

ETUDES DES TENSIONS SUR  
**LES ÉNERGIES  
DE RÉSEAU**

LORS DE LA POINTE DE  
CONSOMMATION HIVERNALE

# SOMMAIRE

## 1 — UN EXEMPLE DE POINTE HISTORIQUE ET SES IMPACTS

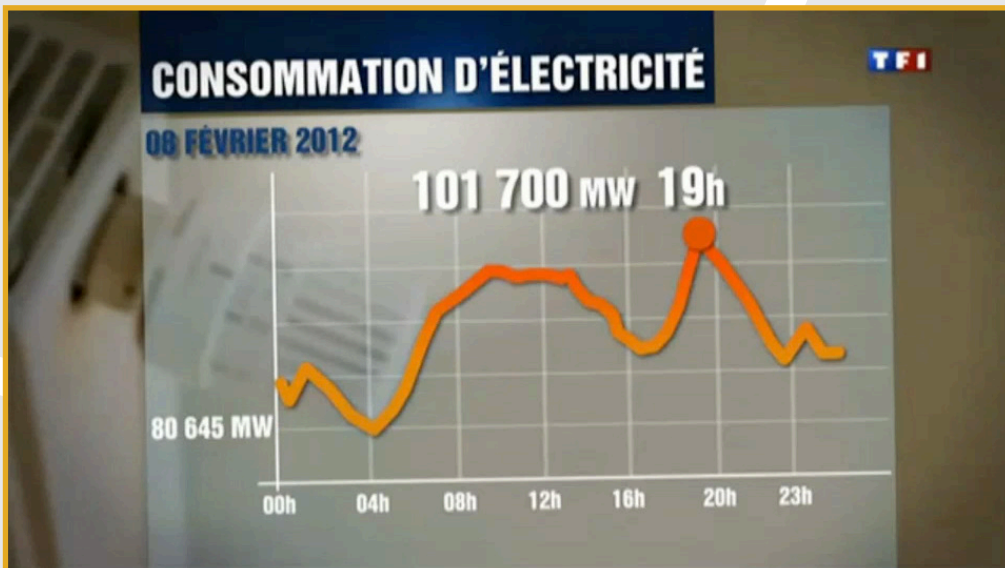
- 1.1. Le pic du 8 février 2012
- 1.2. Les réseaux électrique et gaz étaient-ils sous tension?
- 1.3. Quels usages constituent la pointe électrique ?

## 2 — LA THERMOSENSIBILITE, ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA TEMPERATURE

- 2.1. Que représente la thermosensibilité ?
- 2.2. Analyse de la part du chauffage résidentiel
- 2.3. Pointe et thermosensibilité, évolution sur les dernières années
- 2.4. Que changerait une autre répartition des modes de chauffage ?

## 3 — QUELS SONT LES IMPACTS DES DIFFERENTS MODES DE CHAUFFAGE ?

- 3.1. Quelles émissions de CO2 ?
- 3.2. Quel impact sur la balance commerciale ?



## La vague de froid va-t-elle provoquer une panne d'électricité?

Marie-Dominique Dubois avec AFP, publié le 02/02/2012 à 19:09

La France s'apprête à battre jeudi ses records de consommation d'électricité et de gaz. La faute au froid intense qui frappe l'Hexagone. Y a-t-il un risque de black-out?

Partager 0 | Tweeter 0 | Voter (0) 18 | A+ A- | Print



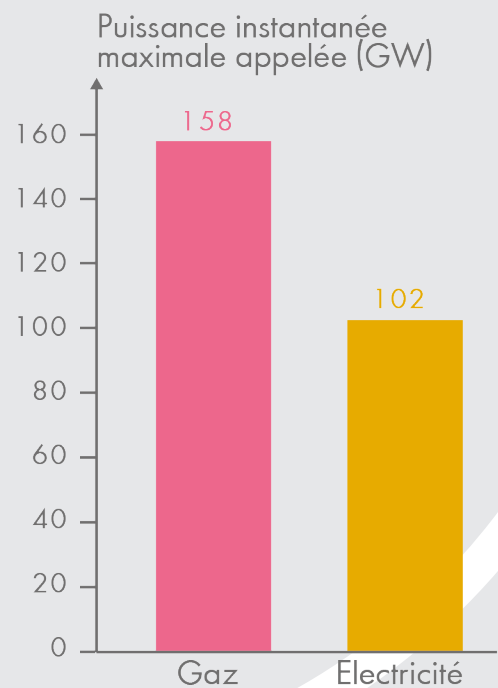
Cars are blocked due to the snow at Saint-Arnoult-en-Yvelines toll near Paris December 8, 2010 as winter weather and sub-freezing temperatures continue in France. (FRANCE - Tags: ENVIRONMENT TRANSPORT)

REUTERS/Mal Langsdon

# POINTE HISTORIQUE

## ET SES IMPACTS

• Le 8 février 2012 un record de consommation a été enregistré sur le réseau électrique français (102 GW) et sur le réseau gazier (158 GW) dû à une vague de froid exceptionnelle.

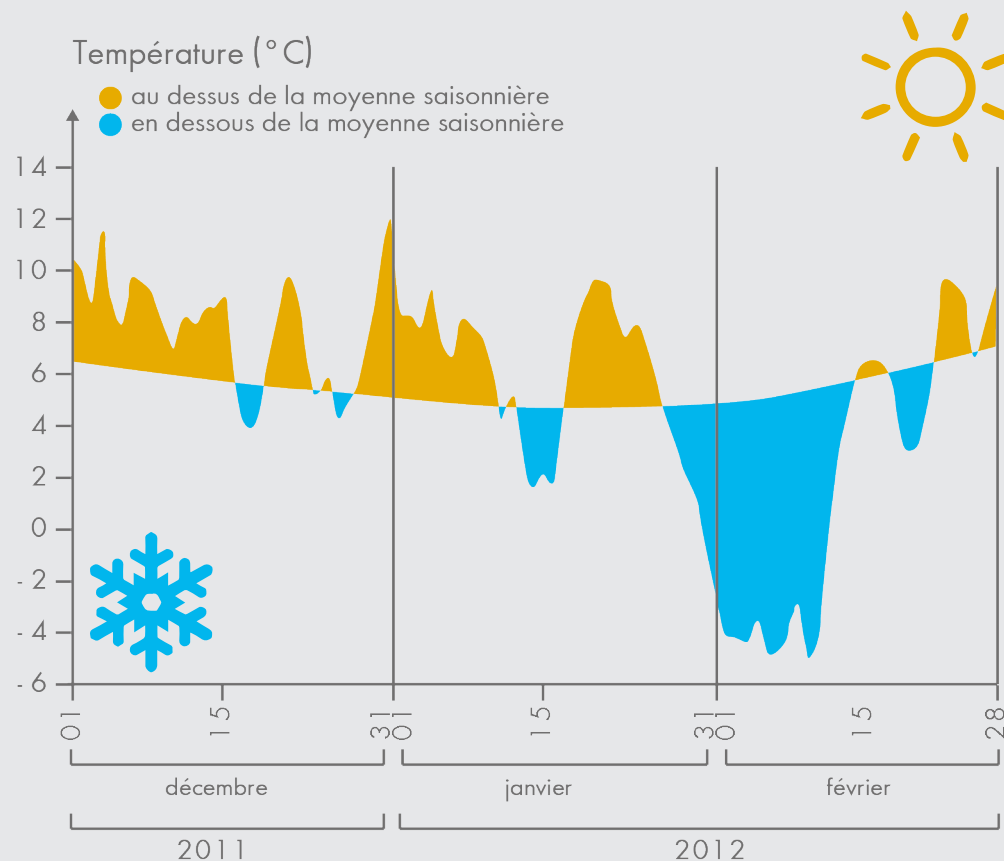


CONSOMMATION LE 8 FEVRIER 2012

Source: RTE éCO2mix & GRTgaz

## 1.1. Le 8 février 2012, un record historique de consommation pour les énergies de réseau en France

- Comparaison des températures journalières 2012 aux moyennes de saison.
- Une dizaine de jours environ 10°C sous la température moyenne observée : le phénomène climatique de la vague de froid de 2012 était exceptionnel.



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE EN FRANCE AU COURS DE L'HIVER 2011-2012

Source : RTE, REX vague de froid

# POINTE HISTORIQUE

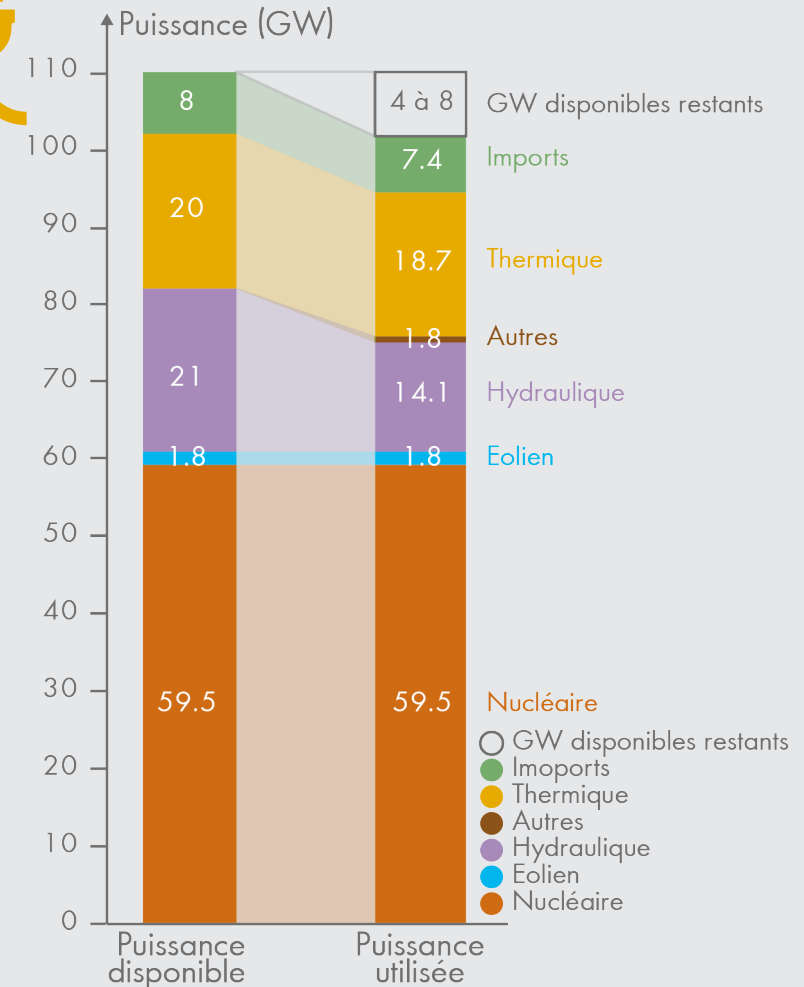
## ET SES IMPACTS

1.2. Le 8 février 2012, malgré la situation exceptionnelle, la demande a été satisfaite sur les réseaux électriques et gaziers.

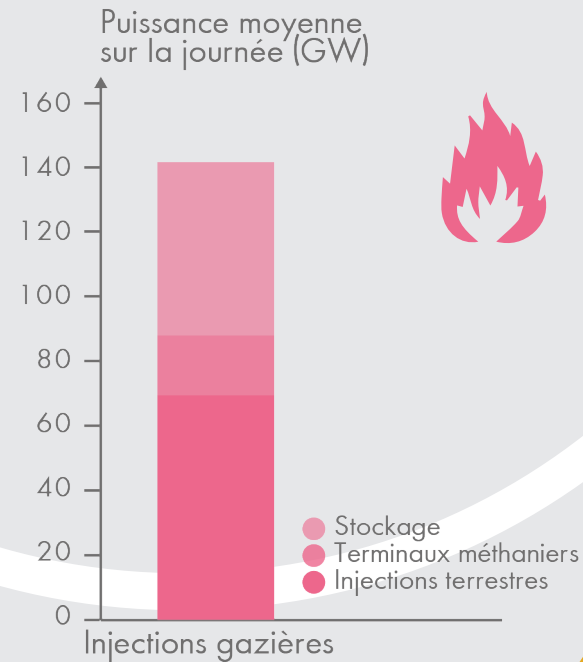
### Sécurité d'approvisionnement le 8 février 2012 :

Les capacités de production électrique suffisent aujourd'hui à répondre aux demandes de pointe telles que précisées par les décrets; la difficulté étant de prévoir la température et donc l'appel de puissance.

La pointe de consommation de février 2012 est exceptionnelle. Elle résulte d'une vague de froid très intense qui a surpassé en terme de rigueur climatique le dimensionnement du système. Cependant, le système électrique a traversé cet épisode climatique sans coupures ni délestages en s'appuyant sur les moyens de flexibilité du réseau (interconnexions, effacement): des capacités hydrauliques restaient disponibles à 19h.



SECURITE D'APPROVISIONNEMENT  
LE 8 FEVRIER 2012



ORIGINE DES INJECTIONS GAZIERES  
LE 8 FEVRIER 2012

Nos voisins européens se chauffent majoritairement au gaz, ce qui se traduit, au niveau européen par une pointe sur la consommation en gaz. Ceci peut se traduire notamment par des tensions d'approvisionnement :

"En cas de survenance d'une période de froid comparable à celle de février 2012, le faible niveau de stockages souscrit à ce jour, en nette baisse par rapport aux années précédentes, permettrait difficilement d'assurer l'alimentation en gaz H et ce, même avec une utilisation à 100% de toutes les capacités." - GRT Gaz 2013

Au delà des enjeux de réseau, l'actualité récente avec la crise ukrainienne nous rappelle que l'Europe est importatrice nette de gaz et que l'enjeu géopolitique est très important.

Lors de la dernière grande vague de froid, en février 2012, les réseaux énergétiques (gaz et électricité) ont été mis sous pression, mais il restait des marges de manœuvre : de fait, le système énergétique (électrique et gazier) est dimensionné pour répondre à des vagues de froid exceptionnelles.

### Particularités d'un système énergétique de réseau :

L'électricité se stocke difficilement. Le gestionnaire du réseau de transport, RTE, doit garantir l'équilibre entre la consommation et la production à chaque instant. Concernant le gaz les problématiques sont différentes, car des stockages existent mais néanmoins l'équilibre offre demande doit être assuré à chaque instant.

### Sécurité d'approvisionnement :

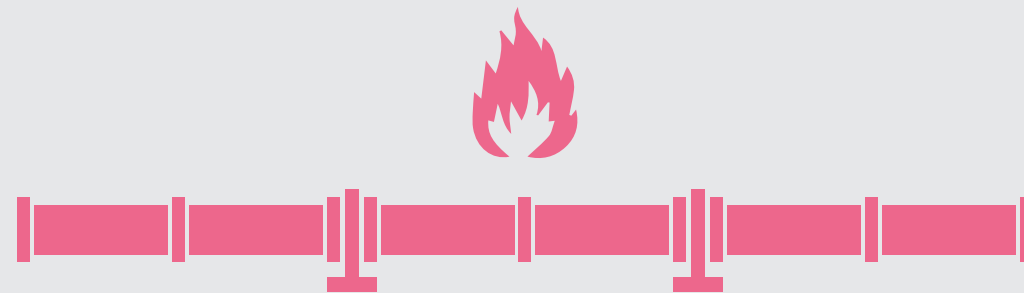
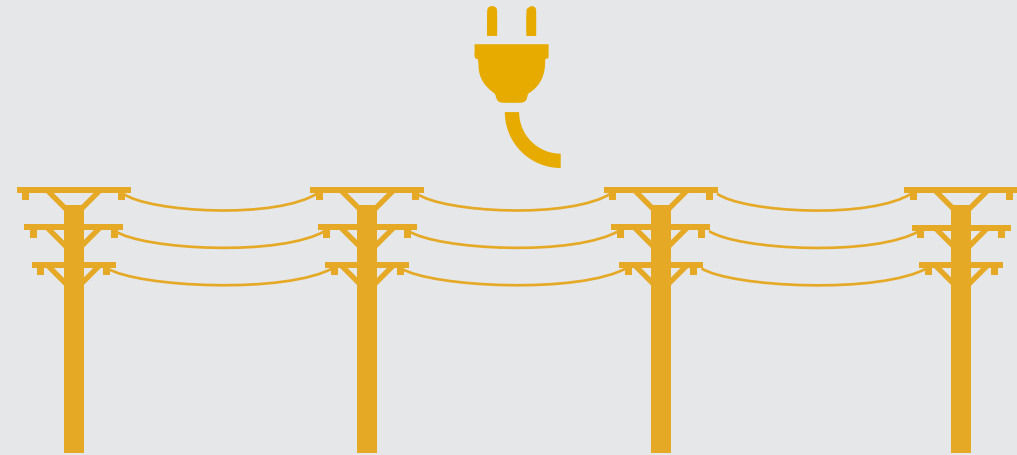
Afin de garantir la sécurité d'approvisionnement en **électricité**, il faut dimensionner :

- le **parc de production** (Centrales thermiques, nucléaires, hydraulique, ENR...)
- le **réseau de transport et distribution** (Lignes de haute et moyenne tension) de manière à mettre en relation production et demande

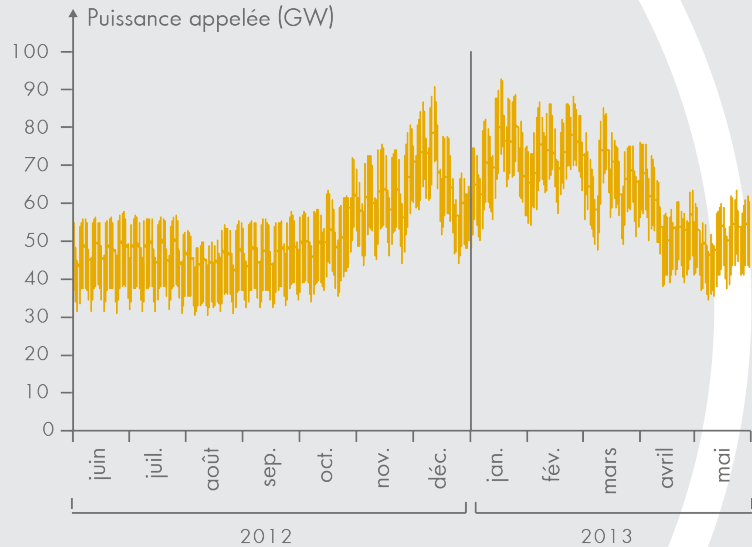
Afin de garantir la sécurité d'approvisionnement en **gaz**, il faut dimensionner :

- les **capacités d'injections** (terrestres ou terminaux méthaniers...) et les capacités de stockage
- le **réseau de transport et distribution**

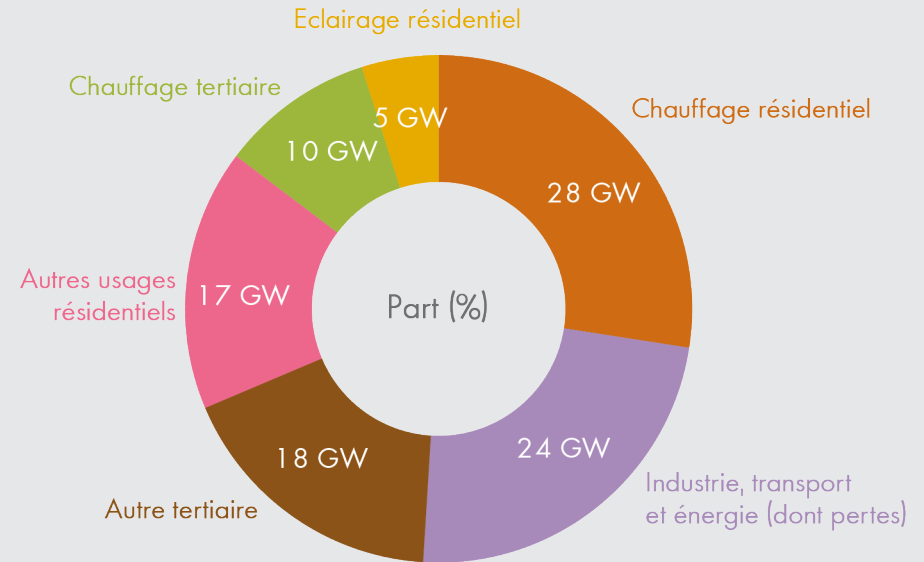
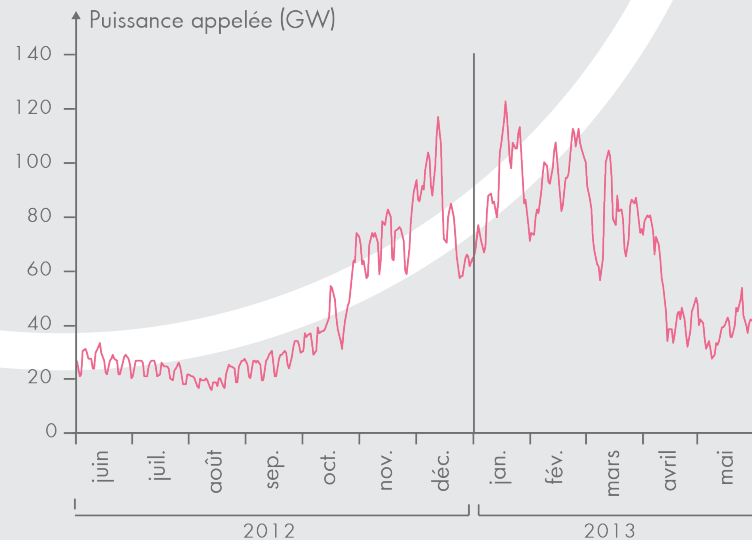
Les systèmes électriques et gaziers sont dimensionnés selon des critères définis réglementairement pour faire face à des vagues de froid extrêmes par leur durée et leur intensité, mais dont la fréquence d'occurrence reste particulièrement rare.



COURBE DE CHARGE ELECTRIQUE ANNUELLE






DEMANDE SAISONNIERE DE GAZ



REPARTITION DES USAGES DE POINTE

Pendant l'hiver en France, le pic de consommation électrique journalier de 19h est le résultat d'un empilement des usages liés :

-  • Au froid (Chauffage électrique principal et d'appoint + eau chaude sanitaire) : variation saisonnière
-  • A la nuit (éclairage), variation saisonnière et journalière
-  • Au retour du travail vers 19h et donc la reprise de l'activité dans les logements (cuisson, TV, ordinateurs et autres appareils électriques), variation journalière

L'amplitude maximale (60 GW) de la consommation électrique horaire observée sur l'année est le fruit d'une pointe saisonnière (pour les 2/3) et d'une pointe journalière (pour 1/3).

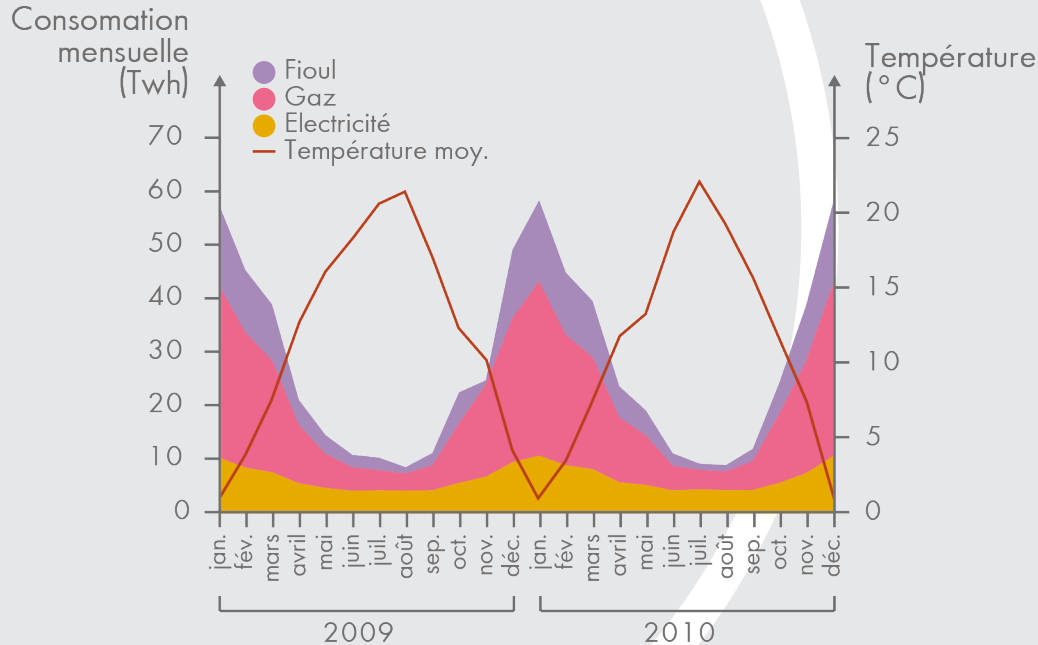
L'amplitude maximale (100 GW) de la consommation de gaz horaire observée sur l'année est exclusivement le fruit d'une pointe saisonnière.



# POINTE HISTORIQUE

## ET SES IMPACTS

Les consommations énergétiques pour toutes les énergies sont significativement plus élevées en hiver, pour satisfaire le besoin de chauffage des bâtiments.



CONSOMMATION D'ENERGIE DE CHAUFFAGE + EAU CHAUDE SANITAIRE DES LOGEMENTS

Source : eCO2Climat d'après SOeS, RTE et GrDF

### 1.3. En hiver, il fait froid : le besoin de chauffage se reflète dans la consommation énergétique accrue : c'est la pointe saisonnière

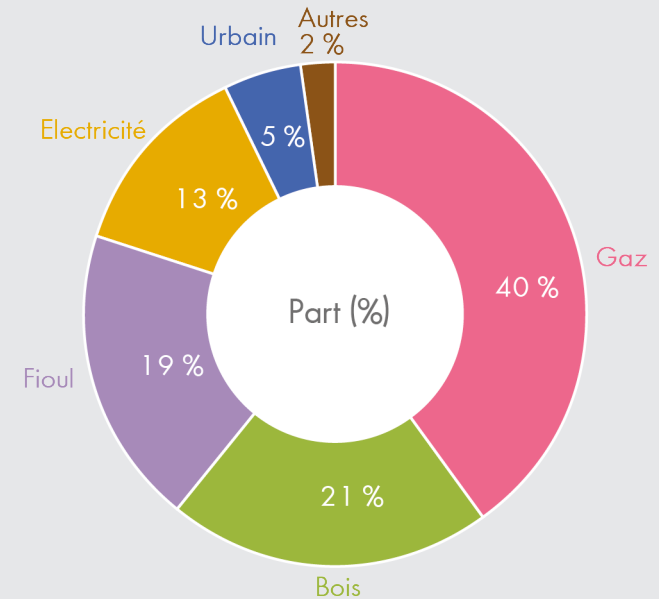
#### Amplitude saisonnière :

Les deux énergies de réseau principales gaz et électricité sont sensibles aux variations climatiques au cours de l'année. L'amplitude saisonnière entre consommation d'été et d'hiver est d'environ :

- d'un facteur 5 pour le gaz (6 => 30 Twh / mensuel)
- d'un facteur 2 pour l'électricité (5 => 10 Twh / mensuel)

La consommation d'énergie pour le chauffage résidentiel a été de 348TWh dont 46TWh d'électricité : ce vecteur est donc marginal dans le chauffage et ne représente que 13% de la demande en chauffage résidentiel.

La consommation annuelle de gaz pour le chauffage est de 141TWh, soit 40% de la demande en chauffage résidentiel.



REPARTITION DES CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE RESIDENTIEL

Source : Répartition des consommations de chauffage résidentiel CEREN 2011

L'augmentation de la demande globale pendant l'hiver se traduit par des pics de consommation sur l'ensemble des systèmes énergétiques français. Nous constatons ainsi une pointe de consommation saisonnière pour l'électricité et le gaz.

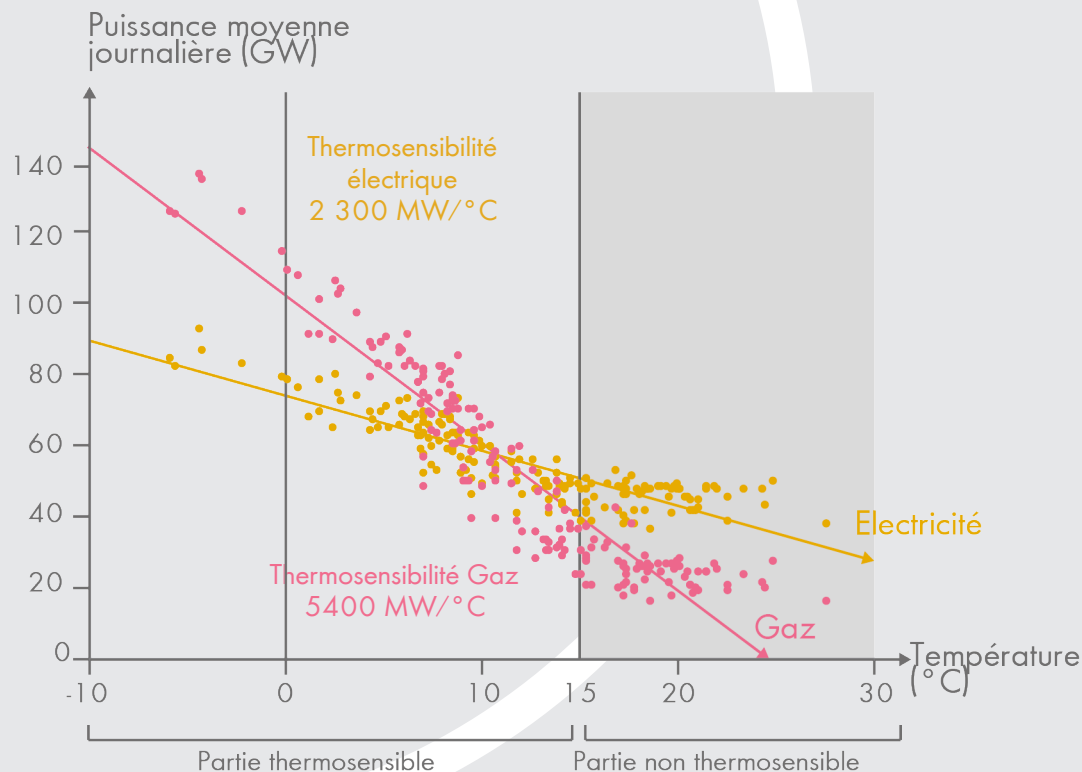


# LA THERMOSENSIBILITE

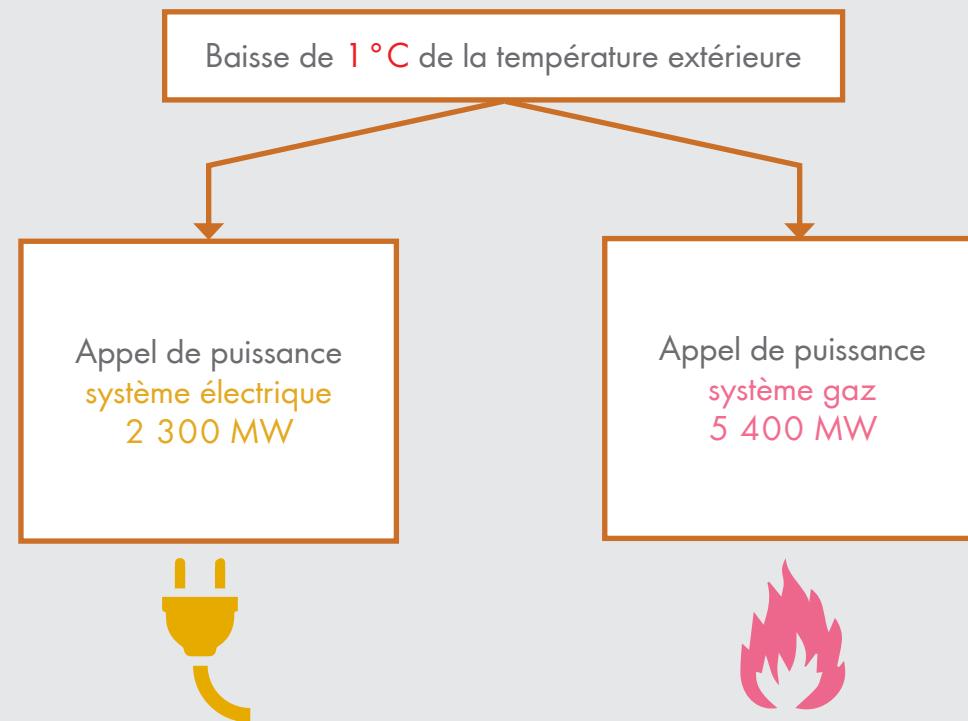
ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA TEMPERATURE

2.1. Les usages thermiques dépendent de la température extérieure. Pour évaluer la sensibilité d'un système énergétique à la température : la notion de *thermosensibilité*

L'effet de fluctuation de la consommation en fonction de la température peut être mesuré par la thermosensibilité de la demande sur les systèmes électrique et gaz. Elle reflète la puissance supplémentaire appelée lorsque la température moyenne baisse d'un degré.



## THERMOSENSIBILITE DES SYSTEMES GAZ ET ELECTRIQUE

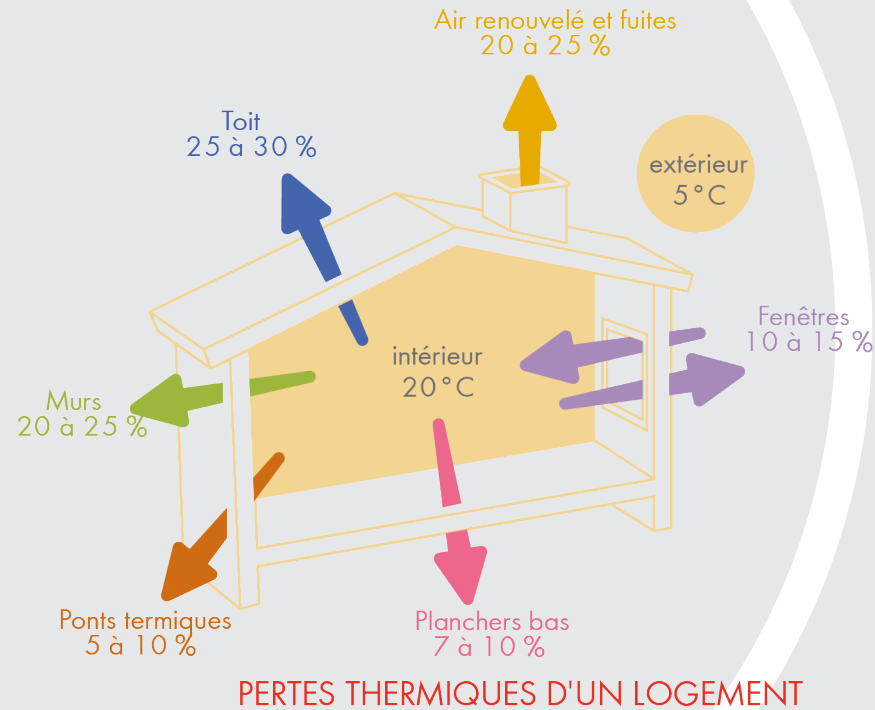


Source : Données 2012 GRT Gaz & RTE

La thermosensibilité du système gaz représente plus du double de la thermosensibilité du système électrique, ce qui peut aussi poser des difficultés de gestion du réseau, notamment lorsque le niveau des stockages est bas.

# LA THERMOSENSIBILITE

ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA TEMPERATURE



## Pertes thermiques et besoin de chauffage :

Lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure du logement il y a des pertes thermiques à travers les murs, le toit, les fenêtres.. Ces pertes thermiques traduisent un besoin équivalent en chauffage pour maintenir la température constante à l'intérieur et dépendent de l'isolation du logement.

## 2.1. Concernant le chauffage, la thermosensibilité dépend des caractéristiques thermiques du parc de logements et de bâtiments tertiaires qui sont chauffés

### Thermosensibilité d'un bâtiment :

La thermosensibilité d'un bâtiment représente la puissance de chauffage supplémentaire (en Watt) nécessaire pour maintenir un logement à température constante lorsque la température extérieure baisse d'un degré (afin de compenser la puissance dissipée à travers les parois de la maison).

Puissance dissipée au m <sup>2</sup> (W)	Isolation
125	Ancienne sans isolation
95	Ancienne avec isolation
55	RT 2000
50	RT 2005
35	RT 2012

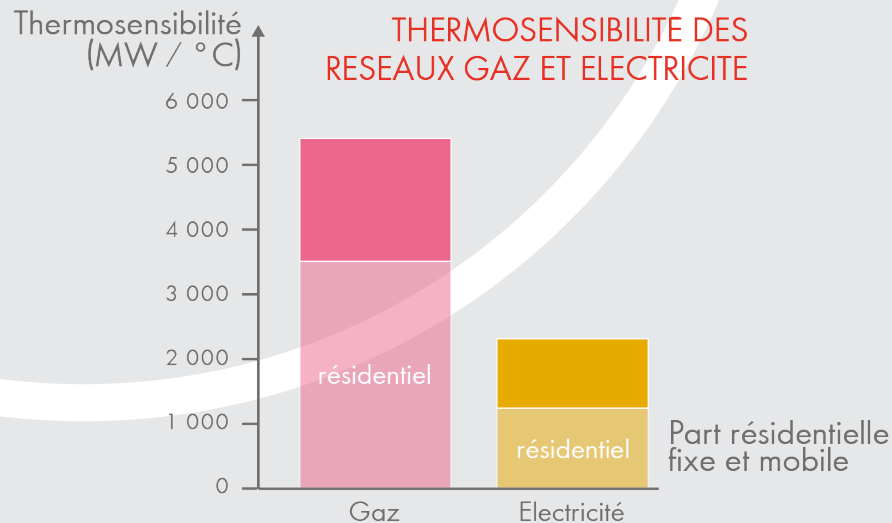
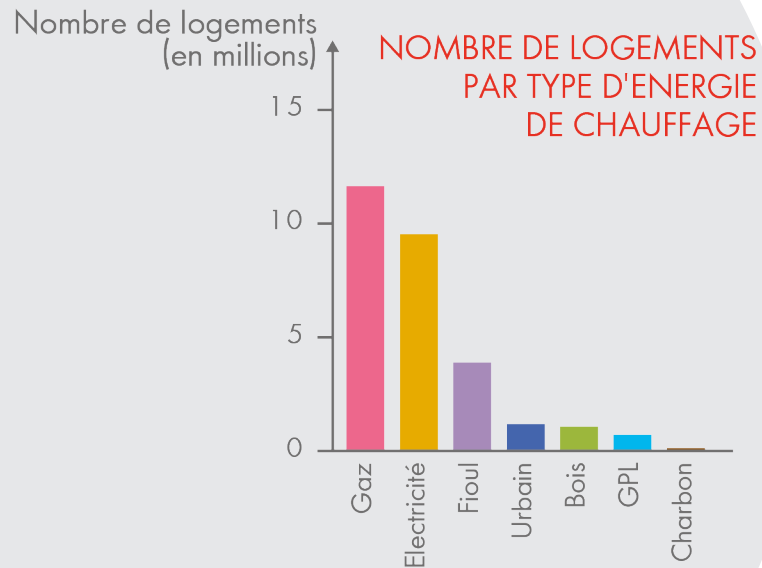
Source : Abcclim, France Air

La thermosensibilité d'un bâtiment dépend donc au premier ordre de la qualité de son isolation. La thermosensibilité du parc dépend donc à la fois de la composition du parc (source d'énergie utilisée) et de la qualité des bâtiments (logements et tertiaire). Isoler les bâtiments permet de réduire la thermosensibilité et l'appel de puissance à la pointe.

# LA THERMOSENSIBILITE

ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA TEMPERATURE

## 2.2. Le chauffage résidentiel par appareils fixes représente moins de 50% de la thermosensibilité électrique



### Le parc de logements :

Sur l'ensemble des 27,8 millions de résidences principales du parc de logements français le choix d'énergie de chauffage se répartit principalement en:

1. Gaz - 11,6 millions de logements, 1 000 millions de m<sup>2</sup>
2. Electricité, appareils fixes - 9,5 millions de logements; 750 millions de m<sup>2</sup>
3. Fioul - 3,9 millions de logements , 450 millions de m<sup>2</sup>

A partir de ces données, Carbone 4 a estimé la thermosensibilité du parc de bâtiments résidentiels par énergie : (détails du calcul en annexe)

Le chauffage résidentiel fixe et mobile représente ainsi 50% de la thermosensibilité électrique

Quelles sont les contributions significatives à la thermo-sensibilité à part les chauffages fixes résidentiels ?

- Le tertiaire : principalement le chauffage
- Certains usages industriels (chauffage de hangars ou d'usines par exemple)
- Les appareils de chauffage mobiles
- D'autres usages non directement thermosensibles

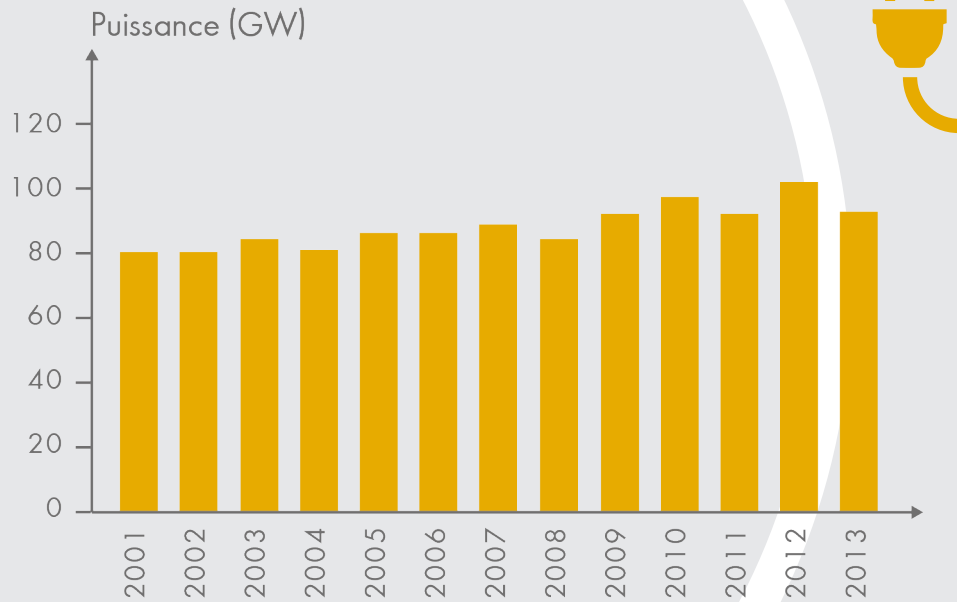
La thermosensibilité du chauffage résidentiel représente environ la moitié de la thermosensibilité globale pour le système électrique et les 2/3 pour le système gaz. Le solde de la thermosensibilité provenant principalement des bâtiments tertiaires.

Source : calculs Carbone 4 d'après données ANAH et CEREN, données 2012

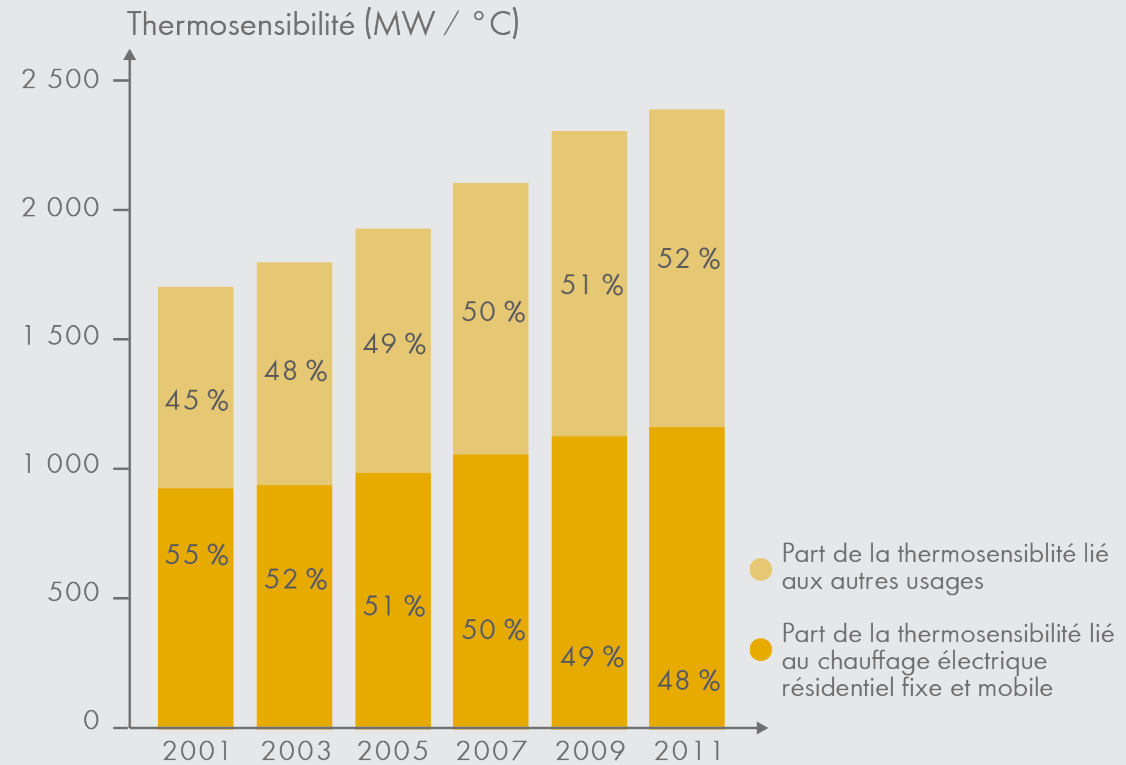
# LA THERMOSENSIBILITE

ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA TEMPERATURE

2.3. La pointe de la demande électrique a augmenté de plusieurs GW; la part de la thermosensibilité du chauffage résidentiel a diminué



POINTE DE CONSOMMATION ANNUELLE



EVOLUTION DE LA THERMOSENSIBILITE

Source : Carbone 4 d'après CEREN ; RTE

La pointe de demande électrique a augmenté de 15 à 20 GW sur les quinze dernières années. Cette augmentation est due à de multiples facteurs:

- d'un côté la thermosensibilité liée au chauffage électrique résidentiel fixe et mobile a augmenté de 25%, et d'environ 20 MW/°C/an,
- de l'autre la thermosensibilité liée aux autres secteurs et usages a augmenté de 60% soit environ 50 MW/°C/an.

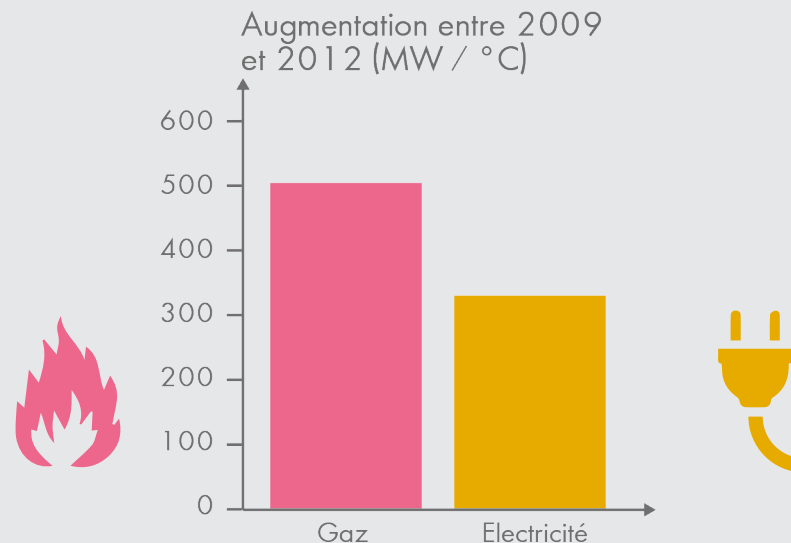
Ainsi, la thermosensibilité due au chauffage électrique est minoritaire aujourd'hui dans la thermosensibilité globale.

# LA THERMOSENSIBILITE

ANALYSE DE LA RELATION ENTRE  
LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA  
TEMPERATURE

2.3. la thermosensibilité gaz a augmenté ces quatre dernières années de 500 MW/°C, passant de 4900 à 5400 MW/°C

La thermosensibilité tous secteurs du gaz a augmenté de plus de 100 MW/°C par an. Cela s'explique par le développement du chauffage gaz (bâtiments neufs et substitution du fioul) ainsi que par le développement du parc de production électrique au gaz.



EVOLUTION DE LA THERMOSENSIBILITE  
TOUS SECTEURS  
ENTRE 2009 ET 2012

Source : Calculs Carbone 4, données GRT gaz et RTE

Le développement des usages thermiques gaz implique aussi une hausse de la thermosensibilité gaz. Le réseau est dimensionné pour y répondre (dimensionnement pour une pointe cinquantenaire), il faut veiller à ce que la gestion des **approvisionnements** et des **stockages** puisse suivre la demande, notamment lors des vagues de froid où la puissance journalière consommée est élevée.

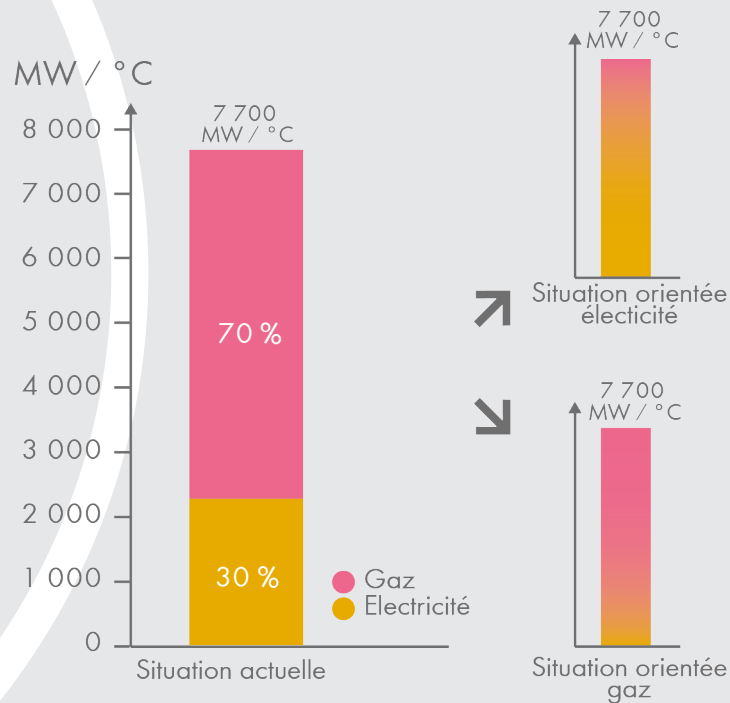
# LA THERMOSENSIBILITE

ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LE SYSTEME ENERGETIQUE ET LA TEMPERATURE

2.3. Un degré en moins, c'est 7 700 MW de puissance appelée sur les systèmes électriques et gaziers : le système actuel est une situation, d'autres sont possibles mais tous ont des contreparties

## Contreparties d'un mix plus orienté « chauffage électrique »

- Nouveaux moyens de production électrique à la pointe
- Et / ou développement des solutions d'effacement et de pilotage des usages
- Renforcement des réseaux, même si tous les logements sont déjà alimentés en électricité
- Problème pour financer les installations de pointe => marché de capacité



## Contreparties d'un mix plus orienté « chauffage gaz »

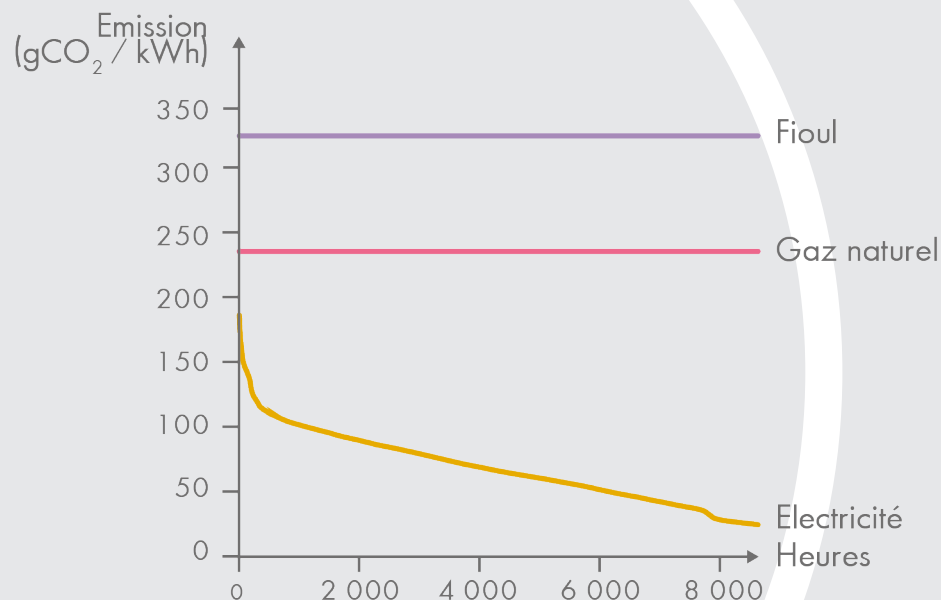
- Nécessité d'approvisionnements en gaz (importations à 98%) et impact sur la balance commerciale
- Développement de nouveaux réseaux de transports (problématique de congestion Nord/Sud) et de distribution (20% des logements sont dans une zone non raccordée au gaz)
- Renforcement des capacités de stockage
- Hausse des émissions de CO2 associées

THERMOSENSIBILITE GLOBALE : REPARTITION DU BESOIN DE CHAUFFAGE EN FRANCE

Il y a des contreparties différentes dans le transfert d'une énergie à une autre ; pour le gaz (balance commerciale, émissions de gaz à effet de serre, indépendance énergétique, infrastructures complémentaires) et pour l'électricité (nouveaux moyens de production à construire, réseaux...)

# Quels sont les impacts des différents MODES DE CHAUFFAGE

## 3.1. Enjeux CO2 : les émissions de l'électricité sont plus élevées à la pointe de demande mais restent inférieures à celles du gaz



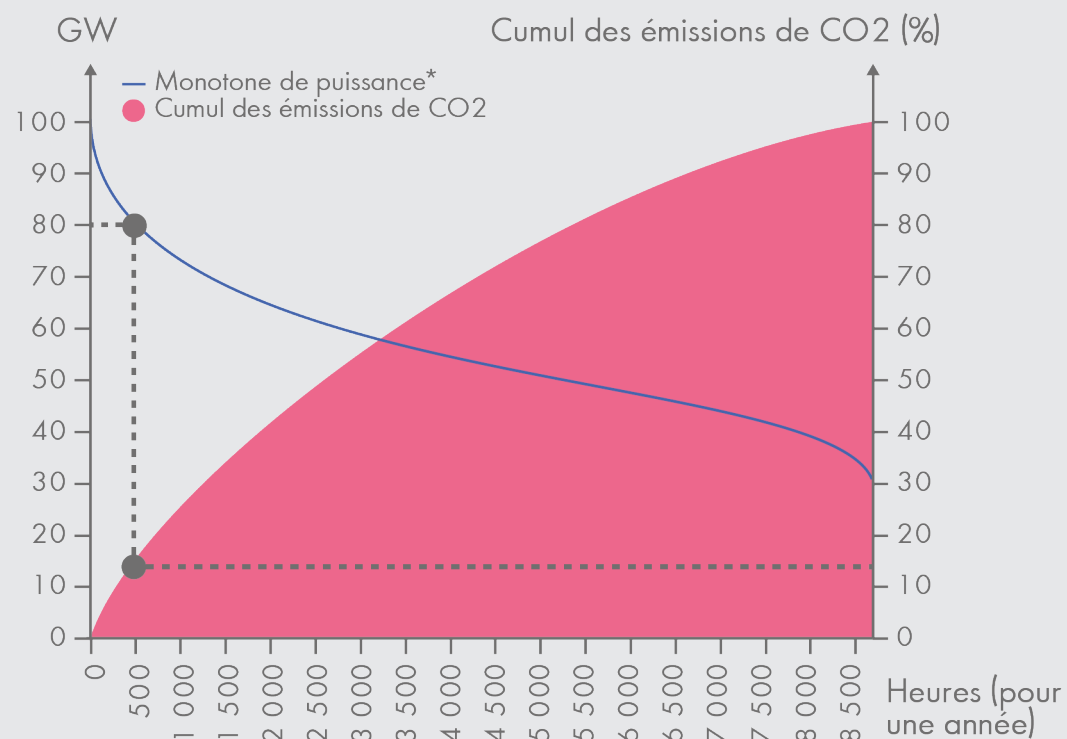
FACTEUR D'EMISSION MOYEN DE L'ELECTRICITE

Sources : Calculs ACV Carbone 4 d'après données 2012 RTE, ADEME

Malgré des prix de CO<sub>2</sub> très bas, à chaque heure de l'année, et même à l'hyper pointe, le facteur d'émission de l'électricité française est inférieur à celui du gaz. Avec des prix de CO<sub>2</sub> plus élevés ces émissions seraient à un niveau encore plus faible.

L'utilisation de la méthode de calcul à partir des monotones\* permet d'être au plus proche des émissions réelles constatées heures par heures en France.

\*Les monotones sont définis en Annexe 1



MONOTONE DE PUISSANCE POUR 2012

Les puissances au-delà de 80 GW sont responsables de 15% des émissions de CO<sub>2</sub>.

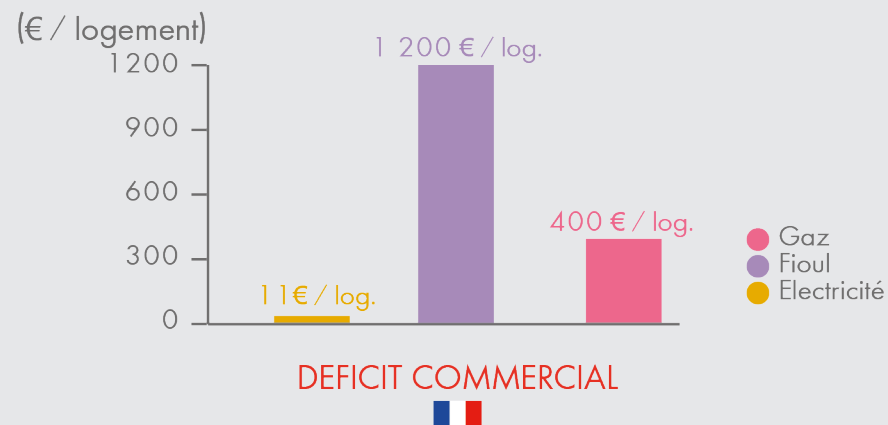
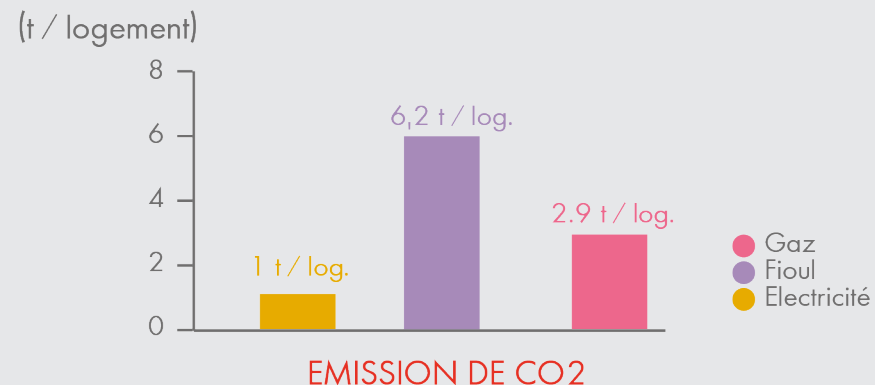
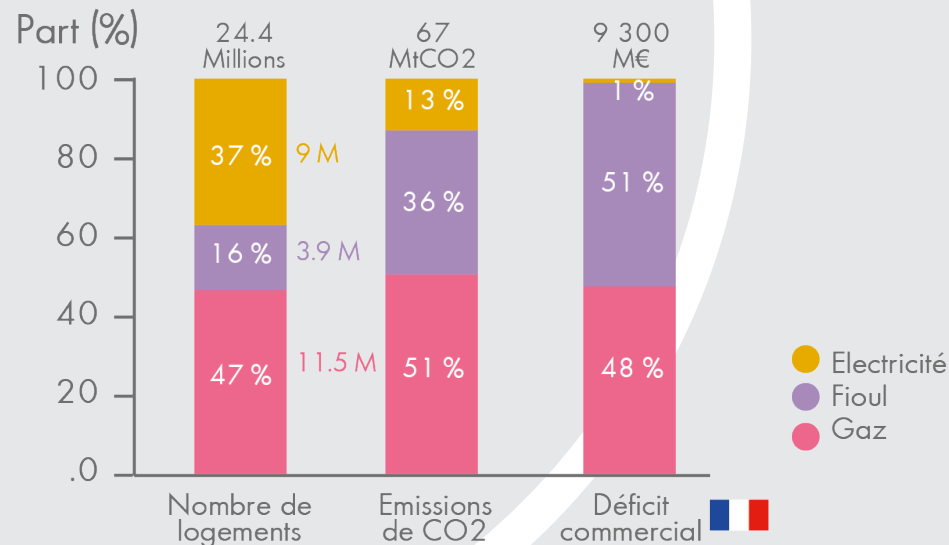
Les émissions de CO<sub>2</sub> du système électrique sont faibles en comparaison des autres énergies.



# Quels sont les impacts des différents MODES DE CHAUFFAGE

3.2. Le système électrique, grâce à un mix faisant peu appel aux hydrocarbures, permet d'éviter de peser sur le déficit commercial, tout en limitant les émissions de CO<sub>2</sub>.

L'usage de l'électricité se distingue de celui du gaz et du fioul sur deux enjeux majeurs par rapport au gaz : les émissions de CO<sub>2</sub> faibles et la balance commerciale pour les usages de chauffage.



## IMPACT DU CHAUFFAGE RESIDENTIEL POUR LE PARC FRANÇAIS DE LOGEMENTS

Chiffres globaux filières gaz et électricité ramenés à la consommation du chauffage résidentiel. Hors équipements, chiffres 2012

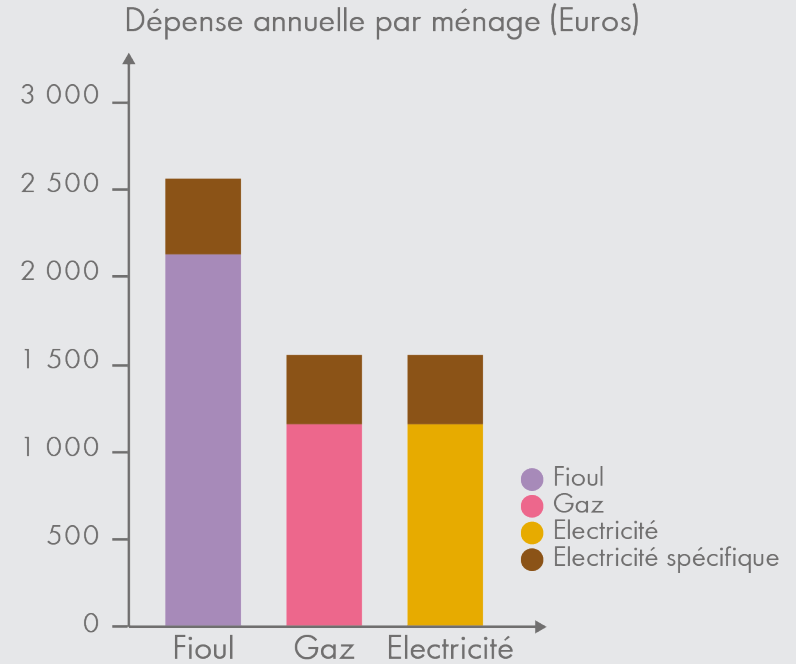
# Quels sont les impacts des différents MODES DE CHAUFFAGE

## 3.2. Les ménages chauffés à l'électricité ont une dépense annuelle d'énergie comparable aux autres et sont sous représentés parmi les précaires énergétiques.

### Dépenses énergétiques moyennes tous usages des ménages :

Les dépenses énergétiques moyennes des dépenses gaz et électricité sont comparables, malgré un prix unitaire plus élevé. Ceci est lié au fait que les logements sont mieux isolés

Sources : CEREN, Insee budget des ménages, SOeS



MOYENNE DES DEPENSES ENERGETIQUES DES MENAGES SELON LE MODE DE CHAUFFAGE

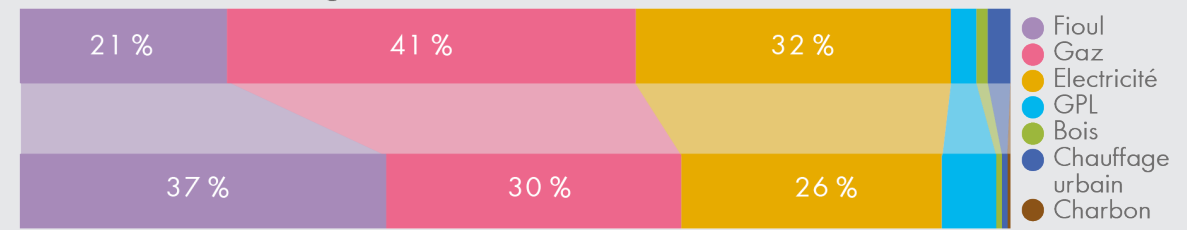
### Répartition des ménages précaires\* en fonction de leur énergie de chauffage principale

\*description quantitative des ménages qui dépendent effectivement plus de 10% de leur budget en énergie

Sources : Carbone 4, d'après ENL

### REPARTITION DES MODES DE CHAUFFAGE PAR TYPES D'ENERGIES

#### Ensemble des ménages



#### Ménages précaires



## La pointe de demande énergétique en trois secondes :

- La pointe de demande est un phénomène normal, lié au profil de la demande d'énergie, qui varie au fil des saisons et de la journée. Elle concerne toutes les énergies.
- La pointe de demande électrique est un phénomène exceptionnel, reflet de nos modes de vie et du choix des modes de chauffage.
- La flexibilité du réseau électrique permet de maintenir l'équilibre offre demande lors des pointes même extrêmes comme celle de février 2012.
- La mise en route de moyens de production carbonés lors de la pointe n'a qu'une incidence modérée sur les émissions de CO<sub>2</sub> du système électrique.
- Par ailleurs le chauffage électrique évite des importations d'hydrocarbures pour chauffer les bâtiments et ne contribue pas au déficit commercial énergétique de la France, par rapport aux solutions de chauffage gaz ou fioul.

## La pointe de demande électrique en trois minutes :

- La pointe électrique est un événement médiatisé qui focalise l'attention en période de forte demande due à des températures basses.

Lors de la dernière grande vague de froid, en février 2012, les réseaux énergétiques (gaz et électricité) ont été mis sous pression. Les systèmes énergétiques (électrique et gazier) sont dimensionnés pour répondre à des vagues de froid exceptionnelles et cet événement n'a pas eu d'impact majeur, malgré la rigueur climatique hors norme constatée (températures  $10^{\circ}\text{C}$  sous les normales saisonnières pendant 13 jours).

- Cette pointe de consommation est le résultat de l'empilement des usages dus au froid (chauffage électrique principal et chauffage mobile d'appoint, phénomène saisonnier), à la nuit (éclairage, phénomène journalier), et au retour du travail donc à la reprise d'activité dans les logements (cuisson, TV, ordinateurs...). L'électricité étant un vecteur énergétique qui se stocke mal, cette augmentation nécessite des moyens de production complémentaires : pour partie cette électricité est importée, tirant bénéfice de capacités excédentaires sur la plaque européenne, et pour partie elle est produite localement (nucléaire, gaz, hydraulique). La pointe saisonnière, qui correspond aux périodes de demande énergétique importante, est un phénomène lié à un besoin de chauffage qui ne se manifeste qu'en hiver. Ceci se traduit par une demande élevée, quelle que soit l'énergie de chauffage (gaz, électricité, fioul, réseau de chaleur...). Il s'y ajoute une pointe journalière qui elle est le résultat des modes de vie ainsi qu'à l'augmentation importante des usages « spécifiques » de l'électricité : bureautique, éclairage, appareils électro domestiques, tertiaire.

- La consommation journalière d'électricité française atteint ainsi un pic à 19h en hiver, lors des périodes de froid. Cette pointe est d'autant plus élevée qu'il fait froid : on parle de thermo-sensibilité, appel de puissance complémentaire pour un degré de température en moins exprimé en

MW/ $^{\circ}\text{C}$ . Pour une énergie de chauffage donnée, cette thermo-sensibilité dépend au premier ordre d'une part du parc de logements et de bâtiments de la qualité de l'isolation des logements et bâtiments. Lorsque la température extérieure baisse de  $1^{\circ}\text{C}$ , environ 7000 MW de puissance supplémentaire sont appelés, dont 2300 MW sur les réseaux électriques et 5400 MW sur les réseaux gaziers..

Cette thermo-sensibilité n'est que pour partie liée au chauffage : le chauffage résidentiel représente environ 2/3 de la thermo-sensibilité du gaz et la moitié de la thermo-sensibilité électrique.

Pour la thermosensibilité électrique, le tertiaire, l'industrie, les usages spécifiques, les appareils de chauffage mobiles, représentent l'autre moitié. Les émissions de  $\text{CO}_2$  de la production électrique sont plus élevées à la pointe de consommation, mais restent inférieures au gaz (en moyenne comme à la pointe). Elles sont limitées : les puissances électriques appelées au-delà de 80 GW (400 h soit 5% du temps) sont responsables de 15% des émissions annuelles de  $\text{CO}_2$  de l'ensemble du parc de production électrique.

- Contrairement au fioul et au gaz pour le chauffage qui ne contribuent qu'aux importations, l'électricité contribue à la fois aux importations (uranium et combustibles fossiles) et aux exportations, l'ensemble dégageant un solde exportateur net. De plus les ménages chauffés à l'électricité ont en moyenne une facture équivalente à celle des ménages chauffés au gaz (autour de 1300 euros par an), et bien inférieure au fioul ou au GPL, autour de 1800 à 2000 euros annuels. Seuls 16% des ménages précaires sont chauffés à l'électricité contre 38% pour le fioul et 31% pour le gaz.

La pointe électrique de février 2012, traduction d'une rigueur climatique exceptionnelle, n'est pas un événement anodin : néanmoins ses effets sur le réseau sont bien maîtrisés et sans impacts majeurs.

# Annexe 1

## P11 : Détail du calcul de la thermosensibilité résidentielle :

Le chauffage électrique est un ruban et sa consommation une fonction affine de la température : il est possible de calculer la thermosensibilité de l'usage « chauffage électrique » sur l'année à partir de la consommation d'électricité du chauffage résidentiel en TWh (soit 46 TWh pour le résidentiel en 2012 ; donnée CEREN qui intègre les consommations fixes et mobile sans pouvoir les désagréger), rapporté au besoin de chaleur exprimé en DJU, moyenné sur la France.

Avec une température seuil de déclenchement du chauffage en individuel et une pour le collectif, nous déduisons les besoins de chauffage pour l'individuel et pour le collectif (résidences principales uniquement).

La thermosensibilité est calculée de la façon suivante, pour l'individuel, comme pour le collectif :

$$\text{Thermosensibilité du chauffage résidentiel (MW/°C)} = \frac{\text{Consommation de chauffage résidentiel (en MWh)}}{\text{Besoin de chauffage (en DJU) * 24}}$$

## P15 : Définition des monotones :

**Monotone de puissance :** Une année comprend 8760 heures. A chacune de ces heures correspond une puissance appelée. Si on ordonne ces valeurs de la plus grande à la plus petite on obtient la courbe de la monotone de consommation. La monotone permet de visualiser la proportion du temps pendant laquelle la consommation est supérieure à un certain niveau de puissance.

**Monotone de facteurs d'émission :** Une année comprend 8760 heures. A chacune de ces heures correspond un facteur d'émission déterminé par le mix de production. Si on ordonne ces valeurs de la plus grande à la plus petite on obtient la courbe de la monotone de facteurs d'émission. La monotone permet de visualiser la proportion du temps pendant laquelle le facteur d'émission horaire est supérieur à un certain niveau.