

Dans le cadre du projet EnRezo et de la directive européenne pour l'efficacité énergétique, le Cerema produit une cartographie des gisements de chaleur fatale en France hexagonale et dans les départements et régions d'outre-mer. Les gisements étudiés sont les suivants :

- Datacenters
- Stations de traitement des eaux usées
- Sites industriels
- Unités d'incinération
- Installations électrogènes

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

Introduction

L'identification des gisements de chaleur fatale est réalisée sur l'ensemble du territoire de la France hexagonale et des départements et régions d'outre-mer. Ce travail a essentiellement consisté à géolocaliser le plus précisément possible les potentiels gisements : datacenters, stations de traitement des eaux usées, sites industriels, unités d'incinération et installations électrogènes.

Pour certains types d'installations et selon les informations publiques disponibles, il a également été possible de caractériser les gisements (productible annuel, régime de température, etc.).

Sur la base de l'étude « [Transition\(s\) 2050](#) » de l'ADEME, une caractérisation de l'évolution des gisements de chaleur fatale à horizon 2050 est également proposée.



Zoom sur la chaleur fatale dans la Directive Efficacité Énergétique

ARTICLE 26, ALINÉA 6 : « Les États membres veillent à ce que les centres de données dont la puissance totale nominale est supérieure à 1 MW utilisent la chaleur fatale ou d'autres applications de récupération de la chaleur fatale, à moins qu'il ne soit démontré [...] que ce n'est pas techniquement ou économiquement faisable. »



© Freepik

ARTICLE 26, ALINÉA 7 : « Les États membres veillent à ce qu'une analyse coûts-avantages soit réalisée [...] lorsque les installations suivantes font l'objet d'une nouvelle planification ou d'une rénovation substantielle :

- a) une **installation de production d'électricité thermique** dont la puissance annuelle moyenne totale est supérieure à 10 MW [...];
- b) une **installation industrielle** dont la puissance moyenne annuelle totale est supérieure à 8 MW, afin d'évaluer l'utilisation de la chaleur fatale sur site et hors site ;
- c) une installation de service dont la puissance moyenne annuelle totale est supérieure à 7 MW, telle que des **stations d'épuration des eaux usées** et des installations de GNL, afin d'évaluer l'utilisation de la chaleur fatale sur site et hors site ;
- d) un **centre de données** dont la puissance totale nominale est supérieure à 1 MW [...].

[> Lien vers la Directive Efficacité Énergétique](#)

SOMMAIRE

1/ Gisements de chaleur fatale issus des STEP	p.3
Contexte et principe de fonctionnement	p.3
Identification et géolocalisation des STEP	p.4
Caractérisation du gisement de chaleur fatale des STEP	p.5
2/ Gisements de chaleur fatale issus des datacenters	p.8
Contexte et principe de fonctionnement	p.8
Identification et géolocalisation des datacenters	p.9
Caractérisation du gisement de chaleur fatale des datacenters	p.10
3/ Gisements de chaleur fatale issus des UVE	p.11
Identification et géolocalisation des UVE	p.11
Caractérisation du gisement de chaleur fatale des UVE	p.11
4/ Gisements de chaleur fatale issus des industries	p.12
Contexte et principe de fonctionnement	p.12
Identification et caractérisation du gisement de chaleur fatale	p.13
5/ Gisements de chaleur fatale issus des installations électrogènes	p.14
Identification et géolocalisation des installations	p.14
Caractérisation du gisement de chaleur fatale	p.14
6/ Évolution des gisements de chaleur fatale à horizon 2050 (à venir)	p.15



1/ Identification et caractérisation des gisements de chaleur fatale issus des STEP

Contexte et principe de fonctionnement

Dans les zones urbaines et périphériques, les eaux circulent dans les réseaux d'assainissement avec une température estimée entre 10°C et 20°C.

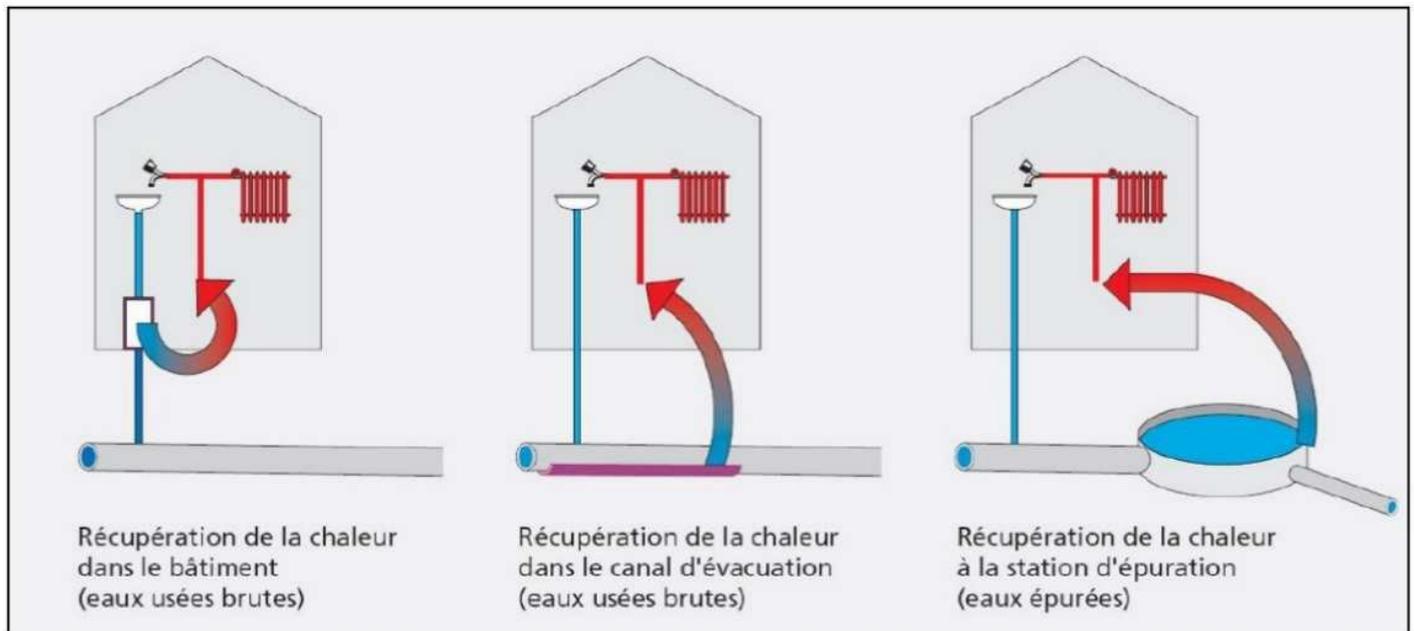
En hiver, les eaux usées sont plus chaudes que l'air ambiant ainsi les calories des eaux usées peuvent être récupérées et exploitées à partir d'une pompe à chaleur pour le chauffage de bâtiment.

De manière équivalente, en été, il est possible à partir du delta négatif de température de mettre en place un rafraîchissement de l'air du bâtiment considéré.

L'énergie des eaux usées peut être récupérées dans de nombreux endroits : dans les stations d'épuration, dans les collecteurs du réseau d'assainissement et dans les bâtiments ayant une forte consommation d'eau, comme l'illustre la figure ci-dessous.

LES DIFFÉRENTES SOURCES DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DES EAUX USÉES [1]

Source : ADEME



Il est à noter que chaque système présente des avantages et des contraintes. Le choix d'une technologie par rapport à un autre reste orienté par la nature du projet, le contexte du projet et bien évidemment sa gouvernance.

Sources et travaux utilisés :

[1] [Pierre Spieser. Récupération de la chaleur des eaux usées de la ville de Versailles au profit du chauffage d'un édifice public : études de potentiel et de faisabilité. Sciences de l'ingénieur \[physics\]. 2019. dumas-02485640](#)

SYNTHÈSE DES PROCÉDÉS DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR [1]

Source : ADEME

Dans les collecteurs	dans les STEP	dans les stations de relevage	au pied des bâtiments
<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance entre 10 kW et 1 MW S'installe dans le réseau public Nécessite d'avoir de longues conduites droites et un gros diamètre Doit vérifier les effets sur le fonctionnement du process de la STEP (abaissement de la T°) Proximité des preneurs de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance jusqu'à 20 MW Pas de problème de refroidissement Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance jusqu'à 2 MW Solution indépendante de la taille du collecteur Système encore nouveau avec peu de retour d'expérience 	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW Solution simple pour l'eau chaude sanitaire, mais qui ne convient pas pour un chauffage à distance Solution individuelle, pour les bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)

Le projet EnRezo visant à identifier le potentiel de développement des réseaux de chaleur et de froid, **seuls les gisements récupérables dans les STEP ont été étudiés.**

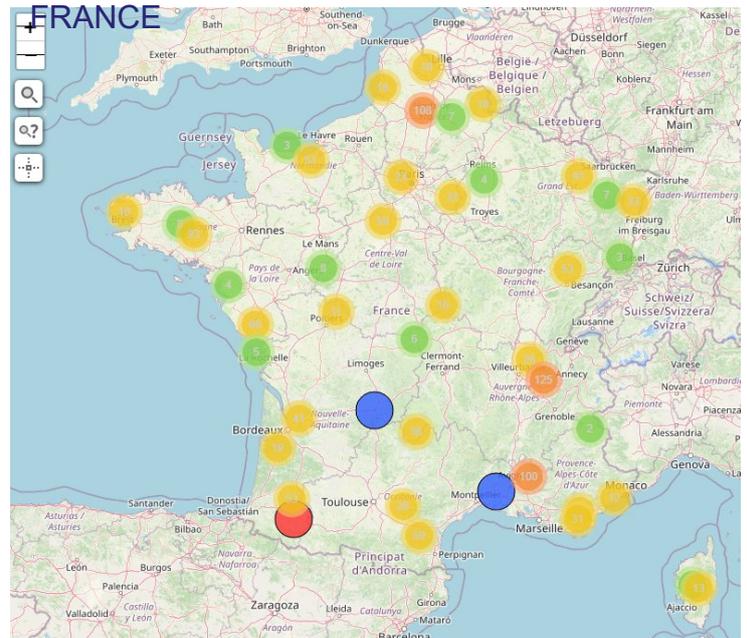
Identification et géolocalisation des STEP

Le site officiel « L'assainissement collectif – réseau de collecte et station de traitement des eaux usées » géolocalise précisément, au bâtiment, plus de 20 000 stations de traitement des eaux usées en France hexagonale et dans les DROM.

Dans le cadre du projet EnRezo, aucun travail supplémentaire quant au recensement et à la géolocalisation des STEP n'a été nécessaire. La base de données indique par ailleurs la capacité nominale (en équivalent habitants) et le débit entrant quotidien (en m³).

[> Lien vers la cartographie du site « L'assainissement collectif »](#)

CARTE INTERACTIVE DES STEP EN FRANCE



Sources et travaux utilisés :

[1] Pierre Spieser. Récupération de la chaleur des eaux usées de la ville de Versailles au profit du chauffage d'un édifice public : études de potentiel et de faisabilité. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02485640

Caractérisation du gisement de chaleur fatale des STEP

La méthode utilisée pour estimer le gisement de chaleur fatale des stations de traitement des eaux usées est basée sur l'étude régionale effectuée en région Provence-Alpes-Côte d'Azur par le bureau ANTEA. [2]

[> Lien vers l'étude ANTEA](#)

Le POTENTIEL D'EXTRACTION DE CHALEUR est défini par :

$$P_{\text{extraite}} = Q * \rho * P_c * \Delta T$$

Avec :

- P_{extraite} : la puissance extraite en W
- Q : le débit en L/s
- ρ : la masse volumique de l'eau (1 kg/L pour une eau entre 0°C et 20°C)
- P_c : le pouvoir calorifique de l'eau (4186 J/kg*K pour une eau entre 0°C et 20°C)
- ΔT : la variation de température de l'eau définie à 5°C entre l'entrée et la sortie de l'échangeur

La puissance thermique récoltée va aussi dépendre du coefficient de performance de la pompe à chaleur installée (COPA), défini à 3,5 pour l'étude.

Le potentiel annuel de production de chaleur par l'installation PAC et chaudière d'appoint dépend également de sa durée de fonctionnement annuelle à pleine puissance en région PACA (1 400 heures).

La PUISSANCE THERMIQUE est ainsi défini par :

$$P_{\text{th}} = \frac{P_{\text{extraite}}}{(1 - (1/COPA))}$$

Avec :

- P_{th} : la puissance thermique en W
- COPA : le coefficient de performance de la pompe à chaleur défini à 3,5

Sources et travaux utilisés :

[2] [Étude ANTEA « Évaluation du potentiel de récupération d'énergie thermique dans les réseaux d'assainissement de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur »](#)

Toute installation de chauffage par valorisation énergétique des eaux usées comprend d'une part l'installation de récupération de chaleur sur eaux usées elle-même (échangeur + pompe à chaleur), d'autre part une chaudière d'appoint.

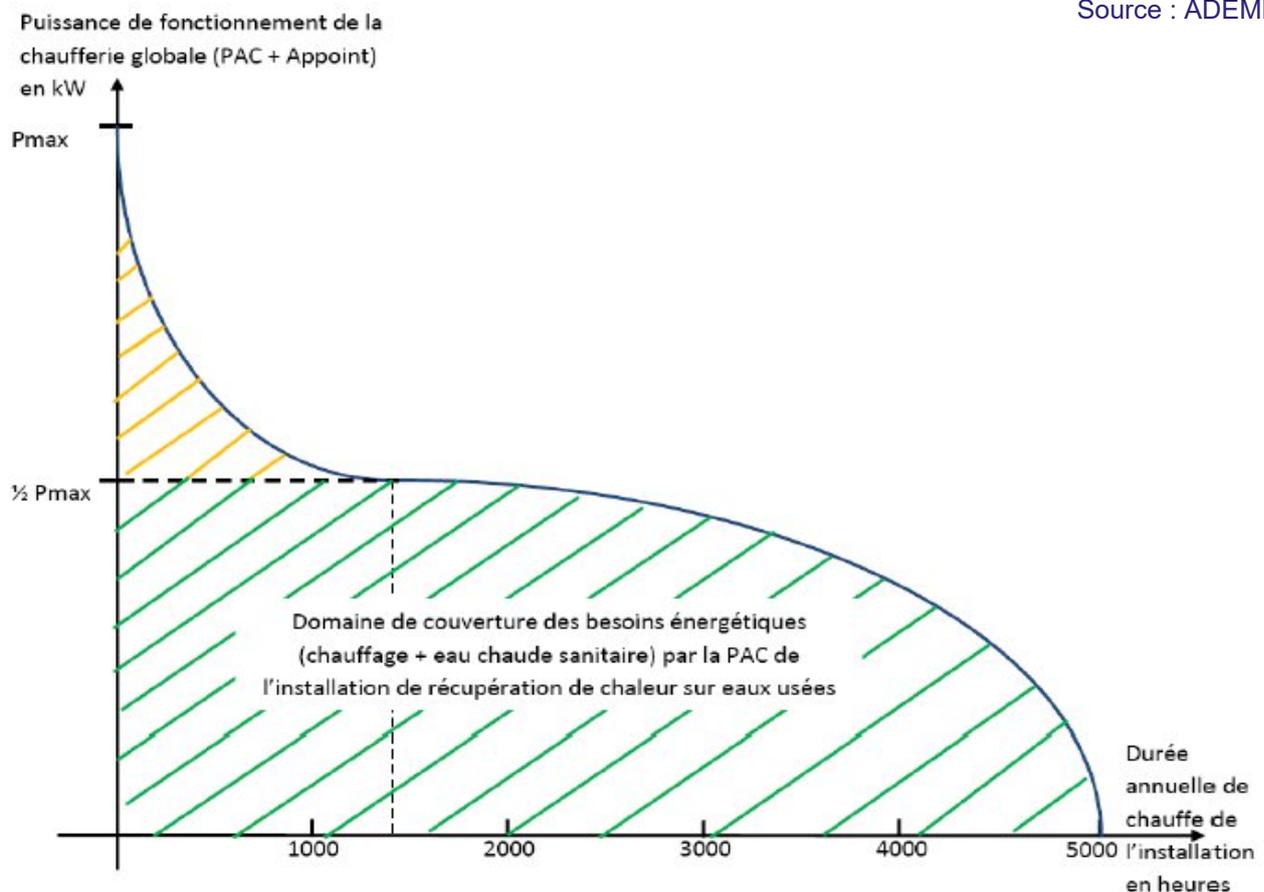
Dans un tel dispositif, il est d'usage de considérer que l'installation de récupération de chaleur sur eaux usées, dimensionnée à la moitié du besoin maximum de puissance globale de la chaufferie, fournit 80 % des besoins annuels en chaleur du bâtiment.

Les 20 % restant sont fournis par la chaudière d'appoint et correspondent au complément de puissance nécessaire pour les jours les plus froids de plus fortes consommations, durant lesquels la chaudière d'appoint sera plus sollicitée, éventuellement à pleine puissance.

Les principes de dimensionnement sont illustrés par la figure ci-dessous avec une durée annuelle de fonctionnement à pleine charge considérée de 1 400 heures, correspondant à la moyenne régionale en PACA, fournie par l'ADEME, pour l'ensemble du dispositif de chauffage comprenant la PAC et la chaudière d'appoint.

PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION DE VALORISATION DES EAUX USÉES [2]

Source : ADEME



Sources et travaux utilisés :

[2] [Étude ANTEA « Évaluation du potentiel de récupération d'énergie thermique dans les réseaux d'assainissement de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur »](#)

Considérant les principes de dimensionnement de la PAC par rapport à la puissance maximale requise pour couvrir les besoins en chauffage et eau chaude sanitaire d'un bâtiment, nous obtenons pour le dispositif de chauffage (PAC + chaudière d'appoint) associé à chaque STEP, le potentiel théorique de production de chaleur annuel défini ci-dessous.
[2]

Le POTENTIEL THÉORIQUE DE PRODUCTION DE CHALEUR ANNUEL est égal à :

$$E_n = P_{th} * 1400 * 2$$

Avec :

- E_n : potentiel de production d'énergie thermique annuel par le dispositif PAC + chaudière d'appoint
- 1 400 : durée de fonctionnement annuelle à puissance maximale du système (PAC et appoints) en région PACA

Après avoir filtré les STEP dont la capacité nominale est supérieure à 2000 équivalents habitants, **les gisements de chaleur fatale des STEP ont été évalué sans modification du COPA et de la durée de fonctionnement annuelle à puissance maximale de la PAC.**



© Patrick Garçon - Nantes Métropole

Sources et travaux utilisés :

[2] [Étude ANTEA « Évaluation du potentiel de récupération d'énergie thermique dans les réseaux d'assainissement de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur »](#)

2/ Identification et caractérisation des gisements de chaleur fatale issus des datacenters

Contexte et principe de fonctionnement

Les datacenters sont des installations informatiques qui abritent un grand nombre de serveurs et d'équipements de stockage de données. Selon RTE, la part du numérique représenterait près de 10% de la consommation électrique française dont 18% pour les seuls datacenters soit environ 6,8 TWh.

Les serveurs informatiques eux-mêmes génèrent de la chaleur lorsqu'ils traitent de grandes quantités de données, c'est donc aux systèmes de refroidissement de maintenir les serveurs informatiques à des températures optimales de fonctionnement.

La production de chaleur est directement liée au système de refroidissement et peut être récupérée à partir :

- Des matériels informatiques,
- Des compresseurs des groupes froids selon les systèmes de refroidissement.

En ce qui concerne la chaleur fatale produite, 100% de l'énergie électrique consommée par la salle informatique, se transforme en chaleur.

Il est donc important de comprendre le fonctionnement des différents types de système de refroidissement pour identifier les systèmes les plus favorables à la récupération de chaleur fatale ; et plus largement de réfléchir dès à présent à la diminution des consommations, la récupération de chaleur fatale et les possibilités de création de synergies territoriales.

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT [3]

Source : Elcimai/Apl

	Puissance du data center adaptée	Performance Energétique	Facilité de récupération de la chaleur fatale	Température récupérable sans relèvement de température	Evolution dans les usages	Impact de la récupération sur le PUE
Détente directe	Inférieure à 150 kW	Mauvaise	Non valorisable		Diminution	
Eau glacée basse température	Supérieure à 150 kW	Mauvaise	Facile	50 à 60°C	Diminution	Négative
Eau glacée moyenne température avec free chilling	Supérieure à 150 kW	Bonne	Moyenne	20 à 35°C	Forte croissance actuelle	Faiblement positive
Free cooling direct	Supérieure à 150 kW	Très bonne	Très difficile	20 à 30°C	Croissance modérée	Négative
Refroidissement à cœur	Supérieure à 150 kW	Très bonne	Facile	40°C à 65°C	Forte croissance à venir (5-10 ans)	Positive

Identification et géolocalisation des datacenters

Aucun site officiel ne recense de façon exhaustive les datacenters en France. Plusieurs sources ont néanmoins été identifiées afin de géolocaliser le plus précisément possible les datacenters en France hexagonale.

Dans le cadre du projet EnRezo, un travail chronophage de recensement des datacenters a donc été effectué sur la base d'annuaires, de blogs et de sites web (cf. LISTE DES PRINCIPAUX SITES UTILISÉS).

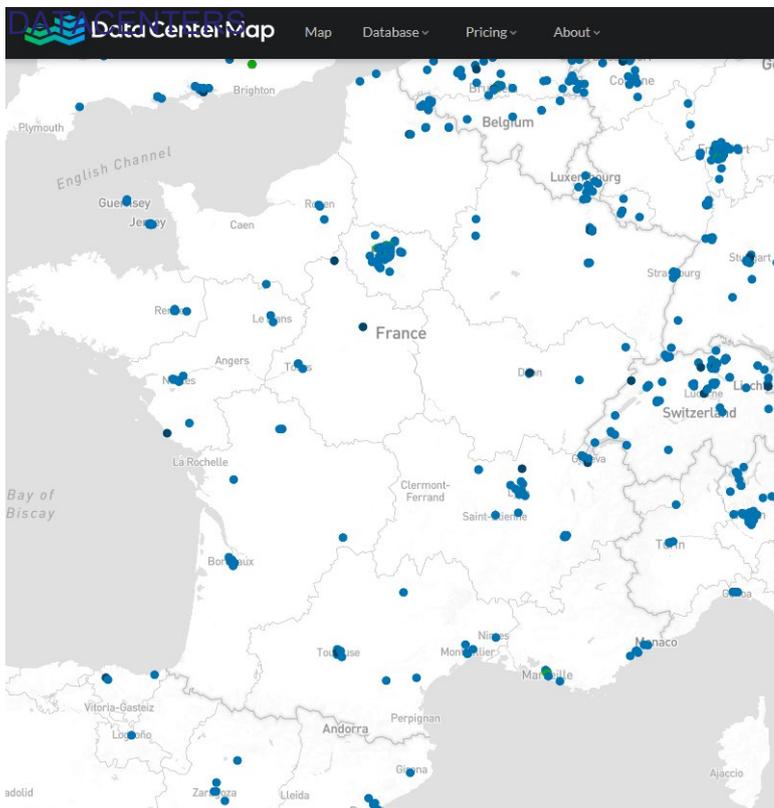
Ce travail a abouti à l'identification de 241 datacenters.

Un travail de précision de géolocalisation des sites a ensuite été entrepris en croisant les différentes bases de données.

Pour chaque site, un attribut indique le degré de précision de la géolocalisation :

- 1 pour une localisation exacte
- 2 pour une localisation sur la parcelle
- 3 pour une localisation dans le quartier
- 4 pour une localisation dans l'iris
- 5 pour une localisation dans la commune

EXEMPLE DE CARTOGRAPHIE DE



Le projet EnRezo a permis le **recensement et la géolocalisation de 241 datacenters**. Parmi ces installations :

- 187 datacenters ont pu être géolocalisés précisément au bâtiment,
- 32 datacenters ont une géolocalisation à la parcelle,
- 18 datacenters ont une géolocalisation au quartier,
- 4 datacenters ont une géolocalisation imprécise à la commune.

LISTE DES PRINCIPAUX SITES UTILISÉS

- [2016 - Potentiel d'économie d'énergie et de chaleur fatale dans les data-centers - ORECA](#)
- <https://aau.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=789b7faef30148bda20d320de9455919>
- <https://datacenter-magazine.fr/carte-des-datacenters/>;
- <https://www.france-datacenter.fr/datacenter-ville-france-carte/marseille-provence-datacenter/>
- <https://www.france-datacenter.fr/datacenter-ville-france-carte/toute-la-france/>
- <https://www.datacentermap.com/> ;
- <https://baxtel.com/data-center/provence-alpes-cote-d-azur-paca> ;
- <https://www.globalsecuritymag.fr/-PACA-Provence-Alpes-Cote-d-Azur-.html> ;
- <http://www.centredonnees-datacenter.fr/>

Caractérisation du gisement de chaleur fatale des datacenters

L'estimation du gisement de chaleur fatale des datacenters dépend directement de la consommation électrique des installations. Cette donnée n'étant pas disponible publiquement, il n'a pas été possible de caractériser précisément ces gisements.

Toutefois, certaines informations ont pu être récupérées lors de la phase de recensement des datacenters. Parmi celles-ci, certaines peuvent permettre de préjuger de l'importance de l'installation et donc de conditions favorables à la récupération de chaleur fatale :

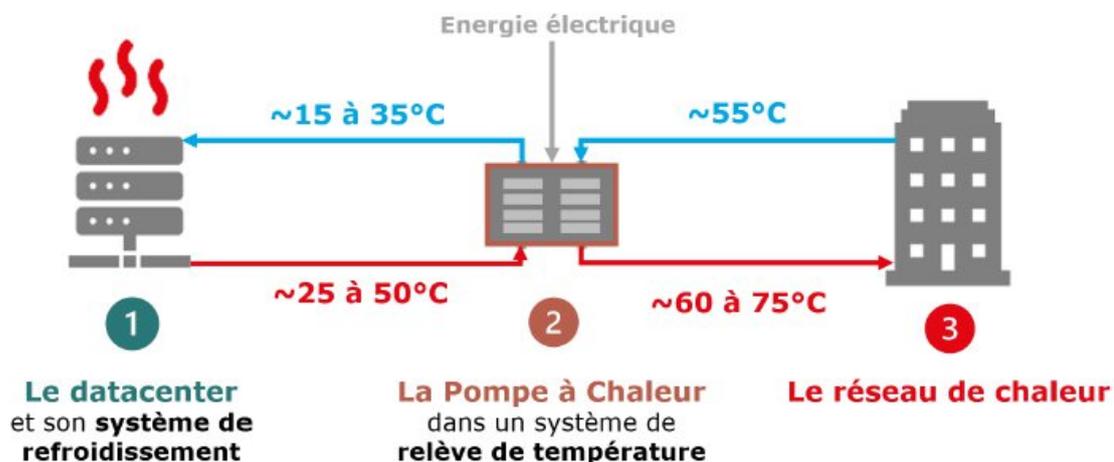
- La catégorie du datacenter (public, hébergeur, enseignement supérieur, etc.)
- La puissance des serveurs
- La surface du bâtiment ou des serveurs
- La classification « tier » du datacenter

Par ailleurs, la technologie de refroidissement des serveurs impacte directement la possibilité technique de récupérer la chaleur fatale. Cette information n'est en revanche pas indiquée dans la base de données construite pour EnRezo.

Enfin, la récente étude ADEME menée par Elcimaï [3], appelle à informer et sensibiliser les constructeurs de datacenters sur l'importance d'intégrer dès la conception de l'installation, les espaces pour les équipements de récupération de chaleur fatale.

PRINCIPE DE VALORISATION DE CHALEUR FATALE D'UN DATACENTER SUR UN RÉSEAU DE CHALEUR

Source : étude ADEME menée par Elcimaï [3]



Par manque d'informations, le projet EnRezo n'a pas permis de caractériser, par site, les gisements de chaleur fatale des datacenters. La directive Efficacité Énergétique présentée en introduction du présent document pourrait toutefois amener des évolutions sur la connaissance de ces gisements.

Sources et travaux utilisés :

[3] [Étude « Valorisation de la chaleur fatale issue des datacenters » de l'ADEME](#)

[4] [2016 - Potentiel d'économie d'énergie et de chaleur fatale dans les data-centers - ORECA](#)

3/ Identification et caractérisation des gisements de chaleur fatale issus des unités de valorisation énergétique (UVE)

Identification et géolocalisation des UVE ou unités d'incinération des ordures ménagères (UIOM)

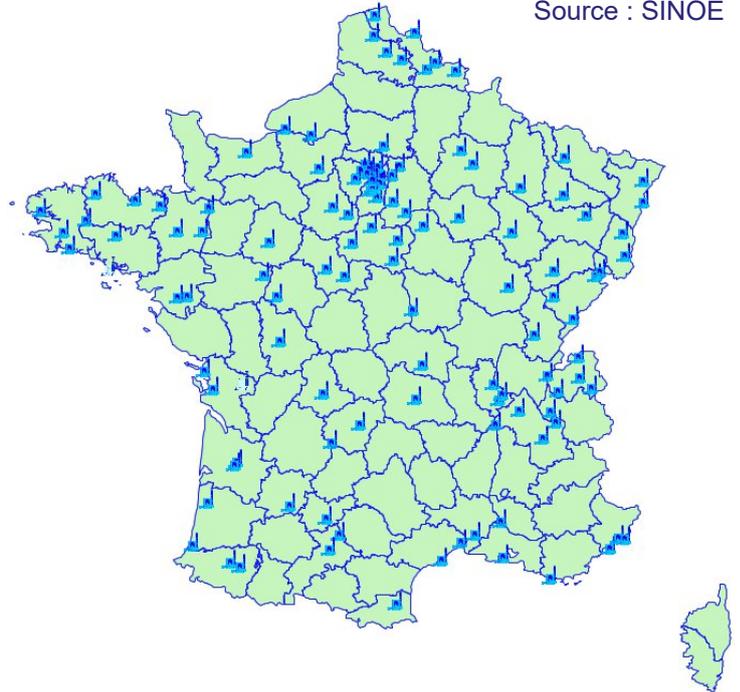
Le site officiel « SINOE », administré par l'ADEME, recense et géolocalise précisément les 177 unités d'incinération en France.

Dans le cadre du projet EnRezo, aucun travail supplémentaire quant au recensement et à la géolocalisation de ces installations n'a été nécessaire.

[> Lien vers le site SINOE](#)

CARTOGRAPHIE DES UVE EN FRANCE

Source : SINOE



Caractérisation du gisement de chaleur fatale des UVE

La Fedene, au travers des syndicats SVDU et SNEE, a réalisé une étude d'estimation des gisements thermiques encore disponibles dans les unités d'incinération. Sur les 10 TWh encore disponibles estimés par la Fedene, 8 TWh pourrait être valorisés sur un réseau de chaleur (soit l'équivalent de ce qui est déjà valorisé par les UVE sur les réseaux en 2022 – source : EARCF – 2023).

Les informations transmises par les adhérents du SVDU et centralisées par la Fedene illustrent une fourchette de chaleur fatale disponible par site. Cette chaleur est actuellement dissipée au niveau des aérocondenseurs.

L'absence de données pour certains sites peut s'expliquer par une valorisation maximale déjà atteinte, la fermeture du site, des travaux de construction de nouvelle ligne ou de rénovation.

Les calculs de la Fedene tiennent compte du rendement effectif afin de déterminer la quantité de chaleur réellement injectable dans les réseaux, par rapport à la chaleur fatale disponible.

Le projet EnRezo reprend les travaux transmis par la Fedene et indique ainsi les gisements de chaleur fatale restant à valoriser au sein des unités d'incinération.

4/ Identification et caractérisation des gisements de chaleur fatale issus des industries

Contexte et principe de fonctionnement

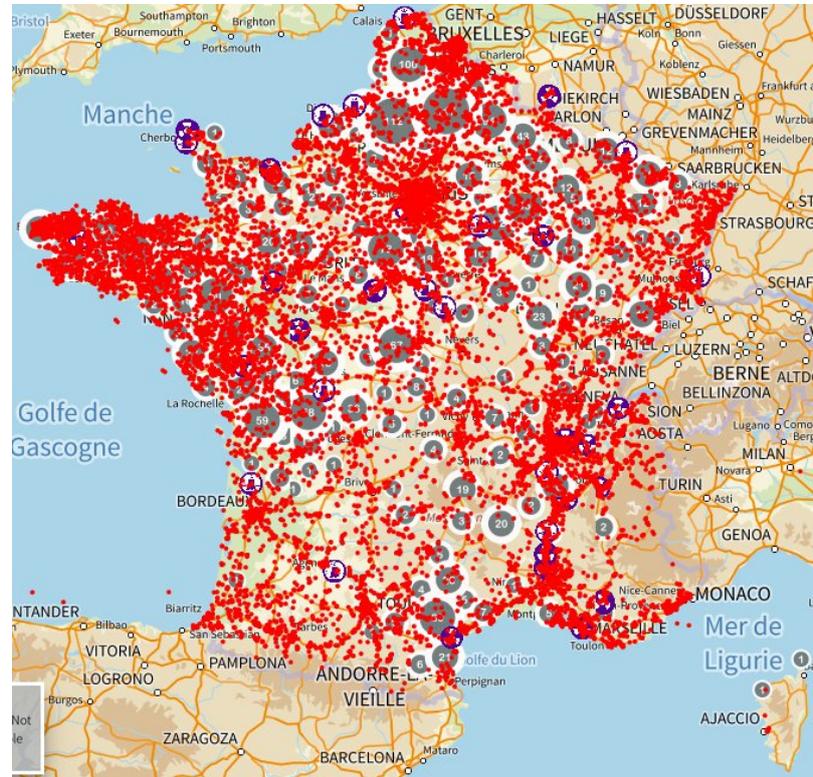
La valorisation de « chaleur perdue » (ou « chaleur fatale ») industrielle représente un levier important d'efficacité énergétique et de compétitivité pour l'industrie. Elle concerne potentiellement tout site industriel disposant de fours, séchoirs, compresseurs ou chaudières et produisant de la chaleur ou du froid. En France, l'ADEME estime ce gisement à environ 100 TWh, soit près de 30% de la consommation d'énergie finale de l'industrie. Toujours d'après l'ADEME, la valorisation de chaleur fatale est l'une des solutions les plus rentables pour optimiser la consommation énergétique sur un site industriel.

La valorisation de la chaleur fatale peut s'effectuer sur site ou à l'extérieur du site avec les réseaux de chaleur.

> [Source : étude chaleur fatale de l'ADEME, 2017](#)

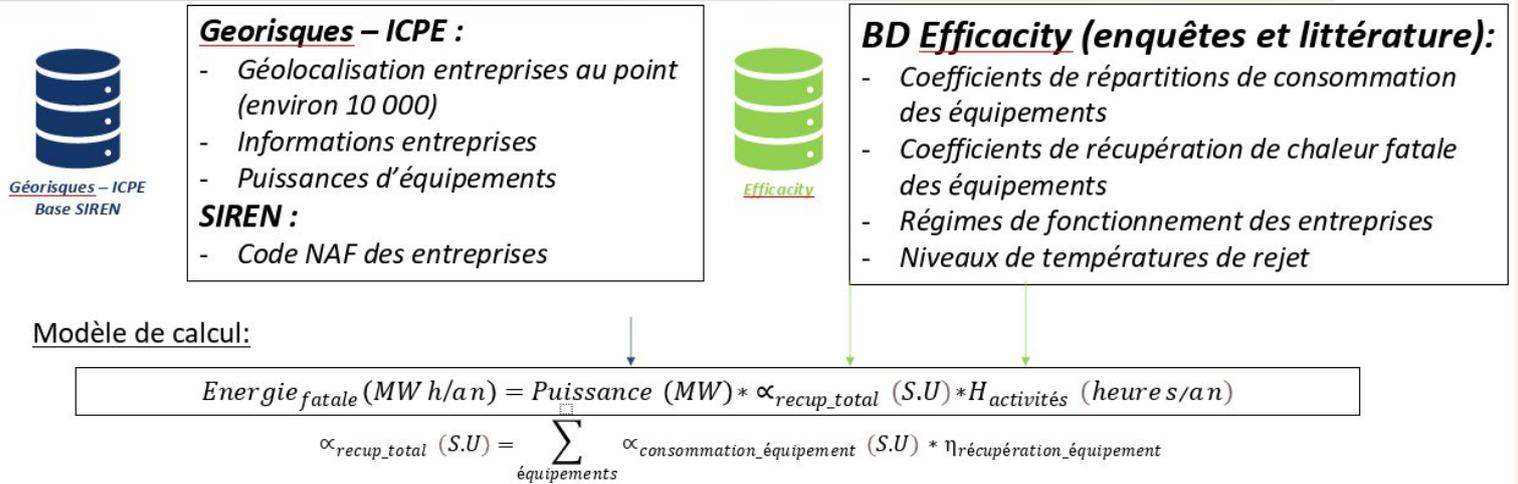
CARTOGRAPHIE DES INDUSTRIES EN FRANCE

Source : Georisques



Identification et caractérisation du gisement de chaleur fatale des industries

Efficacity a identifié et évalué les gisements de chaleur fatale industriels selon la méthode suivante :



Le projet EnRezo reprend les travaux transmis par Efficacity et indique ainsi les gisements de chaleur fatale estimés pour le secteur industriel.



5/ Identification et caractérisation des gisements de chaleur fatale issus des installations électrogènes

Identification et géolocalisation des installations électrogènes

Les données d'installation de cogénération sont issues du registre national des installations de production et de stockage d'électricité (2022), disponibles sur le site officiel « ODRE - Open data Réseaux Energies ». Ce site, tenu par les grands opérateurs énergétiques, recense et géolocalise précisément les installations électrogènes en France.

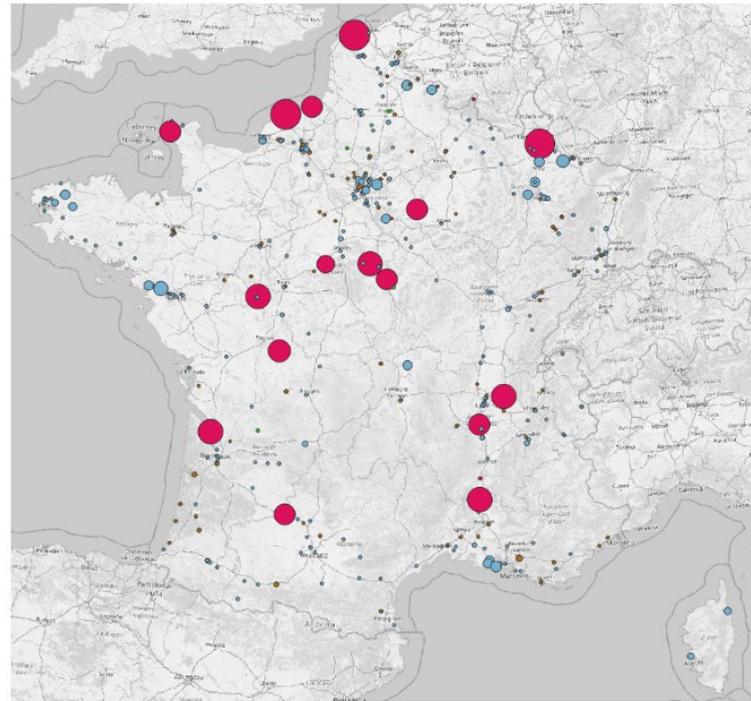
[> Lien vers le site ODRE](#)

Dans le cadre du projet EnRezo, le travail a consisté à filtrer les installations de production d'électricité pour ne conserver que celles produisant de l'électricité via une source thermique (bioénergies, gaz, charbon, nucléaire, autre).

Parmi ces installations, seules celles ayant une puissance électrique supérieure à 5 MW ont été retenues (en cohérence avec la directive Efficacité Énergétique qui demande l'identification des installations ayant une puissance thermique supérieure à 20 MW ; en considérant un rendement moyen des installations de 25%).

CARTOGRAPHIE DES INSTALLATIONS ÉLECTROGÈNES EN FRANCE

Source : ODRE



Caractérisation du gisement de chaleur fatale des installations électrogènes

Aucun gisement de chaleur fatale n'a été évalué pour les installations électrogènes.

Le projet EnRezo identifie précisément les principales installations électrogènes du territoire mais n'évalue pas le gisement de chaleur fatale, par nature supérieur à la production électrique du site.

6/ Évolution des gisements de chaleur fatale à horizon 2050

Méthodologie à venir



© rorozoa on Freepik

ACCÈS AUX DONNÉES
[Portail EnRezo](#)

CONTACT
reseaux-chaleur@cerema.fr

RÉDACTION ET MISE EN FORME
Luc Petitpain

RELECTURE
Cindy Melfort

