

# IDENTIFICATION DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX DE FROID AU REGARD DE L'ENJEU « ÎLOT DE CHALEUR URBAIN »

**ANALYSE THEMATIQUE**

© Freepik

Dans le cadre du projet EnRezo et de la directive européenne pour l'efficacité énergétique, le Cerema produit des analyses thématiques sur le déploiement des filières d'énergies renouvelables afin d'alimenter les réseaux de chaleur et de froid.

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



## Introduction

Le phénomène d'**îlot de chaleur urbain (ICU)** est caractérisé par l'élévation des températures de l'air et de la surface des sols des zones urbaines, particulièrement la nuit. Il est expliqué par la forme de la ville et des bâtiments, le type de matériaux utilisé, le climat régional ou encore l'imperméabilisation des sols.

Le réchauffement climatique rendant de plus en plus fréquentes les vagues de chaleur, il devient primordial de concilier densité urbaine et atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain pour adapter la ville au changement climatique.

Le développement de **réseaux de froid** permettrait d'éviter une utilisation massive de systèmes de refroidissement individuels tels que les pompes à chaleur aérothermiques, qui contribuent à l'augmentation de cet effet d'ICU.

Le Cerema a développé une cartographie des « Local Climate Zones » ou zones climatiques locales (LCZ) visant à identifier les secteurs les plus sensibles à cet effet d'ICU. Cette cartographie, qui couvre les aires urbaines de plus de 50 000 habitants, est basée sur la méthode de classification des **zones climatiques locales (LCZ)**, connue internationalement, et l'utilisation de l'imagerie satellitaire.

Ces données, croisées avec les données du projet EnRezo, permettent de qualifier une **zone d'opportunité pour le développement d'un réseau de froid** comme prioritaire au regard de la sensibilité à l'enjeu ICU.

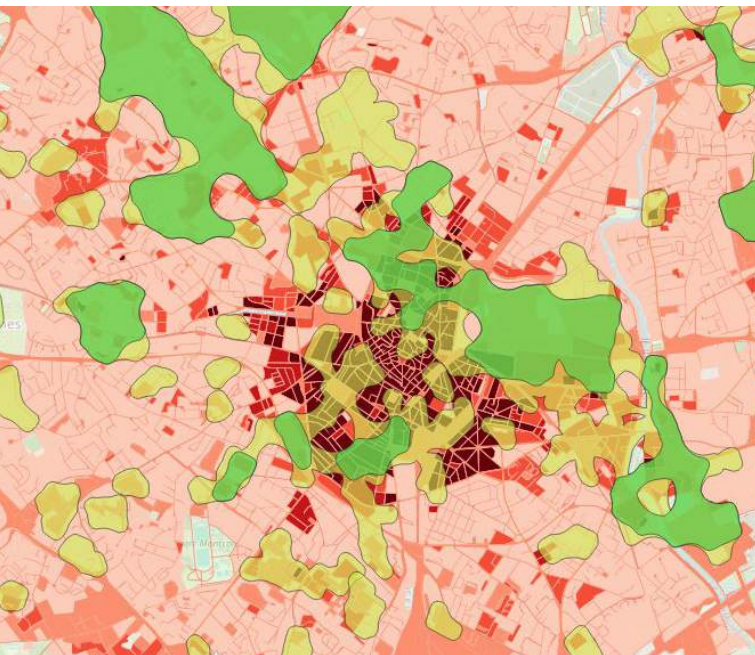
Cette note méthodologique décrit les hypothèses choisies ainsi que la méthode utilisée pour définir ce paramètre.





## 1/ Présentation de l'étude

A partir des données du Cerema produites dans le cadre du projet des **Local Climate Zones (LCZ)** et des données EnRezo, il est possible d'identifier les zones dans lesquelles il est d'autant plus pertinent de recourir à une solution collective de rafraîchissement (réseau de froid) afin de ne pas amplifier un éventuel effet d'îlot de chaleur urbain (ICU).

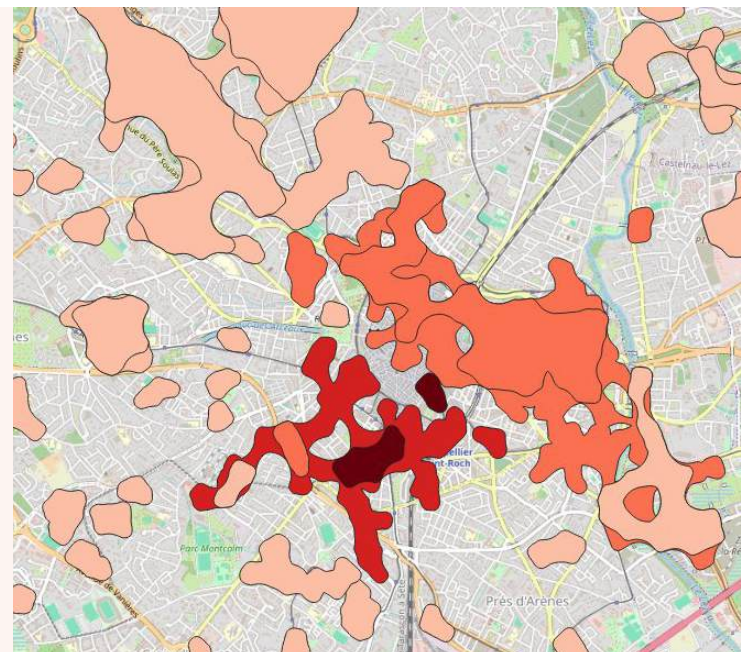


### 1 Méthodologie employée

Un croisement entre le jeu de données sur les LCZ et celui sur les zones d'opportunité « réseau de froid » (EnRezo) est réalisé. Il permet d'estimer un niveau de sensibilité de la zone d'opportunité à l'effet d'ICU.

### 2 Résultats - Identification des zones d'opportunités prioritaires

À partir de l'estimation du niveau de sensibilité de chaque zone d'opportunité au phénomène d'ICU, on peut identifier celles qui sont prioritaires pour le développement de réseaux de froid.





## 2/ Méthodologie employée

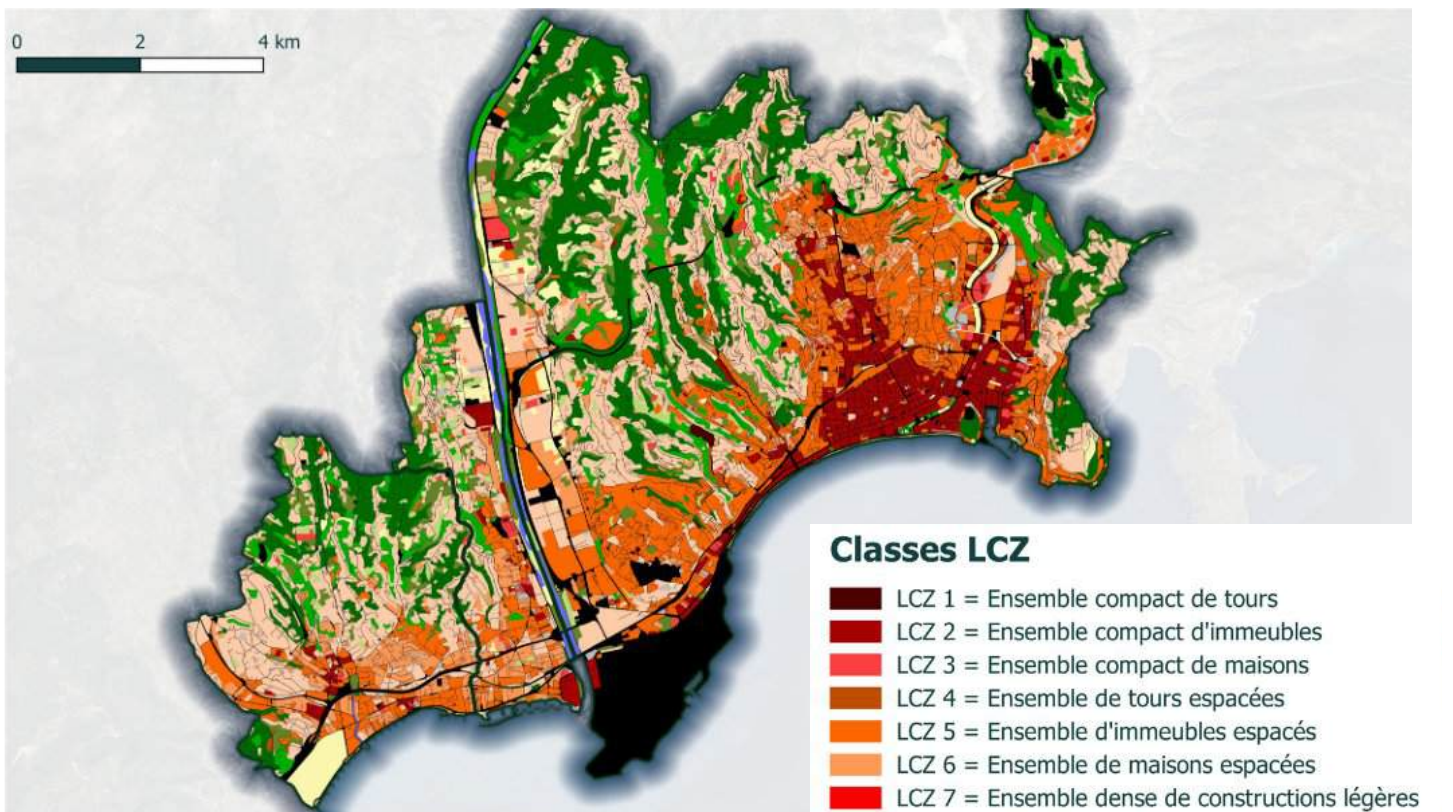
### DONNÉES D'ENTRÉE - LES CLASSES LCZ

Le Cerema a établi, sur 83 aires urbaines (aires urbaines de plus de 50 000 habitants), une carte de classes « Local Climate Zones » (LCZ) basées sur l'occupation des sols et la morphologie urbaine.

Cette cartographie permet d'identifier les secteurs les plus sensibles à l'ICU dans ces territoires.

### CARTOGRAPHIE DES LCZ SUR NICE, SAINT-LAURENT-DU-VAR ET CAGNES-SUR-MER

Échelle : 1 / 80 000 - Source : Photo aérienne © IGN - www.cerema.fr



La carte des classes LCZ permet de caractériser la sensibilité au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) dans les territoires. Aussi, pour chaque classes LCZ, un attribut « *uhi\_sensi* » caractérisant la sensibilité à l'ICU des espaces est affecté tel que décrit dans le tableau ci-dessous :

Classe LCZ	« <i>uhi_sensi</i> » associé
1 ; 2	5
3	4
4 ; 5	3

Classe LCZ	« <i>uhi_sensi</i> » associé
7 ; 8 ; E	2
6 ; 9	1
A ; B ; C ; D ; F ; G	0

## CROISEMENT ET ÉVALUATION

Le croisement de ces données avec les zones d'opportunités du projet EnRezo, en créant l'attribut « *icu\_sensib* », permet de qualifier la sensibilité de la zone d'opportunité à l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Cet attribut, noté sur 100, correspond aux surfaces pondérée des LCZ présentes dans la zone d'opportunité.

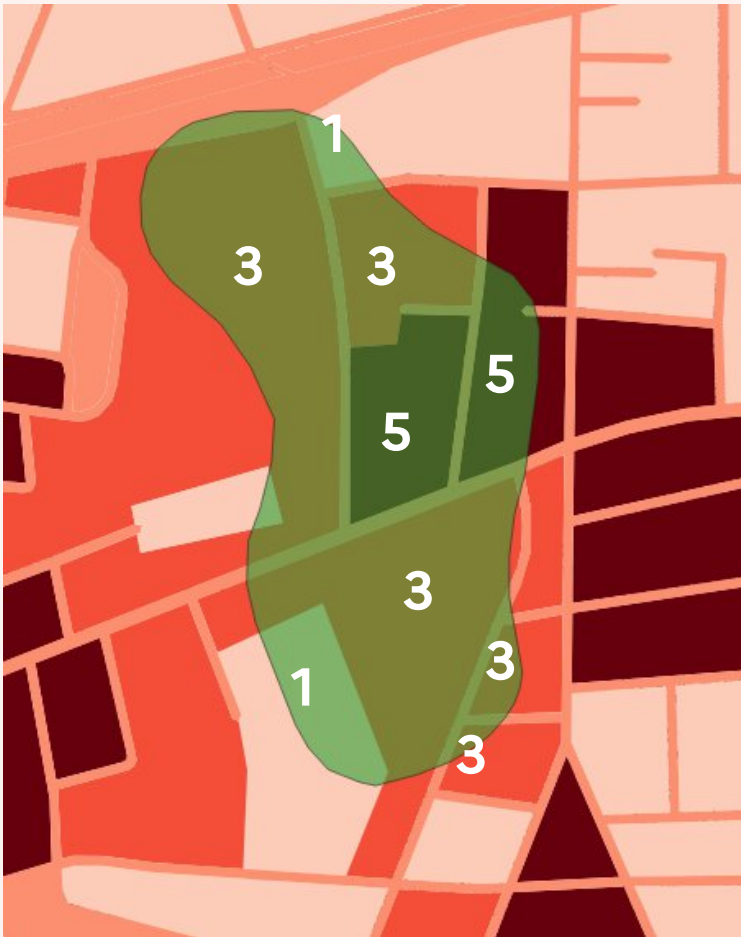
Il est calculé de la manière suivante :

$$icu\_sensib = \frac{\sum_i (A_{i(a,b)} * uhi\_sensi_b)}{\sum_i A_{i(a,b)}} * \frac{100}{5}$$

avec A : aire correspondante à l'intersection de la zone d'opportunité (a) avec la zone LCZ (b) caractérisée par une valeur de « *uhi\_sensi* » (décrite précédemment).

Pour rappel, les valeurs prises par « *uhi\_sensi* » vont de 0 à 5.

### EXEMPLE D'APPLICATION



Dans l'exemple ci-contre, on considère la zone d'opportunité **verte** ci-contre valant une aire totale de 100 et les aires d'intersection suivante :






- 10 pour la valeur « *uhi\_sensib* » de **1**,
- 70 pour la valeur « *uhi\_sensib* » de **3**,
- 20 pour la valeur « *uhi\_sensib* » de **5**.

→ L'« *icu\_sensib* » de la zone vaut alors **64** et est calculé de la manière suivante :

$$\frac{(10*1 + 70*3 + 20*5)}{100} * \frac{100}{5}$$



Une fois calculée, cette valeur « *icu\_sensib* » est ajoutée comme attribut à chaque zone d'opportunité, à laquelle on associe donc une valeur explicite (note sur 100) qui qualifie la sensibilité à l'ICU (cf. tableau ci-dessous).

Attribut	valeur « <i>icu_sensib</i> » calculée
Sensibilité faible à nulle	 [0 - 20[
Faible sensibilité	 [20 - 40[
Sensibilité modérée	 [40 - 60[
Forte sensibilité	 [60 - 80[
Très forte sensibilité	 [80 - 100]

## REMARQUES

Afin de simplifier les calculs de recoupement avec les zones d'opportunités EnRezo, l'étude a été faite en prenant en compte toutes les classes LCZ exceptée la classe « E », correspondante à un sol imperméable naturel ou artificiel. Dans le cas des zones d'opportunités pour le développement de réseaux de froid, cette classe LCZ recouvre majoritairement les routes.

Les zones d'opportunités pour le développement de réseaux de froid étant construites à partir de données sur les bâtiments, il reste cohérent de ne pas prendre en compte les LCZ de classe « E » pour cette évaluation (classe recouvrant majoritairement des routes comme évoqué précédemment et ne comprenant donc pas de bâtiments, hors cas particulier des terminaux aéroportuaires).

© Cerema - Vue de Paris



### 3/ Quelques repères

#### LES BESOINS EN FROID ENREZO

Estimation des besoins en froid de l'ensemble des bâtiments résidentiels et tertiaires, en France Hexagonale, par EnRezo.

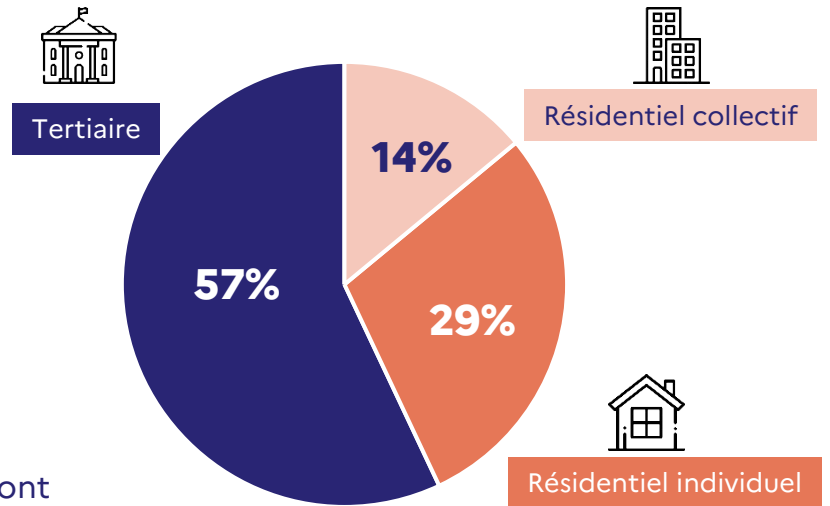
# 57 TWh

#### LES ZONES D'OPPORTUNITÉ ENREZO

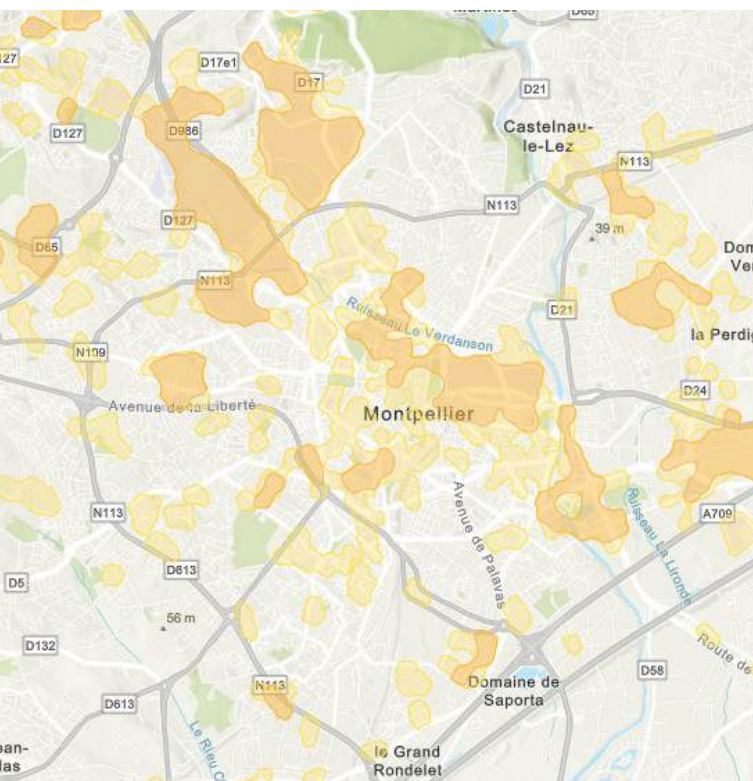
Deux types de zones d'opportunité sont construites pour la version « standard » d'EnRezo :

- Les zones à « fort potentiel » qui prennent en compte les bâtiments dont les besoins en froid sont supérieurs à 300 MWh/an ;
- Les zones à « potentiel » qui prennent en compte les bâtiments dont les besoins en froid sont supérieurs à 100 MWh/an.

#### RÉPARTITION DES BESOINS EN FROID



Les zones d'opportunités correspondent à des secteurs favorables, d'un point de vue technique, au développement des réseaux de froid.



**Les zones à « fort potentiel »**  
4% des besoins nationaux de froid



## 2,5 TWh



Plus de **20 000** bâtiments

**Les zones à « potentiel »**  
12% des besoins nationaux de froid



## 6,8 TWh



Plus de **78 000** bâtiments



Pour en savoir plus sur la construction des zones :

<https://reseaux-chaleur.cerema.fr/espace-documentaire/enrezo>

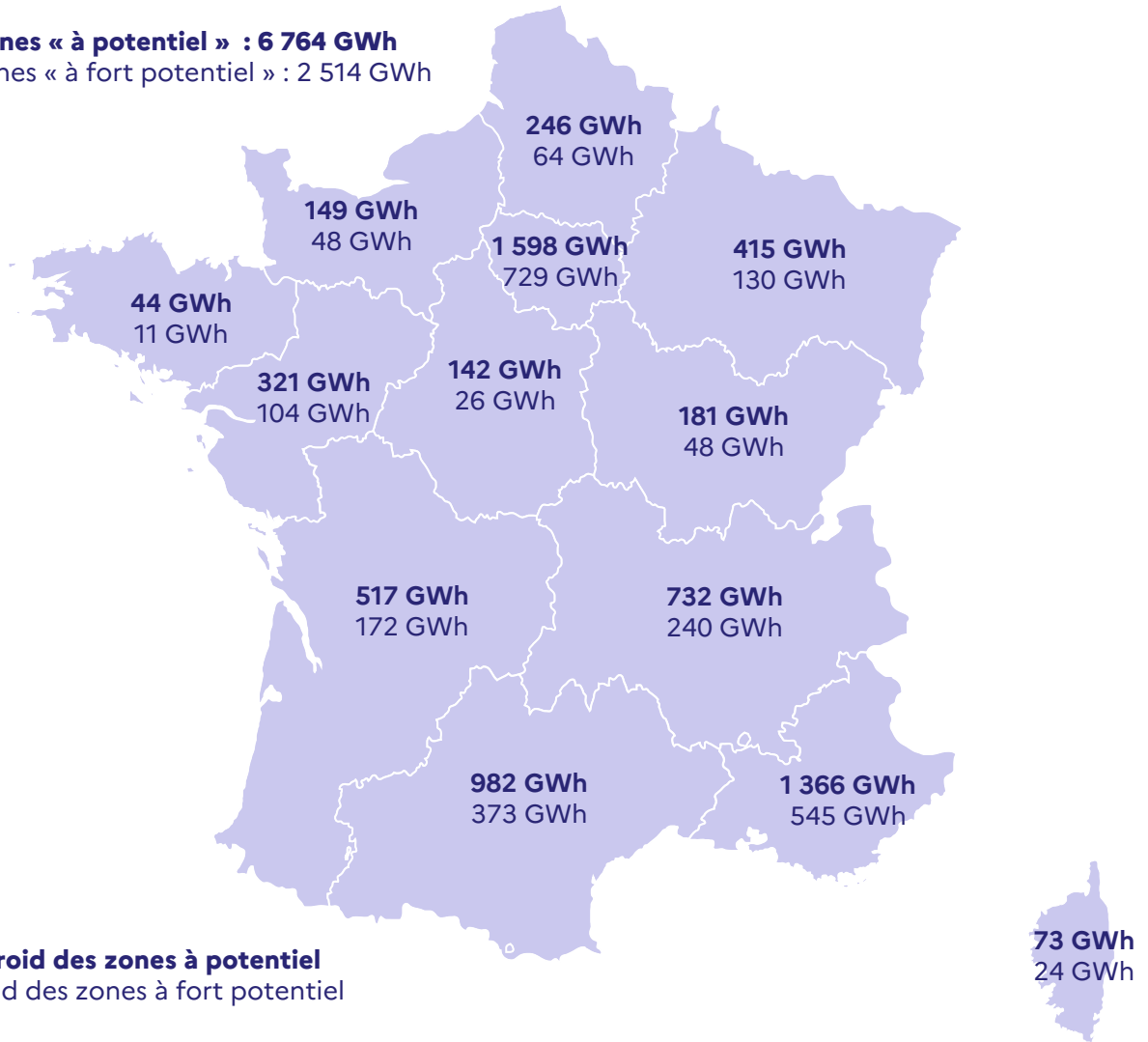


## RÉPARTITION RÉGIONALE DES ZONES « À POTENTIEL » et « À FORT POTENTIEL » DE DÉVELOPPEMENT DE RÉSEAU DE FROID

### NATIONAL

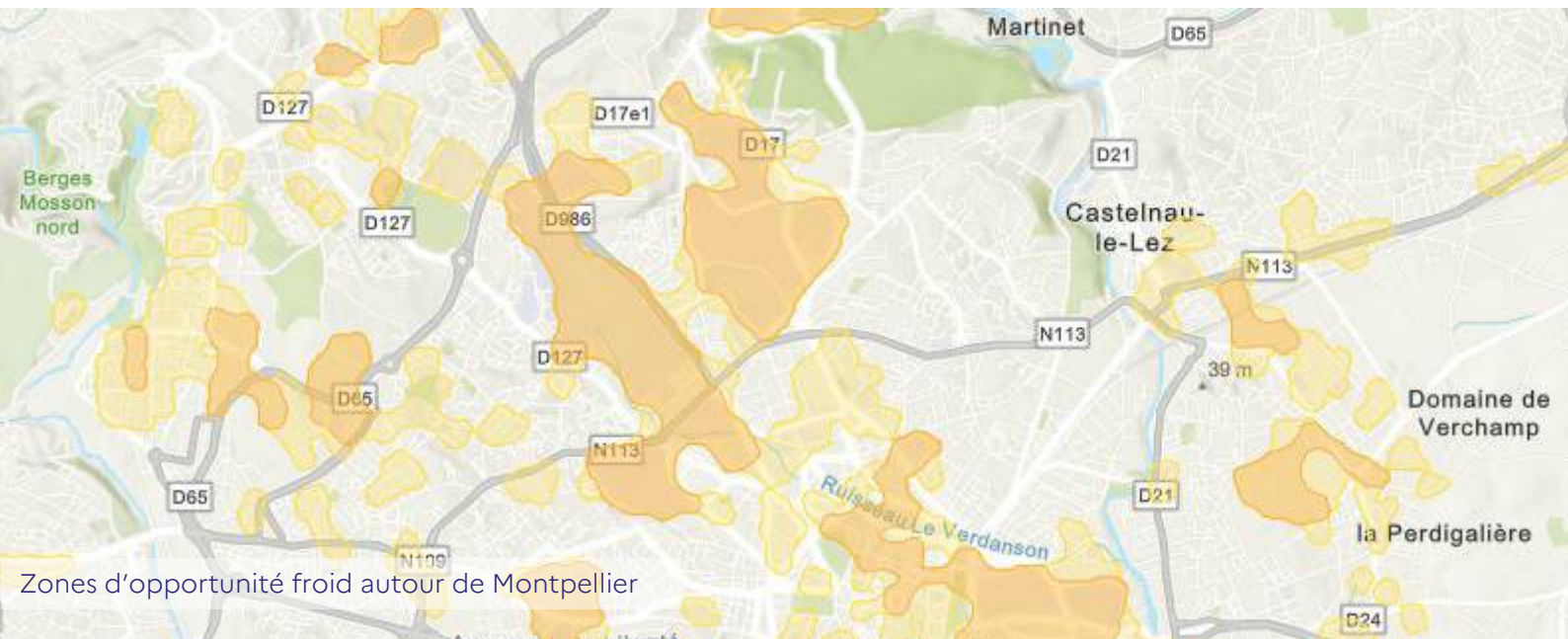
**Besoins des zones « à potentiel » : 6 764 GWh**

Besoins des zones « à fort potentiel » : 2 514 GWh



### Besoins en froid des zones à potentiel

Besoins en froid des zones à fort potentiel



## ÉTAT DES LIEUX DES RÉSEAUX DE FROID EN FRANCE EN 2022



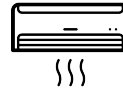
**40**  
réseaux de froid



**1 563**  
bâtiments raccordés



**0,29TWh**  
d'énergie consommée



**1 TWh**  
de froid livré

Chiffres de l'Enquête Annuelle des Réseaux de Chaleur et de Froid 2023 pour l'année 2022

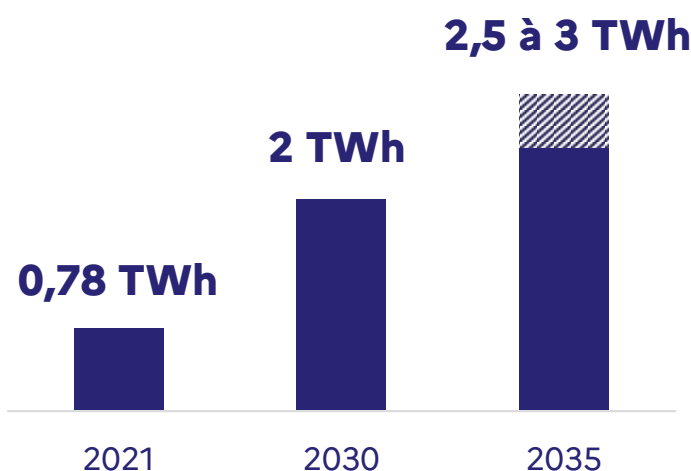
Pour en savoir plus sur l'enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid : <https://fedene.fr/lenquete-2023-sur-les-reseaux-de-chaleur-froid-en-france/>

Les **réseaux de froid actuellement en service** couvrent respectivement 40 % et 15% des besoins identifiés dans les zones d'opportunités « **à fort potentiel** » et « **à potentiel** » du projet EnRezo.

## LES OBJECTIFS DE LA STRATÉGIE FRANÇAISE ÉNERGIE CLIMAT (SFEC)



Les objectifs de développement des réseaux de froid



Les zones d'opportunité « **à fort potentiel** » correspondent respectivement à 125 % et 83 % de l'objectif de développement des réseaux de froid à l'horizon 2030 et 2035.

Les zones d'opportunité « **à potentiel** » correspondent respectivement à 340% et 225% de développement des réseaux de froid à l'horizon 2030 et 2035.

Pour en savoir plus sur la SFEC :

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/23242\\_Strategie-energie-climat.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/23242_Strategie-energie-climat.pdf)



## 4/ Les zones d'opportunité à « forte » et « très forte » sensibilité à l'effet d'ICU

Un focus est réalisé sur les zones à sensibilité « forte » et « très forte » à l'ICU (valeur de l' « *icu\_sensib* » supérieure à 60). De par la contribution des systèmes de climatisation individuels aux îlots de chaleur urbains, ces zones sont à considérer comme prioritaires pour le développement de réseaux de froid.

Au niveau national, les zones d'opportunité « à potentiel » pour le développement de réseaux de froid, dont la sensibilité à l'ICU est jugée comme « forte » ou « très forte », représentent :

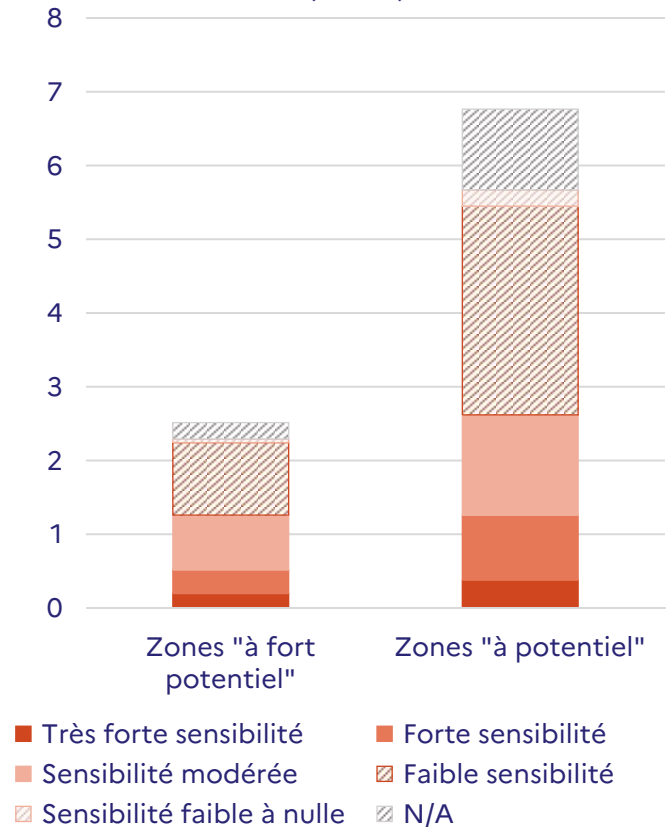
**1,26 TWh**

soit

**20 %**

**de l'ensemble des besoins des zones « à potentiel »**

BESOINS DES ZONES D'OPPORTUNITÉS PAR TYPE DE SENSIBILITÉ A L'ICU (TWh)



Dans les zones d'opportunités « à fort potentiel », les besoins **des bâtiments tertiaires** représentent environ **95%** des besoins de la zone.

Ces cibles sont particulièrement adaptées pour la mise en place de réseaux de froid car les bâtiments sont généralement équipés de systèmes de climatisation centralisés.



### 3/ Application aux zones d'opportunité « à fort potentiel »

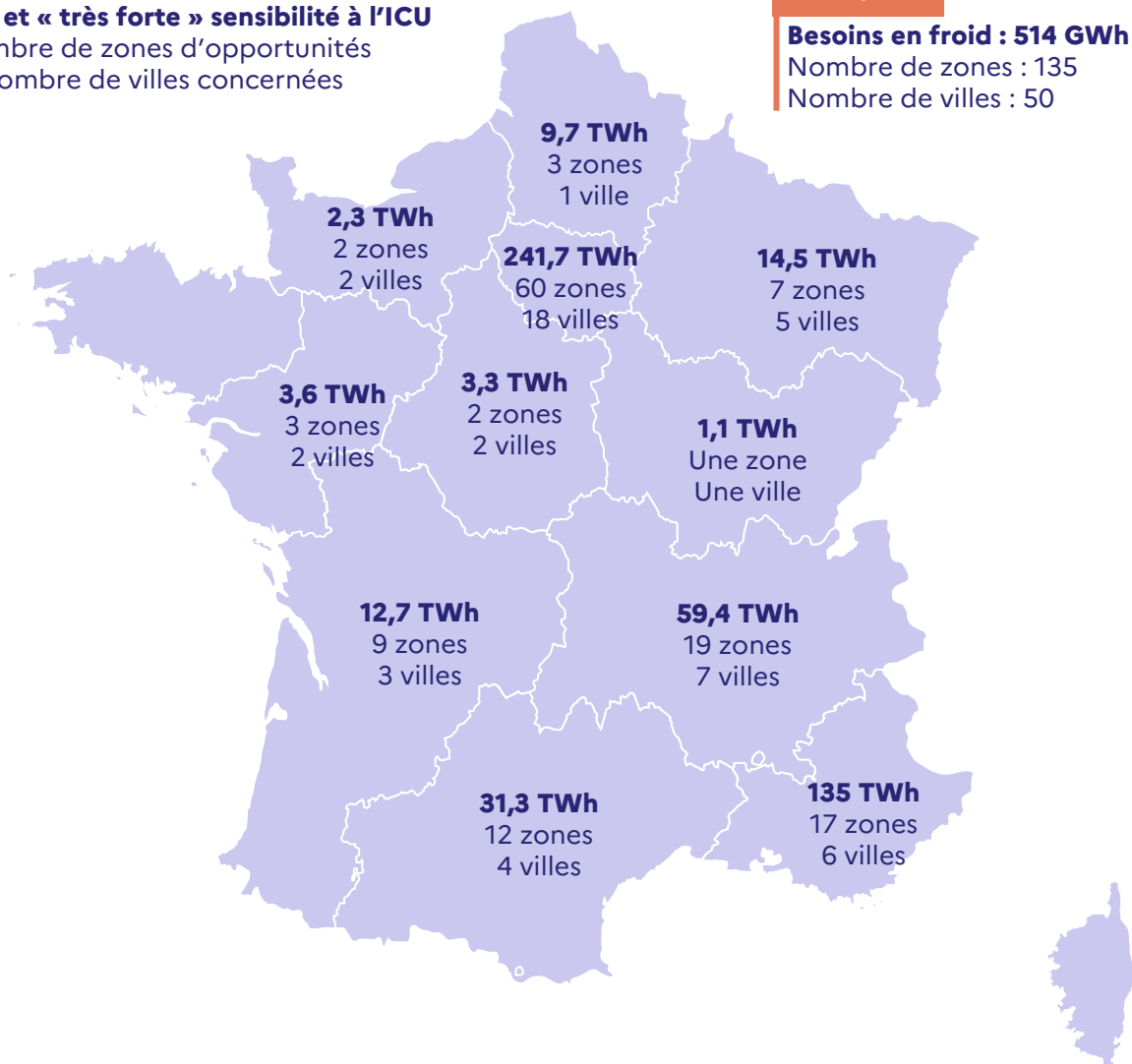
#### RÉPARTITION RÉGIONALE DES ZONES À « FORTE » et « TRÈS FORTE SENSIBILITÉ » À L'EFFET D'ICU

##### Somme des besoins en froid des zones à « forte » et « très forte » sensibilité à l'ICU

Nombre de zones d'opportunités  
Nombre de villes concernées

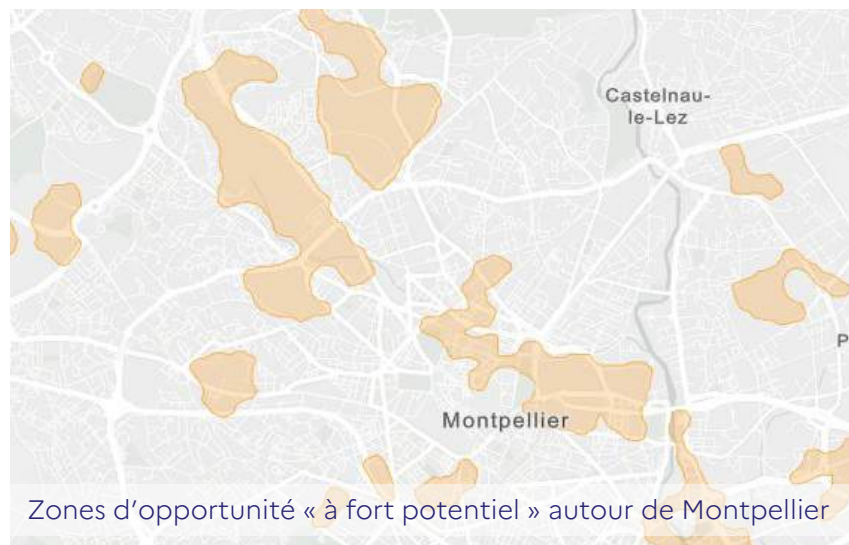
##### NATIONAL

**Besoins en froid : 514 GWh**  
Nombre de zones : 135  
Nombre de villes : 50



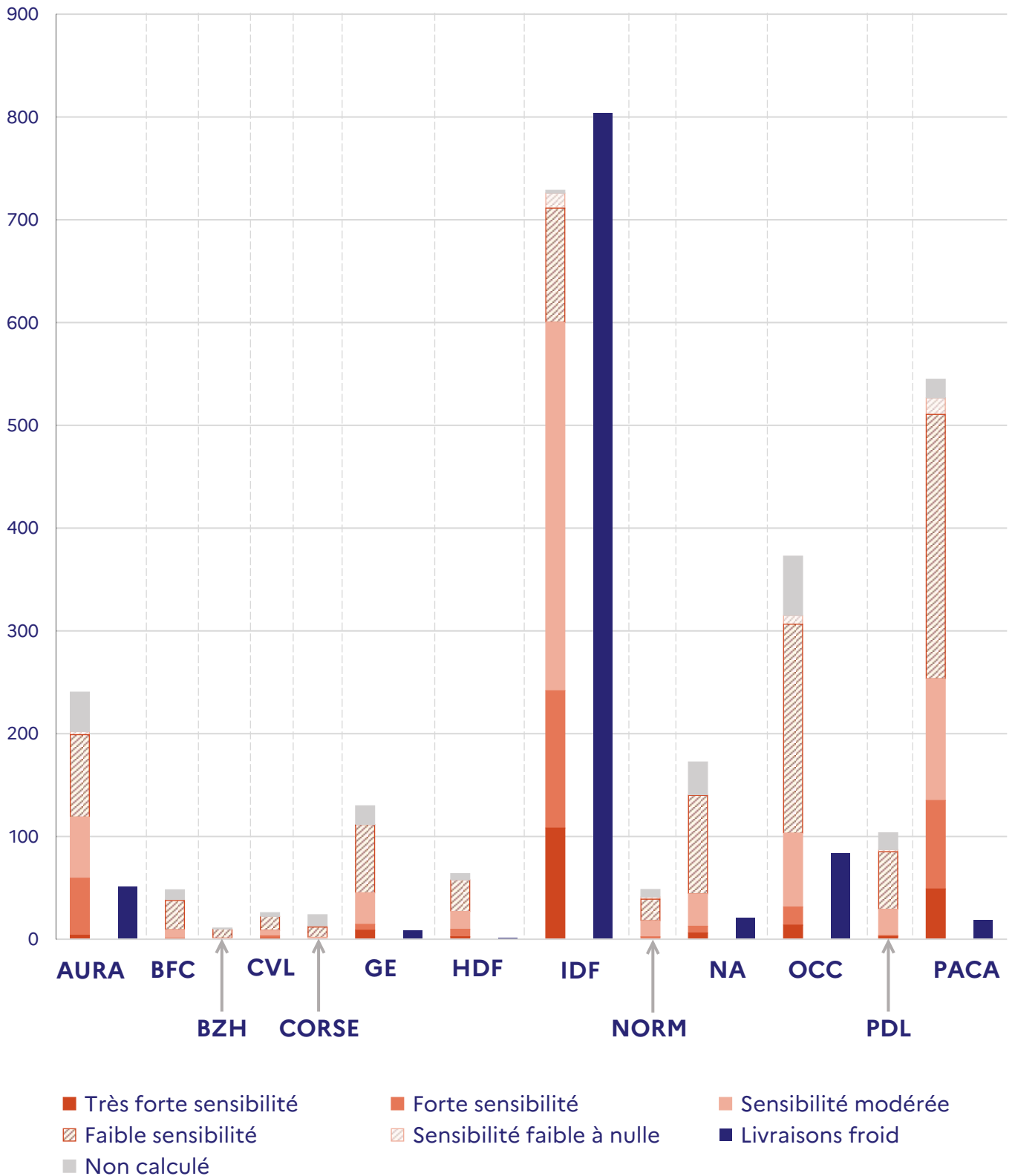
L'analyse régionale montre que seules les régions Bretagne et Corse ne possèdent pas de zones d'opportunité « à fort potentiel » pour le développement de réseaux de froid dont la sensibilité à l'ICU est jugée comme « forte » ou « très forte ».

A NOTER : L'analyse prend en compte tous les besoins en froid des zones d'opportunité considérées, il se peut que certains besoins soient déjà couverts par des réseaux de froid dans ces zones.



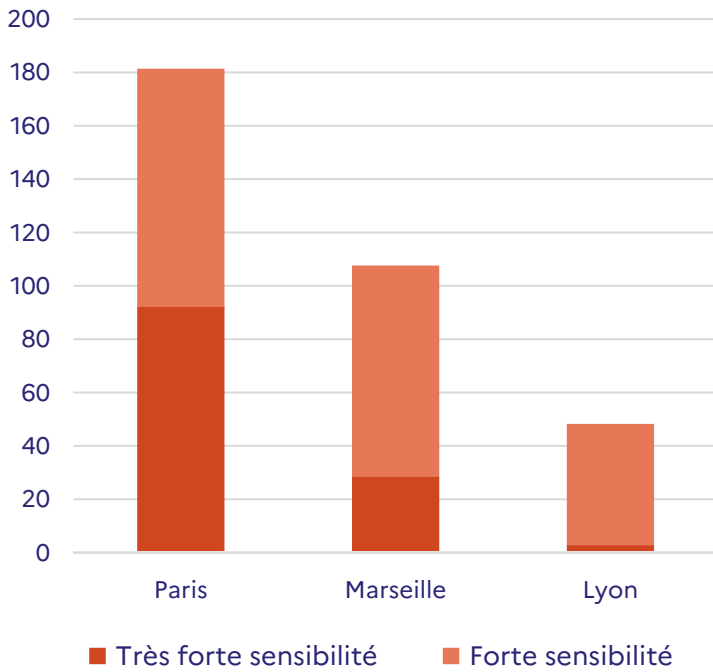


## CATÉGORIES DE SENSIBILITÉ À L'EFFET D'ICU DES ZONES D'OPPORTUNITÉ « À FORT POTENTIEL » ET LIVRAISONS DE FROID\* PAR RÉGION (GWH/AN)



\*Source : EARCF 2022

## ZONES D'OPPORTUNITÉ « À FORT POTENTIEL » PAR VILLE (GWH/AN) FOCUS SUR LES ZONES « À FORTE » ET « TRÈS FORTE SENSIBILITÉ » À L'EFFET D'ICU

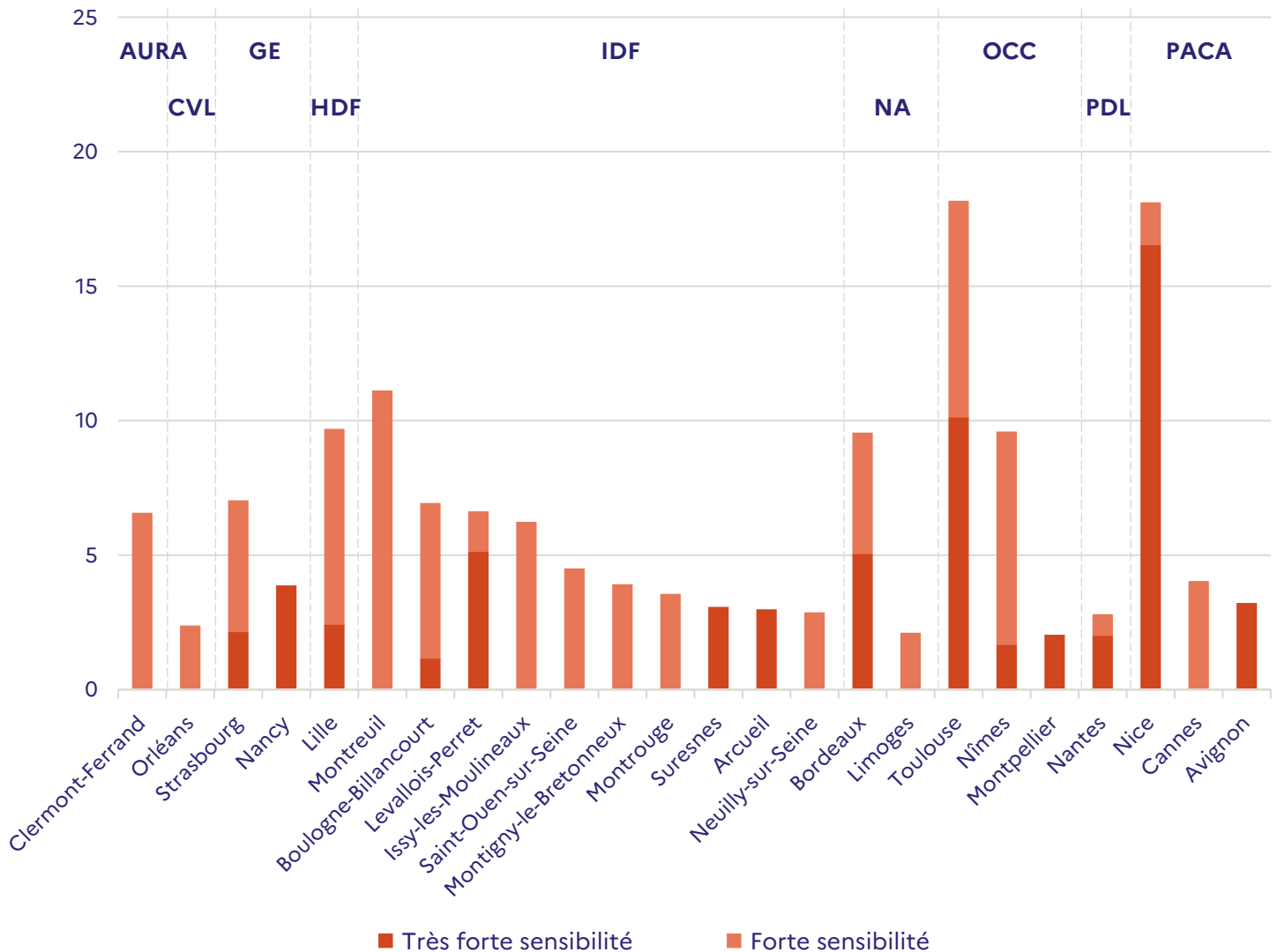


Sont ici mises en avant les villes qui présentent plus de 2 GWh de besoins dans des zones « à fort potentiel » pour le développement de réseaux de froid, caractérisées comme à « forte » et « très forte » sensibilité à l'effet d'ICU.

A NOTER : Les villes de Paris, Marseille et Lyon sont présentées séparément afin d'adapter l'échelle des graphiques et d'en faciliter la lecture.

Les territoires ainsi identifiés peuvent être considérés comme prioritaires pour le développement de réseaux de froid.

A NOTER : Il se peut que certaines villes couvrent déjà une partie de leurs besoins par des réseaux de froid. L'existence de ces réseaux n'est pour l'instant pas prise en compte dans cette analyse.





## 5/ Application aux zones d'opportunité « à potentiel »

RÉPARTITION RÉGIONALE DES ZONES À « FORTE » et « TRÈS FORTE SENSIBILITÉ » À L'EFFET D'ICU

### Somme des besoins en froid des zones à « forte » et « très forte » sensibilité à l'effet d'ICU

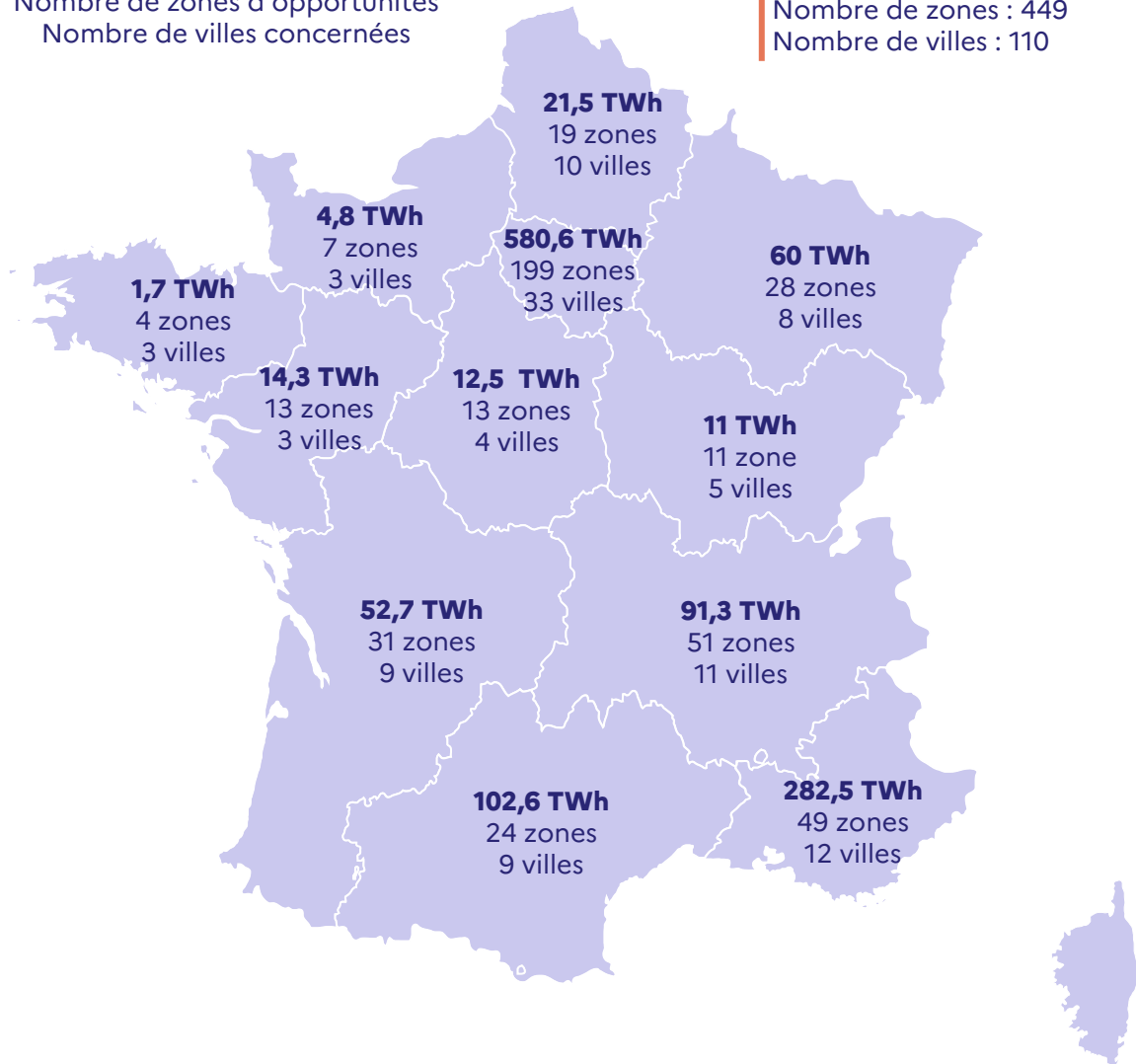
Nombre de zones d'opportunités  
Nombre de villes concernées

### NATIONAL

**Besoins en froid : 1 256 GWh**

Nombre de zones : 449

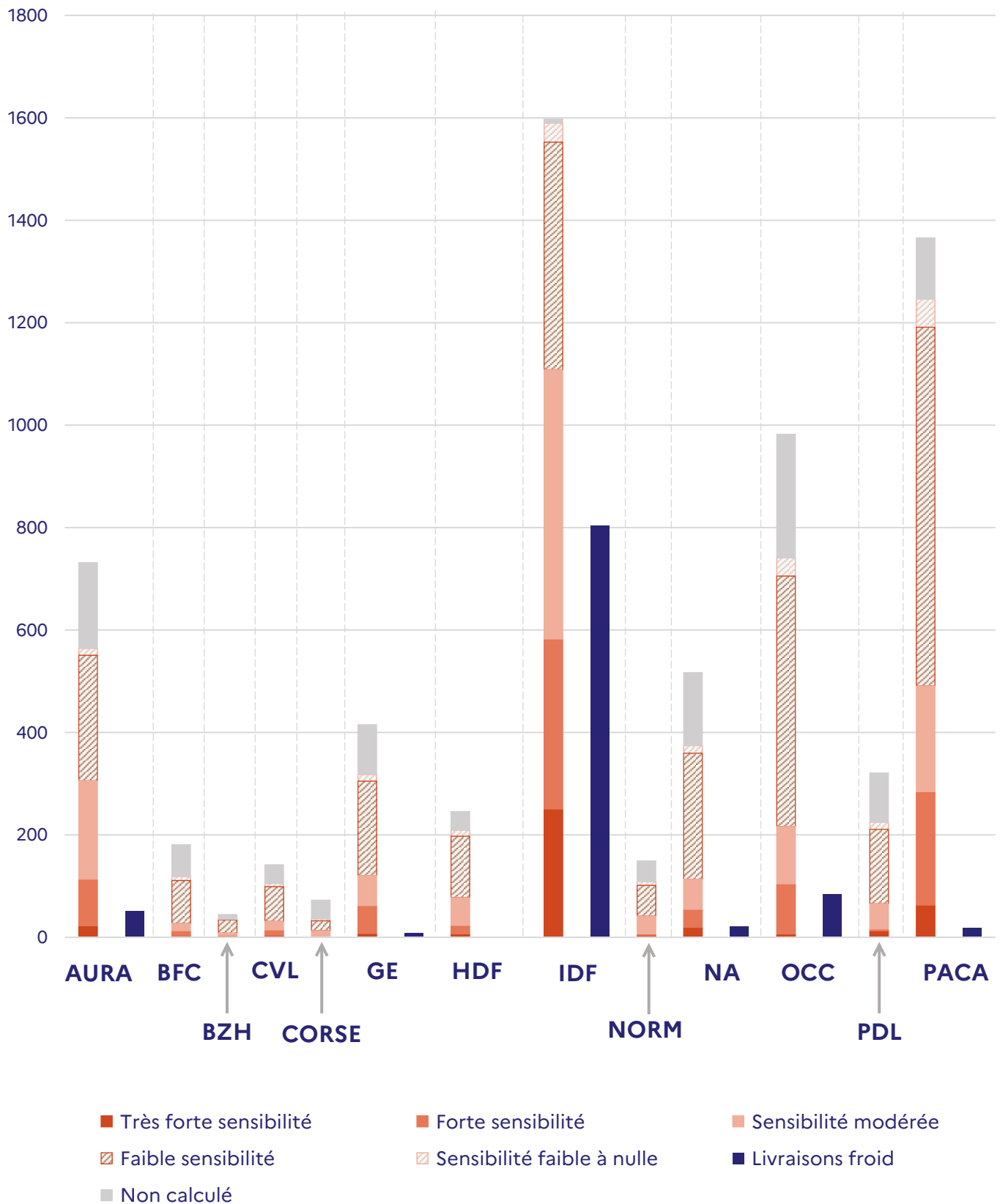
Nombre de villes : 110



L'analyse régionale nous montre que seule la région Corse ne possède pas de zones d'opportunité « à potentiel » pour le développement de réseaux de froid dont la sensibilité à l'ICU est jugée comme « forte » ou « très forte ».



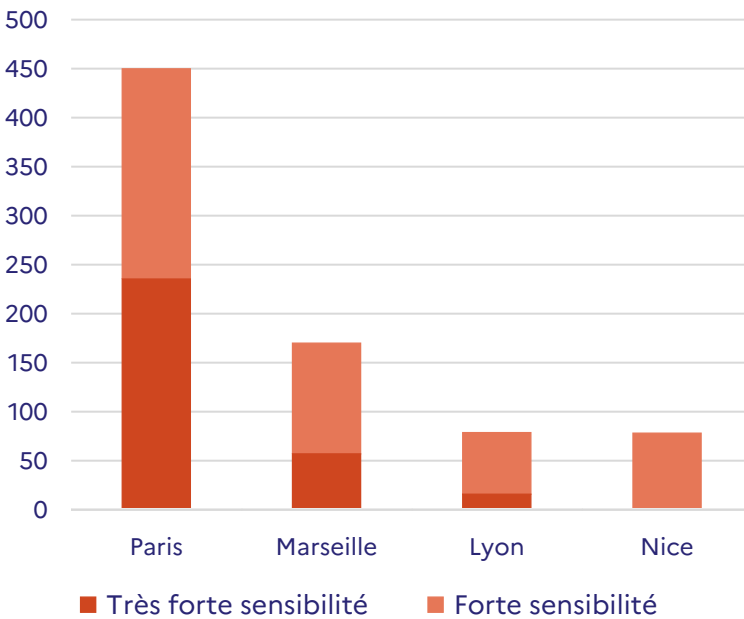
## CATÉGORIES DE SENSIBILITÉ À L'EFFET D'ICU DES ZONES D'OPPORTUNITÉ « À POTENTIEL » ET LIVRAISONS DE FROID\* PAR RÉGION (GWH/AN)



\*Source : EARCF 2022



## ZONES D'OPPORTUNITÉ « À POTENTIEL » PAR VILLE (GWh) – FOCUS SUR LES ZONES À FORTE ET TRÈS FORTE SENSIBILITÉ À L'EFFET D'ICU

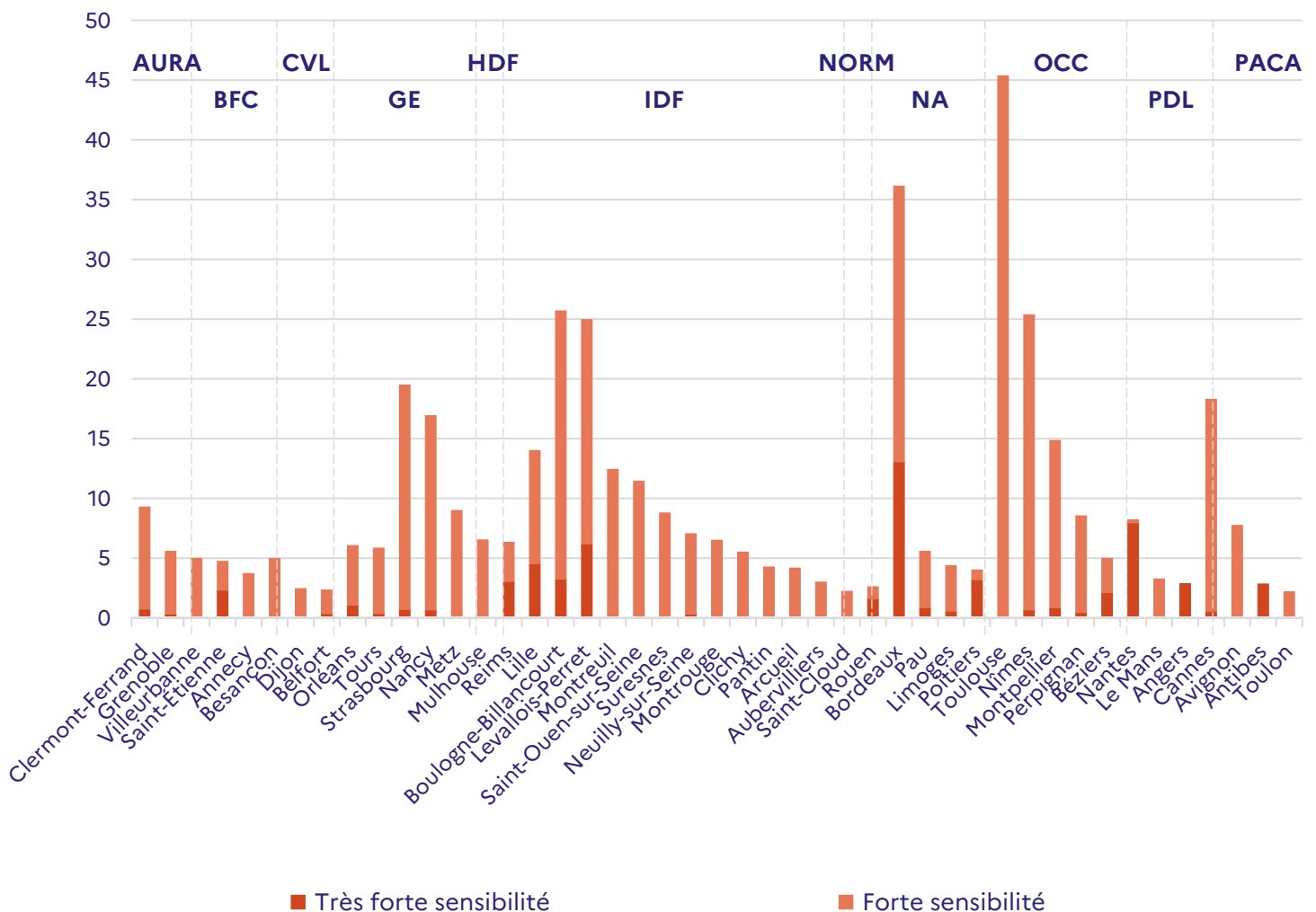


Sont ici mises en avant les villes qui présentent plus de 2 GWh de besoins dans des zones « à potentiel » pour le développement de réseaux de froid, caractérisées comme à « forte » et « très forte » sensibilité à l'effet d'ICU.

A NOTER : Les villes de Paris, Marseille, Lyon et Nice sont présentées séparément afin d'adapter l'échelle des graphiques et d'en faciliter la lecture.

Les territoires ainsi identifiés peuvent être considérés comme prioritaires pour le développement de réseaux de froid.

A NOTER : Il se peut que certaines villes couvrent déjà une partie de leurs besoins par des réseaux de froid. L'existence de ces réseaux n'est pour l'instant pas prise en compte dans cette analyse.

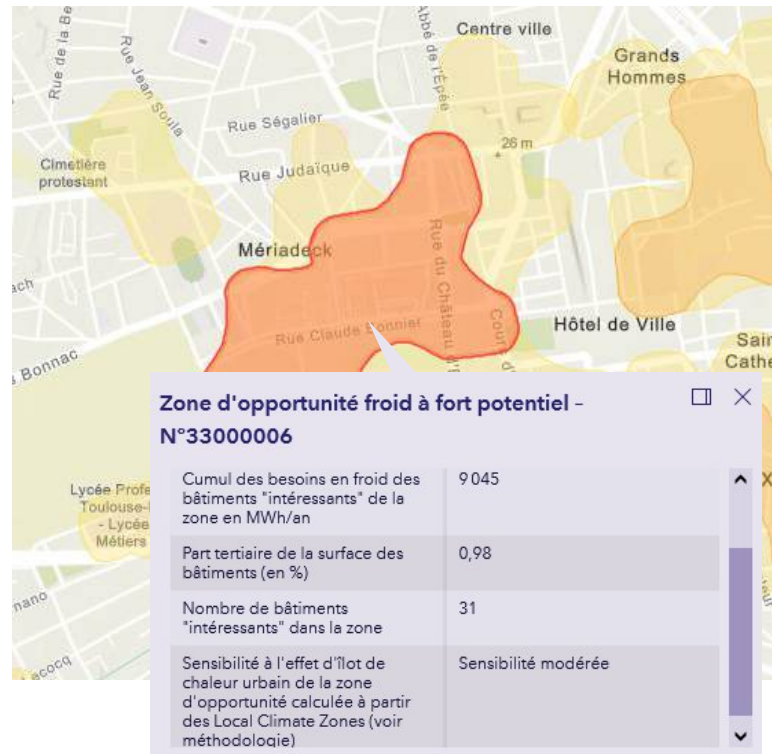


## 5/ Visualisation cartographique

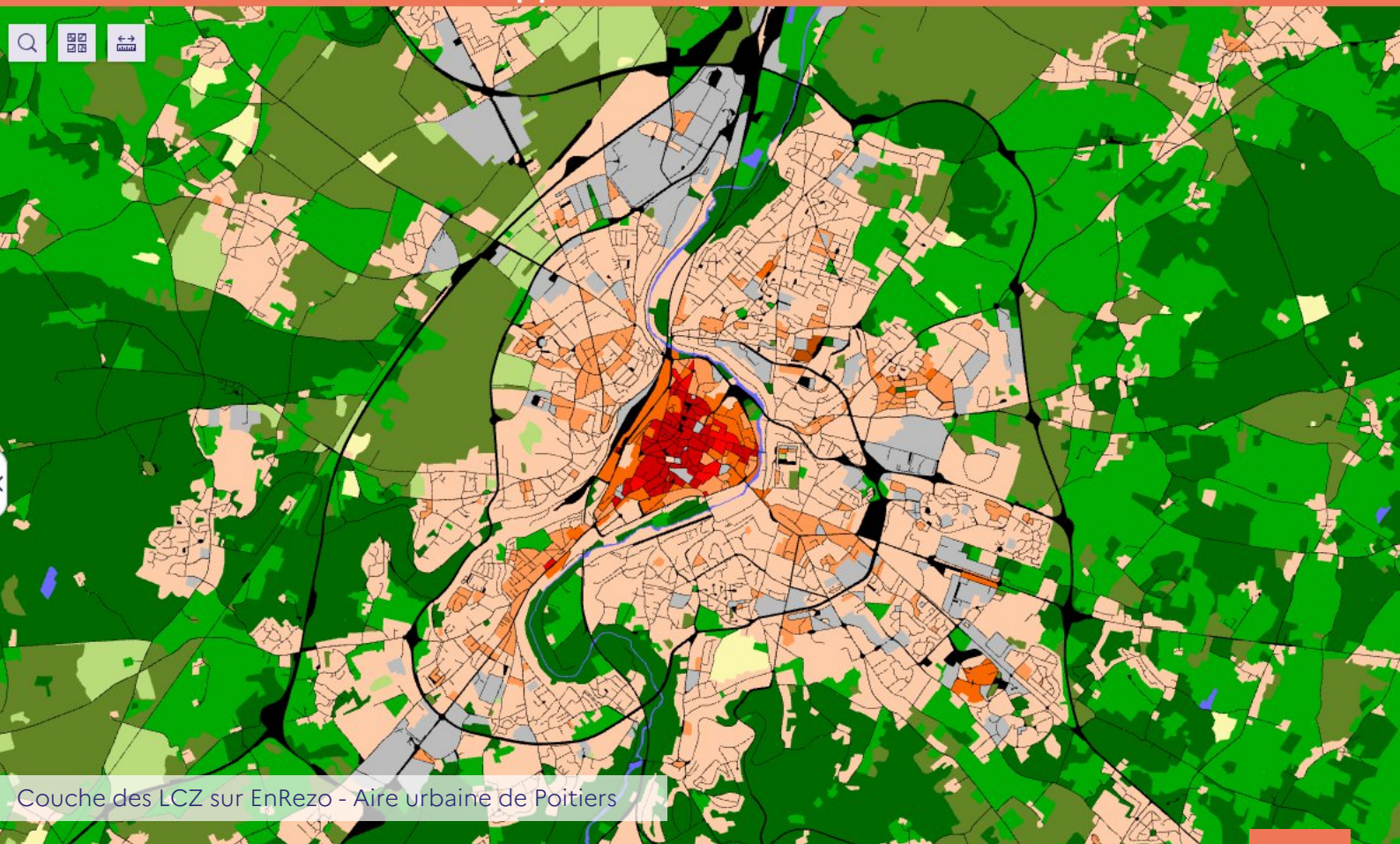
### VISUALISATION SUR ENREZO

Différentes données relatives à cette étude sont visualisables directement sur la cartographie EnRezo :

- La couche « **Local climate zone** » disponible dans la catégorie « *Autres* », avec 2 types d'affichage suivant le niveau de zoom de la carte.
- Les couches des zones d'opportunité des réseaux de froid « à *potentiel* » et « à *fort potentiel* » avec l'ajout d'un attribut supplémentaire « **sensibilité de la zone à l'îlot de chaleur urbain (ICU)** ». Cet attribut permet d'identifier le niveau de sensibilité à l'ICU de la zone sélectionnée.



## Potentiel de développement des réseaux de chaleur et de froid





## 7/ Synthèse

L'augmentation de la durée, de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur implique d'**actionner tous les leviers de l'adaptation au changement climatique** : végétalisation des toitures, désimperméabilisation des sols, bio-conception des bâtiments, protections solaires, isolation, etc. (voir le site « [Plus fraîche ma ville](#) »). Parmi elles, le **rafraîchissement « actif » des bâtiments, par la production de froid, devient inévitable.**

Le projet EnRezo a permis d'identifier, au travers de ses zones d'opportunité « à potentiel » et « à fort potentiel », les secteurs où le développement de réseaux de froid était technico-économiquement intéressant à étudier.

L'analyse croisée des zones d'opportunité avec les secteurs identifiés comme « sensibles » à l'îlot de chaleur urbain (*Local Climate Zone ou LCZ*) permet d'**identifier les projets à étudier en priorité.**

Les zones d'opportunité « réseaux de froid » situées dans des secteurs avec une sensibilité « forte » à « très forte » à l'îlot de chaleur urbain sont donc identifiées comme prioritaires.



**110 villes concernées**  
par une zone d'opportunité  
« réseau de froid » dite prioritaire



**20% des besoins en froid des zones d'opportunités** sont en zones dites prioritaires soit 1,26 TWh



**Plus de 12 000 bâtiments**  
situés dans une zone d'opportunité  
« réseaux de froid » dite prioritaire



Si les réseaux de froid bénéficient de nombreux atouts (meilleure gestion des fluides frigorigènes, bilan carbone plus faibles, pas de contribution à l'ICU), ils restent peu développés en France (moins de 40 en 2024). Or le temps compte ! Les bâtiments doivent en effet être compatibles avec une distribution centralisée de froid, impliquant l'installation (et donc le financement) d'émetteurs et de réseaux dits « secondaires ».

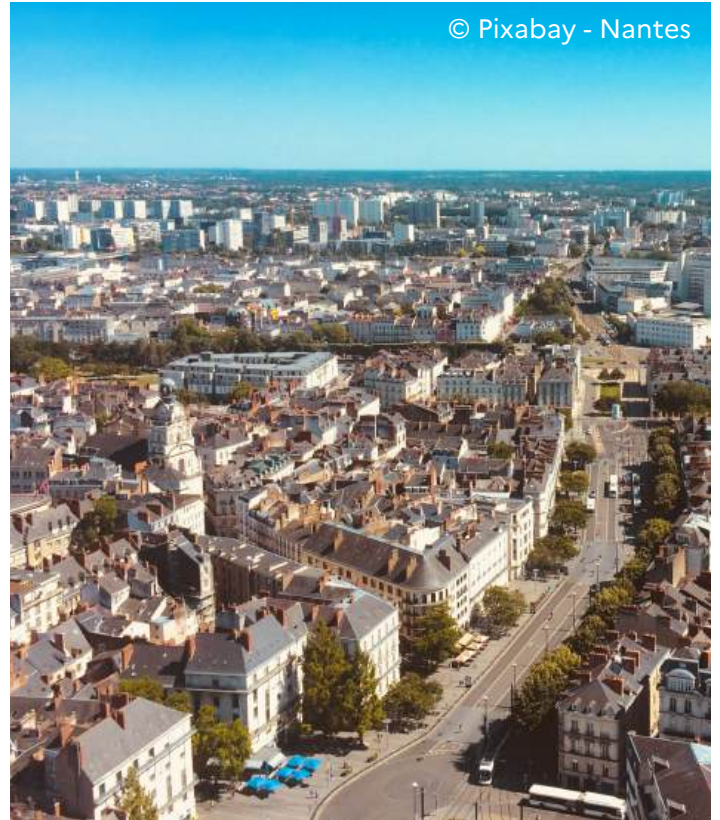
Cependant, avec l'équipement de près d'un million de climatiseurs individuels vendus chaque année (800 000 unités vendues en 2021), le recours à une solution collective et durable de rafraîchissement se complexifie d'année en année.



Dans son avis « *Vagues de chaleur : la climatisation va-t-elle devenir indispensable ?* »,

l'ADEME recommande de limiter, autant que possible, le recours aux équipements de climatisation impactant directement l'îlot de chaleur urbain et plébiscite le renforcement d'une planification énergétique intégrant le besoin en réseaux urbains de froid.

[→ Voir l'avis de l'Ademe](#)



A NOTER : En complément du présent document, le Cerema a réalisé une série de fiches descriptives des réseaux de froid en France. Vingt-neuf réseaux ont fait l'objet d'une enquête approfondie, s'appuyant à la fois sur des informations statistiques publiques et sur des entretiens avec les exploitants ou les maîtres d'ouvrage de ces réseaux.

[→ Lien vers les fiches descriptives des réseaux de froid](#)



## ACCÈS AUX DONNÉES

[Portail EnRezo](#)

## CONTACT

[reseaux-chaleur@cerema.fr](mailto:reseaux-chaleur@cerema.fr)

## RÉDACTION ET MISE EN FORME

Charlie Le Galludec (Cerema)

## RELECTURE

Luc Petitpain (Cerema)

Cindy Melfort (Cerema)

