

## CONSOMMATIONS AGREGÉES DE GAZ NATUREL ET D'ÉLECTRICITÉ FOURNIES PAR LES GRD AUX PERSONNES PUBLIQUES

# ESTIMATION DES DONNÉES DE THERMOSENSIBILITÉ ET DE PART THERMOSENSIBLE

- DATE : 20/07/2018
- ETAT : DOCUMENT FINAL

Cette note décrit la méthodologie détaillée employée pour l'élaboration des données annuelles de thermosensibilité et part thermosensible à la maille IRIS associées aux PDL résidentiels ou petit professionnels.

## Sommaire

<b>Contexte</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Description de la méthodologie</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Données utilisées</b> .....	<b>6</b>
2.1 Données de consommation.....	6
2.2 Données de température.....	6
<b>3 Calcul des gradients de thermosensibilité à la maille PDL</b> .....	<b>7</b>
3.1 PDL relevés semestriellement (gaz et électricité).....	7
3.2 PDL relevés mensuellement (gaz et électricité).....	8
3.3 PDL relevés quotidiennement (électricité et gaz).....	10
3.4 Sites disposant de courbes de charge (uniquement pour l'électricité).....	11
3.5 Cas des sites pour lesquels on ne dispose pas d'un historique suffisant.....	11
<b>4 Données publiées</b> .....	<b>12</b>
<b>5 Interprétation des données</b> .....	<b>14</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>15</b>
Annexe 1 : Estimateur des moindres carrés.....	15
Annexe 2 : Températures seuils locales par station météo.....	16

## Contexte

Conformément à l'article D. 111-53 du code de l'énergie introduit par le décret n°2016-973 du 18 juillet 2016, les GRD doivent transmettre au Service de la donnée et des études statistiques (SDES) au 30 juin de chaque année les consommations annuelles agrégées à maille Ilot Regroupé pour l'Information Statistique (IRIS) et ventilées par secteur d'activité. Le décret permet également aux GRD de publier ces données en open data. Ces données sont calculées à partir de consommations mesurées. La première transmission a été faite par Enedis et GRDF au SDES en 2016.

Par ailleurs, il a également été prévu la transmission de données de thermosensibilité par les GRD au SDES (avec possibilité de publication en open data). Cette thermosensibilité des consommations annuelles est estimée à l'aide de deux données : gradient de thermosensibilité et part de consommation thermosensible. Ces données peuvent également être demandées par des personnes publiques.

La thermosensibilité représente la variation de la consommation engendrée par une variation de la température, en deçà d'un certain seuil de température. Elle vise ainsi à évaluer l'influence de la température sur la consommation d'énergie. Par exemple, une baisse de température d'un degré fait augmenter la consommation de 10 kWh. Ceci correspond alors à une thermosensibilité de 10 kWh/degré-jour.

La part thermosensible, quant à elle, représente le pourcentage de consommation sensible aux variations de température. La plupart des consommations en effet, peuvent se diviser en une part indépendante de la température – non thermosensible – et une part qui dépend de la température – thermosensible.

Les premières estimations sont faites, pour un grand nombre de PDL, sur la base d'index semestriels. Avec le déploiement des compteurs communicants, cette part thermosensible pourra être estimée de façon plus fine. Les résultats gagneront donc en précision avec le déploiement de compteurs communicants (Linky et Gazpar).

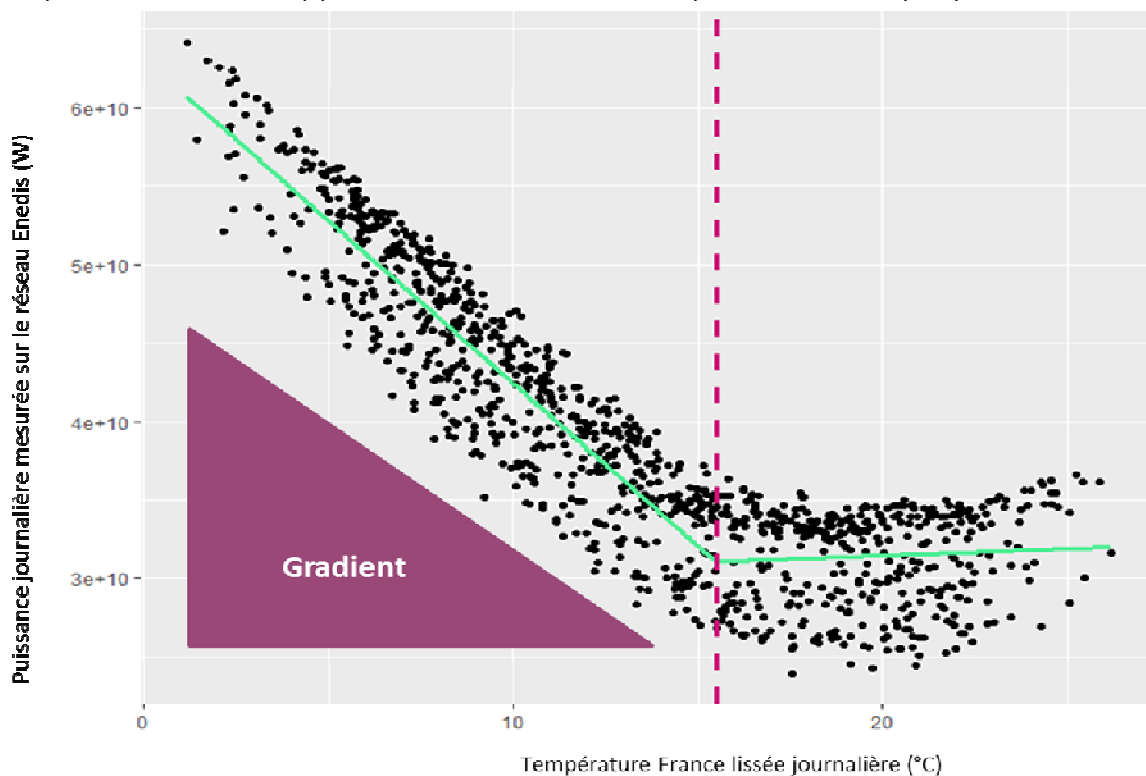
La thermosensibilité et la part thermosensible ne sont calculées que sur le segment Résidentiel au sens de l'article D. 111-53 du code de l'énergie, c'est-à-dire les PDL dont la puissance est inférieure à 36 kVA en électricité et dont la consommation est inférieure à 300 MWh en gaz.

# 1 Description de la méthodologie

La thermosensibilité n'est pas mesurable directement. Une méthodologie a donc été développée afin de l'estimer. Cette dernière se fonde sur l'observation empirique de consommations et de températures. La présente note définit la méthodologie de manière globale puis en détaille l'application en fonction de la quantité et de la granularité des données de mesures individuelles disponibles.

L'observation des données de consommation et de température met en évidence qu'il existe une relation quasi linéaire entre la consommation et la température en dessous d'un certain seuil de température. Le graphique ci-dessous présente la puissance appelée journalière moyenne aux bornes du réseau Enedis (en W) en fonction de la température France lissée journalière moyenne.

Graphe 1 : Puissance appelée en fonction de la température : exemple pour l'électricité



On peut constater qu'au niveau français, en dessous d'une température journalière moyenne d'environ 15 °C, la puissance électrique augmente de manière quasi linéaire. La présence d'un gradient de thermosensibilité peut ainsi être mise en évidence. On cherche

donc à estimer ce gradient de thermosensibilité qui représente le lien existant entre consommation et température en deçà de la température seuil.

Plus précisément, afin de s'affranchir de biais liés à des variations saisonnières ou hebdomadaires de la consommation, on retiendra une méthodologie d'estimation appelée « estimation des gradients par delta » qui consiste à expliquer une variation de consommation par une variation de température. Ainsi, on estime la relation linéaire suivante à l'aide de la méthode des moindres carrés :

$$\Delta Conso = Gradient * \Delta DJU$$

Avec pour l'électricité :

$T_{réelleLissée}$  : la température réalisée lissée moyennée (en °C) sur la journée « électrique » (mesurée de 00h00 à 23h59)

$$DJU = \left\{ \begin{array}{ll} T_{seuil} - T_{réelleLissée} & \text{si } T_{seuil} > T_{réelleLissée} \\ 0 & \text{si } T_{seuil} \leq T_{réelleLissée} \end{array} \right\} \text{ exprimé en degré-jour (°C)}$$

$\Delta DJU$ : delta de DJU (calculé différemment en fonction du rythme de relevé)

$\Delta Conso$  : delta de consommation en kWh (calculé différemment en fonction du rythme de relevé)

Et pour le gaz :

$T_{réelle}$  : la température réelle (en °C) sur la journée « gazière » (moyenne des températures mesurées entre 6h00 et 5h59)

$$DJU = \left\{ \begin{array}{ll} T_{seuil} - T_{réelle} & \text{si } T_{seuil} > T_{réelle} \\ 0 & \text{si } T_{seuil} \leq T_{réelle} \end{array} \right\} \text{ exprimé en degrés-jours (°C)}$$

$\Delta DJU$ : delta de DJU (calculé différemment en fonction du rythme de relevé)

$\Delta Conso$  : delta de consommation en kWh (calculé différemment en fonction du rythme de relevé)

Le gradient obtenu à l'issue de la régression est exprimé en kWh/degré-jour.

## 2 Données utilisées

Afin d'estimer la thermosensibilité des IRIS, on étudie la relation existant entre consommation et température à cette même maille. Pour ce faire, deux types de données, présentées ci-dessous, sont utilisés.

### 2.1 Données de consommation

Les données de consommation utilisées dans les régressions sont des consommations journalières. Toutefois, elles peuvent être obtenues de trois manières différentes, en fonction du rythme de relevé des PDL : consommations journalières moyennes calculées à partir de consommations semestrielles, consommations journalières moyennes calculées à partir de consommations mensuelles ou consommations quotidiennes pour les clients relevés tous les jours (uniquement pour l'électricité). Ces consommations sont calculées à partir des index de consommation dont on dispose (index semestriels, mensuels ou quotidiens) pour chaque PDL et sont exprimées en kWh. Pour les PDL relevés semestriellement ou mensuellement, l'ensemble de l'historique disponible est utilisé. Ainsi, les relevés les plus anciens utilisés datent de 2004 pour l'électricité et de 2010 pour le gaz.

### 2.2 Données de température

Afin de garantir une estimation des données de thermosensibilité la plus précise possible, on utilise les données de températures locales des stations météo de Météo France, qui font référence pour l'électricité et pour le gaz. Une station météo est rattachée à chaque IRIS selon un critère de proximité géographique. En électricité, on applique une fonction de lissage aux températures réalisées (uniquement pour l'électricité). Cela permet de prendre en compte le fait que les variations de températures ne se sont pas directement ressenties par le client en raison d'éléments tels que l'inertie des bâtiments.

Une température seuil est définie pour chacune des stations météo spécifiques à l'électricité ou au gaz. Elle correspond à la valeur de la température en dessous de laquelle on observe un lien de dépendance linéaire entre consommation et température.

Les températures seuils, définies en annexe 2, sont exploitées pour calculer les degrés-jours utilisés pour déterminer les thermosensibilités et les parts de consommation thermosensibles.

Pour l'électricité, dans un premier temps, une version simplifiée se base sur la température France lissée utilisée pour la reconstitution des flux.

### 3 Calcul des gradients de thermosensibilité à la maille PDL

L'objectif de cette partie est de décrire en détail la méthodologie appliquée pour le calcul des gradients à la maille PDL, en fonction de la quantité et de la granularité des données de mesures individuelles disponibles pour chaque PDL. On distingue quatre catégories de PDL :

- Les PDL relevés semestriellement (électricité et gaz)
- Les PDL relevés mensuellement (électricité et gaz)
- Les PDL relevés quotidiennement (électricité et gaz)
- Les sites télérelevés (uniquement électricité)

Les gradients individuels obtenus sont ensuite utilisés pour calculer des thermosensibilités ainsi que des parts thermosensibles à la maille IRIS.

Pour certains sites, on dispose à la fois de relèves semestrielles, mensuelles et journalières (uniquement électricité). Dans ce cas, on calcule le gradient du site à l'aide :

- des index journaliers si :
$$\frac{nb\ index\ quotidiens}{70} > \max\left(\frac{nb\ index\ mensuels}{24}, \frac{nb\ index\ semestriels}{7}\right)$$
- des index mensuels si :
$$\frac{nb\ index\ mensuels}{24} > \max\left(\frac{nb\ index\ quotidiens}{70}, \frac{nb\ index\ semestriels}{7}\right)$$
- des index semestriels si :
$$\frac{nb\ index\ semestriels}{7} \geq \max\left(\frac{nb\ index\ quotidiens}{70}, \frac{nb\ index\ mensuels}{24}\right)$$

#### 3.1 PDL relevés semestriellement (gaz et électricité)

Pour ces PDL, on procède au calcul d'un gradient par PDL. Ce calcul est réalisé, pour chaque PDL sous réserve qu'il possède un nombre d'index de consommation réels permettant de garantir une estimation suffisamment précise. Le nombre d'index semestriels minimal dont on doit disposer est 7. Pour tous les PDL vérifiant cette condition, on calcule un gradient par PDL selon la méthodologie décrite ci-dessous :

- On récupère l'ensemble des index de consommation dont on dispose, ce qui nous permet de calculer des consommations semestrielles. On notera  $Conso_{S,A}$  la consommation semestrielle du PDL pour le semestre  $S$  ( $S \in \{1,2\}$ ) de l'année  $A$ .

On calcule ensuite une consommation journalière moyenne par semestre en divisant la consommation du semestre par le nombre de jours de consommation auquel le relevé correspond. On note  $nbj_{S,A}$  ce nombre de jours.

- Pour chaque PDL, on calcule les deltas de consommations, notés  $\Delta Conso_{S,A}$ , en soustrayant à la consommation journalière semestrielle moyenne du PDL pour une année donnée, la consommation moyenne journalière de ce même PDL sur le même semestre de l'année précédente :

$$\Delta Conso_{S,A} = \frac{Conso_{S,A}}{nbj_{S,A}} - \frac{Conso_{S,A-1}}{nbj_{S,A-1}}$$

- On calcule les degrés-jours à l'aide des températures utilisées. Pour ce faire, on calcule l'écart entre la température réelle et à la température seuil, lorsque celle-ci est en dessous cette même température seuil :

$$DJU_j = \max(0, T_{seuil} - TR_j)$$

- Pour chaque consommation journalière semestrielle dont on dispose pour le PDL, on calcule les degrés-jours moyens entre les dates de début et de fin du relevé. On note ces degrés-jours moyens  $DJU_{S,A}$

- On calcule les deltas de degrés-jours associés à chaque delta de consommation selon la même méthode :

$$\Delta DJU_{S,A} = DJU_{S,A} - DJU_{S,A-1}$$

- On effectue une régression linéaire des moindres carrés<sup>1</sup> entre les deltas de consommation journalière moyenne,  $\Delta Conso$ , et les delta de degrés-jours,  $\Delta DJU$  :  
 $\Delta Conso = Gradient * \Delta DJU$ .

Les gradients obtenus sont exprimés en kWh/degré-jour. Ils ont, par ailleurs, pour propriété d'être additifs à la maille des PDL rattachés à une même station météo.

### 3.2 PDL relevés mensuellement (gaz et électricité)

De même que pour le cas précédent, on procède au calcul d'un gradient par PDL. Ce calcul est réalisé, pour chaque PDL sous réserve qu'il possède un nombre d'index de consommation réels permettant de garantir une estimation suffisamment précise. Dans le cas de relèves mensuelles, le nombre d'index mensuels minimal dont on doit disposer est

<sup>1</sup> La valeur de l'estimateur des moindres carrés est présentée en annexe 1



de 24 pour l'électricité. Pour tous les PDL vérifiant cette condition, on calcule un gradient (détaillé par sous-profil dans le cas de l'électricité), selon la méthodologie décrite ci-dessous :

- On récupère l'ensemble des index de consommation dont on dispose, ce qui nous permet alors de calculer des consommations mensuelles. On notera  $Conso_{M,A}$  la consommation mensuelle du PDL pour le mois M avec  $M \in \llbracket 1;12 \rrbracket$  de l'année A. On calcule ensuite une consommation journalière moyenne par mois en divisant la consommation du mois par le nombre de jours de consommation auquel elle correspond. On note  $nbj_{M,A}$  ce nombre de jours.
- Pour chaque PDL, on calcule les deltas de consommation, notés  $\Delta Conso_{M,A}$ , en soustrayant à la consommation journalière moyenne d'un mois pour une année donnée, la consommation journalière moyenne de ce même PDL sur le même mois, l'année précédente :

$$\Delta Conso_{M,A} = \frac{Conso_{M,A}}{nbj_{M,A}} - \frac{Conso_{M,A-1}}{nbj_{M,A-1}}$$

- On calcule les degrés-jours à l'aide des températures utilisées. Pour ce faire, on calcule l'écart entre la température réelle et la température seuil, lorsque celle-ci est en dessous cette même température seuil :

$$DJU_j = \max(0, T_{seuil} - TR_j)$$

- Pour chaque consommation mensuelle dont on dispose pour le PDL, on calcule les degrés-jours moyens entre les dates de début et de fin du relevé. On note ces degrés-jours moyens  $DJU_{M,A}$
- On calcule des deltas de degrés-jours associés à chaque delta de consommation selon la même méthode :

$$\Delta DJU_{M,A} = DJU_{M,A} - DJU_{M,A-1}$$

- On effectue une régression linéaire des moindres carrés entre les deltas de consommation  $\Delta Conso$ , et les deltas de degrés-jours  $\Delta DJU$  :  $\Delta Conso = Gradient * \Delta DJU$ .

De même que précédemment, les gradients obtenus sont exprimés en kWh/degré-jour. Ils ont pour propriété d'être additifs à la maille des PDL rattachés à la même station météo.

### 3.3 PDL relevés quotidiennement (électricité et gaz)

Dans le cas des PDL relevés quotidiennement, on procède directement au calcul d'un gradient par PDL même si ce dernier possède plusieurs sous profils. Ce calcul est réalisé, pour chaque PDL, sous réserve qu'il possède un nombre d'index de consommation suffisant sur la période pour garantir une estimation précise. Cette période est restreinte à la période d'hiver<sup>2</sup> pour l'électricité tandis que l'ensemble de l'année est pris en compte dans le cas du gaz. Dans le cas de relevés quotidiens, le nombre d'index quotidiens minimal dont on doit disposer est de 70. Pour tous les PDL vérifiant ces conditions, on calcule un gradient, selon la méthodologie décrite ci-dessous :

- On récupère l'ensemble des index de consommation dont on dispose ce qui nous permet de calculer des consommations journalières. On note  $Conso_j$  la consommation journalière du PDL pour le jour  $j$ .
- On retire de l'historique utilisé les consommations journalières susceptibles<sup>3</sup> de biaiser l'estimation, à savoir :
  - o Les consommations des mois d'été : deuxième quinzaine de mai, juin, juillet, août
  - o Les consommations des jours correspondant aux vacances scolaires de Noël
  - o Les consommations des jours correspondant aux  $j-7$  et  $J+7$  des vacances scolaires de Noël
- Pour chaque PDL, on calcule des deltas de consommation, notés  $\Delta Conso_j$ , en soustrayant à la consommation journalière du PDL, la consommation journalière de ce même PDL sept jours avant :

$$\Delta Conso_j = Conso_j - Conso_{j-7}$$

- On calcule les degrés-jours à l'aide des températures utilisées. Pour ce faire, on calcule l'écart entre la température réelle et la température seuil, lorsque celle-ci est en dessous de cette même température seuil :

$$DJU_j = \max(0, T_{seuil} - TR_j)$$

---

<sup>2</sup> Période d'hiver : Période allant de mi-septembre à fin mai

<sup>3</sup> Les mêmes périodes sont utilisées pour calculer les gradients utilisés dans le cadre de la Reconstitution des flux (Chapitre F, Règles MA-RE).

- On calcule des deltas de degrés-jours associés à chaque delta de consommation selon la même méthode :

$$\Delta DJU_j = DJU_j - DJU_{j-7}$$

- On effectue une régression linéaire des moindres carrés des deltas de consommation,  $\Delta Conso$ , sur les deltas de degrés-jours  $\Delta DJU$  :  $\Delta Conso = Gradient * \Delta DJU$ .

De même que précédemment, on obtient des gradients exprimés en kWh/degré-jour.

### **3.4 Sites disposant de courbes de charge (uniquement pour l'électricité)**

On calcule les consommations journalières du site puis on procède au calcul du gradient de thermosensibilité du site selon la même méthode que les sites relevés quotidiennement.

### **3.5 Cas des sites pour lesquels on ne dispose pas d'un historique suffisant**

Afin d'estimer un gradient suffisamment robuste, des seuils fixant le nombre d'index minimal dont on doit disposer pour chaque site ont été définis.

Le tableau ci-dessous rappelle les seuils qui ont été fixés par catégorie de sites pour l'électricité :

Table 2 : Nombre minimal d'index dont on doit disposer pour un site afin de calculer un gradient

	Electricité
Sites relevés semestriellement	7
Sites relevés mensuellement	24
Sites relevés quotidiennement	70

Si ce seuil n'est pas satisfait, on ne calcule pas de gradient pour ce site, et on lui affecte un gradient par défaut. Pour l'électricité, le gradient affecté par défaut dépend du profil et de la puissance souscrite du site. Le tableau ci-dessous présente les gradients affectés par défaut :

Gradients par défaut en pourcentage de la consommation annuelle du site – électricité

	PS (kVA)	RES	PRO
<b>Base</b>	<b>3</b>	7%	2%
	<b>6</b>	8%	12%
	<b>&gt; =9</b>	23%	14%
<b>Autres</b>	<b>6</b>	30%	10%
	<b>&gt; =9</b>	36%	11%

Pour le gaz, on calcule la thermosensibilité pour l'ensemble des PDL des IRIS. Néanmoins on n'affiche que les données pour les IRIS composés d'au moins 300 PDL et pour lesquels la part thermosensible est comprise entre 0 et 1.

## 4 Données publiées

Les données de thermosensibilité publiées dans le cadre du décret 2016-973 sont les suivantes :

- Thermosensibilité en kWh/degré-jour à la maille IRIS : variation de la consommation journalière en kWh due à une variation de 1°C de la température, pour les températures inférieures à la température seuil faisant référence pour l'IRIS considéré.

(Exemple : pour un IRIS dont la thermosensibilité est de 2000 kWh/degré-jour, cela signifie que l'IRIS consommera quotidiennement 2000 kWh supplémentaires pour chaque degré en dessous de la température seuil.).

- Part thermosensible en %, à la maille IRIS : pourcentage de la consommation totale que l'on considère sensible à la température. Les gradients étant calculés sur un historique assez long, la part thermosensible est calculée à partir d'un historique glissant de 4 ans.

(Exemple : pour un IRIS dont la consommation est de 200 MWh, une part thermosensible égale à 60% signifie que 120 MWh de sa consommation totale sont consacrés au chauffage).

Les thermosensibilités sont publiées à la maille IRIS<sup>4</sup> pour le segment résidentiel au sens de l'article 179 de la loi de transition énergétique pour la croissance verte.

Elles sont calculées en sommant l'ensemble des gradients des PDL rattachés à l'IRIS :

$$Thermosensibilité_{IRIS, segment} = \sum_{PDL \in IRIS, Segment} GradientPDL$$

Les **parts de consommation thermosensibles** sont calculées en divisant la consommation thermosensible de l'IRIS par la consommation totale de l'IRIS. La consommation thermosensible de l'IRIS pour une année donnée est obtenue en multipliant la thermosensibilité de l'IRIS par la somme des degrés-jours de l'année :

$$PartThermosensible_{IRIS, segment, Année} = \frac{Gradient_{IRIS, segment} * \sum_{Année} DJU}{ConsommationTotale_{IRIS, segment}}$$

Toutefois, comme expliqué précédemment, afin d'éviter que les aléas météorologiques n'impactent trop fortement les parts thermosensibles publiées chaque année, celles-ci correspondent à une moyenne calculée à partir d'un historique de 4 ans :

$$PartThermosensiblePub_{IRIS, Année} = \frac{\sum_{A \in [Année-4, Année]} ConsommationThermosensible_{IRIS, A}}{\sum_{A \in [Année-4, Année]} ConsommationTotale_{IRIS, A}}$$

Les données de thermosensibilité et de parts thermosensibles ne sont publiées pour un IRIS que lorsque l'estimation est suffisamment précise. Compte tenu de la proportion importante de PDL qui sont relevés semestriellement, le manque de robustesse des estimations à des mailles fines impose un nombre minimal de PDL par agrégat afin que le foisonnement de

<sup>4</sup> Rappelons que la thermosensibilité et la part thermosensible ne concernent que les PDL du secteur résidentiel

ces derniers garantisse une précision suffisante. Dans le cas de l'électricité, le seuil de précision retenu est de 500 PDL par agrégat. Pour le gaz, ce seuil est fixé à 300 PDL par agrégat. Dès lors que l'on disposera d'un nombre de sites équipés de compteurs communicants assez important, il nous sera possible de réduire ce seuil de significativité.

## 5 Interprétation des données

Les données publiées permettent de refléter les thermosensibilités des consommations annuelles d'électricité et de gaz à la maille IRIS, c'est-à-dire, la proportion des consommations sensibles à la température. Les thermosensibilités calculées pour l'électricité et pour le gaz étant obtenues à l'aide de la même méthodologie et étant exprimées dans la même unité, il est possible de les sommer, et ainsi, d'obtenir des données de thermosensibilité agrégées « électricité et gaz ». Cela permet d'évaluer la thermosensibilité globale de l'IRIS pour ces deux énergies confondues. Pour ce qui est des parts thermosensibles : si l'on souhaite obtenir une part thermosensible agrégée, il est nécessaire de recalculer une consommation thermosensible agrégée et diviser par le total de la consommation « électricité » et « gaz » de l'IRIS.

Par ailleurs, si les données publiées permettent de comparer la thermosensibilité entre IRIS, il faut noter qu'il s'agit de données estimées et que de faibles écarts entre deux IRIS ne permettent pas de conclure strictement qu'un IRIS est plus thermosensible que l'autre. De plus, les gradients étant calculés pour la plupart des PDL sur un historique de consommation assez long (cas des PDL relevés semestriellement), les données publiées ne permettent pas encore d'étudier des évolutions de thermosensibilité. Cela pourra être rendu possible dès lors que le nombre de compteurs communicants déployés sera assez important.

Les utilisateurs pourront donc analyser ces données à la maille IRIS et ainsi appréhender l'impact de la température sur la consommation annuelle et sur le pourcentage résultant directement de la variation de température. Les collectivités se placent comme les utilisateurs principaux de ces éléments dans le cadre d'études visant à donner de la visibilité sur ces problématiques. A terme, cela s'inscrit dans la lignée du Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET) et des objectifs nationaux de la Loi de Transition Energétique pour une Croissance Verte (LTECV) à l'horizon 2030.

## Annexes

### Annexe 1 : Estimateur des moindres carrés

Le gradient de thermosensibilité est calculé à l'aide d'une estimation des moindres carrés de deltas de consommation sur des deltas de température. On estime la relation linéaire suivante :

$$\Delta Conso = gradient * \Delta DJU$$

Avec  $\Delta DJU$  des deltas de degrés-jours et  $\Delta Conso$  des deltas de consommation.

Une estimation de cette relation à l'aide des moindres carrés revient à minimiser la somme des carrés des écarts des valeurs observées c'est-à-dire à répondre au problème d'optimisation suivante :

$$\min_{gradient} \sum_{i \in \llbracket 0; n \rrbracket} (\Delta Conso_i - (gradient * \Delta DJU_i))$$

Avec  $n$  le nombre d'observations dans l'échantillon d'estimation.

La valeur de l'estimateur du gradient de température est donc la suivante :

$$\widehat{gradient} = \frac{\sum_{i \in \llbracket 0; n \rrbracket} (\Delta DJU_i - \overline{DJU})(\Delta Conso_i - \overline{\Delta Conso})}{\sum_{i \in \llbracket 0; n \rrbracket} (\Delta DJU_i - \overline{DJU})^2}$$

Avec  $\bar{x}$  : la moyenne des valeurs observées pour la variable  $x$ .

## Annexe 2 : Températures seuils locales par station météo

Tableaux : températures seuils utilisées pour le calcul de la thermosensibilité

Stations météo Electricité	T seuil (°C)
Abbeville	17
Bordeaux	16
Boulogne-sur-Mer	16
Bourges	15
Bourg-Saint-Maurice	15
Brest	14,5
Caen	15
Clermont-Ferrand	16
Dijon	16
Le Luc	18
Lille	17,5
Limoges	14,5
Lyon	17
Marseille	18
Montpellier	17
Mulhouse	16,5
Nancy	17
Nantes	15
Nevers	15,5
Nice	17,5
Nîmes	17
Orange	17
Paris	16,5
Perpignan	17

Stations météo Gaz	T seuil (°C)
Agen	16,5
Auxerre-Perrigny	15,5
Bâle-Mulhouse	16
Besançon	15,5
Biarritz-Anglet	17
Bonneville	16
Bordeaux Mérignac	16,5
Bourges	15,5
Brest-Guipavas	14,5
Chambéry-Aix	16
Chartres	15
Clermont-Ferrand	16
Cognac	17
Colmar- Meyenheim	15,5
Dijon-Longvic	16
Dinard-le-Pleurtuit	15,5
Entzheim	16
Grenoble-St- Geoires	16
Lille-Lesquin	15,5
Luxeuil	15,5
Lyon-Bron	16,5
Marignane	18
Metz-Frescaty	16
Montélimar	16,5



Rennes	15
Saint Auban	16,5
Strasbourg	18
Tarbes	14,5
Toulouse	16,5
Tours	15
Trappes	15
Troyes	15

Nantes-Bouguenais	15,5
Nice	17,5
Nîmes-Courbessac	17
Paris-Montsouris	17
Pau-Uzein	16,5
Perpignan	17
Reims-Prunay	15,5
Rouen-Boos	15,5
St-Etienne-Bouthéon	16,5
Toulouse-Blagnac	16,5
Tours	15,5