



**EXPLORONS
LES POSSIBLES**

Pour une **Transition Énergétique
Soutenable et Économique**

**Structuration des besoins en chaleur actuels et futurs pour le
secteur industriel**

CEA I-Tésé



I-Tésé, l'institut de recherche et d'études en économie de l'énergie du CEA

Une équipe de 40 chercheurs et doctorants basés à Saclay et à Grenoble

Notre ambition

Nous voulons contribuer à accélérer la transition vers la neutralité carbone en éclairant des trajectoires soutenables d'un point de vue économique, environnemental et sociétal.

Notre approche

Nous combinons les apports des sciences humaines et sociales et des sciences de l'ingénieur, avec pour objectif de produire des connaissances pour la puissance publique, le CEA et ses partenaires.

Notre démarche

Nous travaillons en mode projet, en transversalité avec les autres Instituts de recherche du CEA et via des collaborations en France et à l'international.

Nos thématiques de recherche

Technologies bas carbone de production et de stockage

Ressources clés de la transition énergétique

Demande et modes de consommation d'énergie

Régulation et design des marchés

Nous appuyons nos travaux sur un socle de modèles, de données et d'approches quantitatives



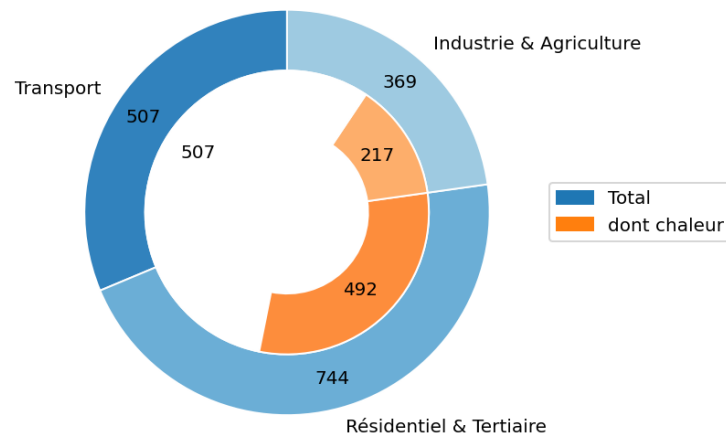
1 ■ Contexte général sur la chaleur

Contexte France actuel

La chaleur représente aujourd'hui 45% de la demande et reste majoritairement produite par des sources fossiles

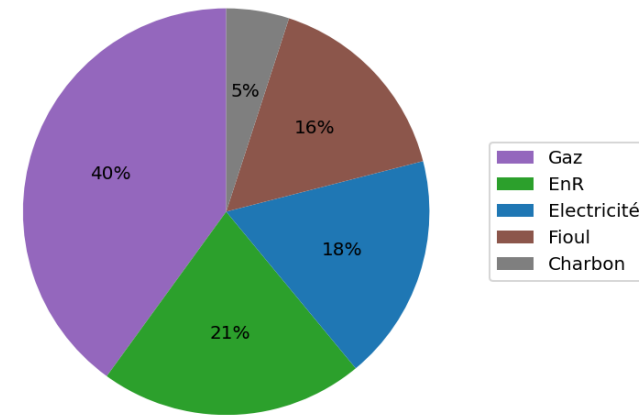
→ enjeu fort de décarbonation

Consommation d'énergie finale
par secteur en 2021 (TWh)



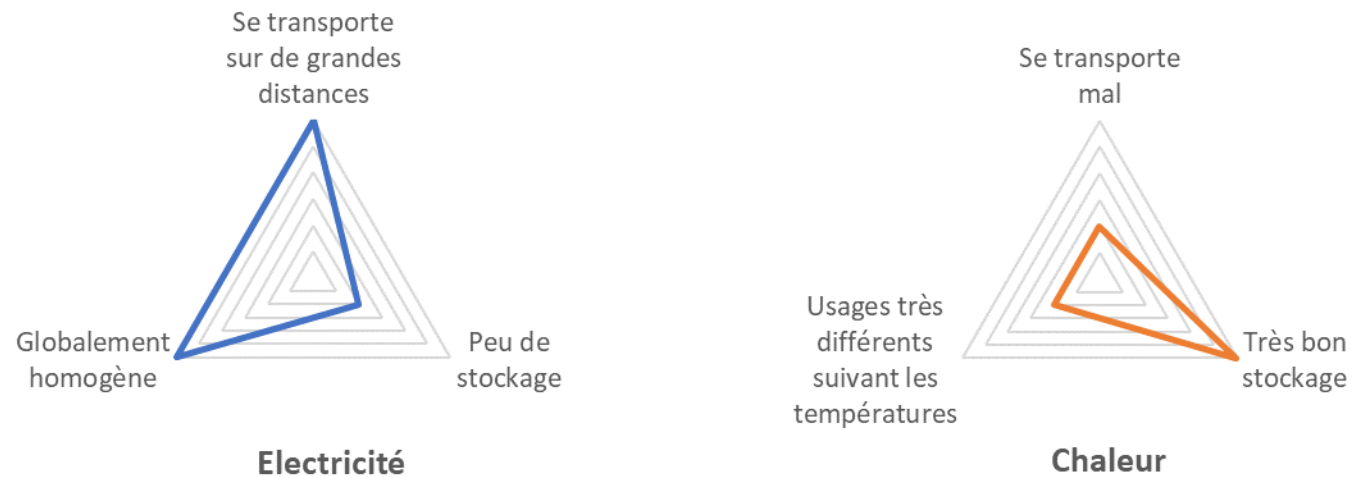
Sources : SDES, CEREN

Mix de production de
la chaleur (PPE, 2020)



Caractéristiques de la chaleur

Un usage très différent de l'électricité :



La chaleur est un usage final de l'énergie très hétérogène

- ➔ Nécessité de raisonner à l'échelle locale
- ➔ Peu de données sur la partie industrie



2 ■ La chaleur dans l'industrie en 2022

Besoins industriels actuels



- Caractérisation des besoins industriels thermiques avec les données CEREN (Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie)
- Données issues d'enquêtes auprès des industriels (600-700/an) sur leurs consommations énergétiques
- Données réparties avec le niveau de détail suivant:
 - 24 secteurs
 - 131 sous-secteurs
 - 12 types de procédés
 - 9 gammes de températures

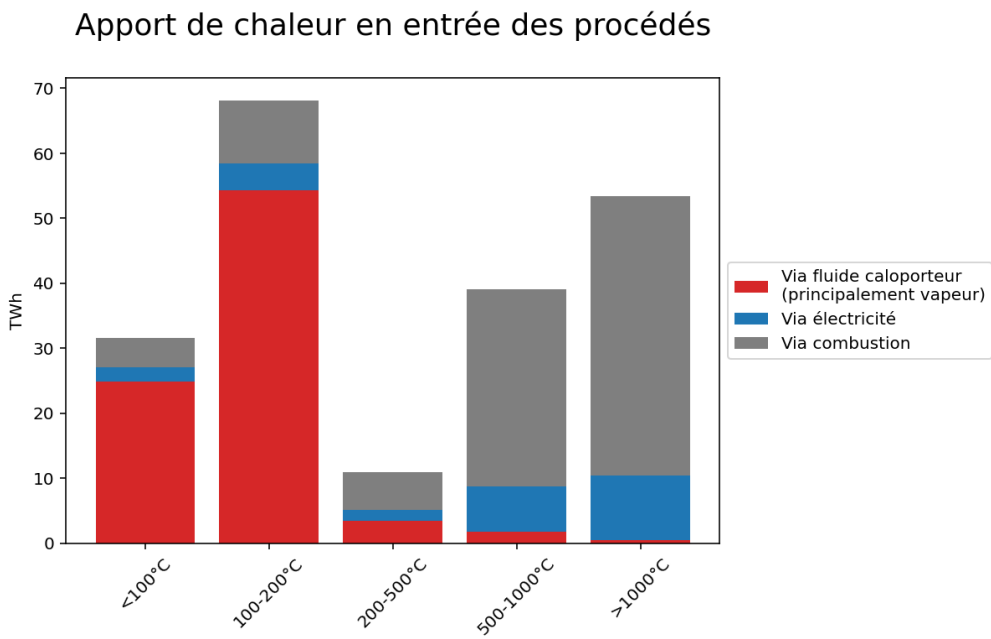
2 types de besoins : pour les procédés et le chauffage locaux

- ➔ La part du chauffage des locaux est très variable suivant les secteurs mais ne représente que 6% du besoin total
- ➔ Focus sur les besoins pour les procédés

Besoins industriels actuels

Analyse des besoins de chaleur pour les procédés industriels :

- 49% des besoins <200°C et 45 % des besoins > 500°C, seulement 6% entre 200°C et 500°C
- Forte hétérogénéité dans la part de vapeur utilisée suivant les niveaux de température



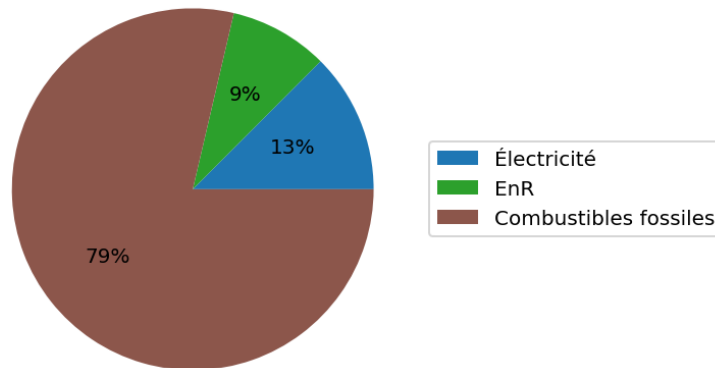
| | Besoin chaleur total | Dont vapeur |
|------------|-------------------------|----------------|
| <100°C | 31,5 TWh | 79% |
| 100-200°C | 68,2 TWh | 80% |
| 200-500°C | 10,9 TWh | 31% |
| 500-1000°C | 39 TWh | 5% |
| >1000°C | 53,4 TWh | 1% |

Besoins industriels actuels

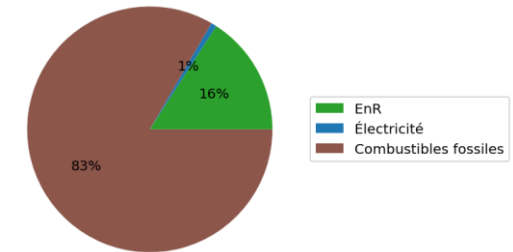
Analyse des besoins de chaleur pour les procédés industriels :

- Mix total très carboné, 79% de combustibles fossiles

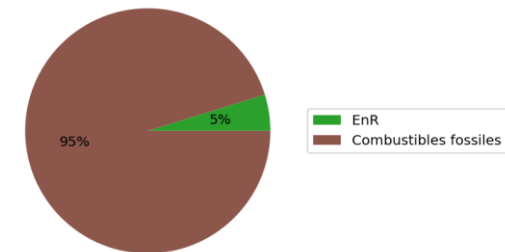
Mix énergétique global



Mix de production de la vapeur

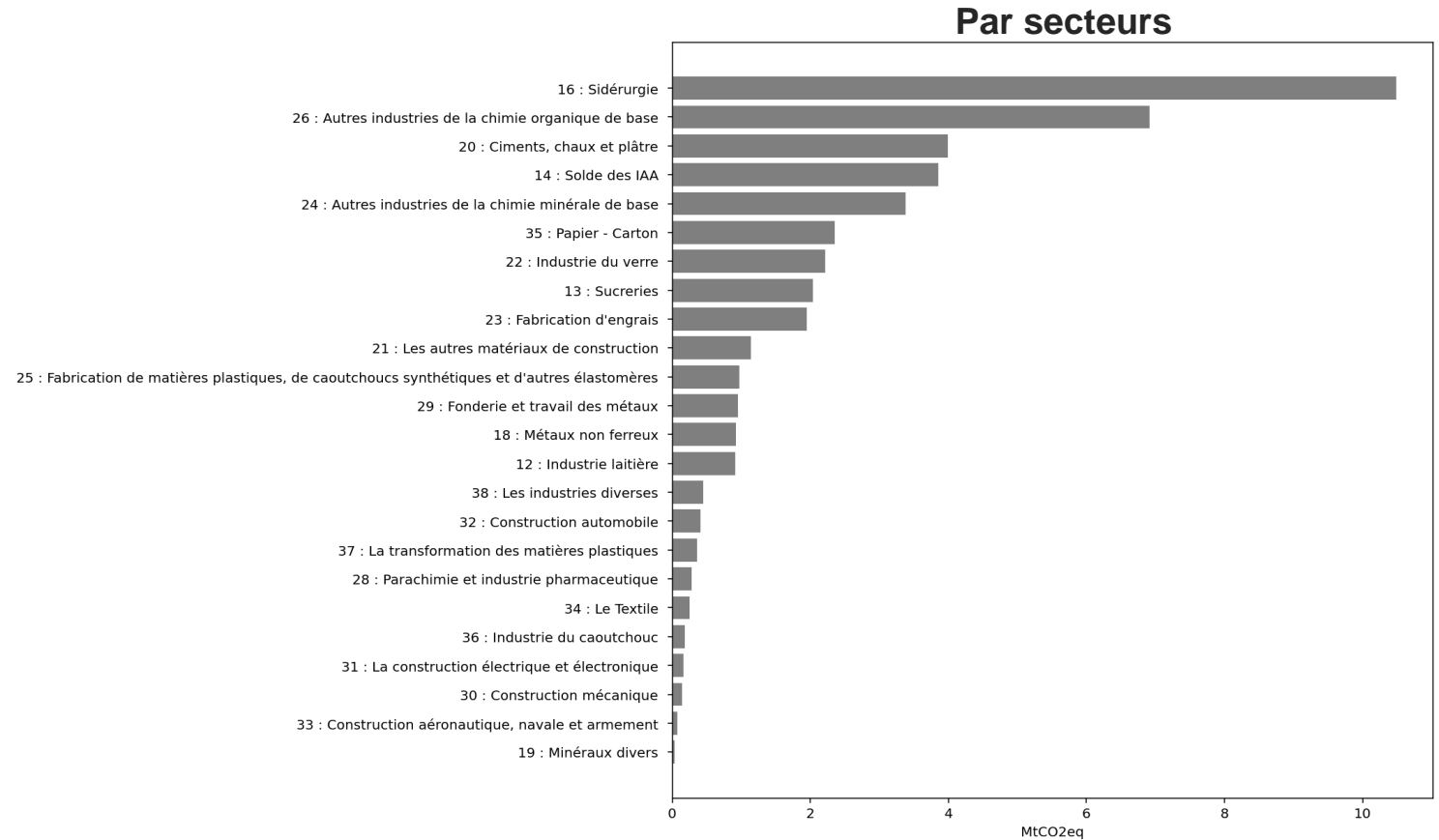
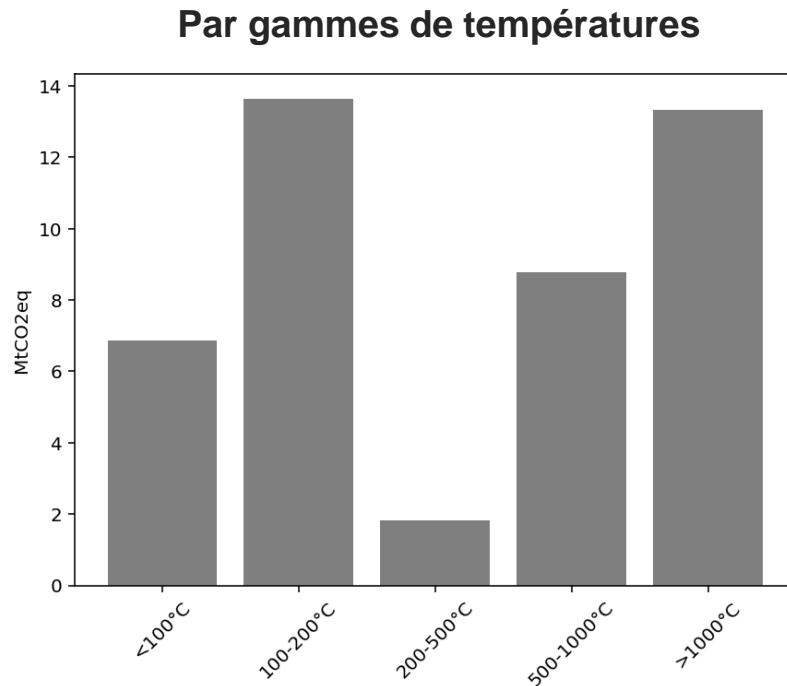


Mix de production pour la combustion



Emissions associées

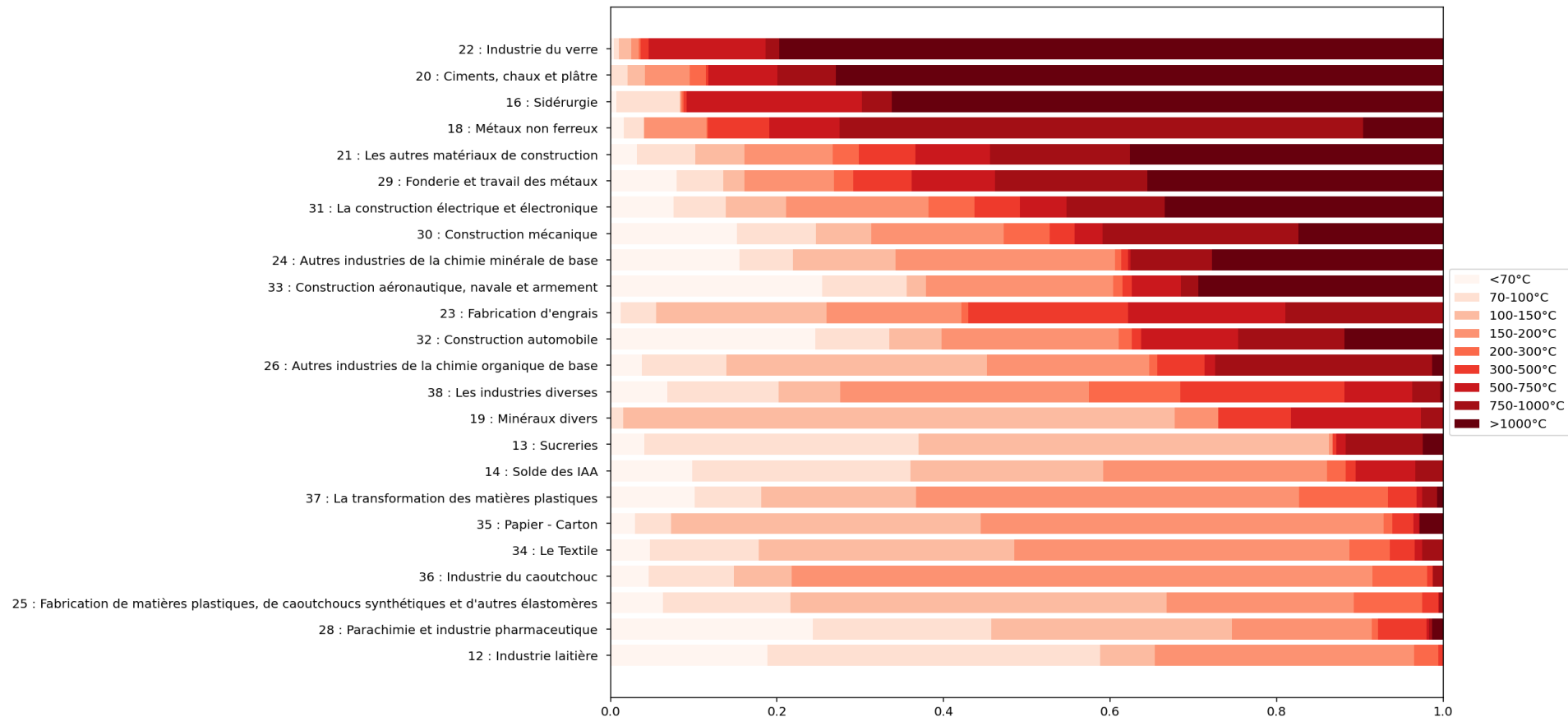
Emissions associées à la production de chaleur pour les procédés industriels thermiques (combustion, production de vapeur et électricité) :



Note: estimation basée les données de mix énergétique et des facteurs d'émission moyens de l'ADEME

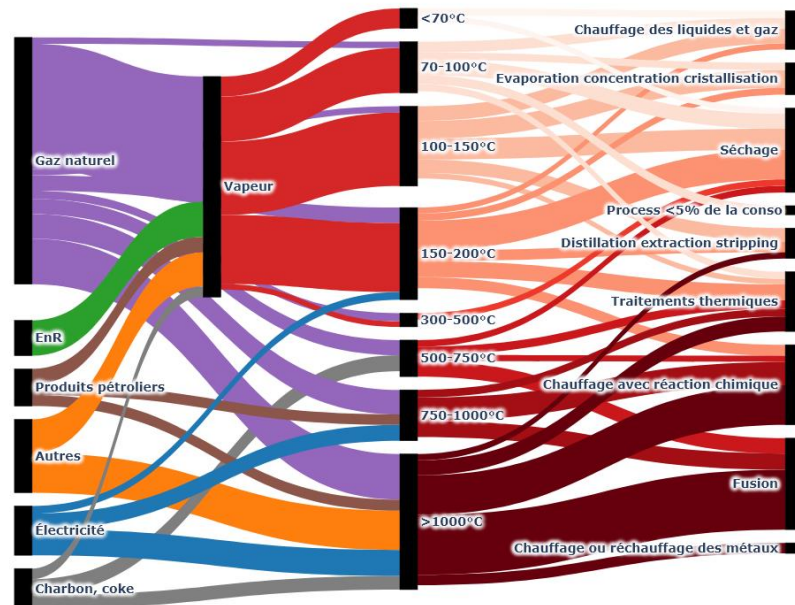
Besoins industriels actuels

Grande disparité des niveaux de température suivant les secteurs



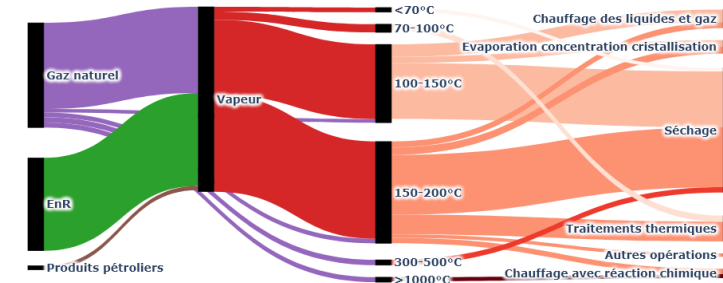
Besoins industriels actuels

Caractérisation des flux d'énergie pour des procédés industriels thermiques



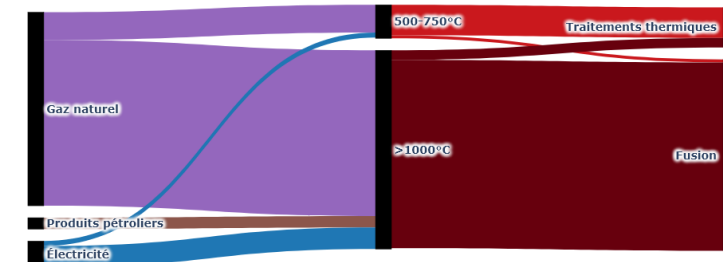
Décomposition par sous-secteurs par niveaux de températures

Papier - Carton



131 sous-secteurs

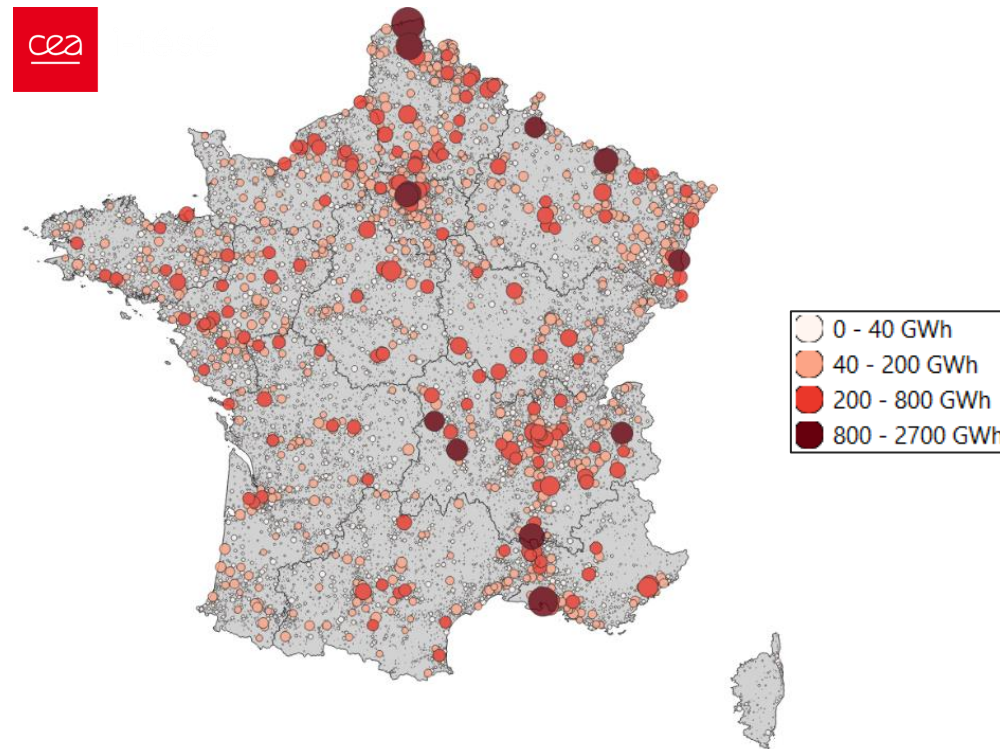
Industrie du verre



Cartographie des besoins

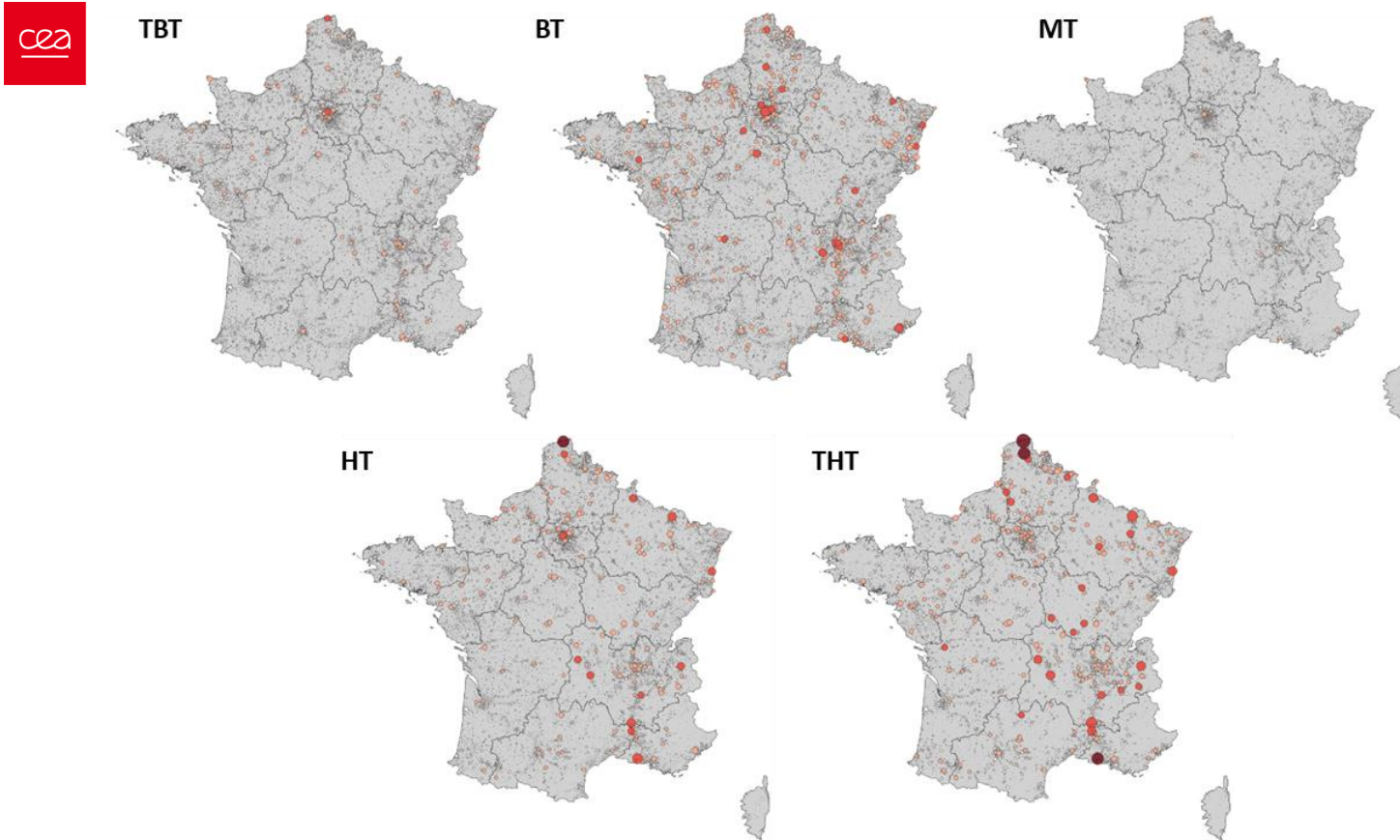
Cartographie : ventilation des besoins sectoriels suivant le nombre d'employés par commune (sur la base d'une méthodologie CEREMA) + retraitement

→ **Demande en chaleur pour les procédés industriels par commune**



Cartographie des besoins

Résultats de l'étude : demande par commune, segmentée par niveaux de températures



Très basse température (TBT) : $<100^{\circ}\text{C}$
Basse température (BT) : $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$
Moyenne température (MT) : $200\text{--}500^{\circ}\text{C}$
Haute température (HT) : $500\text{--}1000^{\circ}\text{C}$
Très haute température (THT) : $>1000^{\circ}\text{C}$

→ Le besoin est plus diffus pour les faibles températures



3. Evaluation de ce besoin à l'horizon 2050

Evolution du besoin

A l'horizon 2050, le besoin actuel va obligatoirement évoluer, notamment par le cumul de plusieurs leviers :

- Evolution de la demande en produits finaux
 - Sobriété matériaux
 - Changement commerce extérieur
- Electrification des procédés
- Amélioration de l'efficacité énergétique des procédés

➔ Comment évaluer ces tendances ?

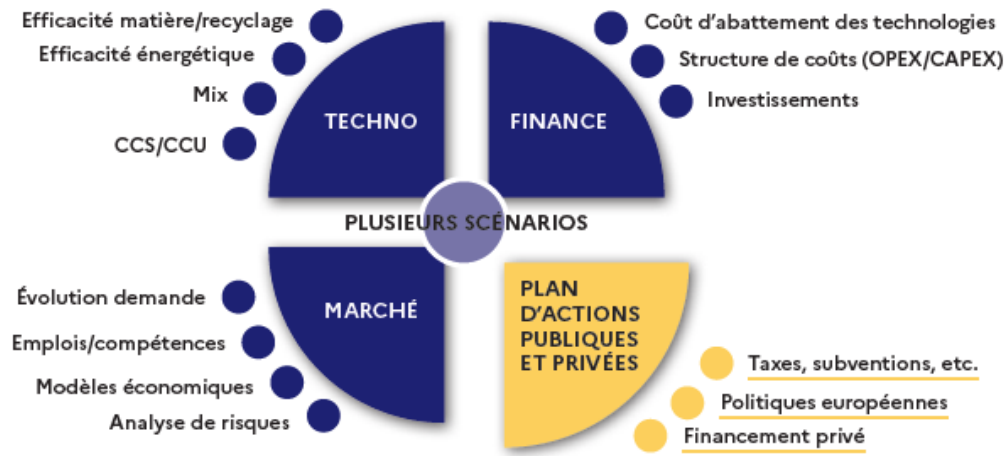
Impact sur le besoin en chaleur



Définition de scénarios

Méthodologie : évaluation basée sur un travail prospectif de l'ADEME, les PTS (Plans de Transition Sectoriels)

- Travail de 5 ans dans le cadre du projet Finance ClimAct financé par le programme LIFE de la Commission Européenne
- Objectif : « En concertation avec les industriels du secteur, établir un scénario et des pistes d'actions pour atteindre les objectifs de décarbonation de la SNBC » → Vision à 360°C de la transition industrielle, élaborée directement avec les fédérations industrielles
- Secteurs couverts = 72 % des besoins de chaleur de l'industrie
- Seules sont considérées les technologies de décarbonation pouvant émerger d'ici 2050 actuellement en vue par les industriels (ex: pas de chaleur d'origine nucléaire prise en compte)



ADEME, 2024



+

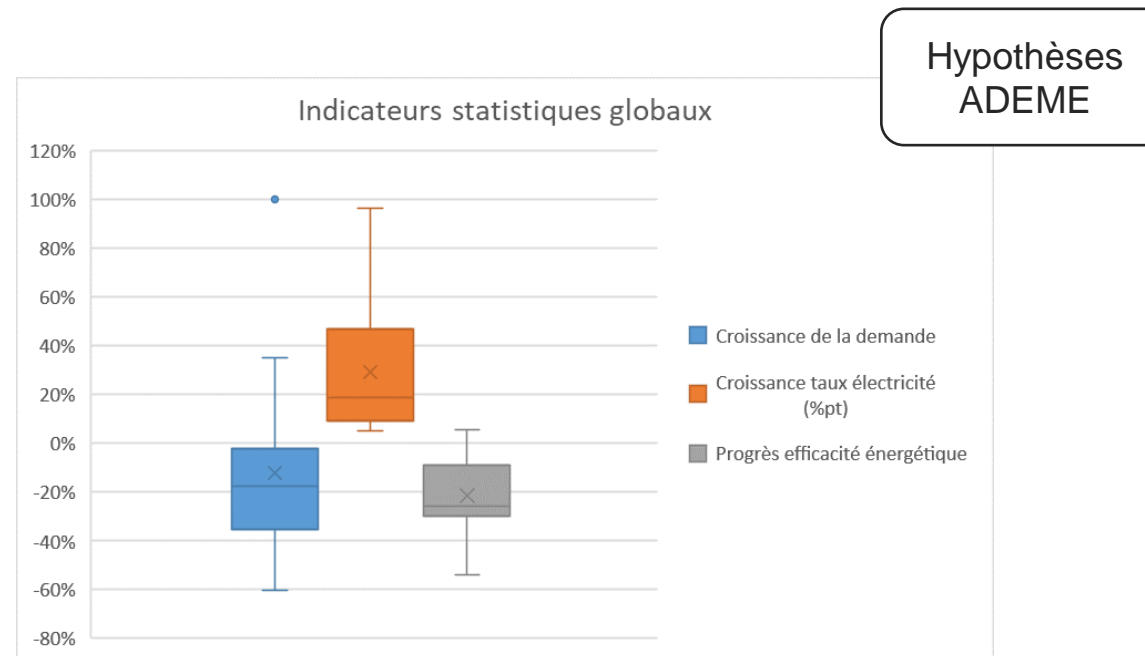
Ajout CEA du secteur des IAA (agro alimentaire) pour couvrir 83% des besoins

Définition de scénarios

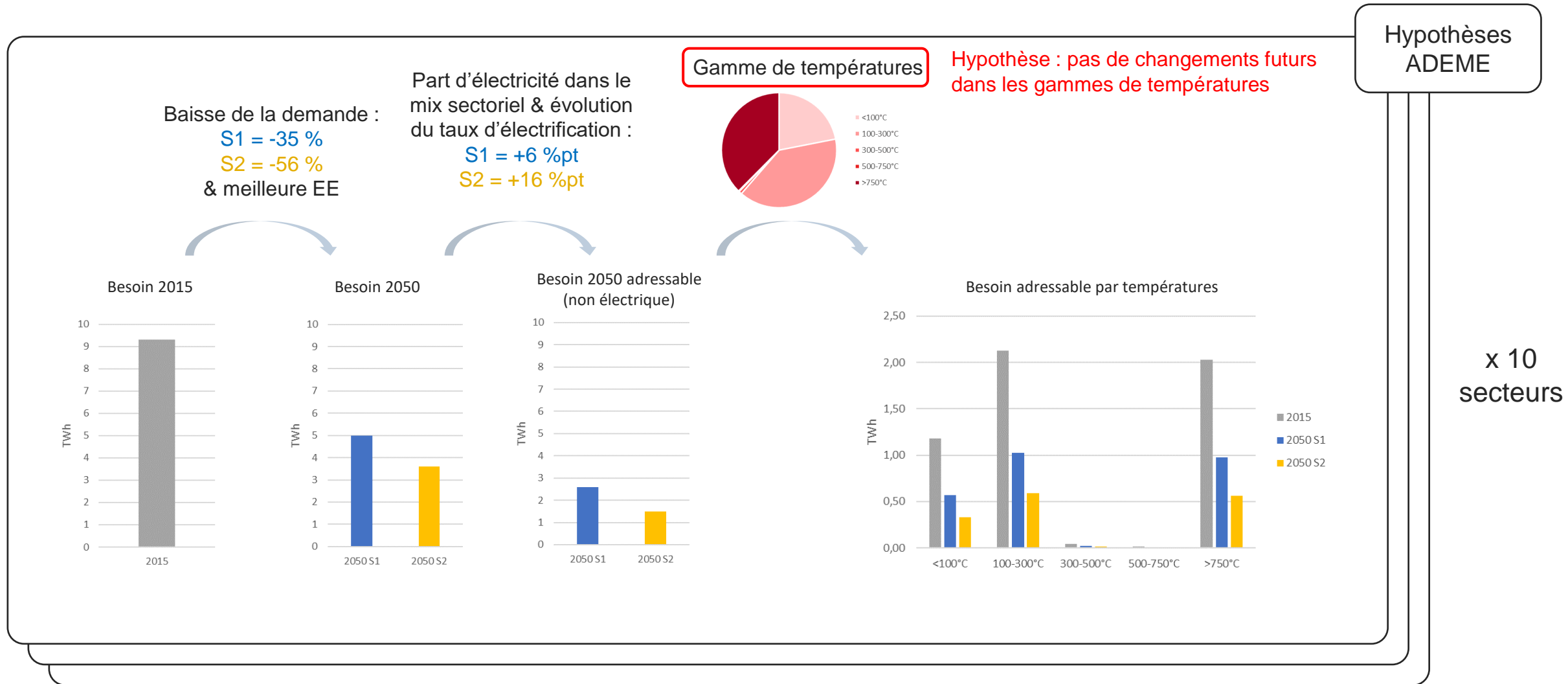
Résultat des PTS → 24 scénarios contrastés (2 à 3 par filière)

Pour notre analyse : besoin de définir des familles de scénarios

- S1 : Scénario qui maximise la quantité de chaleur restante à décarboner en 2050
- S2 : Scénario qui minimise la quantité de chaleur restante à décarboner en 2050



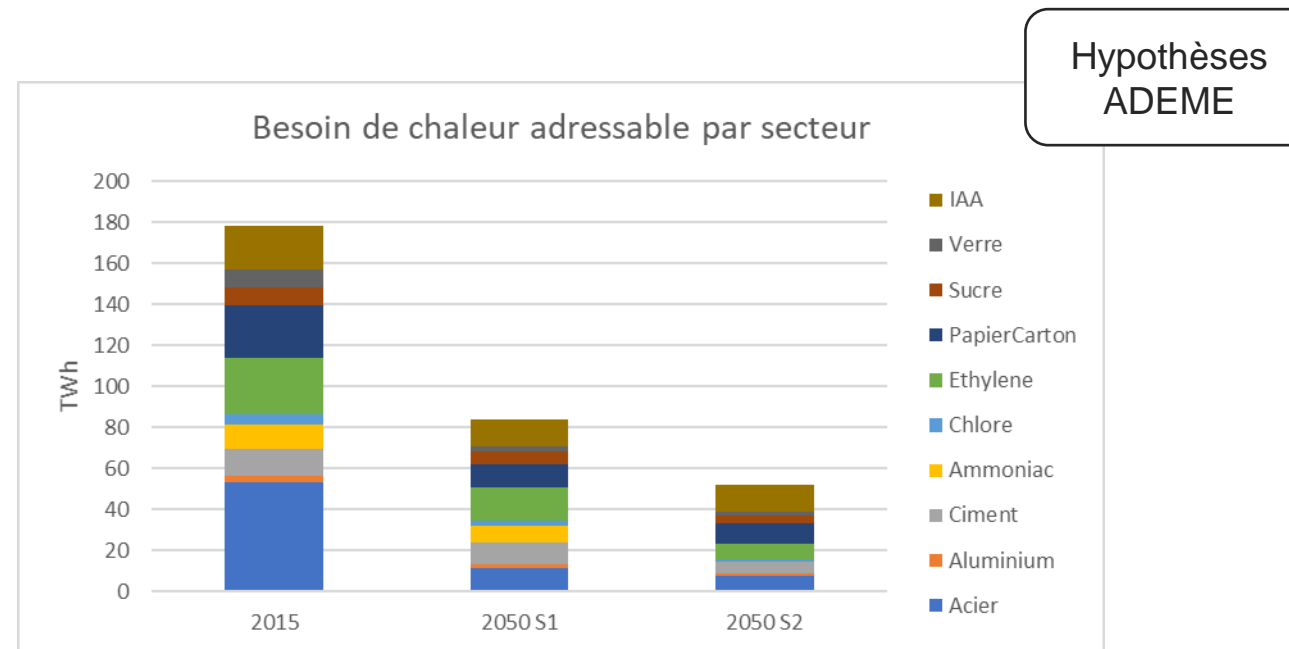
Méthodologie (ex : chimie du chlore)



Evolution du besoin

Conséquence pour le besoin de chaleur **adressable** à horizon 2050 :

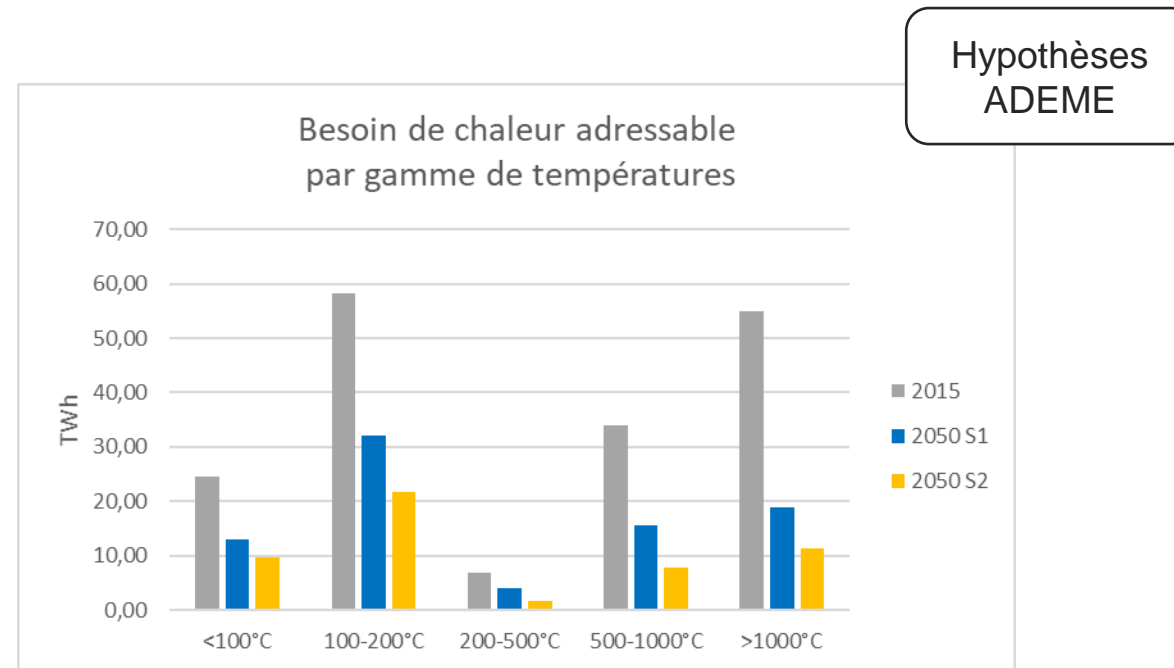
- Diminution de besoin total entre 2 et 3, avec des tendances variées suivant les secteurs
- Suivant les scénarios, il reste encore entre 52 et 84 TWh à décarboner en 2050, avec des moyens de production non électriques



Evolution du besoin

Conséquence pour le besoin de chaleur **adressable** à horizon 2050 :

- Forte baisse des besoins à très haute température, la gamme prédominante devient plutôt celle <200°C
- Dans cette gamme basse température, le besoin est géographiquement très diffus en 2022, qu'en sera-t-il en 2050?



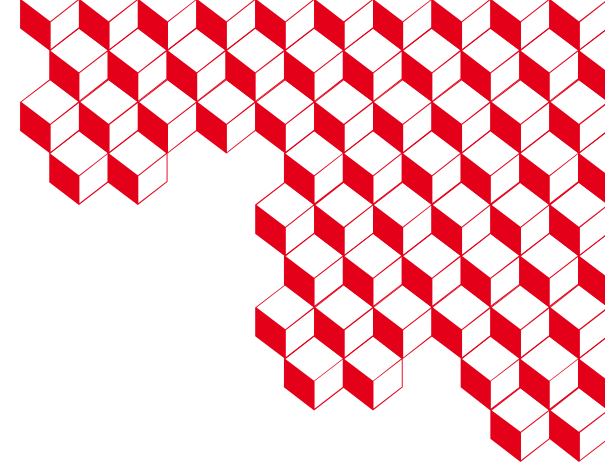
Limites et perspectives

Limites

- Cartographie à l'échelle des communes pas des sites
- Résultats prospectifs dépendants des feuilles de route ADEME et leurs hypothèses (technologies disponibles, taux d'électrification, niveaux de réindustrialisation)
- Hypothèse forte sur l'absence de changements futurs dans les gammes de températures

Perspectives

- Amélioration de la précision géographique pour quantification du nombre des sites et travail de clustering
- Evaluation du besoin à d'autres échelles (ex : UE)
- Enrichir les hypothèses de scénarios avec d'autres visions d'industriels
- Sensibilité autour des hypothèses ADEME
- Etudier les conditions d'émergence de clusters industriels bas carbone « greenfield »



Merci

CEA I-Tésé

<https://www.cea.fr/energies/i-tese>