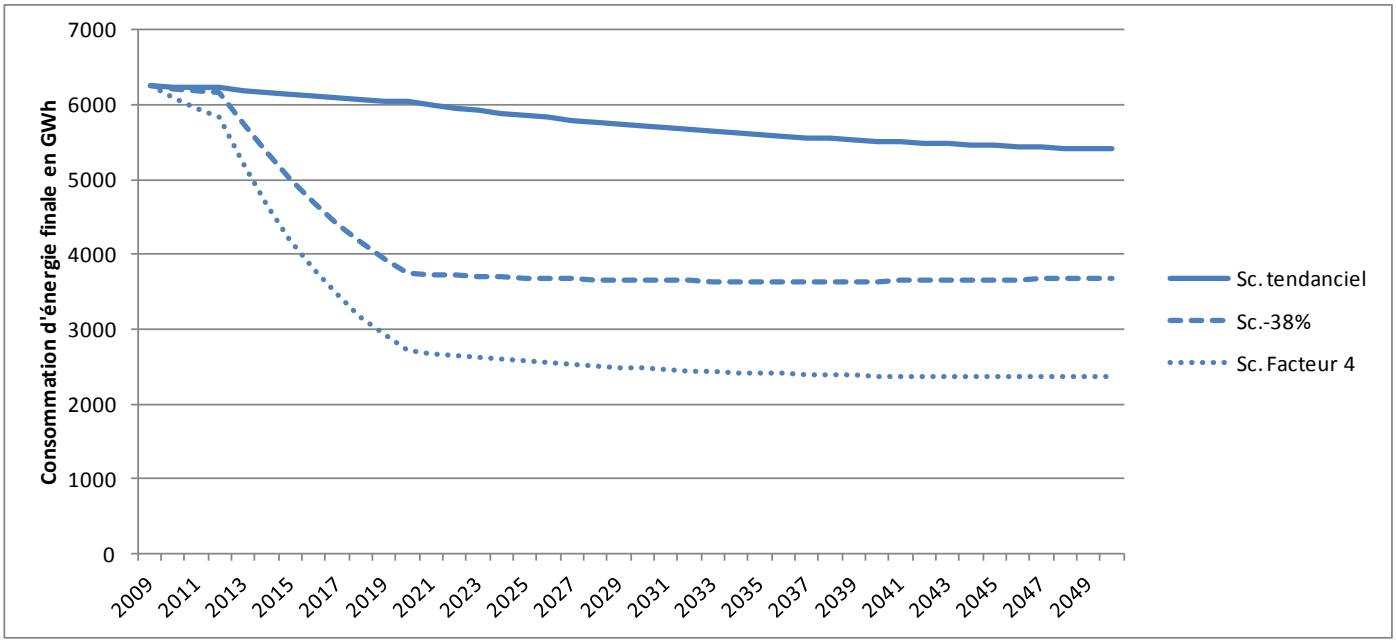
Les consommations de cuisson ne font pas l'objet de mesures de réduction.

# Résultats

## Évolution des consommations d'énergie finale

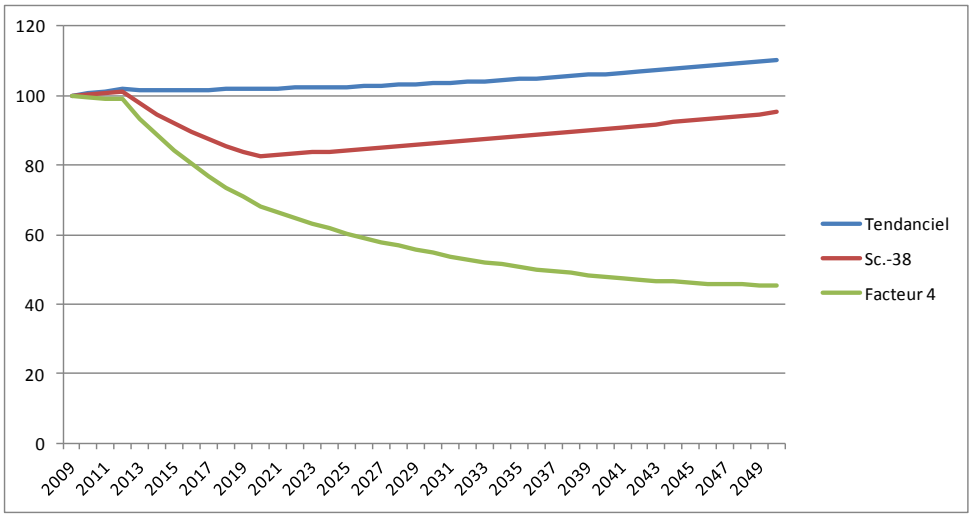
L'évolution tendancielle des consommations est à la baisse aux horizons 2020 et 2050 avec une réduction de 3 % entre 2009 et 2020 et de 13 % en 2050 par rapport à l'état initial. Cette pente est obtenue grâce au poids de la consommation de chauffage et d'eau chaude sanitaire dans la consommation totale (ces deux usages pèsent plus de 75 % de la consommation initiale). Les consommations du parc existant en 2009 diminuent plus fortement ; 7,6 % de réduction en 2020 et 24,2 % en 2050, en raison de l'impact de la réhabilitation des systèmes et du bâti couplé à la diminution tendancielle des consommations liées au taux de sortie du parc.

Figure 11 : Évolution des consommations d'énergie finale à horizon 2050 selon le scénario




Le scénario « - 38 % » a pour objectif de réduire de - 38 % les consommations d'énergie primaire des bâtiments existants à horizon 2020. C'est pour cette raison que l'ensemble des efforts sera produit avant 2020, et entraîne une réduction drastique des consommations énergétiques. Il en est de même pour le scénario « Facteur 4 » qui tend également à respecter l'engagement de réduction des consommations d'énergies primaires du bâti existant de - 38 % à horizon 2020.

Figure 12 : Évolution des consommations d'énergie finale liées aux usages de l'électricité spécifique (base 100)

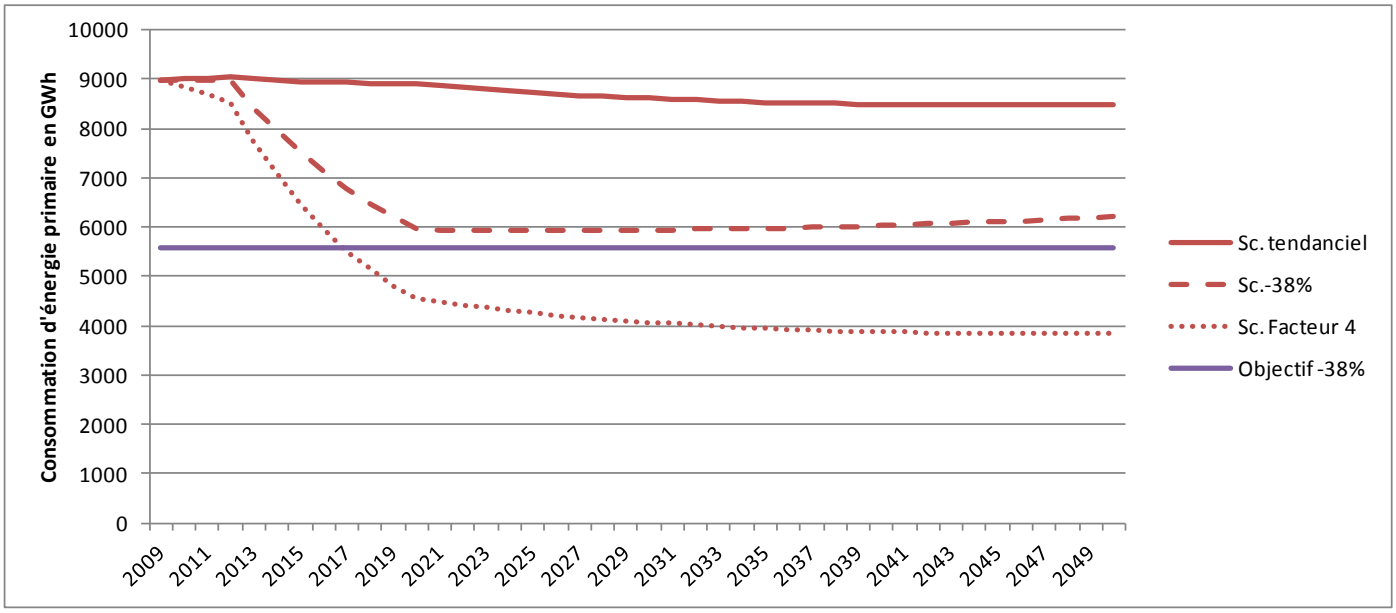



Seules les consommations d'électricité spécifiques tendent à augmenter du fait de l'augmentation des taux d'équipements, mis à part dans le cadre du scénario « facteur 4 » dans lequel cet usage de l'énergie fait l'objet de mesures de réduction ambitieuses.

## Evolution des consommations d'énergie primaire

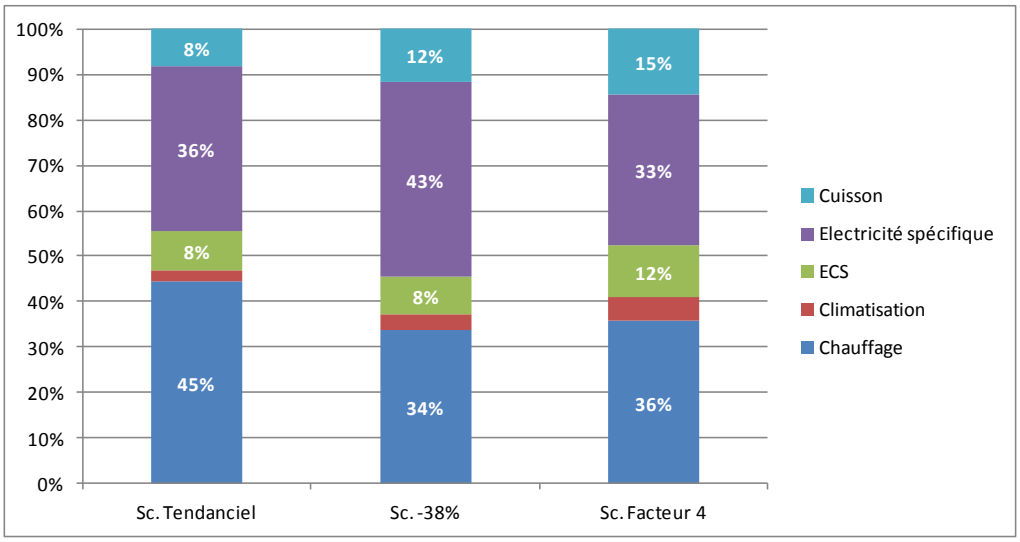
De la même façon que pour la consommation d'énergie finale, la consommation d'énergie primaire décroît tendanciellement jusqu'en 2050, mais à un rythme plus faible du fait de l'importance des consommations d'électricité. Les consommations diminuent sensiblement entre 2009 et 2020 (- 1 %) et de façon plus nette à horizon 2050 (- 6 %).

Figure 13 : Évolution des consommations d'énergie primaire à horizon 2050 selon le scénario




Le scénario « - 38 % » permet d'atteindre l'objectif fixé en 2020 (uniquement sur le bâti existant), alors que le scénario « Facteur 4 » l'atteint sur l'ensemble du parc de bâtiments. La réduction des consommations plus importante notée dans le cadre de ce dernier scénario est notamment le fait des mesures ambitieuses appliquées aux consommations des usages de l'électricité spécifique.

Figure 14 : Répartition des consommations d'énergie primaire en 2050 par usage et scénario



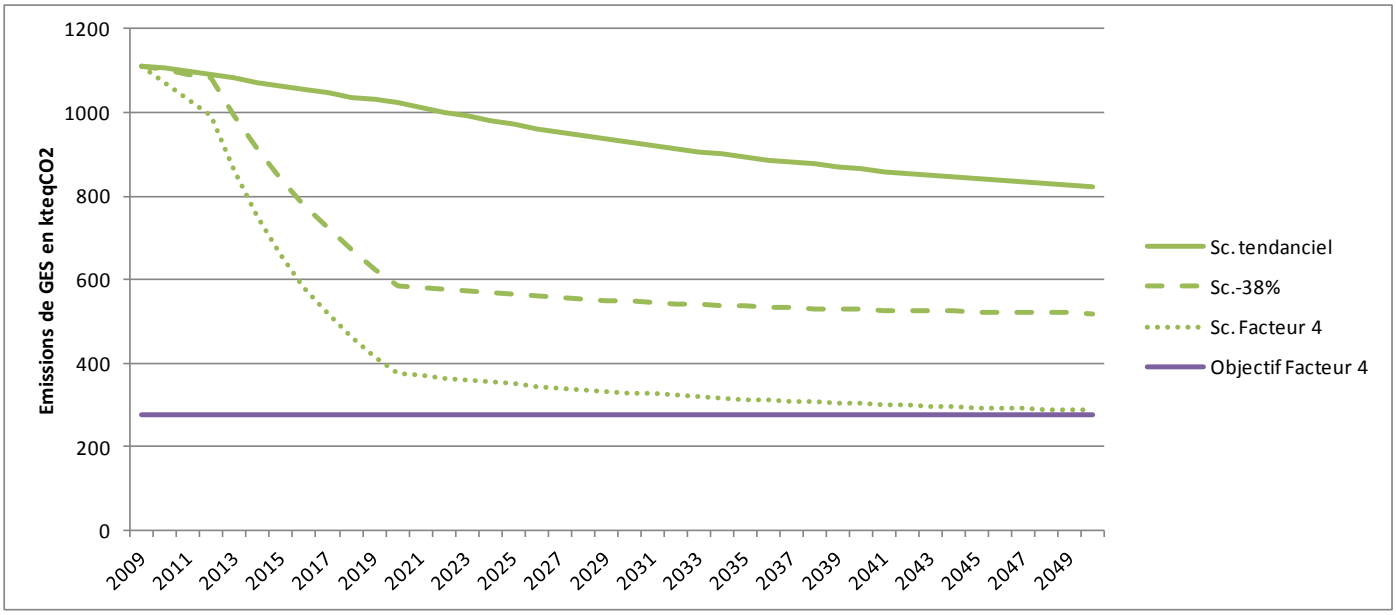

À horizon 2050, l'électricité spécifique devient un enjeu majeur, représentant au moins un tiers des consommations quel que soit le scénario considéré, atteignant 43 % des consommations dans le cadre du scénario « - 38 % ». L'évolution des taux d'équipements en bureautique et process aura donc un rôle de premier plan dans l'évolution des consommations d'énergie primaire et dans le respect des objectifs de réduction des consommations énergétiques.

## Evolution des émissions de GES

Les émissions de gaz à effet de serre sont calculées sur la base des consommations d'énergie finale. Pour cette raison, les taux d'évolution sont identiques avec ceux des consommations d'énergie finale pour les usages de climatisation, d'éclairage, d'électricité spécifique et de cuisson.

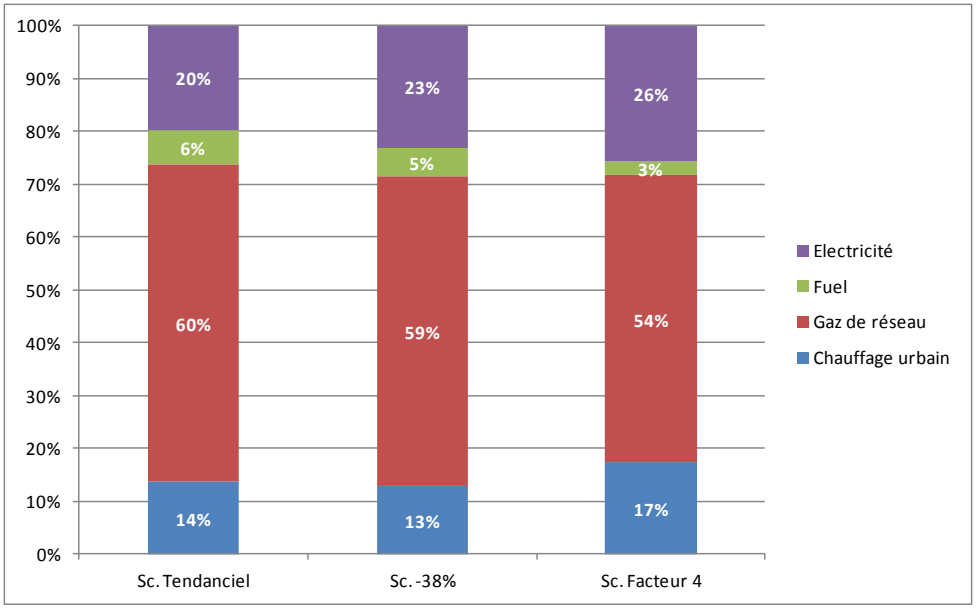
Par contre, quel que soit le scénario, les usages de chauffage et d'eau chaude sanitaire présentent une évolution de leurs émissions de gaz à effet de serre beaucoup plus forte que pour leurs consommations d'énergie finale. Ce résultat est causé par la disparition tendancielle de l'énergie fuel, dont le taux d'émission de gaz à effet de serre est le plus élevé.

Figure 15 : Évolution des émissions de GES à horizon 2050 selon le scénario




Le scénario « - 38 % » ne permet d'atteindre qu'un facteur 2, alors que le scénario « Facteur 4 » atteint l'objectif d'une division par 4 des émissions de GES à horizon 2050. Ce résultat est le fruit de la disparition progressive de l'énergie fuel au profit de la biomasse et de l'électricité, ainsi que de la diminution des parts de marché d'énergie de chauffage du gaz de réseau. Les émissions liées à la consommation d'énergies fossiles sont donc plus faibles dans le cas du scénario « Facteur 4 » que dans les deux autres scénarios, entraînant une forte diminution des émissions de GES.

Figure 16 : Répartition des émissions de GES en 2050 selon le scénario et l'énergie consommée



# 6 DÉTAILS MÉTHODOLOGIQUES

## Périmètre de l'étude

Le périmètre de cette étude recouvre les bâtiments de la branche tertiaire « Enseignement Recherche » selon le périmètre d'activité définit par le CEREN[2]. La branche regroupe les établissements dont l'activité correspond à une des NAF rév.1 (2003)[3] suivantes :

- 731Z : Recherche développement en sciences physiques et naturelles
- 732Z : Recherche développement en sciences humaines et sociales
- 801Z : Enseignement primaire
- 802A : Enseignement secondaire général
- 802C : Enseignement secondaire technique et professionnel
- 803Z : Enseignement supérieur
- 804C : Formation des adultes et formation continue
- 804D : Autres enseignements

Le CEREN précise que les cantines scolaires et les restaurants universitaires sont affectés à la branche « Cafés Hôtels Restaurants ». Cependant, les surfaces et les consommations d'énergie des cantines intégrées aux établissements scolaires étant difficilement dissociables des bâtiments d'enseignement, le choix a été fait de les conserver dans le périmètre de l'étude.

Les NAF « formation des adultes et formation continue » ainsi que « autres enseignements » comprennent :

- Centres de formation des apprentis (hors enseignement agricole)
- GRETA (groupement d'établissements), dont les activités se tiennent dans les lycées
- Formations professionnelles continues agricoles et centres de formation d'apprentis agricoles dont les activités se tiennent dans les lycées professionnels
- Formation aux métiers du sport, dont les activités se tiennent soit dans des centres sportifs (compris dans la branche tertiaire « Sport Loisir Culture »), soit au sein des universités
- Formation continue, se déroulant dans les universités et les écoles d'enseignement supérieur.

Ainsi, seuls les centres de formation des apprentis (hors enseignement agricole) entreront en compte dans l'étude des consommations énergétiques de la branche enseignement, les autres activités listées s'exerçant dans des locaux qui ne leur sont pas dédiés.

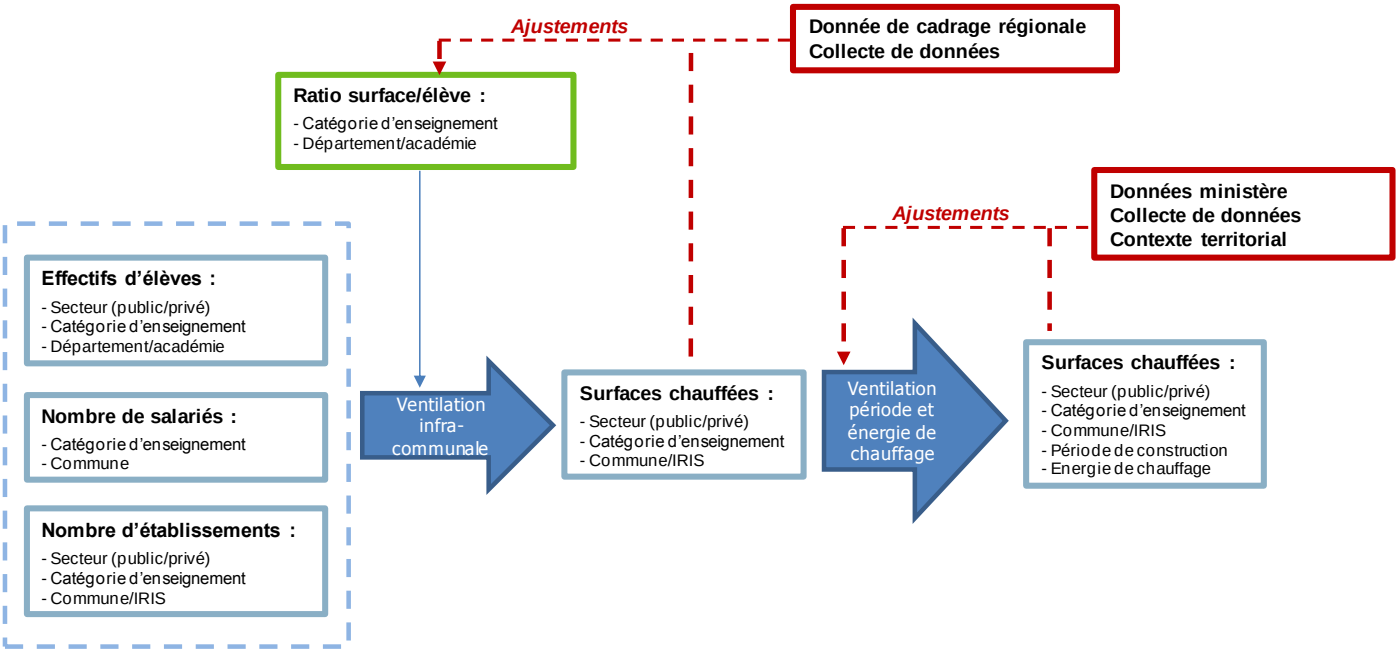
[2] Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie

[3] Nomenclature d'Activité Française

## Reconstitution de l'état des lieux du parc

La reconstitution de l'état des lieux du parc se base sur les données statistiques disponibles concernant les établissements d'enseignement et de recherche. Ainsi, les effectifs d'élèves et de salariés sont affectés à l'échelle de chacun des établissements recensés sur le territoire à l'échelle communale selon le secteur (public ou privé).

Figure 17 : Schéma méthodologique de reconstitution de l'état des lieux du parc




La reconstitution des surfaces chauffées est ensuite le fruit du croisement des effectifs d'élèves avec des ratios de surfaces chauffées par élève fournis dans la bibliographie.

L'affectation à chaque établissement d'une période de construction et d'une énergie de chauffage est contrainte par un impératif de cohérence territoriale (régional, départemental ou communal) fixé par les données de cadrage disponibles (données du ministère et collecte de données).

Afin d'évoluer au plus près de la réalité francilienne, une importante collecte de données (concernant plus de 600 établissements) a été menée afin d'enrichir les contraintes de ventilation des périodes de construction et de parts de marché des énergies de chauffage et d'ajuster les paramètres de reconstitution de l'état des lieux (ratios de surfaces chauffées par élève).

## Modélisation des consommations énergétiques

Confrontés à la complexité de la modélisation des consommations énergétiques des bâtiments tertiaires en général, et d'enseignement recherche en particulier, du fait de l'hétérogénéité des modes d'occupation (journaliers et annuels) des pièces selon leur usage (salles de réunion, bureaux, sanitaires, salles de classes…), Energies Demain et le CEP de l'Ecole des Mines de Paris ont spécialement développés une méthode de simulation et de reconstitution des consommations de ces bâtiments.

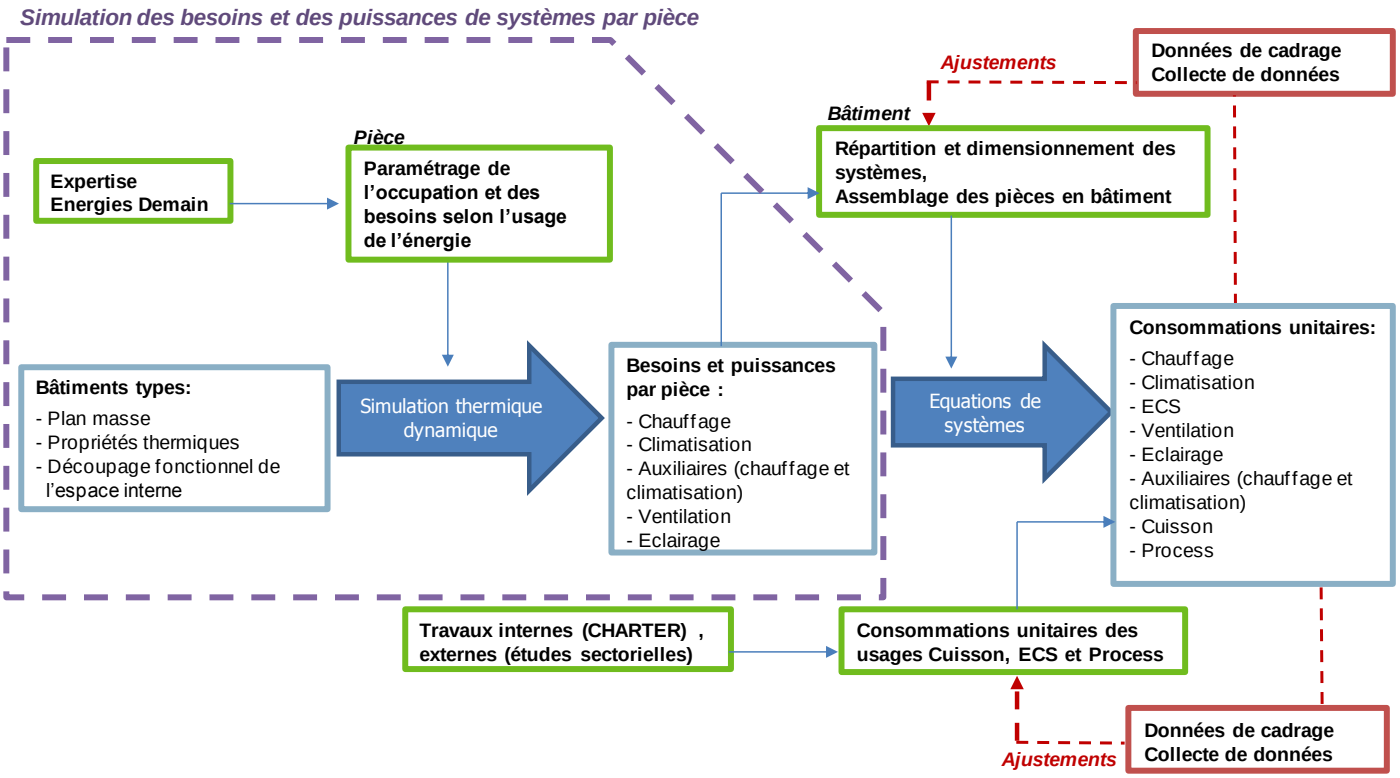
Cette méthode est dite « modulaire », étant donné qu'elle se base sur une description physique du parc de bâtiments à l'échelle de la pièce (appelée aussi module), dans le but final de simuler pour chacune de celles-ci les besoins énergétiques (par usage) ainsi que les puissances des systèmes requises.

Ainsi, la méthode employée peut se décomposer en deux grandes étapes :

- ✓ Description physique du parc bâti et simulations dynamiques (au pas de temps horaire) des besoins énergétiques par usage et des puissances de systèmes requises.
- ✓ Agrégation des besoins et des puissances à l'échelle du bâtiment, et calcul des consommations unitaires par usage de l'énergie sur la base d'équations de systèmes lors de la ventilation des équipements de production (chauffage, climatisation, ventilation, éclairage…).

Le schéma suivant illustre le cheminement présenté. Le premier mouvement décrit ci-dessus est contenu dans l'encadrement pointillé « Simulation des besoins et des puissances de systèmes par pièce » (couleur violette).

Figure 18 : Schéma méthodologique de la reconstitution des consommations unitaires



### Simulation des besoins et des puissances de systèmes requises par pièce

La simulation des besoins et des puissances requises par pièce se base sur une description physique du parc de bâtiments. En effet, afin de décrire le parc d'établissements d'enseignement et de recherche, des bâtiments types ont été construits selon le niveau d'enseignement, la taille et la période de construction. La description de ces bâtiments comprend un plan masse, un découpage fonctionnel de l'espace interne (pièce par pièce), une description des matériaux de construction ainsi qu'une description des paramètres d'occupation par pièce (plages horaires d'occupation des pièces, besoins en ventilation, besoins en éclairage, apports internes liés aux équipements de bureautique et d'éclairage, apports internes liés aux occupants…).

À l'issue de la description physique du parc de bâtiments, les besoins par pièce en énergie selon l'usage et la puissance requise des systèmes de production (ventilation, chauffage, climatisation, éclairage…) sont le fruit de simulations dynamiques (au pas de temps horaire).

Les besoins par pièce, bâtiment type et période de construction sont obtenus pour les usages suivants :

- Chauffage
- Climatisation
- Auxiliaires de chauffage et climatisation
- Ventilation
- Éclairage

La dernière étape de ce travail consiste à agréger les besoins et les puissances des systèmes calculés par pièce à l'échelle du bâtiment type. Lors de ce travail, un nombre d'étages par bâtiment type est estimé.

À titre illustratif, cette méthode peut être comparée à l'assemblage d'un bâtiment en empilant des briques élémentaires que constituent chacune des pièces auxquelles sont associés les besoins et les puissances des systèmes calculés précédemment.

### Calcul des consommations par usage

Sur la base des simulations réalisées, les consommations unitaires sont calculées en affectant à chacun des usages de l'énergie cités précédemment un système de production dont le dimensionnement et la performance sont le fruit d'équations de systèmes. Il est à noter que les équations sont paramétrables et permettent donc de moduler les performances des systèmes afin de les adapter au contexte territorial.

Les consommations unitaires des usages de cuisson d'eau chaude sanitaire et de process (incluant la bureautique) sont estimées sur la base de travaux nationaux ou d'expertises internes (modèle CHARTER[4]).

**L'ensemble des résultats de cet important travail constitue une bibliothèque de consommations unitaires dépendantes du bâtiment type, de la période de construction, de l'usage de l'énergie, de la zone climatique ainsi que des équipements de production (chauffage, climatisation, ventilation, éclairage, eau chaude sanitaire…).**

### Confrontation aux données réelles

La confrontation des consommations unitaires aux données réelles de cadrage (collecte de données, données de consommations CEREN régionales) a permis d'affiner le calcul des consommations énergétiques. Concernant les consommations de chauffage, les comparaisons des consommations réelles et simulées ont entrainées, lorsqu'une différence notoire était constatée, une phase d'ajustement de l'affectation des systèmes (chauffage, climatisation et ventilation) ainsi que de leurs performances (rendements associés). Dans le cas de la confrontation des consommations des autres usages (eau chaude sanitaire et électricité spécifique), les enrichissements apportés ont donné lieu à l'ajustement des parts de marché des énergies d'ECS et à la précision des consommations unitaires des usages de bureautique et process.

Enfin, il est à noter que l'ensemble des gestes de travaux définis lors de la quantification des potentiels et gisements d'économie d'énergie ont été simulés de façon identique.

[4] CHARTER est un outil développé par Energies-Demain permettant de modéliser les charges du réseau électrique à tout moment de l'année.

**L'ADEME Île-de-France**

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'Agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

**L'ARENE Île-de-France**

L'ARENE favorise l'intégration du développement durable en Île-de-France.

*Notre objectif*
Repérer, susciter et diffuser **les pratiques de la transition écologique et sociale et du développement durable** auprès des acteurs et des territoires, en particulier sur les questions liées aux problématiques de l'énergie et du climat, en cohérence avec les priorités politiques régionales et les attentes des collectivités franciliennes.
Impulser et participer à la mise en mouvement des territoires franciliens.

*Cinq missions principales*

- **Accompagner** les collectivités territoriales franciliennes dans le développement de projets de territoires ;
- **Animer et participer aux réseaux** d'acteurs environnementaux et socio-économiques et favoriser leurs échanges ;
- **Repérer, promouvoir et diffuser** les actions innovantes sur le territoire francilien ;
- Mettre à disposition et produire les **ressources** nécessaires ;
- Apporter ressources et expertises à la **Région**.

**ARENE Île-de-France - Agence Régionale**
**de l'Environnement et des Nouvelles Énergies**
94 bis, avenue de Suffren
75015 Paris
Tel. 01 53 85 61 75
Fax 01 40 65 90 41
www.areneidf.org

**Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie**
Direction régionale Île-de-France
6/8 rue Jean Jaurès - 92807 PUTEAUX CEDEX
Tél 01 49 01 45 47
Fax 01 49 00 06 84
http://ile-de-france.ademe.fr