



**CARTOGRAPHIE DES
BESOINS DE CHALEUR ET DE FROID**

NOTE MÉTHODOLOGIQUE

Dans le cadre du projet EnRezo et de la directive européenne pour l'efficacité énergétique, le Cerema produit une cartographie des besoins de chaleur et de froid de l'ensemble des bâtiments des secteurs résidentiel et tertiaire en France hexagonale.

Ce travail est soutenu et financé par la DGEC et l'ADEME.

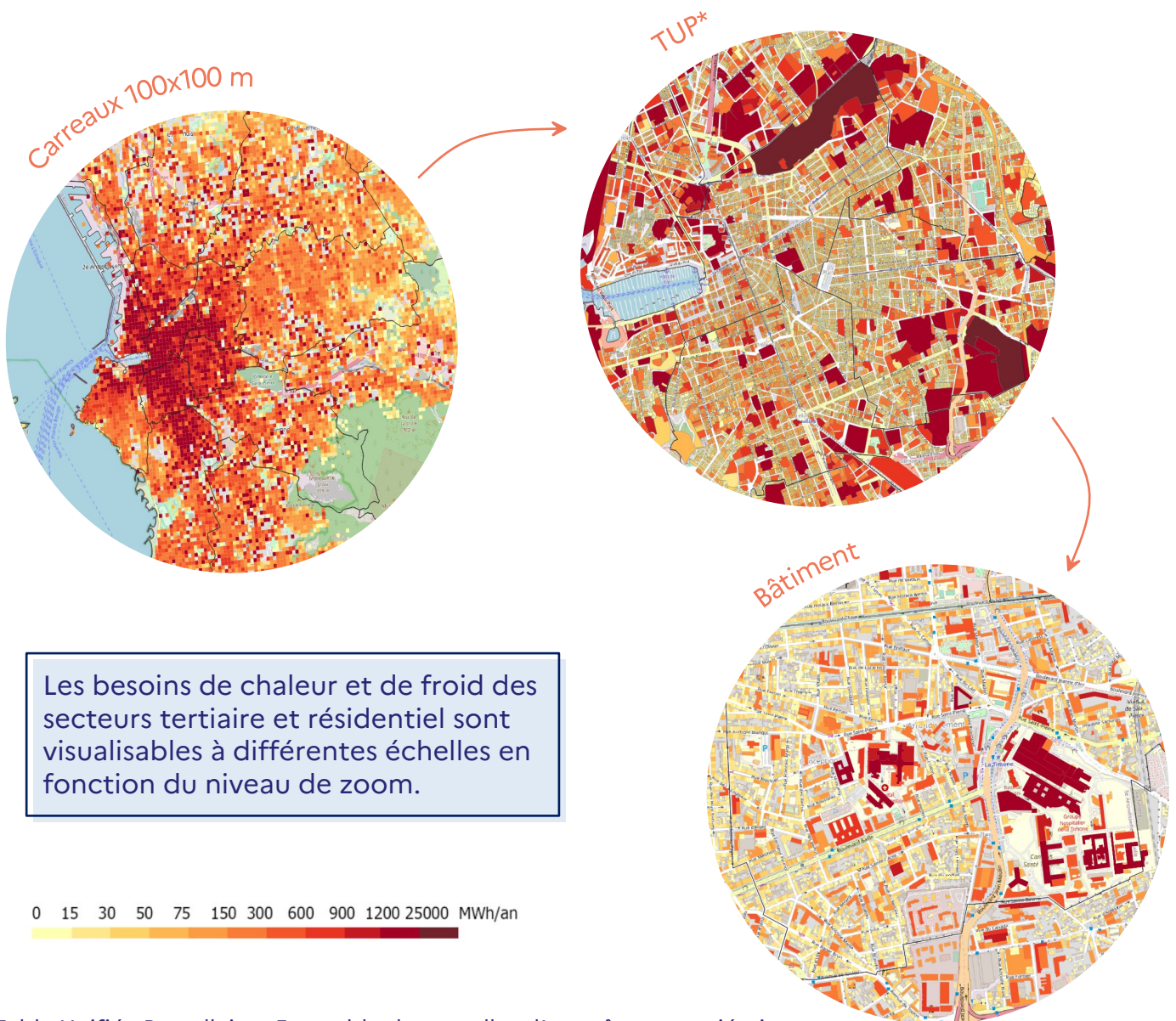
Introduction

L'estimation des besoins de chaleur et de froid est réalisée sur l'ensemble de la France hexagonale pour les bâtiments des secteurs résidentiel et tertiaire. Afin d'anticiper l'évolution des besoins futurs, l'estimation a été réalisée pour le climat actuel et le climat futur (horizon 2050).

La présente méthodologie s'appuie essentiellement sur deux jeux de données pour constituer une base exhaustive des bâtiments résidentiels et tertiaires en France : les Fichiers fonciers produits par la DGFIP qui recensent les bâtiments soumis à taxe foncière et la BDTOPO Bâtiment de l'IGN.

Plusieurs échelles de visualisations de ces besoins sont proposées.

VISUALISATION DES CARTOGRAPHIES



SOMMAIRE

1/ Avantages et limites des jeux de données bâtementaire	P.4
Les Fichiers fonciers	P.4
La BDTOPO Bâtiment	P.4
2/ Détermination de la méthode de calcul par TUP	P.5
Indicateur : surface de plancher	P.5
La classification des TUP	P.7
3/ Calcul des besoins en chaleur et en froid	P.10
Préparation des données	P.10
Ratios de consommations	P.14
Correction climatique	P.15
Correction altimétrique	P.16
Les besoins en 2050	P.17
4/ Visualisation des besoins en chaleur et en froid	P.19
Échelle de la TUP	P.19
Échelle du bâtiment	P.19
Échelle du carreau de 100x100m	P.20
5/ Validation de la méthode	P.21



1/ Avantages et limites des jeux de données bâtimentaires

L'étape principale de cette méthodologie est de constituer une base exhaustive des bâtiments en France, contenant les indicateurs nécessaires pour estimer leurs besoins énergétiques. Pour cela, les Fichiers fonciers de la DGFIP et la BDTOPO Bâtiments de l'IGN sont utilisés.

Les Fichiers fonciers

Les Fichiers fonciers sont construits par la DGFIP et enrichis par le Cerema. Ils décrivent de manière détaillée le foncier soumis à taxe foncière (surface, année de construction, secteur d'activité...). Les bâtiments exonérés de taxe foncière sont donc manquants. On y retrouve notamment des établissements publics (ex : écoles, hôpitaux...). Le jeu de données est exhaustif pour le secteur résidentiel.

Les données des Fichiers fonciers utilisées sont celles fournies à l'échelle du local. C'est le niveau le plus fin mis à disposition, il permet de différencier les bâtiments à usages mixtes.

Chaque local est représenté par un point localisé aléatoirement sur la parcelle.

Représentation
d'un local dans les
Fichiers fonciers



La BDTOPO Bâtiment

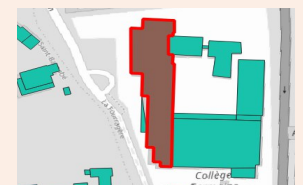
La représentation géographique de la BDTOPO Bâtiment correspond à l'emprise au sol des bâtiments. L'ensemble des bâtiments de France est recensé.

Les informations fournies par la base de données décrivent la structure du bâtiment (hauteur, nombre d'étages, emprise au sol) avec un champ sur l'usage principal du bâtiment, qui n'est donc pas exhaustif dans le cas de bâtiments à usages mixtes.

La surface chauffée/climatisée n'est pas fournie.

Le secteur d'activité du bâtiment n'est pas renseigné mais peut être reconstitué par croisement spatial avec la base Zone d'activité et d'intérêt (ZAI) de la BDTOPO, qui ne couvre cependant pas tout le territoire, ni toutes les activités.

Représentation
d'un bâtiment
dans la BDTOPO



Conclusions

Les Fichiers fonciers sont complets pour le secteur résidentiel, et malgré quelques lacunes pour le secteur tertiaire, elles sont précises et détaillent le secteur d'activité qui est un indicateur nécessaire au calcul des besoins (cf. page 10).

Le choix est donc fait d'utiliser la BDTOPO en complément des Fichiers fonciers pour identifier et caractériser les bâtiments tertiaires non soumis à taxe foncière.

La correspondance entre les Fichiers fonciers et la BDTOPO se fait difficilement. La solution retenue est de choisir pour chaque TUP (table unifiée parcellaire, ie. ensemble de parcelles d'un même propriétaire) le jeu de donnée le plus pertinent à utiliser, en fonction de la complétude des Fichiers fonciers.

2/ Détermination de la méthode de calcul par TUP

Préambule

Pour savoir quelle méthode de calcul mettre en œuvre sur chaque TUP, l'indicateur qui est évalué est la **surface de plancher**.

Sur chaque TUP, on compare donc la surface de plancher présente dans les Fichiers fonciers et celle estimée à partir de la BDTOPO Bâtiment afin de mettre en avant les surfaces manquantes dans les Fichiers fonciers. Une **classification des TUP** en fonction de la différence entre ces surfaces est mise au point.

Estimation des surfaces de plancher

Du fait des différences entre les deux bases de données décrites précédemment, les surfaces de plancher ne peuvent pas se déterminer de la même manière.

Les Fichiers fonciers permettent de prendre en compte uniquement les surfaces à chauffer/climatiser en retirant les annexes, les surfaces non couvertes, les surfaces de stationnement, etc.

Dans la BDTOPO Bâtiment, on ne dispose pas de surface de plancher pré-calculée. Il faut donc l'estimer en utilisant la surface d'emprise au sol et le nombre d'étages. Entre autre, ce calcul ne permet pas de prendre en compte des formes de bâtiments complexes avec des étages de taille variable.

La suite décrit comment les surfaces de bâtiments sont estimées sur chaque TUP.

Les Fichiers fonciers

Trois indicateurs de surfaces sont étudiés et calculés sur chaque TUP :

■ **surface_ff_slocal** : surface totale des parties d'évaluations sur la TUP quelque soit l'usage (tertiaire, résidentiel, industriel, dépendances...)

$$\text{surface_ff_slocal} = \text{slocal}$$

■ **surface_ff_ter** : surface totale des parties d'évaluation à usage tertiaire (parties principales professionnelles et parties secondaire couvertes professionnelles)

$$\text{surface_ff_ter} = \text{sprincp} + \text{ssecp}$$

■ **surface_ff_res** : surface totale des parties d'évaluation à usage résidentiel

$$\text{surface_ff_res} = \text{stoth}$$

En orange, les variables issues directement des Fichiers fonciers.

[> voir la documentation des Fichiers fonciers](#)

La BDTOPO Bâtiment

Au préalable, les bâtiments de la BDTOPO sont filtrés afin de retirer les bâtiments d'une emprise au sol de moins de 50 m², les constructions légères, les bâtiments à usage principal « Religieux », « Agricole » ou « Annexe » ainsi que les bâtiments présents sur une zone industrielle (ie. sur une zone d'activité et d'intérêt de catégorie « Industriel et commercial » et de nature différente de « Divers commercial »).

Deux indicateurs de surface sont ensuite calculés sur chaque TUP :

surface_bdtoto_tot : surface totale de bâtiment sur la parcelle

La surface est calculée à partir de l'aire de l'emprise au sol à laquelle 40% sont retirées pour retirer la surface au sol des murs, les surfaces de bâtiments non chauffées (locaux techniques, cages d'escalier...) et les surfaces surestimées à cause des formes de bâtiment complexe.

Soit le nombre d'étage du bâtiment est connu, sinon une hauteur d'étage de 4m par défaut est prise :

$$\text{surface_bdtopo_tot} = \text{ST_Area}(\text{geom}) * 0.6 * \text{nombre_d_etages}$$

$$\text{ou } \text{surface_bdtopo_tot} = \text{ST_Area}(\text{geom}) * 0.6 * \text{ROUND}(\text{hauteur}/4)$$

surface_bdtoto_res : surface totale de bâtiment à usage principal résidentiel

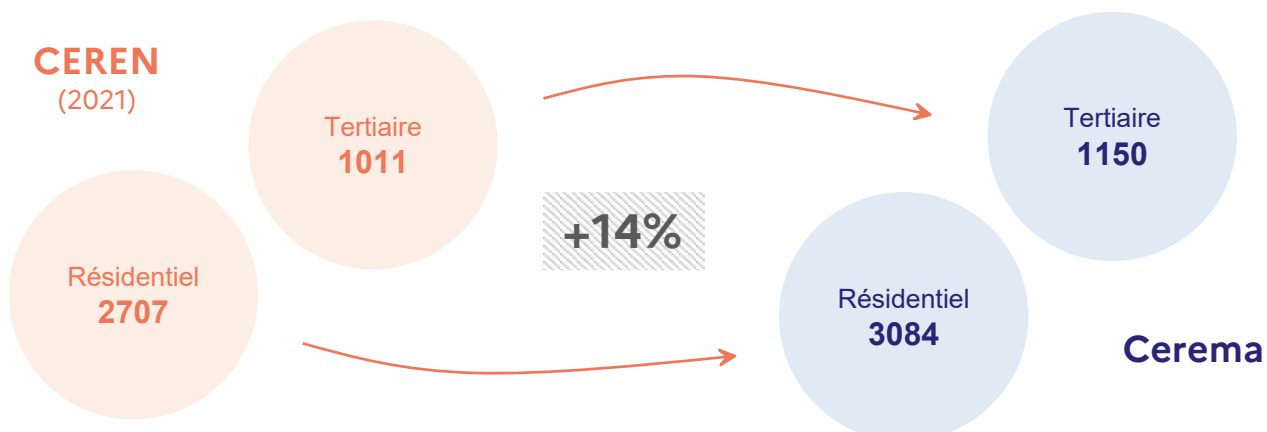
Le calcul est identique à celui de l'indicateur surface_bdtoto_tot à la différence qu'il ne s'applique qu'aux bâtiments à usage principal « Résidentiel »

En orange, les variables issues directement de la BDTOPO.

[> voir la documentation de la BDTOPO](#)

VALIDATION DE LA MÉTHODE

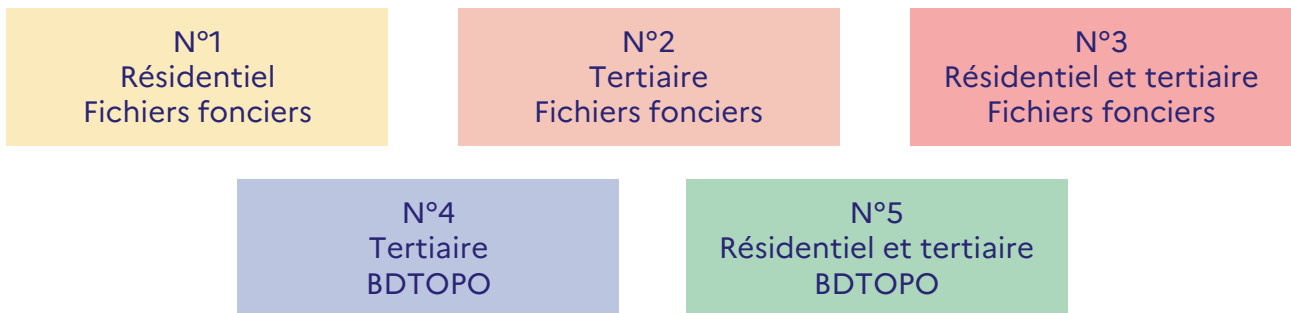
Les surfaces estimées par la présente méthode sont comparées aux surfaces nationales estimées par le CEREN (chiffres en milliers de m²).



La classification des TUP

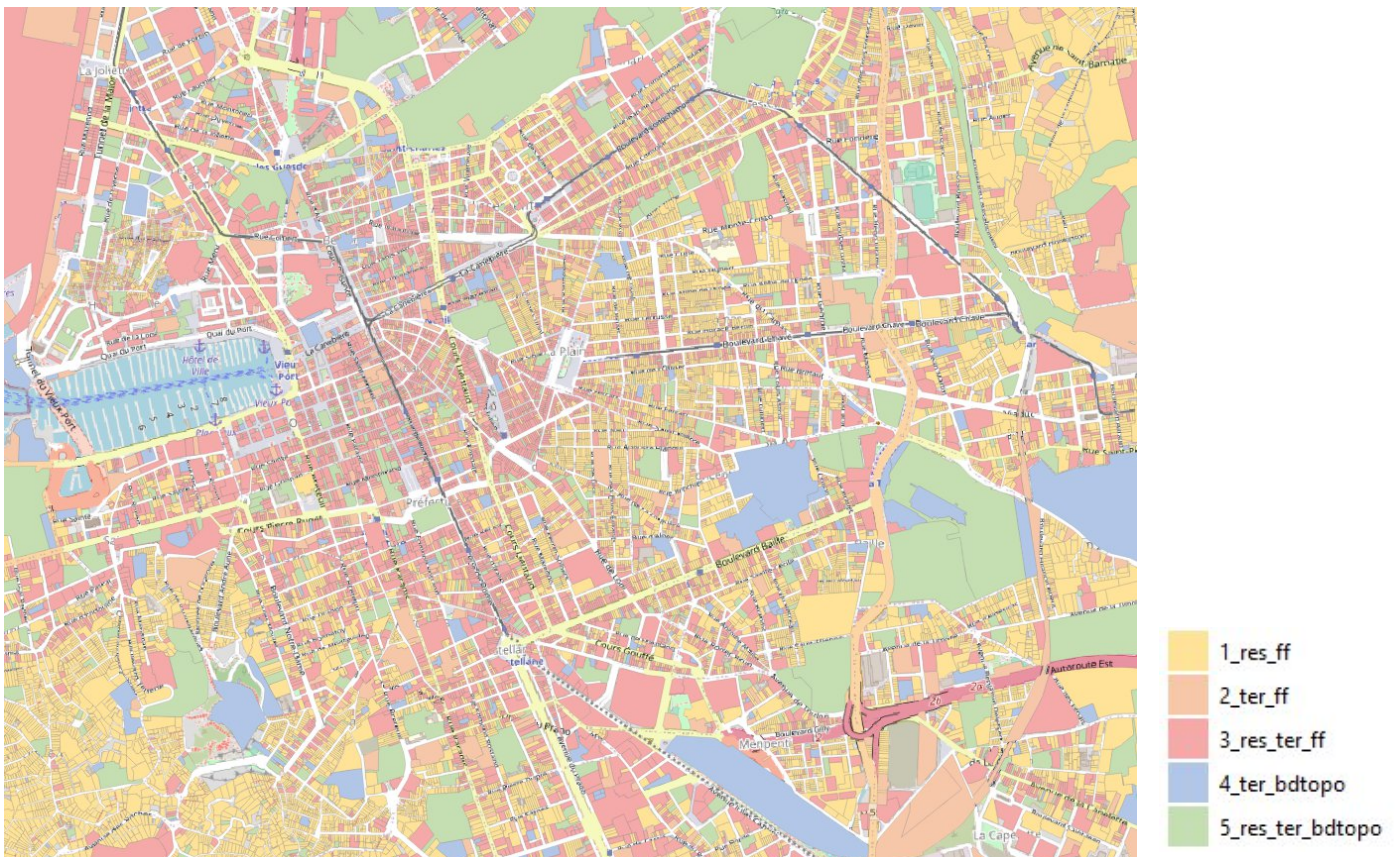
En comparant les surfaces précédemment calculées, chaque TUP est étiquetée avec une méthode de calcul. Les Fichiers fonciers étant exhaustifs pour le secteur résidentiel, la BDTOPO est uniquement utilisée pour déterminer les besoins de bâtiments contenant des activités tertiaires. Pour les bâtiments à usage mixte résidentiel/tertiaire et devant être estimés en utilisant la BDTOPO, les besoins tertiaires sont estimés en retranchant la surface de résidentiel (estimée par les Fichiers fonciers) à la surface totale du bâtiment.

Cinq classes de TUP sont donc à envisager en fonction des secteurs présents sur la TUP et du jeu de données à utiliser :



VISUALISATION DES TUP CLASSÉES

Classification des TUPs sur la commune de Marseille (13) :



Il est important de rappeler que l'objectif de cette méthode est d'identifier les bâtiments exonérés de taxe foncière, qui sont dans la plupart des cas des bâtiments importants comme des établissements scolaires ou de santé.

Voici les conditions à remplir pour classer les TUP :

Note : La classification est effectuée dans l'ordre des classes. Si les conditions permettent à une TUP d'être dans plusieurs classes, la première classe qui a été affectée est conservée.

N°1 Résidentiel - Fichiers fonciers

- Pas de tertiaire dans les Fichiers fonciers
- Uniquement des bâtiments à usage résidentiel dans la BDTOPO
- OU** un écart entre la surface totale dans les Fichiers fonciers et celle de la BDTOPO inférieure à 40%

```
surface_ff_ter = 0 AND surface_ff_res != 0 AND (
(surface_bdtoपो_res != 0 AND surface_bdtoपो_res = surface_bdtoपो_tot)
OR surface_ff_slocal >= 0.6 * surface_bdtoपो_tot)
```

N°2 Tertiaire - Fichiers fonciers

- Pas de résidentiel dans les Fichiers fonciers
- Un écart entre la surface totale dans les Fichiers fonciers et celle de la BDTOPO inférieure à 40%

```
surface_ff_ter != 0 AND surface_ff_res = 0
AND surface_ff_slocal >= 0.6 * surface_bdtoपो_tot
```

N°3 Résidentiel et tertiaire - Fichiers fonciers

- Du tertiaire et du résidentiel dans les Fichiers fonciers
- Un écart entre la surface totale dans les Fichiers fonciers et celle de la BDTOPO inférieure à 40% **OU** la surface de résidentiel est supérieure à 1000 m², de même que la surface tertiaire

La condition « `surface_ff_res > 1000 AND surface_ff_ter > 1000` » se justifie par le fait que l'estimation des surfaces dans la BDTOPO comporte une forte incertitude qui est d'autant plus visible pour les grands bâtiments. Ainsi, si les Fichiers fonciers estiment une surface de tertiaire de plus de 1000 m², on suppose qu'il ne manque pas de bâtiment sur la TUP.

```
surface_ff_ter != 0 AND surface_ff_res != 0 AND (
surface_ff_slocal >= 0.6 * surface_bdtoपो_tot
OR (surface_ff_res > 1000 AND surface_ff_ter > 1000))
```

N°4 Tertiaire - BDTOPO

- Pas de résidentiel dans les Fichiers fonciers
- Des bâtiments non résidentiels présents dans la BDTOPO
- Une surface totale dans la BDTOPO inférieure de 40% à celle des Fichiers fonciers

$surface_bdtopo_res = 0 \text{ AND } surface_bdtopo_tot \neq 0 \text{ AND } surface_ff_res = 0$
 $\text{AND } surface_ff_slocal < 0.6 * surface_bdtopo_tot$

N°5 Résidentiel et tertiaire - BDTOPO

- Du résidentiel dans les Fichiers fonciers
- Des bâtiments (tout usage) présents dans la BDTOPO
- Une surface totale dans la BDTOPO inférieure de 40% à celle des Fichiers fonciers

$surface_bdtopo_tot \neq 0 \text{ AND } surface_ff_res \neq 0$
 $\text{AND } surface_ff_slocal < 0.6 * surface_bdtopo_tot$

QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Les Fichiers fonciers sont utilisés pour estimer plus de 90% des bâtiments :

	Nombre de TUP	Nombre de bâtiments par TUP	Besoins en chaleur	Besoins en froid
N°1 Résidentiel Fichiers fonciers	17 810 milliers (90 %)	2.3 millions (83 %)	264 TWh (60 %)	18 TWh (35 %)
N°2 Tertiaire Fichiers fonciers	386 milliers (1.9 %)	0.67 millions (2.4 %)	44 TWh (10 %)	11 TWh (21 %)
N°3 Résidentiel et tertiaire Fichiers fonciers	801 milliers (4 %)	1.6 millions (5.8 %)	71 TWh (16 %)	10 TWh (19 %)
N°4 Tertiaire BDTOPO	66 milliers (0.3 %)	0.19 millions (0.7 %)	9 TWh (2 %)	2 TWh (4 %)
N°5 Résidentiel et tertiaire BDTOPO	695 milliers (3.5 %)	2.2 millions (8 %)	49 TWh (11 %)	11 TWh (21 %)

3/ Calcul des besoins en chaleur et en froid

Principe général

Les besoins en chaleur et en froid sont estimés pour les secteurs résidentiel et tertiaire. Pour ces deux secteurs, les données bâtementaires, en provenance des Fichiers fonciers ou de la BDTOPO en fonction de la classification de la TUP, sont croisées avec d'autres jeux de données pour estimer le besoin énergétique en fonction de ratios de consommation (kWh/m².an). Pour les besoins en chaleur, une correction climatique et une correction altimétrique sont appliquées pour affiner les ratios de consommation. Pour les besoins en froid, une correction par zone climatique est intégrée aux ratios de consommation.

Préparation des données

Les données des Fichiers fonciers et de la BDTOPO sont retravaillées pour être uniformisées et pour permettre le croisement avec d'autres bases de données. Dans la suite, les variables utilisées sont présentées avec le détail des filtres et/ou transformations appliqués pour le secteur résidentiel puis le secteur tertiaire.

Secteur résidentiel - Fichiers fonciers

logh : logement d'habitation

filtre : **logh** = t

dteloc : type de local, variable renommée « typl » (maison = 1 | appartement = 2)

filtre : **dteloc** IN ('1', '2')

proba_rprs : probabilité de résidence principale (RP) /secondaire (RS), variable renommée « catl » pour « catégorie de logement »

```

WHEN proba_rprs IN ('AC', 'NO', 'PM', 'RP', 'INCONNU')
THEN 'RP'
WHEN proba_rprs = 'RS'
THEN 'RS'

```

jannath : année de construction. Par défaut, si l'année de construction n'est pas connue, l'année de construction est affectée à AP_2013, car à partir de 2012, les logements sont conçus pour moins consommer de chaleur, cela évite donc de surévaluer le besoin

```

WHEN jannath BETWEEN '1' AND '1970' THEN 'AV_1970'
WHEN jannath BETWEEN '1971' AND '1990' THEN '1971-1990'
WHEN jannath BETWEEN '1991' AND '2005' THEN '1991_2005'
WHEN jannath BETWEEN '2006' AND '2013' THEN '2006_2013'
WHEN jannath = '0' OR jannath > '2013' THEN 'AP_2013'

```

stoth : surface totale des pièces d'habitation, variable renommée « surface »

Secteur tertiaire - Fichiers fonciers

logh : logement d'habitation

filtre : **logh** IS NULL

typeact : type d'activité, variable renommé « secteur » avec bureaux (**BUR**), santé (**SAN**), enseignement (**ENS**), cafés hôtels restaurants (**CHR**), habitat communautaire (**HAB**), commerces (**COM**), sports culture loisirs équipements collectifs (**SCLE**).

```
WHEN typeact IN ('BUR1', 'BUR2', 'BUR3')
THEN 'BUR'
WHEN typeact IN ('CLI1', 'CLI2', 'CLI3', 'CLI4')
THEN 'SAN'
WHEN typeact IN ('ENS1', 'ENS2')
THEN 'ENS'
WHEN typeact IN ('HOT1', 'HOT2', 'HOT3', 'HOT5')
THEN 'CHR'
WHEN typeact = 'HOT4'
THEN 'HAB'
WHEN typeact IN ('MAG1', 'MAG2', 'MAG3', 'MAG4', 'MAG5')
THEN 'COM'
WHEN typeact IN ('SPE1', 'SPE2', 'SPE3', 'SPE6', 'SPE7')
THEN 'SCLE'
```

Les secteurs d'activité ci-dessus sont ceux du CEREN. Ils manquent toutefois de précision pour estimer les besoins des patinoires, des piscines (besoins énergétiques spécifiques) et des hébergements de loisirs (taux de vacance important).

La base de données ZAI de la BDTOPO est utilisée pour préciser l'usage de ces bâtiments : le secteur d'activité est mis à jour pour les locaux de Fichiers fonciers de ces secteurs d'activités (1) et qui intersectent une ZAI correspondante (2).

(1) **typeact** IN ('HOT4', 'SPE2', 'SPE3', 'SPE6', 'SP7')

(2) **nature** IN ('Patinoire', 'Piscine', 'Hebergement de loisirs')

Cela fait donc trois nouveaux secteurs d'activités nommés 'PAT', 'PISC' et 'CAMP'

sprincp et **ssecp** : surface des parties principales professionnelles et surface des parties secondaires couvertes professionnelles, variable renommée « surface »

surface = **sprincp** + **ssecp**

[> voir la documentation des Fichiers fonciers](#)

Conditions supplémentaires

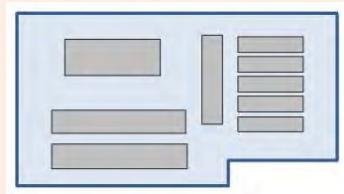
Pour l'ensemble des données sélectionnées, deux précautions sont également prises en retirant les locaux dont la géolocalisation n'est pas complétée, si leur surface est nulle ou s'ils sont dans des villes fantômes (cela concerne les communes dont le code INSEE de la commune est 55050, 55139, 55239, 55307, 55039, 55189).

Secteur tertiaire - BDTOPO

La préparation des bâtiments de la BDTOPO est expliquée *page 6*. Suite à cette préparation, il reste à attribuer un (ou plusieurs) secteur d'activité à chaque bâtiment. Pour cela, la base de données Zone d'activité ou d'intérêt (ZAI) de la BDTOPO est utilisée.

Les ZAI sont de deux types. Il y a des ZAI non fictives, lorsque l'emprise au sol est connue et des ZAI fictives, lorsque l'emprise au sol n'est pas connue.

ZAI non fictive



ZAI fictive
(carré de 5x5m)



[> voir la documentation de la BDTOPO](#)

De plus, les ZAI ne couvrent pas l'ensemble des bâtiments. Le travail d'attribution d'un secteur d'activité se fait donc en trois étapes. Une table de correspondance entre les caractéristiques des ZAI et les secteurs d'activité du CEREN (élargis en incluant les patinoires, piscines et hébergements de loisirs) a été créée au préalable.

ÉTAPE 1 - utilisation des ZAI non fictives

Les bâtiments dont l'emprise est incluse dans l'emprise des ZAI se voient attribuer le(s) secteur(s) d'activité associé(s) à la/aux ZAI.

ÉTAPE 2 - utilisation des ZAI fictives

Les bâtiments dans lesquels est incluse une ZAI fictive se voient attribuer le secteur d'activité associé à la ZAI.

ÉTAPE 3 - attribution de secteurs d'activité par défaut

Étant donné la nature des ZAI présentes dans la base de données, les bâtiments sans secteurs d'activité après les étapes 1 et 2 sont majoritairement des bureaux ou des commerces. De plus, d'après l'étude de l'[ADEME](#), les bureaux et commerces sont les branches du secteur tertiaire qui consomment le plus d'énergie. Par défaut, on attribue donc à ces bâtiments le double secteur d'activité 'BUR' et 'COM', pour obtenir un ratio moyen entre ces deux secteurs.

ÉTAPE 4 - retrait des bâtiments sans ZAI s'il n'y a pas de données FF

Tous les bâtiments de la BDTOPO estimés par les méthodes n°4 et n°5 (*cf. page 7*) qui n'intersectent pas de ZAI et qui sont sur des TUP qui ne recensent pas de surface tertiaire ou résidentielle dans les Fichiers fonciers sont supprimés. Ces bâtiments sont majoritairement des hangars, des préaux de gares, etc.

Les ratios de consommation



Pour attribuer un besoin énergétique aux bâtiments des Fichiers fonciers et de la BDTOPO Bâtiment, des ratios de consommations unitaires sont appliqués et ventilés selon les surfaces de plancher estimées. Les ratios de consommations sont fournis par le CEREN (2023) pour le chauffage et l'ECS (eau chaude sanitaire), et par l'ADEME (2022) dans l'étude Transition(s) 2050 pour le froid.

Les ratios sont fonction de différentes caractéristiques descriptives des bâtiments pour les secteurs résidentiel et tertiaire. Les données des Fichiers fonciers et de la BDTOPO Bâtiment sont préparées au préalable pour être définies selon ces mêmes caractéristiques.

Les ratios de consommation sont divisés par deux pour les résidences secondaires afin de prendre en compte le taux d'occupation.

Secteur résidentiel

Pour la chaleur

Les ratios de consommations sont fournis en fonction de l'année de construction et du type de logement (maison ou appartement).

Pour le froid

Les ratios de consommations sont fournis en fonction de la zone climatique et du type de logement (maison ou appartement).

Secteur tertiaire

Pour la chaleur

Les ratios de consommation sont ventilés selon le secteur d'activité.

Pour le froid

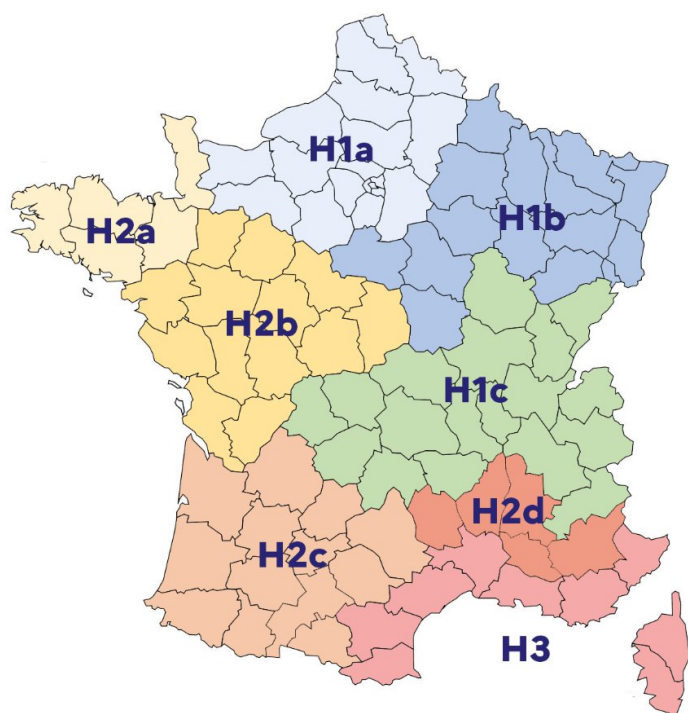
Les ratios de consommations dépendent de la zone climatique et du secteur d'activité.

Les secteurs d'activités renseignés par le CEREN sont :

- bureau (BUR)
- café-hôtel-restaurant (CHR)
- commerce (COM)
- enseignement (ENS)
- habitat communautaire (HAB)
- sport culture loisirs équipements collectifs (SCLE)

Trois secteurs d'activités sont ajoutés pour affiner ceux du CEREN :

- camping (= HAB/2 pour prendre en compte le taux d'occupation)
- patinoire pour les besoins de froid (défini à partir de retours d'expérience et de bibliographie)
- piscine pour les besoins de chaleur (défini à partir de retours d'expérience et de bibliographie)



< Zones climatiques en France

Correction climatique

Les ratios de consommations de chaleur du CEREN sont nationaux. Une correction climatique est donc appliquée à ces ratios pour prendre en compte les variations de rigueur climatique selon les départements. Les ratios d'ECS (eau chaude sanitaire) ne sont pas corrigés car considérés comme non climato-dépendants.

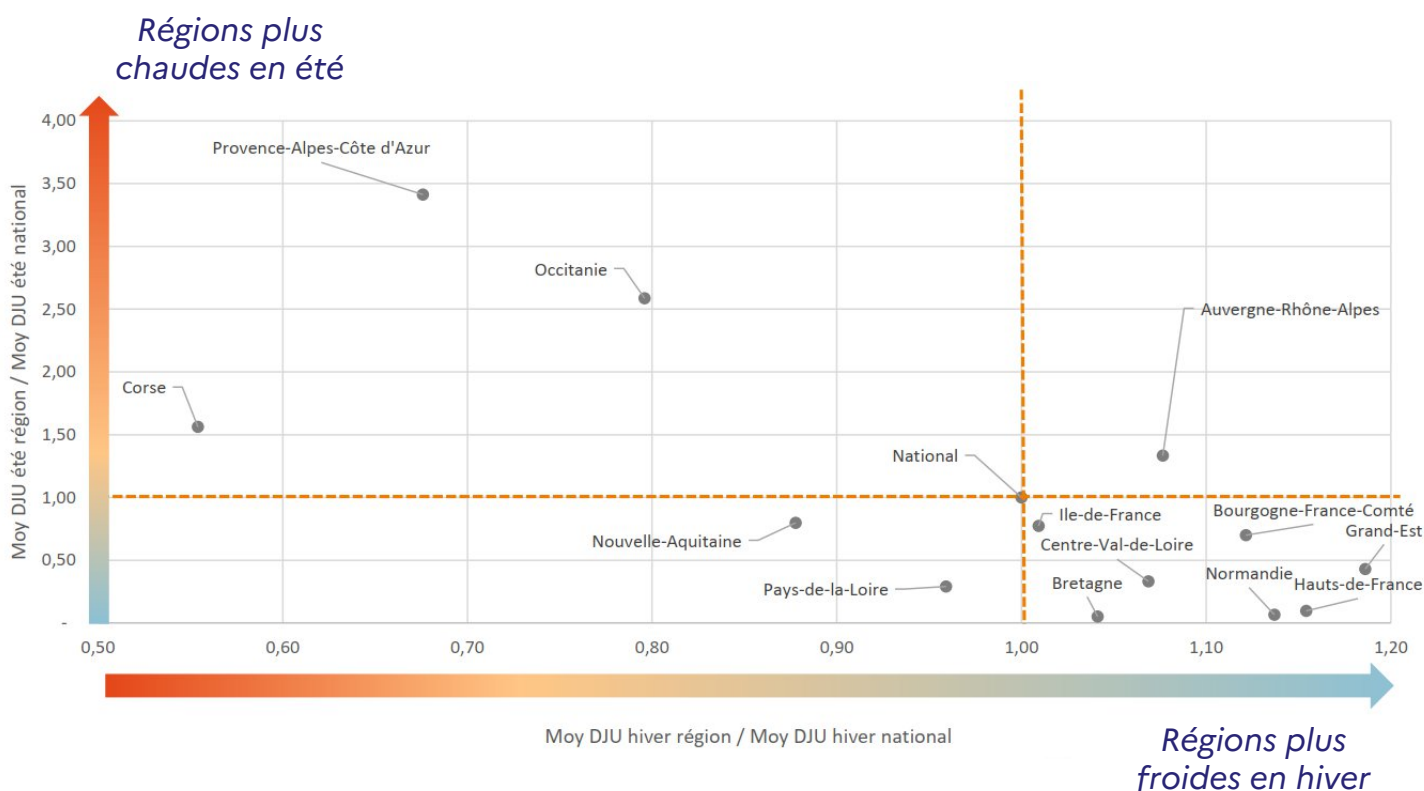
Les ratios de consommations de froid de l'ADEME sont fournis pour chaque zone climatique. Il n'est donc pas nécessaire d'y ajouter une correction climatique.

On utilise les Degrés Jours Unifiés hiver (base 18°C) fournis par Météo France. Pour s'affranchir de la variabilité climatique d'année en année, les DJU départementaux et nationaux utilisés sont moyennés sur une période de 10 ans (2012-2022).

La modulation sur chaque département des besoins estimés à partir de ratios de consommations nationaux se fait ensuite en appliquant le facteur de correction climatique suivant :

$$\text{Facteur de correction climatique} = \frac{\text{fact_corr_climat}_{\text{dept}} = \text{DJU}_{\text{moy dept}}}{\text{DJU}_{\text{moy france}}}$$

REPARTITIONS DES CLIMATS RÉGIONAUX



Correction altimétrique

Les besoins énergétiques des bâtiments varient avec l'altitude. Cette partie présente la modulation des besoins en chaleur grâce à un facteur de correction altimétrique. Elle est appliquée pour les départements avec du relief (ie. plus ou moins 200 mètres d'écart sur le département par rapport à l'altitude de référence de la station météo). Par manque de ressources bibliographiques, une telle correction n'est pas effectuée pour les besoins en froid.

D'après le modèle atmosphérique normalisé, la température chute de 6.5°C par kilomètre de dénivelé. Entre deux points, on a donc :

$$(1) T_A - T_B = 6.5 \times (\text{alti}_A - \text{alti}_B) / 1000$$

Pour prendre en compte ce phénomène physique, une [étude scientifique produite par l'Université d'Artois](#) est utilisée. Elle établit une relation entre les DJU et la température T_B la plus basse ressentie en hiver :

$$(2) DJU_B = - 100.51 T_B + 1704.1$$

Pour effectuer cette correction, nous choisissons l'IRIS comme granulométrie. L'objectif est donc de trouver un lien entre le DJU à l'IRIS DJU_{IRIS} et le DJU départemental mesuré à la station météorologique DJU_{dept} . L'altitude des stations météorologiques alti_{dept} est fournie par Météo France et l'altitude au centroïde de chaque IRIS alti_{IRIS} a pu être calculée en utilisant le RGE Alti de l'IGN. En combinant (1) et (2), on obtient :

$$(3) DJU_{IRIS} = DJU_{dept} - 0.65 (\text{alti}_{IRIS} - \text{alti}_{dept})$$

Pour deux zones avec des DJU différents, la consommation varie proportionnellement :

$$(4) \text{conso}_A = (DJU_A / DJU_B) \times \text{conso}_B$$

Ainsi le facteur de correction climatique s'exprime comme le rapport entre les deux DJU et on obtient pour chaque IRIS :

Facteur de correction altimétrique = _____

$$\text{fact_corr_alti}_{IRIS} = 1 - 0.65 * (\text{alti}_{IRIS} - \text{alti}_{dept}) / DJU_{dept}$$

SYNTHÈSE - CALCUL DES BESOINS



Besoins en chaleur =

ratio de consommation
x surface à chauffer
x facteur de correction climatique
x facteur de correction altimétrique



Besoins en froid =

ratio de consommation
x surface à climatiser

Les besoins en 2050

Les réseaux de chaleur et de froid sont des infrastructures ayant une durée de vie de plusieurs dizaines d'années et qui mettent du temps à se mettre en place. Dès aujourd'hui, il faut donc anticiper les évolutions futures des besoins en chaleur et en froid et de disponibilité des énergies renouvelables et de récupération. Une volet « prospective » à horizon 2050 est donc intégré au projet EnRezo.

Plusieurs critères vont changer dans les décennies à venir et influencer les besoins en chaleur et en froid :



la réhabilitation/rénovation des bâtiments existants



la construction de nouveaux bâtiments



le taux d'équipement des bâtiments (notamment concernant la climatisation)



la performance des systèmes énergétiques et les habitudes de consommation



le climat

Ces critères ne sont pas tous facilement quantifiables et spatialisables, notamment ce qui relève du parc bâti (rénovation et construction). La présente méthode s'appuie majoritairement sur l'étude Transition(s) 2050, réalisée par l'ADEME en 2022, qui scénarise l'atteinte de la neutralité carbone de notre pays selon quatre scénarios de référence :



01

GÉNÉRATION FRUGALE

La transition est conduite principalement par la contrainte et par la sobriété.



02

COOPÉRATIONS TERRITORIALES

La société se transforme dans le cadre d'une gouvernance partagée.



03

TECHNOLOGIES VERTES

L'innovation est mise au service de systèmes énergétiques décarbonés.



04

PARI RÉPARATEUR

La société place sa confiance dans la capacité à réparer, les systèmes sociaux et écologiques.

Méthode « 2050 »

La méthode précédemment décrite, mise en œuvre pour estimer les besoins actuels, est reprise dans son ensemble. Au vue des données disponibles, deux bases de données sont adaptées au contexte futur :

- les **ratios de consommation** en chaleur et en froid,
- la **correction climatique** des besoins en chaleur pour corriger les ratios nationaux en fonction du climat local et de son évolution.

Construction des ratios de chaleur et de froid « 2050 »

Des ratios « 2050 » sont construits pour chacun des scénarios de l'ADEME (tendanciel, S1, S2, S3 et S4) sur le même modèle que les ratios « actuels » afin de pouvoir réaliser les correspondances avec les autres bases de données utilisées (cf. page 14).

Pour la chaleur

Pour chaque scénario, l'ADEME fournit les ratios de consommation des bâtiments tertiaires (chauffage et ECS) et résidentiels (chauffage uniquement). Le besoin en ECS du secteur résidentiel est recalculé à partir des estimations de consommations nationales et de la surface des logements projetés dans chaque scénario.

Pour le résidentiel, ces ratios dépendent :

- de l'année de construction (avant 1970, 1970-1990, 1991-2006, 2006-2012, après 2012),
- du type de logement (maison ou appartement),
- de la catégorie de logement (résidence principale ou secondaire).

Pour les bâtiments tertiaires, les ratios dépendent du secteur d'activité (bureau, café hôtel restaurant, commerce, enseignement, habitat communautaire, santé, sport culture loisirs équipements collectifs et transport). A noter que, comme pour les ratios « actuels », les piscines ont fait l'objet d'un traitement particulier, en extrapolant l'évolution des ratios de consommation observé sur le secteur d'activité sport culture loisirs équipements collectifs.

Pour le froid

Pour le scénario tendanciel et dans chaque zone climatique (H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d et H3), l'ADEME fournit les estimation de consommations nationales pour les secteurs résidentiel et tertiaire ainsi que les surfaces climatisées estimées. Un ratio est donc constitué pour chaque type et catégorie de logement (maison ou appartement ; résidence principale ou secondaire) et chaque secteur d'activité pour le tertiaire.

Les ratios pour les scénarios S1, S2, S3 et S4 sont ensuite calculés grâce au tableau "Modèle_Climatisation_V2.0_public" (onglets "Synthèse_Scénarios_Tertiaire" et "Synthèse_Scénarios_résidentiel"), issu de l'étude sur la climatisation en 2050, donnant un rapport entre un ratio global sur scénario tendanciel et des ratios globaux des autres scénarios.

[Voir l'étude complète de l'ADEME sur la climatisation en 2050 >](#)

Correction climatique « 2050 »

La correction climatique « 2050 » est basée sur les DJU « 2050 » modélisés par Copernicus. La modélisation fournit des DJU à une maille d'environ 20 km qui sont ensuite agrégés à la maille départementale et nationale pour calculer le facteur de correction climatique « 2050 ». (Le calcul se fait sur le même modèle que pour le climat actuel - cf. page 12)

[Voir l'outil en ligne et la documentation sur Copernicus >](#)

4/ Visualisation des besoins en chaleur et en froid

Choisir la visualisation adaptée

L'estimation des besoins précédemment réalisée est spatialisée grâce à la géolocalisation des Fichiers fonciers et de la BDTOPO Bâtiment. Comme illustré page 2, la géolocalisation des Fichiers fonciers est un point localisé sur la parcelle, tandis que pour la BDTOPO Bâtiment, l'emprise au sol du bâtiment est connue.

Afin d'**uniformiser l'affichage des besoins**, plusieurs agrégations sont réalisées, tout d'abord à la **TUP**, car c'est la seule entité géographique sur laquelle il est certain de ne pas avoir de doublon ou de manque étant donné la méthodologie mise en œuvre. Les besoins à la TUP sont ensuite ventilés sur les **bâtiments** présents sur cette même TUP. A partir des besoins des bâtiments, une agrégation est ensuite réalisée sur des **carreaux de 100x100m**.

Agrégation des besoins à la TUP

Les besoins de chaleur et de froid estimés sont facilement associables à une TUP. Les bâtiments de la BDTOPO peuvent chevaucher une TUP adjacente en raison de l'incertitude de la géolocalisation. Pour s'affranchir de ce biais, l'association du bâtiment à une TUP se fait en intersectant un point localisé sur le bâtiment (fonction PostGIS `ST_PointOnSurface`) plutôt qu'en utilisant l'ensemble de l'emprise du bâtiment.



Agrégation des besoins au bâtiment

Les besoins agrégés à la TUP sont projetés sur l'emprise au sol des bâtiments de la BDTOPO Bâtiment.

Pour le résidentiel, les besoins de la TUP sont ventilés sur tous les bâtiments de la TUP en fonction de la surface du bâtiment (cf. méthode d'estimation de la surface page 5).

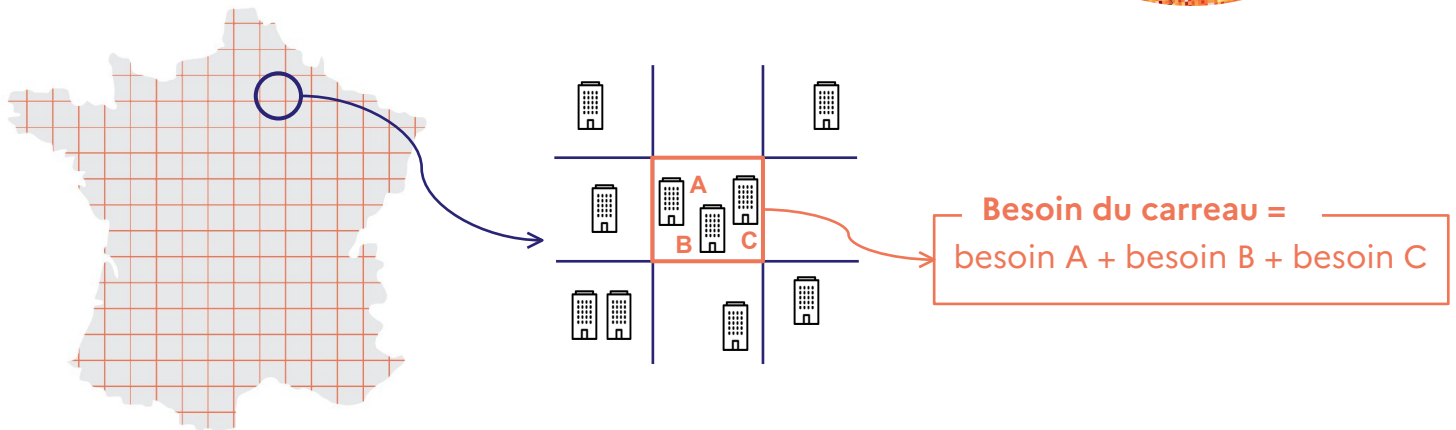
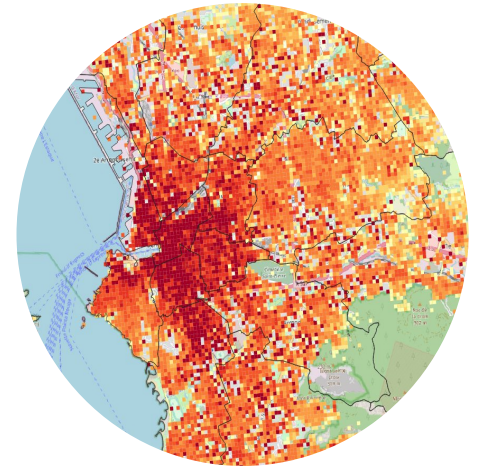
Pour le tertiaire, les besoins sont également ventilés en fonction de la surface du bâtiment pour les TUP estimées par méthode 1, 2 et 3. Pour les TUP estimées par méthode 4 et 5, les besoins étant déjà calculés au bâtiment, ce sont ces estimations qui sont directement reprises.



Agrégation des besoins au carreau

Les besoins de chaleur et de froid à l'échelle du bâtiment précédemment calculés sont agrégés pour obtenir une visualisation sur un carroyage de 100x100m.

En effet, dans les Fichiers fonciers, plusieurs bâtiments recouvrant des carreaux différents peuvent être géolocalisés au même endroit sur la parcelle. Quant aux TUP, elles recouvrent parfois plusieurs carreaux ce qui rend difficile, l'affectation à un carreau. De plus, la TUP peut être grande avec un/des bâtiments présents à un endroit très localisés sur la TUP.



LIMITES DES TROIS ÉCHELLES DE VISUALISATION

TUP

La géolocalisation des besoins à la TUP est moins source d'erreur.

La visualisation à la TUP est biaisée par la taille de la TUP et il est difficile de se repérer.

De nombreuses bases de données travaillent à la TUP ce qui simplifie les croisements.

Bâtiment

Il est simple de se repérer sur la carte et d'identifier des bâtiments avec un fort potentiel.

Pour des équipements complexe (ex hôpital) avec beaucoup de bâtiments, le besoin total du complexe n'est pas identifiable si on ne connaît pas le terrain.

Carreau

La visualisation des carreaux est très lisible à une échelle macro mais insuffisante à une échelle micro.

Le carreau montre la concentration des besoins mais fait abstractions de critères comme le nombre de propriétaires/bâtiments au sein de ce carreau qui impactent le potentiel d'un RCF.

5/ Validation de la méthode

Comparaison à des données réelles

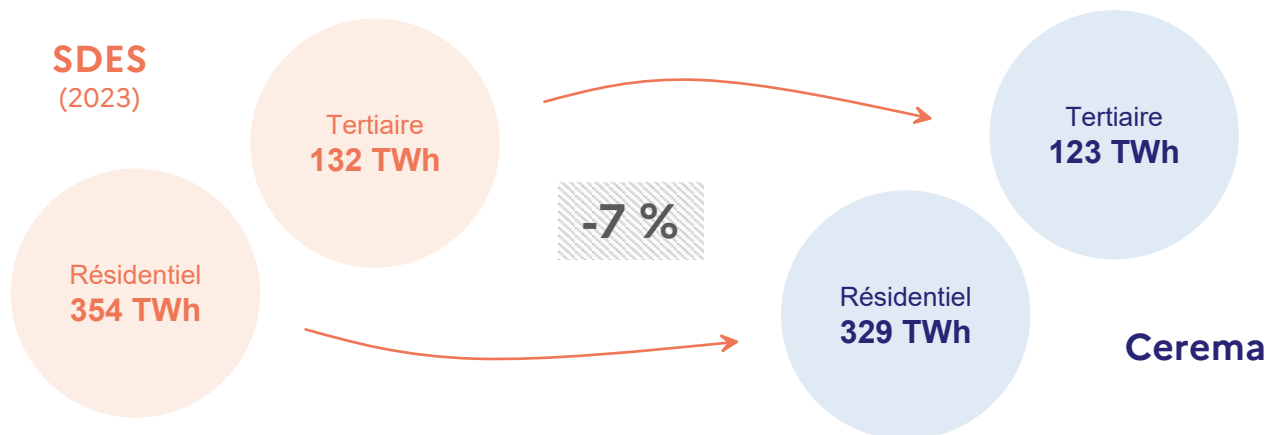
Afin de vérifier la cohérence de l'estimation des besoins en chaleur et en froid, une comparaison à des données réelles a été réalisée. Les données réelles de consommation utilisées proviennent des Chiffrés clés de l'énergie publiés chaque année par le SDES.

> [Chiffrés clés de l'énergie - édition 2023](#)

D'après les données du SDES basées sur l'année 2022 (corrigées des variations climatiques), les secteurs **résidentiel et tertiaire** consomment respectivement **473 TWh** et **265 TWh** tous usages confondus. D'après le CEREN, la consommation d'ECS correspond à environ 10% de la consommations globale des secteurs résidentiel et tertiaire. Le chauffage représente environ 65% de la consommation globale dans le résidentiel et 40% dans le tertiaire.

COMPARAISON DE L'ESTIMATION DE CHALEUR

Pour rappel (cf. page 6), les surfaces chauffées ou climatisées sont surestimées de 14% par rapport aux chiffres du CEREN de 2021.



ACCÈS AUX DONNÉES
[Portail EnRezo](#)

CONTACT
reseaux-chaleur@cerema.fr

RÉDACTION ET MISE EN FORME
Laurine Decros

RELECTURE
Luc Petitpain et Cindy Melfort