

Développement Paris ville hydraulique : Redessiner la ville avec l'eau
Dirigé par M. Coulais, Mme. Alehashemi

I Renouv'eau énergétique

Johnny Lak et Jasmine Khalafi



I Eau et énergie

Sommaire

I] Introduction	2		
<ul style="list-style-type: none">• Reconsidérer l'eau• Relier eau et énergie• Chronologie du développement			
II] Énergie hydraulique	5		
<ul style="list-style-type: none">• Types de centrales hydrauliques• Hydroélectricité en France• Géothermie dans le monde• Géothermie en Île de France• Bilan - Dépendance énergétique			
III] Eau potable de Paris	11		
<ul style="list-style-type: none">• Chemin et origine• Logique topographique• Distribution• Empreinte énergétique• Bilan - Surcapacité du réseau			
		IV] Grand Paris	17
		<ul style="list-style-type: none">• Territoire et population• Consommation énergétique• Opérateurs et origines de l'eau• Consommation hydrique• Bilan - Question politique	
		V] Chaleur fatale	23
		<ul style="list-style-type: none">• Définition et types• Origines des gisements• Valorisation des eaux usées• Zones favorables• Bilan - Énergie potentielle	
		VI] Conclusion et sources	32

Introduction

Reconsidérer la ressource

L'eau est une ressource qui nous est si facile d'accès aujourd'hui, qu'on ne se rend même plus compte du parcours qu'elle a fait pour parvenir à nous. Il y a moins de 200 ans, les parisiens n'avaient toujours pas d'**eau courante à domicile**. L'arrivée de l'eau courante dans les maisons est très récente puisqu'elle ne date que de la fin des années 1980. Avant cela, les hommes ont dû inventer des systèmes d'**acheminement de l'eau** provenant des fleuves vers des points d'eau communs avec les moyens et matériaux de l'époque. Les populations se sont donc toujours installées et développées là où elles pouvaient avoir un accès facile à cette précieuse ressource, dans la mesure où l'être humain a un **besoin vital** et quotidien d'eau pour survivre.

Sans eau, point de vie possible pour la faune, la flore, et les écosystèmes. C'est elle également qui sculpte les reliefs, qui façonne les paysages des campagnes, mais c'est également elle qui peut provoquer des **catastrophes naturelles**, sécheresse, inondations... Pour les sociétés humaines tout comme la nature, le **cycle de l'eau** représente donc la vie. Or **cette ressource n'est pas inépuisable**, et l'intensité moderne des activités humaines ainsi que l'urbanisation croissante augmentent les **besoins en énergie** et en eau douce, tandis que plusieurs régions du monde connaissent déjà des pénuries significatives. Avec **2,1 milliards de personnes qui n'ont pas un accès satisfaisant à l'eau potable** (source : OMS / Unicef juillet 2017), ainsi que 1,3 milliard qui ne sont pas raccordés à l'électricité, souvent dans les mêmes régions, soulignant ainsi l'**interdépendance de ces deux ressources**. Au cours du XXI^e siècle l'eau pourrait donc devenir un enjeu politique équivalent aux crises liées au pétrole durant ces dernières décennies.

Le **réchauffement climatique** représente également une menace directe, notamment sur les centrales électriques, en entraînant une sécheresse et une baisse du débit des cours d'eau et une hausse de leur température, ce qui entrave la production et ralentit les centrales nucléaires et thermiques. À ces **problèmes énergétiques** s'ajoutent les **risques naturels**, comme la hausse de l'intensité des pluies, des inondations et la hausse du niveau de la mer. Les changements de températures quant à eux pourraient également avoir pour conséquence de modifier substantiellement la saisonnalité de la **demande d'électricité** dans les pays du Nord. Avec le réchauffement, la demande serait moins forte en hiver pour le chauffage, mais plus forte en été pour la climatisation, au moment où certaines sources d'énergies sont les plus problématiques.

Introduction

Le lien entre l'eau et l'énergie

On l'aura compris l'eau est une **ressource indispensable** dans la plupart des filières énergétiques. Elle est utilisée dans la **génération d'électricité** pour refroidir les centrales, dans l'extraction des énergies fossiles, dans le raffinage du pétrole et aussi dans l'irrigation des cultures destinées à la production de biocarburants. **Une gestion durable de cette eau est nécessaire**, alors même que le « **stress hydrique** » de la planète est déjà accentué par l'augmentation de la population et par les effets du réchauffement climatique.

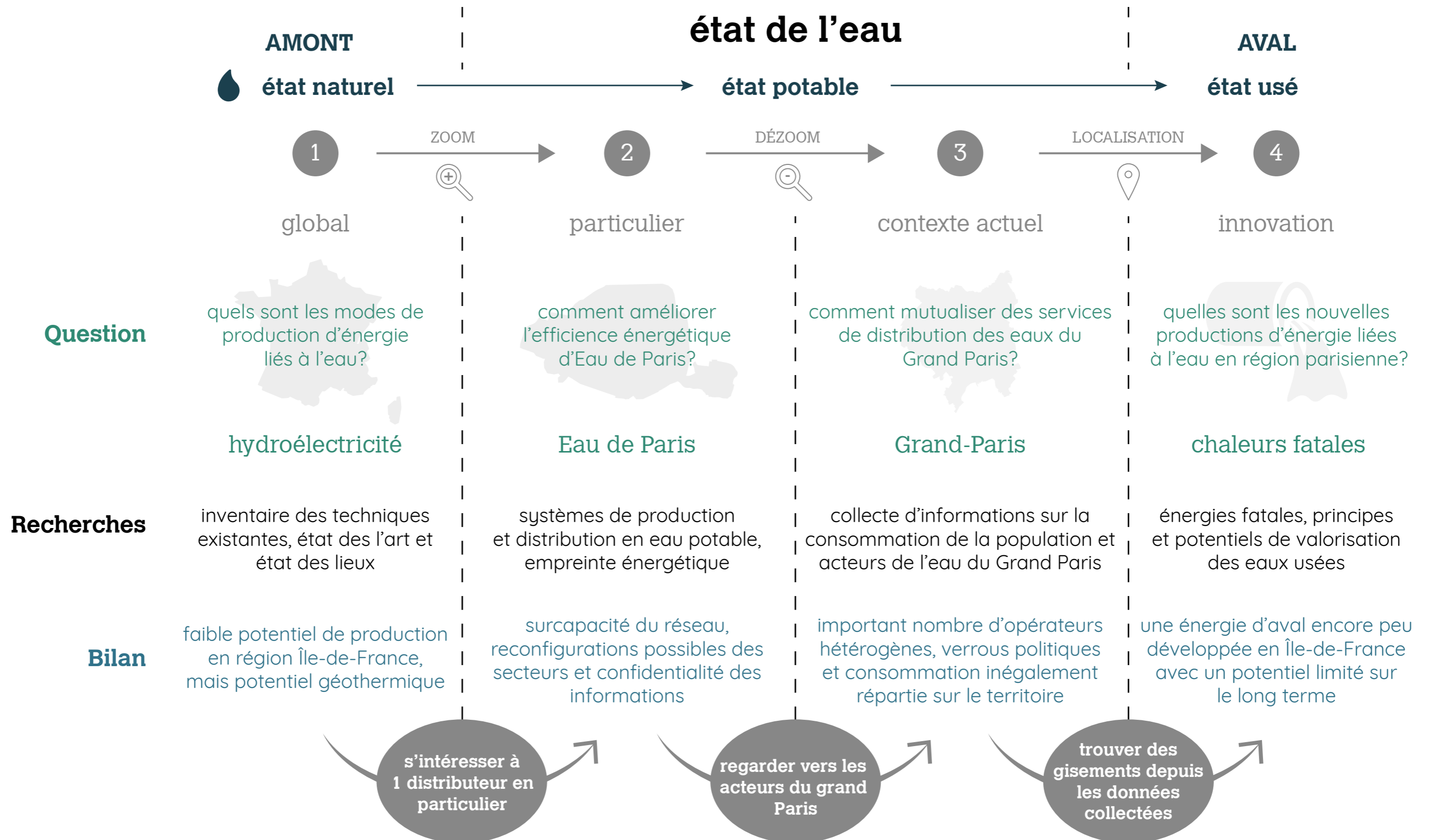
L'eau et l'énergie sont deux **ressources essentielles** dans nos modes de vie urbain actuels et pourtant leur mise en relation n'est pas forcément évidente ni intuitive. L'eau qui sort de notre robinet et qui nous semble acquise est le dénouement d'un **dispositif complexe** qui met en marche des machines, **infrastructures et techniques** datant parfois de l'époque romaine. En outre, cette eau requiert aussi une autre ressource invisible à nos yeux : l'énergie. On estime que **4 % à 5 % de l'électricité en France ou aux États-Unis sont utilisés pour l'eau**, et jusqu'à 20 % en Jordanie. Et, pour fournir de l'énergie, il faut de l'eau, beaucoup d'eau même : **600 milliards de mètres cubes par an**.

Dans le cadre de ce développement «**Paris ville hydraulique : Redessiner la ville avec l'eau**» en partenariat avec Eau de Paris, nous nous sommes penchés sur la thématique Eau et énergie. Notre travail tout au long de ce semestre consista donc à mettre en lumière le **lien qui existe entre l'eau et l'énergie** que ce soit à travers de leurs productions ou consommations afin de trouver des moyens de réaliser des économies. Nous avons ainsi dressé un état de l'art des techniques, **systèmes et acteurs** de ces grands réseaux dans l'objectif de **trouver des possibilités d'intervention**.

L'ensemble des recherches résulte de nos réflexions, questionnements et obstacles qui nous ont poussé à approcher l'eau et l'énergie de manière individuelle, à l'unisson et ceci à toutes **les échelles** quelles soient du territoire ou de l'architecture. Notre objectif final n'étant pas d'aboutir à un projet réalisable mais plutôt de comprendre et **établir un panel** de ce qui avait été fait, de ce qui se fait aujourd'hui et de ce que l'on pourrait faire demain pour produire de l'énergie et réduire l'empreinte énergétique de l'eau.

Introduction

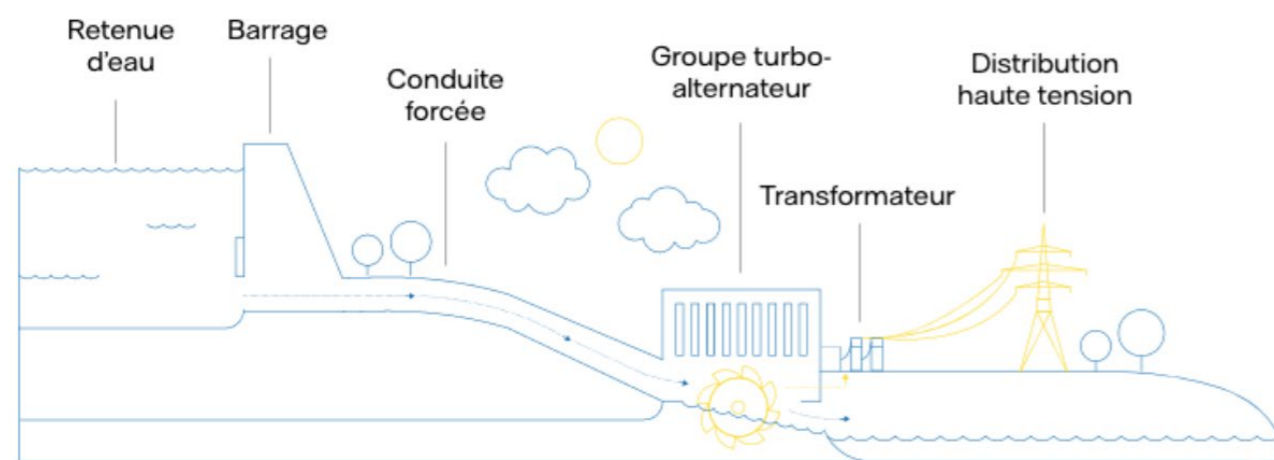
Chronologie du développement



Hydroélectricité

Les différentes centrales hydrauliques

L'**hydroélectricité** exploite l'**énergie des flux d'eau** (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins...). L'**énergie cinétique** du courant d'eau est transformée en **énergie mécanique** par une turbine, puis en **électricité** par un alternateur. Durable, souple, compétitive et non-émettrice de CO2, elle occupe une place majeure dans un contexte de transition énergétique vers des ressources renouvelables.



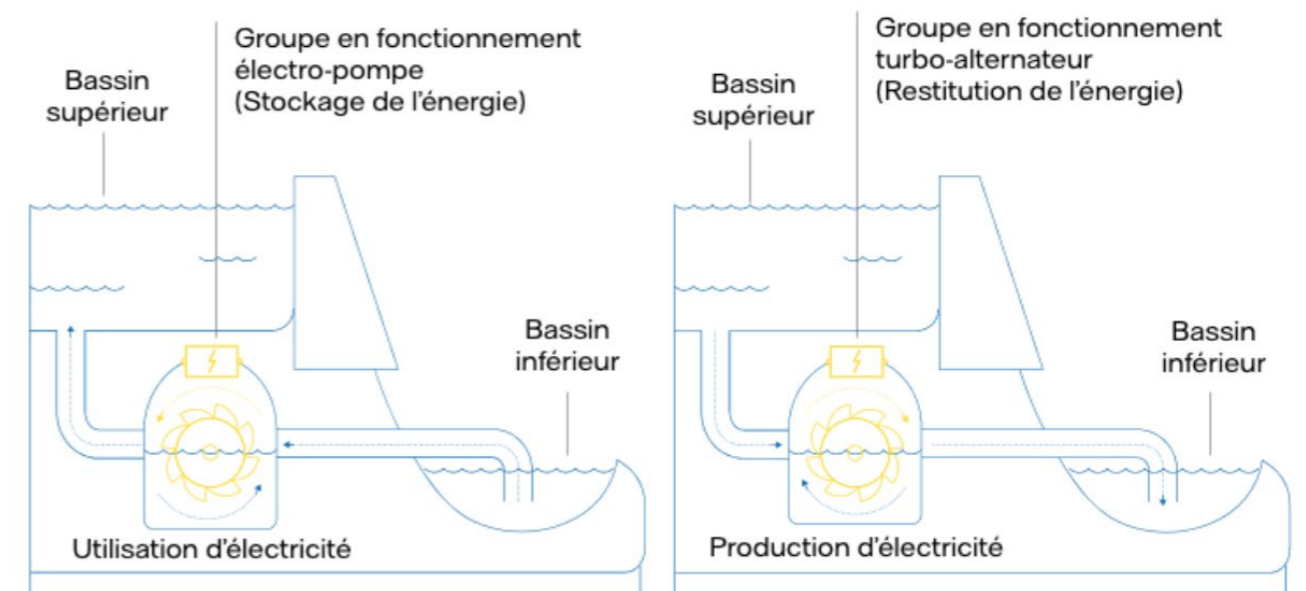
auteurs, 2021 d'après <https://www.vattenfall.fr/>

1. Les centrales gravitaires

Elles utilisent le principe d'un **différentiel de hauteur** entre l'amont et l'aval de l'installation. Il en existe 3 types :

- les **centrales-lacs** (ou centrales de hautes chutes), associées à une retenue d'eau créée par un barrage
- les **centrales au fil de l'eau**, utilisant le débit d'un fleuve
- les **centrales d'écluse**, sur les grands fleuves à pente relativement forte comme le Rhin ou le Rhône.

quels sont les modes de production d'énergie liés à l'eau?



auteurs, 2021 d'après <https://www.vattenfall.fr/>

2. Les STEP

(stations de transfert d'énergie par pompage)

Elles possèdent deux bassins entre lesquels un dispositif fonctionne tout à la fois comme **pompe/turbine** pour la partie hydraulique et comme **moteur/alternateur** pour la partie électrique.

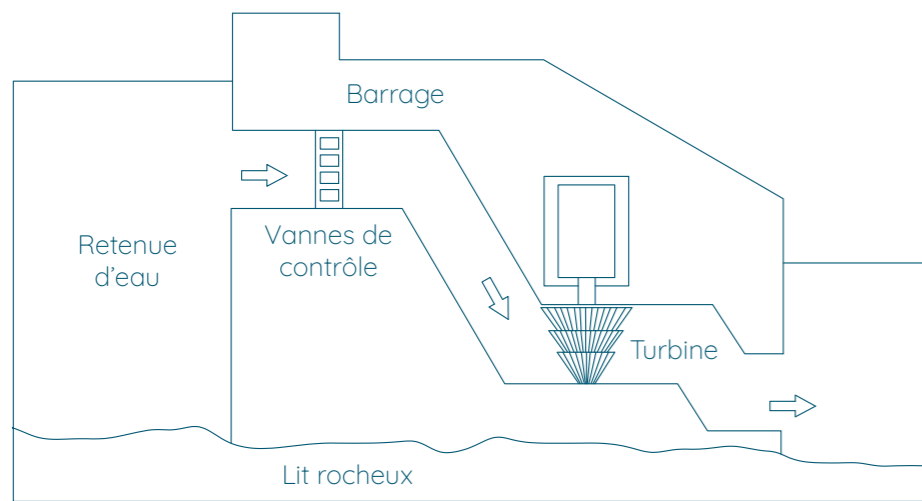
L'eau du bassin supérieur est turbinée lors des fortes demandes pour produire de l'électricité. Puis elle est remontée vers le bassin supérieur lorsque l'énergie est bon marché.

Hydroélectricité

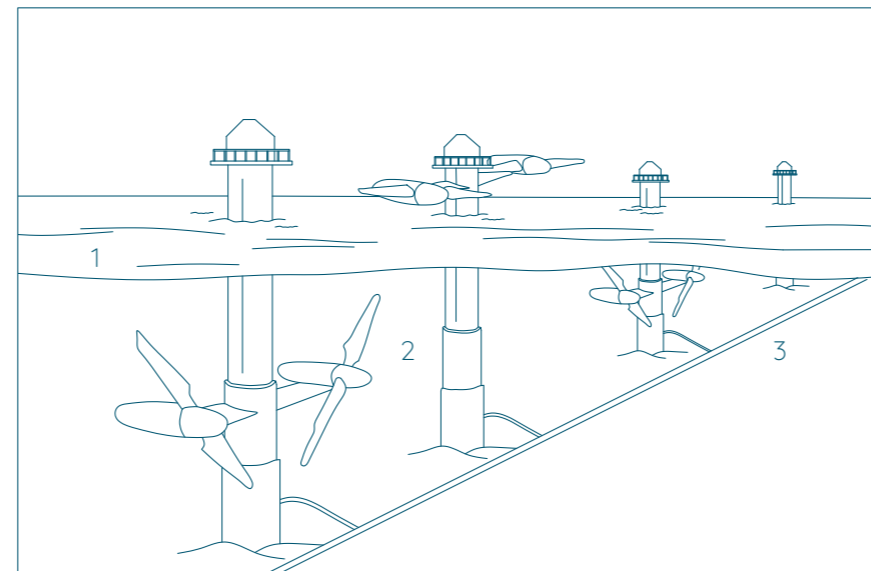
Les différentes centrales hydrauliques

3. Les centrales utilisant l'énergie de la mer

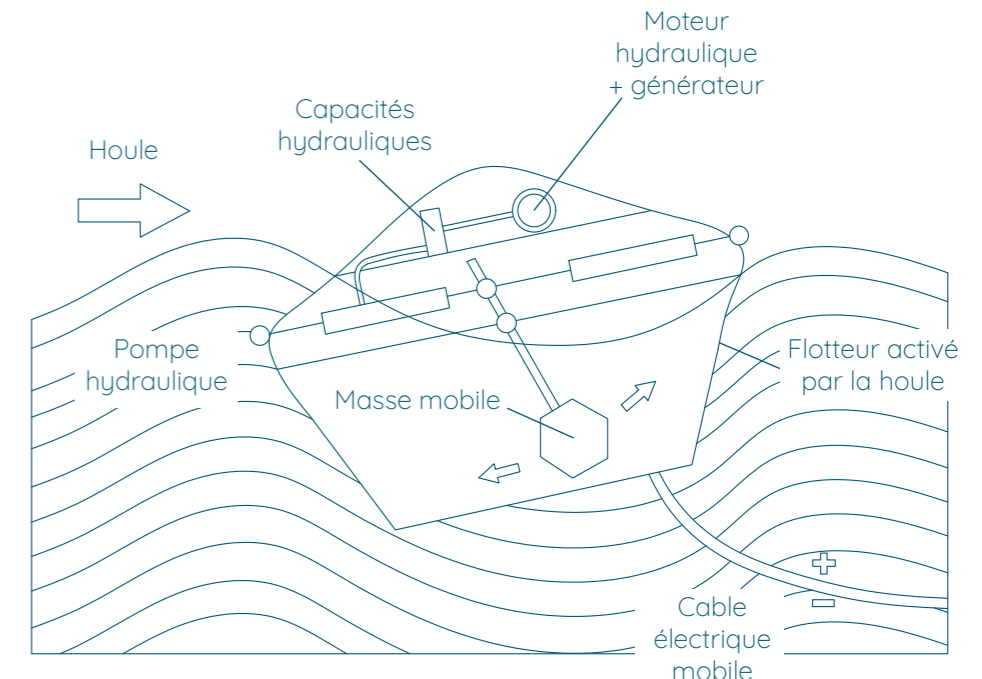
quels sont les modes de production d'énergie liés à l'eau?



auteurs, 2021 d'après <https://www.kartable.fr/>



auteurs, 2021 d'après <http://college.lutterbach.free.fr/>



auteurs, 2021 d'après <https://www.techno-science.net/>

L'énergie marémotrice

Les centrales exploitent l'**énergie potentielle de la marée**, venue de la différence de niveau entre deux masses d'eau et des **courants** induits.

En conjuguant **turbinage et pompage**, une centrale marémotrice peut constituer un moyen de **stockage**. Le potentiel de l'énergie marémotrice dans le monde est estimé à près de 380 TWh/an.

L'énergie hydrolienne

À l'image des éoliennes pour le vent, les hydroliennes **exploitent l'énergie des courants de marée**

1. Les courants marins font tourner les pales de chaque turbine
2. L'énergie mécanique est convertie en énergie électrique
3. L'électricité produite par les générateurs descend dans un câble relié au rivage

L'énergie houlomotrice

L'énergie houlomotrice ou **énergie des vagues** désigne la production d'énergie électrique à partir de la **houle**, c'est-à-dire à partir de vagues successives nées de l'effet du vent à la surface de la mer et parfois propagées sur de très longues distances.

Les vagues créées transportent de **l'énergie cinétique**, transformée en courant électrique.

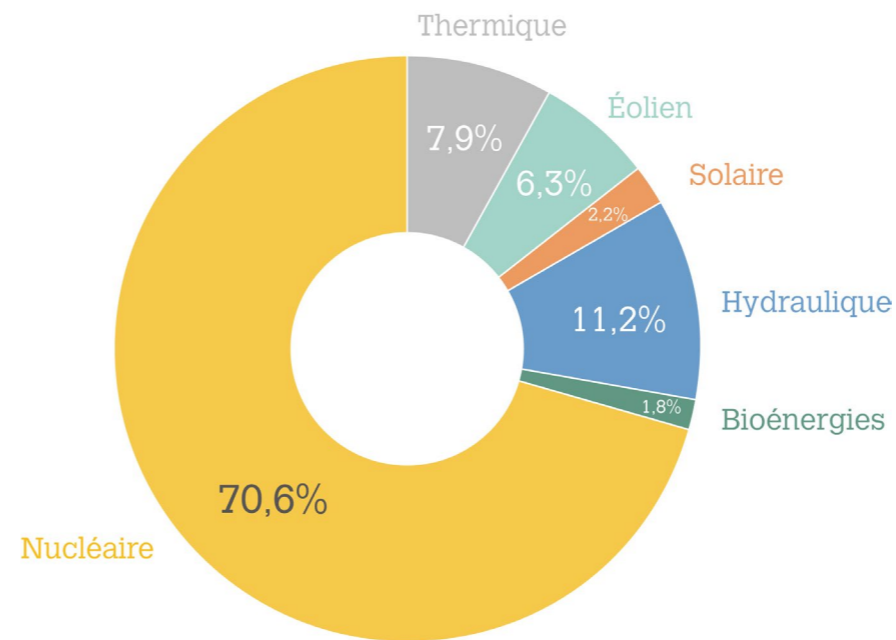
Hydroélectricité

L'hydraulique en France

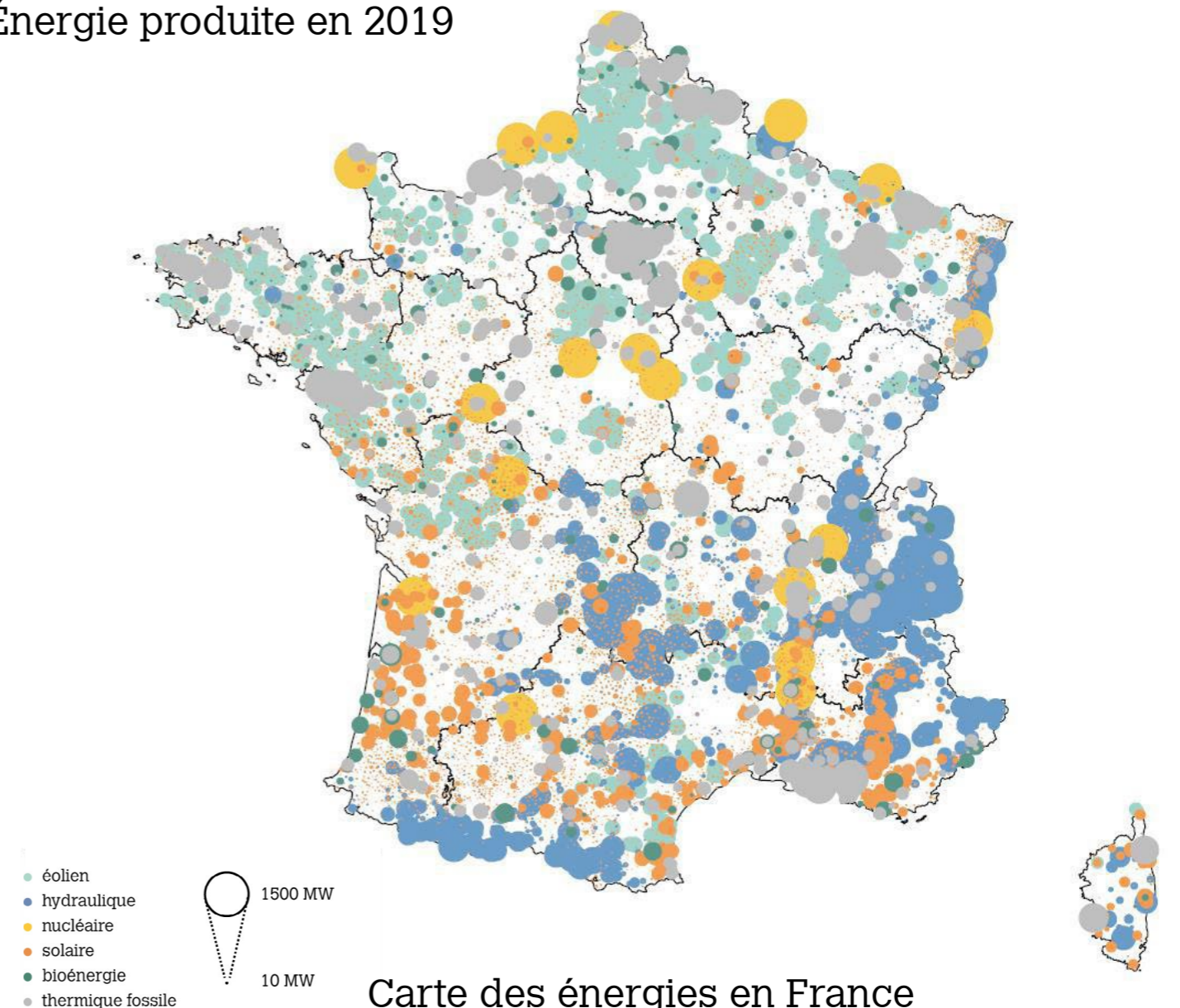
En France en 2019 et d'après le RTE (Réseau de Transport Électrique), la production d'électricité par l'hydraulique arrive en deuxième position (11,2%) après le nucléaire (70,6%) et les centrales thermiques à flamme (gaz, pétrole et charbon) arrivent en troisième position (7,9%) Cependant, la production d'électricité hydraulique dépend fortement des précipitations. La production est aussi ralentie lors de travaux de maintenance et rénovation sur les installations. La production hydraulique est en baisse par rapport à 2018, année durant laquelle les conditions climatiques avaient été particulièrement favorables pour cette filière de production.

Intérêt de l'hydroélectricité : la seule énergie modulable

Les **besoins électriques des usagers varient** en fonction de plusieurs critères : les saisons (par exemple, les périodes de grand froid sont des grosses périodes de consommation électrique), les périodes de la journée (faible consommation électrique pendant la nuit)... Comme **l'électricité ne se stocke pas**, il convient en permanence d'**ajuster la production à la consommation**. Ainsi, une complémentarité entre les différents modes de production va être nécessaire. C'est le grand avantage de l'énergie hydraulique.



Énergie produite en 2019



source mtaterre.fr

Hydroélectricité

Géothermie dans le monde

La géothermie, qui consiste à récupérer l'énergie disponible **sous la surface de la terre**, est une énergie **renouvelable** disponible toute l'année et avec peu d'émissions de gaz à effet de serre.

Souvent considérée comme trop compliquée, trop coûteuse, elle est aujourd'hui remise en valeur et fait l'objet d'une **attention politique favorable**, elle bénéficie de soutiens et d'**accompagnements financiers** et techniques. Les exemples de projets déjà réalisés mettant en place cette énergie montrent souvent un retour sur investissement plus rapide que prévu.

Le principe est simple, puisque plus on s'enfonce dans le **sous-sol**, plus la **température augmente**, et selon la profondeur et donc la température, les usages seront différents. On distingue donc plusieurs types de géothermies : celle à **haute énergie** qui permet de produire de l'électricité, celle à **basse énergie** qui repose sur une utilisation directe de la chaleur de l'eau extraite des **aquifères**, et enfin celle à basse énergie, qui peut être exploitée pour assurer des besoins de chaleur ou de rafraîchissement au sein de nos villes. Ainsi les calories extraites par les pompes à chaleur, atteignent une température suffisante et permettent de chauffer des bâtiments. En été, la dizaine de degrés qui existe dans les premiers mètres du sous-sol peut également faire office de source de froid, on parle alors de **géocooling**.

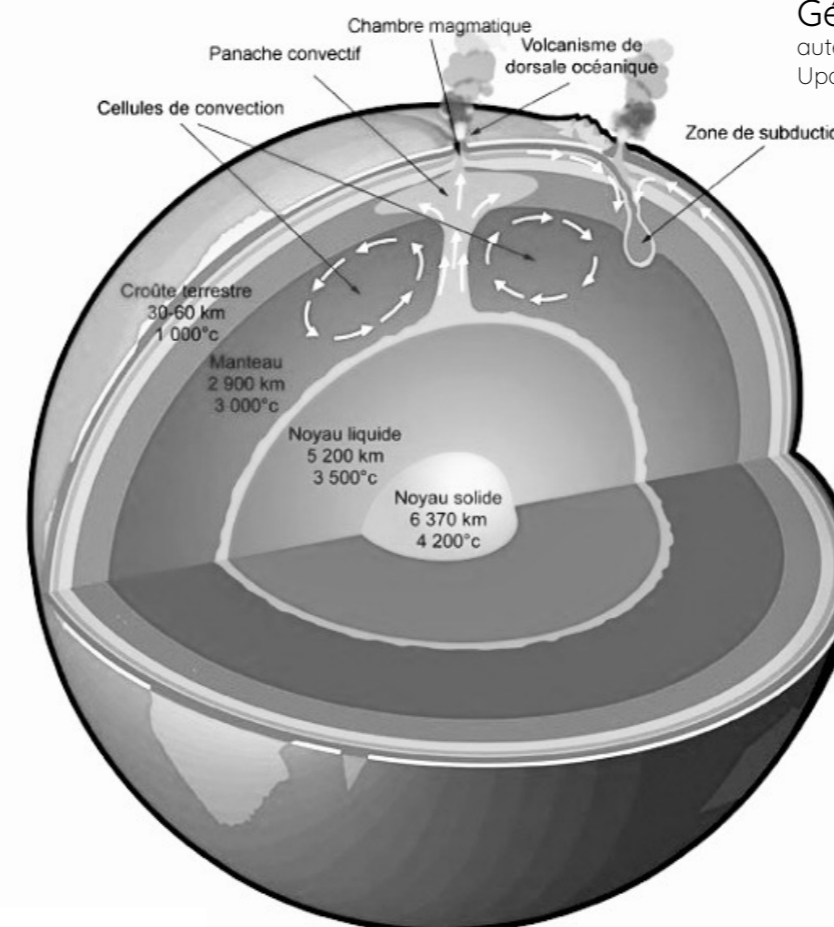
20 pays dans le monde utilisent de la **géothermie de haute énergie** pour produire de l'électricité

Une production électrique mondiale dominée par les **Etats-Unis**, les **Philippines** et l'**Indonésie**



Géothermie dans le monde fin 2014

auteurs, 2021, BRGM d'après World Geothermal Congress - Country Update et source <https://lenergeek.com/>



source ADEME

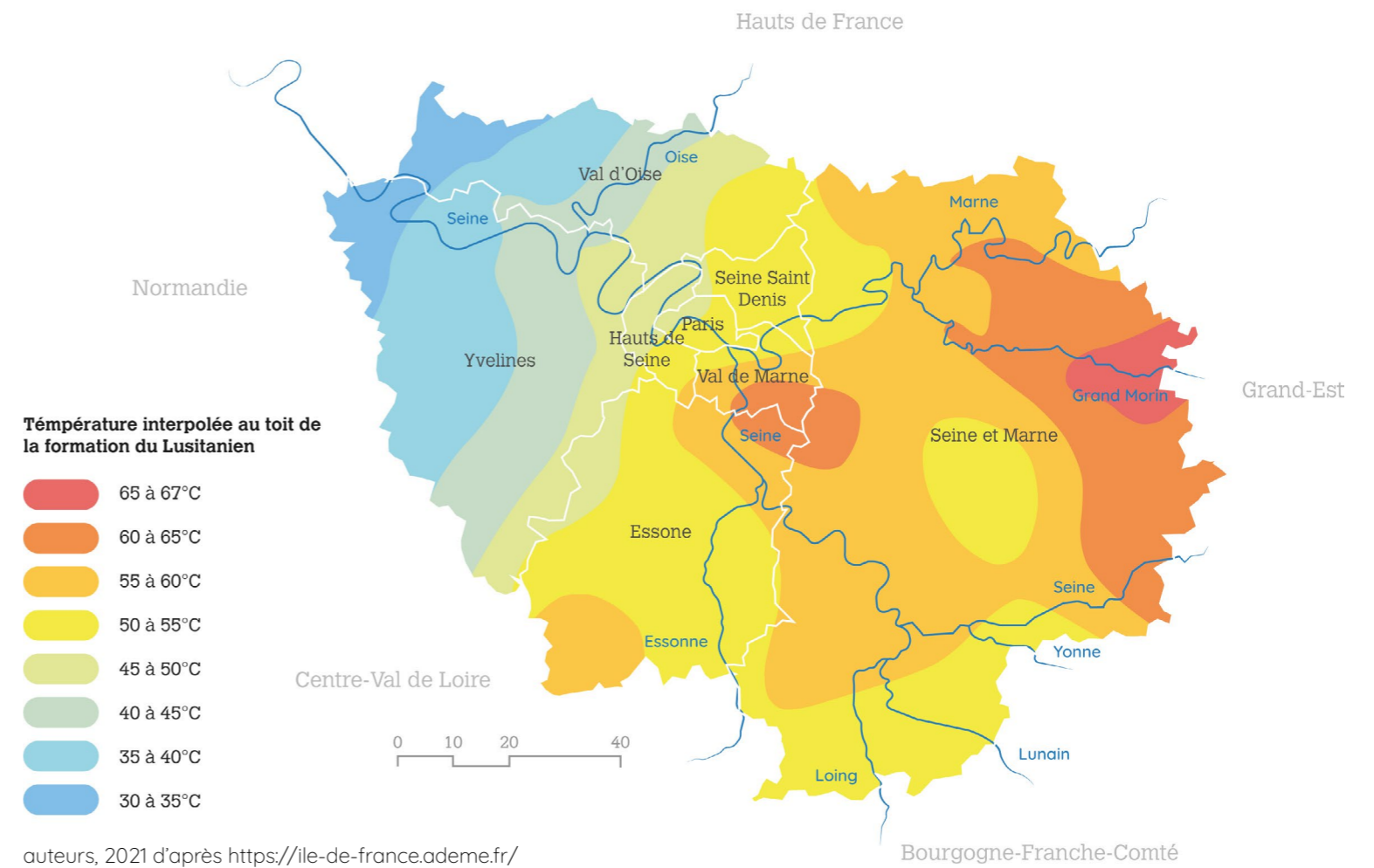
Hydroélectricité

Géothermie en Île-de-France

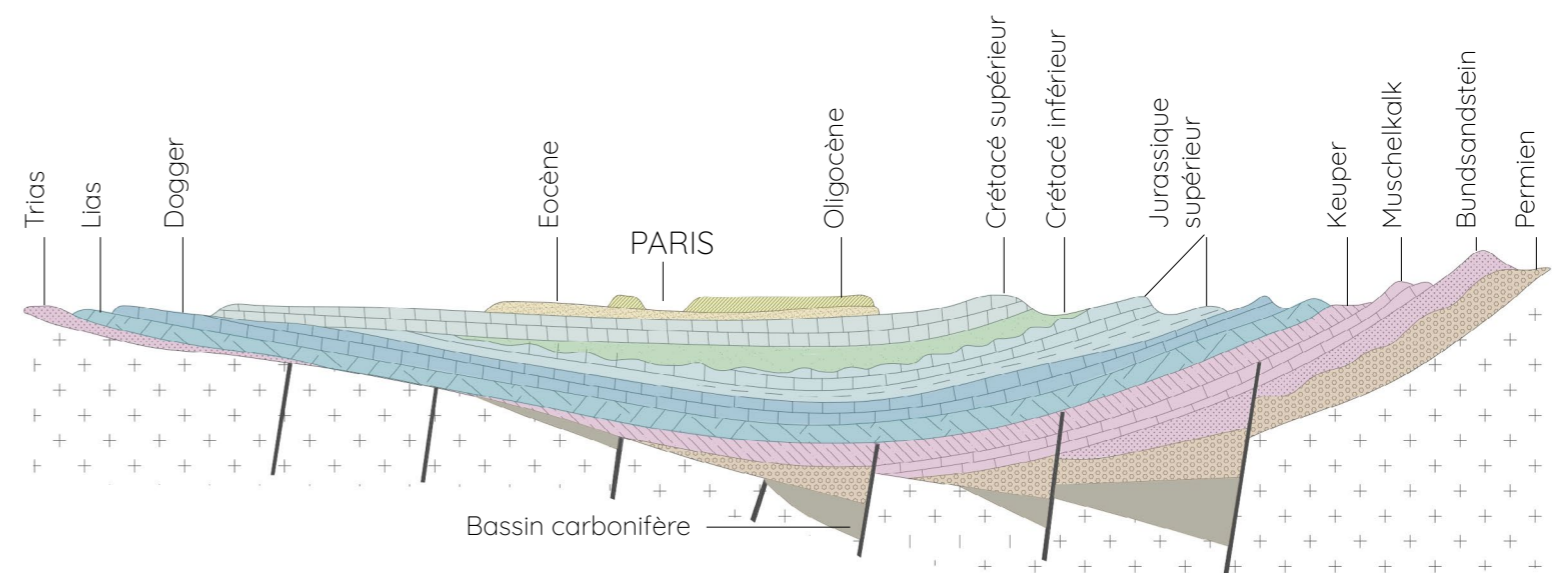
Le **bassin parisien** présente la particularité d'offrir de très bonnes coïncidence entre les ressources géologiques et la demande en chauffage. En effet de nombreuses agglomérations d'Île-de-France sont situées au droit d'aquifères exploitables. Le sous-sol du bassin parisien est formé de couches sédimentaires «en piles d'assiettes», avec des aquifères présents à différentes profondeurs, en particulier celui du **Dogger** datant du Jurassique, qui s'étend sur plus de 15 000 km² et à environ 1700 m de profondeur, avec une température allant de 55 à 85°C. Cet aquifère assure aujourd'hui l'alimentation en chauffage de près de **500 000 habitants**.

Le chauffage d'un quartier ou d'un ensemble d'immeubles peut s'effectuer par l'intermédiaire d'un «**réseau de chaleur**», c'est-à-dire un réseau de canalisations, souvent de grande longueur, chargé de distribuer la chaleur à chaque immeuble. L'avantage de ces réseaux est de garantir une mise à disposition de la chaleur fiable et à un coût maîtrisé et de permettre l'exploitation des énergies renouvelables, dont la géothermie. Les réseaux de chaleur d'Île-de-France correspondent ainsi à un tiers du nombre de réseaux de chaleur existants en France et la géothermie représente **10 % de l'énergie** distribuée par les réseaux franciliens (et plus de 50 % pour le Val-de-Marne).

La géothermie en Île-de-France représente ainsi la **plus grande densité d'opérations au monde** et plus de deux tiers de la production géothermique nationale.



Carte de répartition des températures en Île-de-France



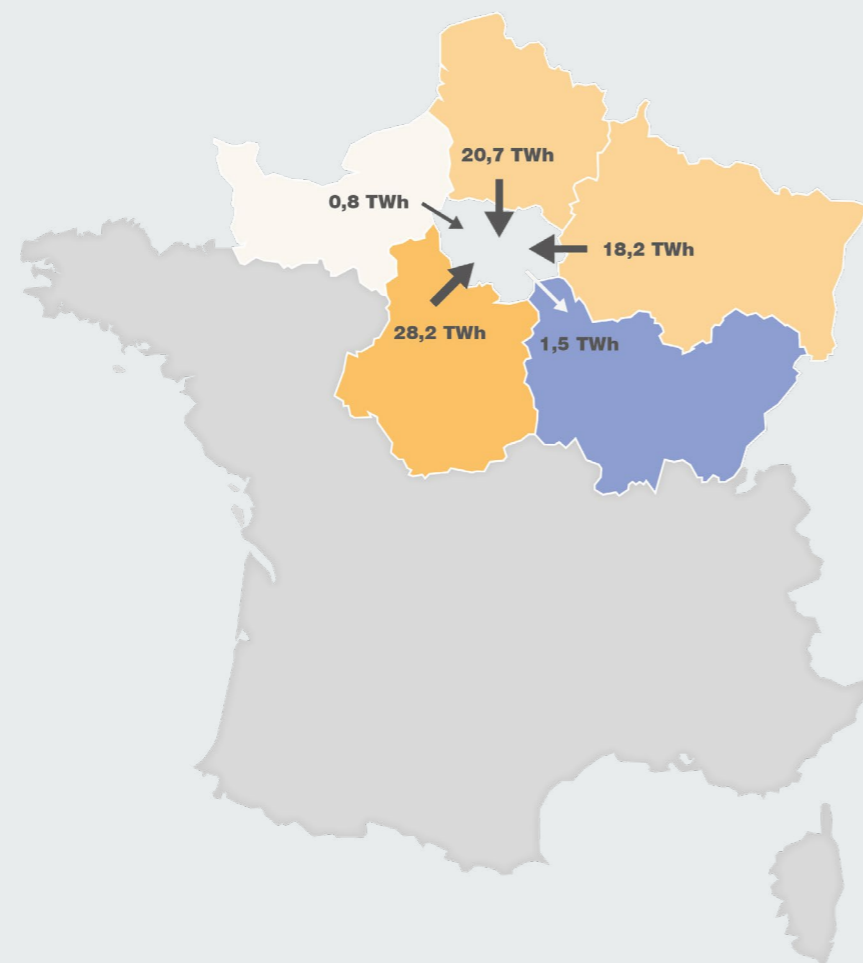
Carte lithostratigraphique du bassin parisien

Hydroélectricité

Bilan : Parc énergétique développé

La géographie de l'Île-de-France est marquée, sur le plan physique, par sa **situation au centre d'un bassin sédimentaire**, le bassin parisien, au **relief relativement plat**, irrigué par un fleuve navigable, la Seine. Le point culminant étant situé sur la butte de Rosne (Val d'Oise) culminant à 216m et le point le plus bas étant à Port Villez (Yvelines), à 11m. L'altitude moyenne est donc de 108 mètres.

Par conséquent, le **potentiel hydraulique de l'Île de France est faible**, ne lui permettant guère l'installation de barrages ou autres centrales hydrauliques, ou même toute installation nécessitant un fort dénivelé. La faible superficie de la région (12 000 km²) pour une **densité de population importante** (1000hab/km²) rend également la région très dépendante en énergie. Il existe néanmoins un potentiel géothermique important, notamment grâce à la **géologie favorable** du bassin Parisien, qui possède des roches calcaires poreuses ainsi qu'à l'aquifère du Dogger assurant l'alimentation en chauffage de près de 500 000 habitants.



Export et import d'électricité en Ile-de-France

auteurs, 2021 d'après <https://www.edf.fr/>



Relief de la France

auteurs, 2021 d'après <https://cmap.comersis.com/>

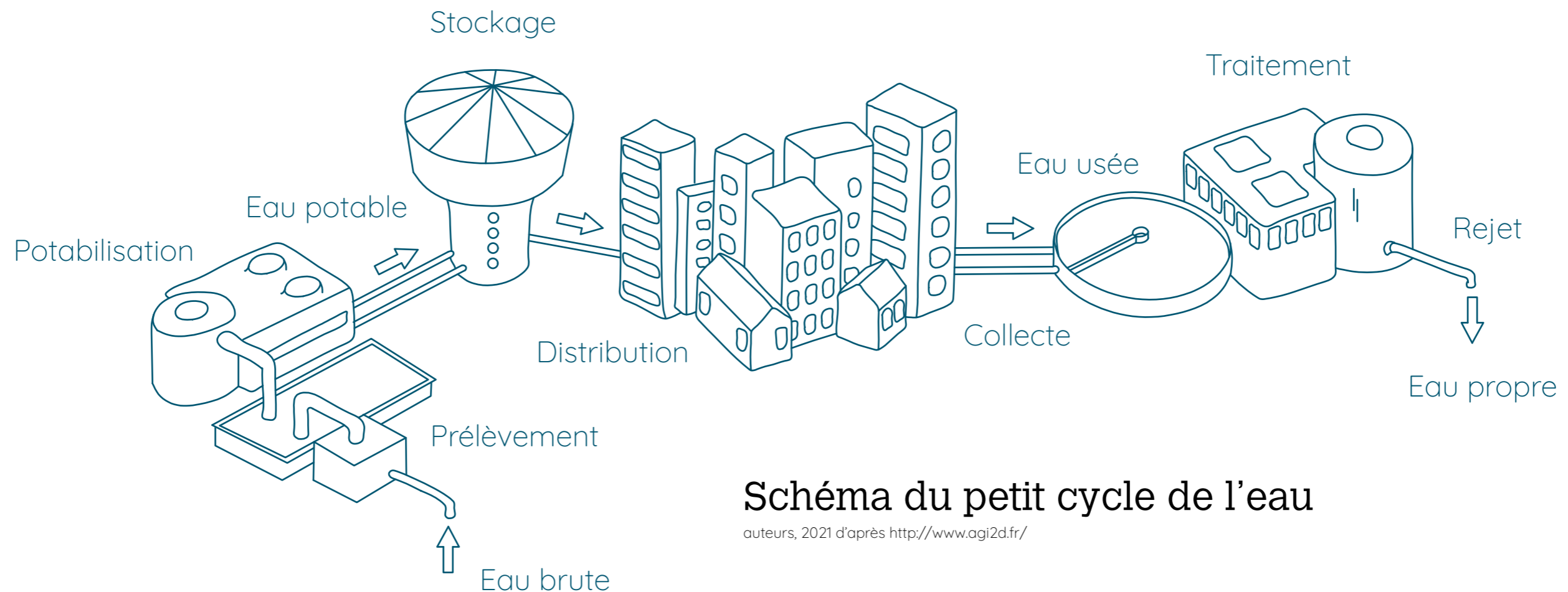
Eau potable de Paris

Chemin de l'eau

comment améliorer l'efficacité énergétique d'Eau de Paris?

Pour permettre l'accès à l'eau potable dans nos villes, des aménagements hydrauliques sont nécessaires

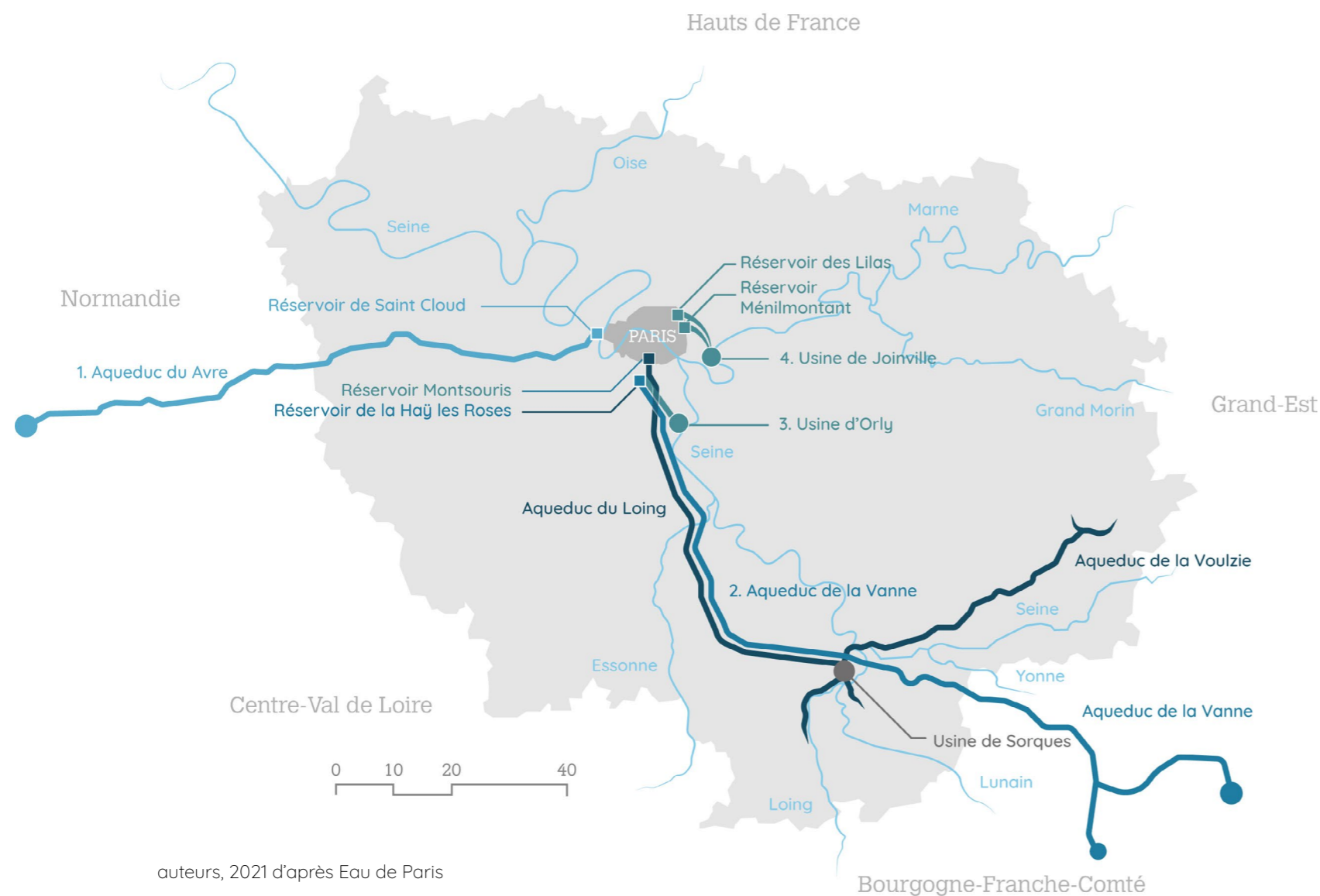
- les **barrages** permettent de stocker l'eau
- des **réseaux de distribution** sont nécessaires pour le transport de l'eau
- pour l'assainissement, **des stations d'épuration** sont construites afin d'assurer le traitement des eaux usées
- enfin dans certains endroits arides, des **usines de dessalement** de l'eau permettent de rendre potable l'eau de mer



Eau potable de Paris

Origine de l'eau

Les origines des eaux potables de Paris sont multiples : **eaux de surface** de la Marne et de la Seine traitées mais également des **eaux de source** à plus de 100km de Paris.



auteurs, 2021 d'après Eau de Paris



1. Aqueduc du Avre



2. Aqueduc de la Vanne



3. Usine d'Orly



4. Usine de Joinville

Chiffres clés

- 50%** eau de surface
- 50%** eau de source
- 520 000m³** d'eau distribués / jour
- 2 millions** de parisiens
- 3 millions** d'utilisateurs

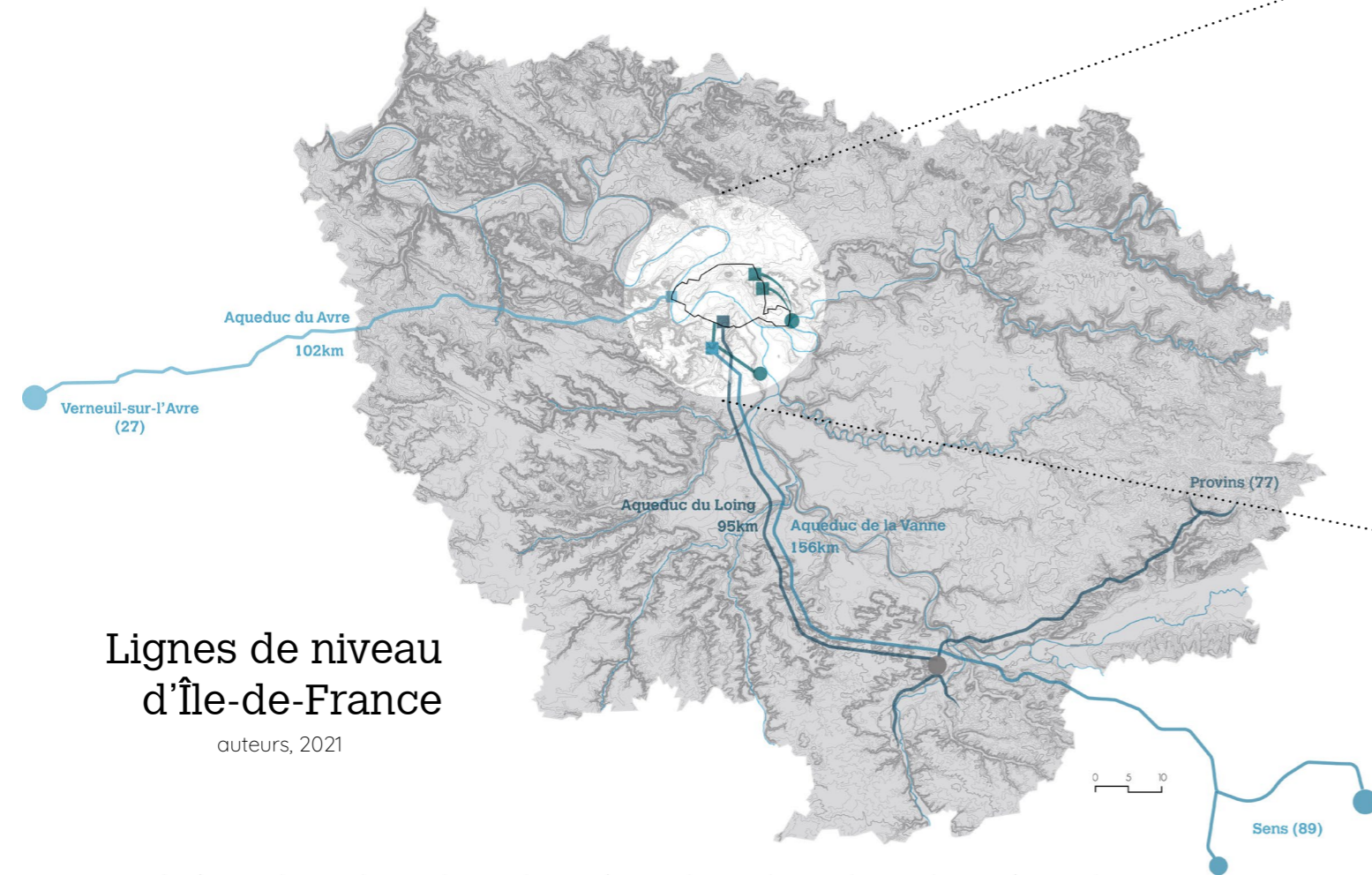
	50%		50%		
	eaux de surface		eaux souterraines		
infrastructure	usine de Joinville	usine d'Orly	aqueduc du Avre	aqueduc de la Vanne	aqueduc du Loing
superficie / longueur	14 Ha	16 Ha	102 km	156 km	95 km
année de construction	1998	1969	1893	1874	1900
source / fleuve	Marne (94)	Seine (94)	Verneuil sur Avre (27)	Sens (89)	secteur de Provins (77)
réservoir final	les Lilas et Ménilmontant (75)	la Haÿ-les-Roses (94)	Saint-Cloud (92)	la Haÿ-les-Roses (94)	Montsouris (75)
débit moyen (journalier)	130 000m ³	130 000m ³	60 000 m ³	50 000 m ³	150 000 m ³
débit max (journalier)	300 000m ³	300 000m ³	160 000 m ³	145 000 m ³	210 000 m ³
pourcentage	25%	25%	10%	10%	30%
débit max cumulé	1 115 000 m ³				

Répartition des origines de l'eau

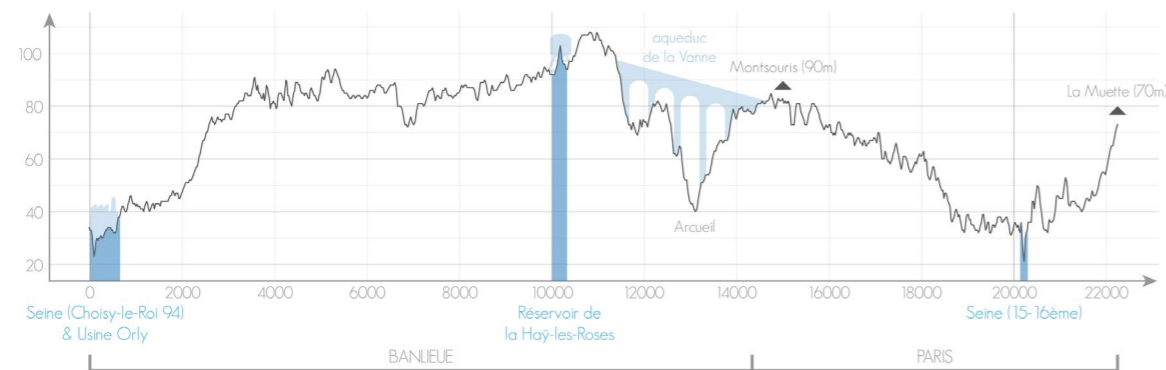
Eau potable de Paris

Logique topographique

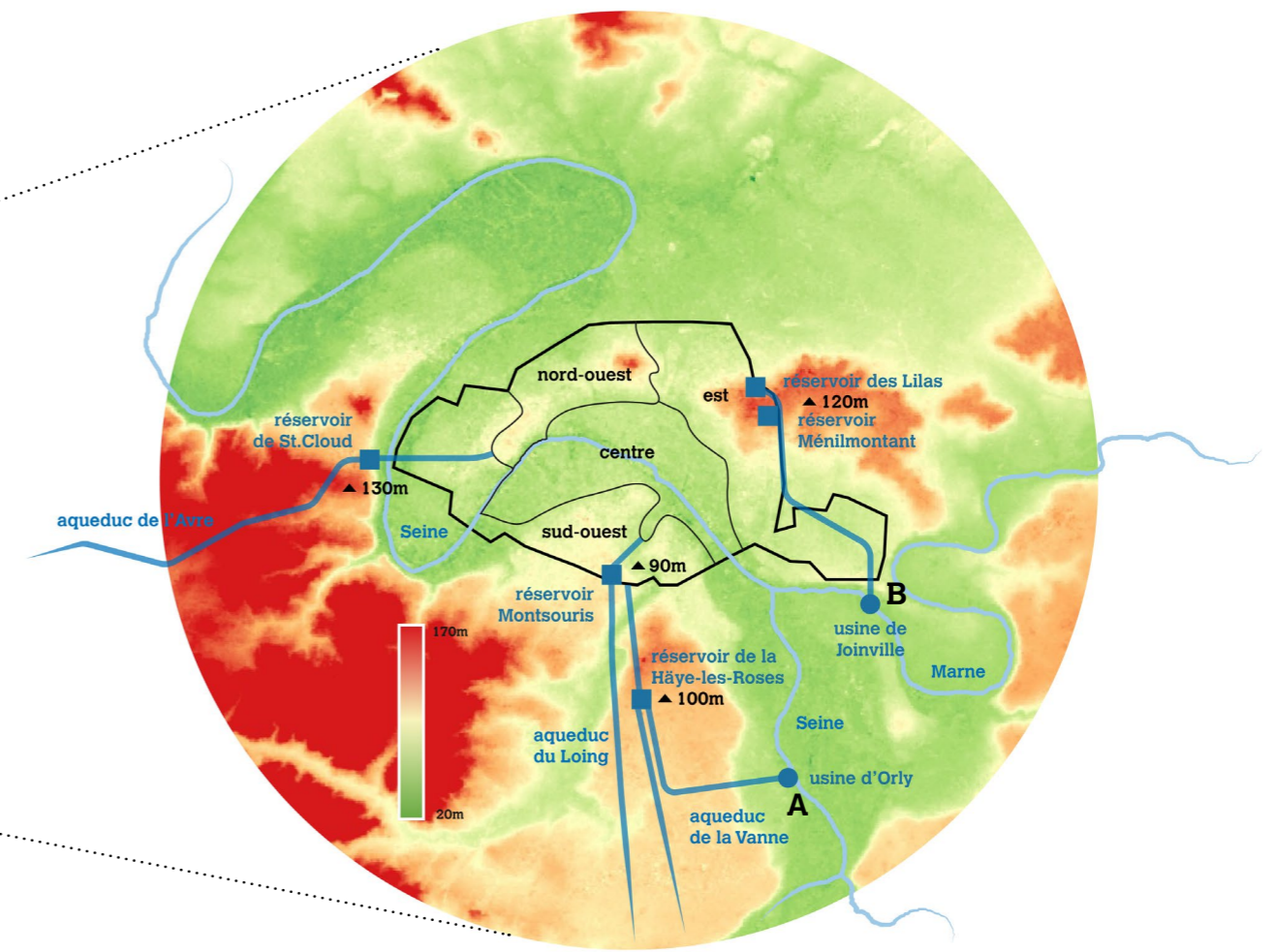
Le **dispositif d'acheminement** en eau potable n'est pas réparti au hasard sur le territoire. En effet, les réservoirs sont situés aux **points hauts** du bassin parisien afin d'acheminer l'eau de façon gravitaire par des aqueducs



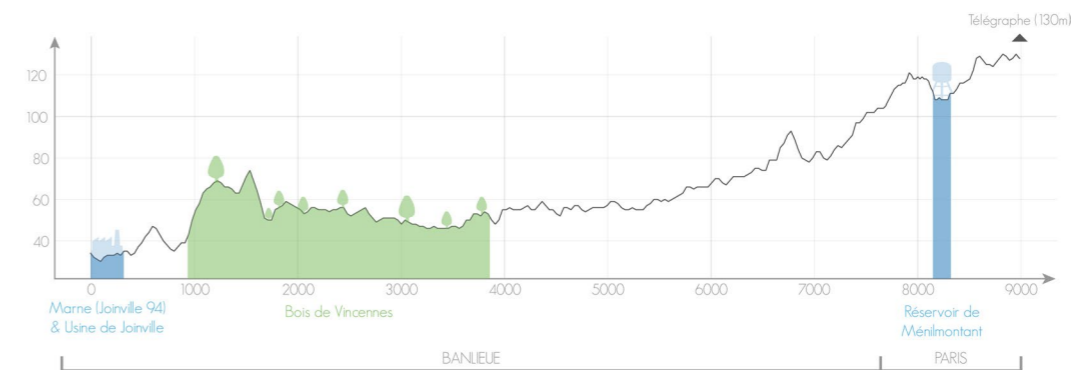
Lignes de niveau d'Île-de-France
auteurs, 2021



A. Usine d'Orly - Réservoir la Haÿ-les-Roses - la Muette



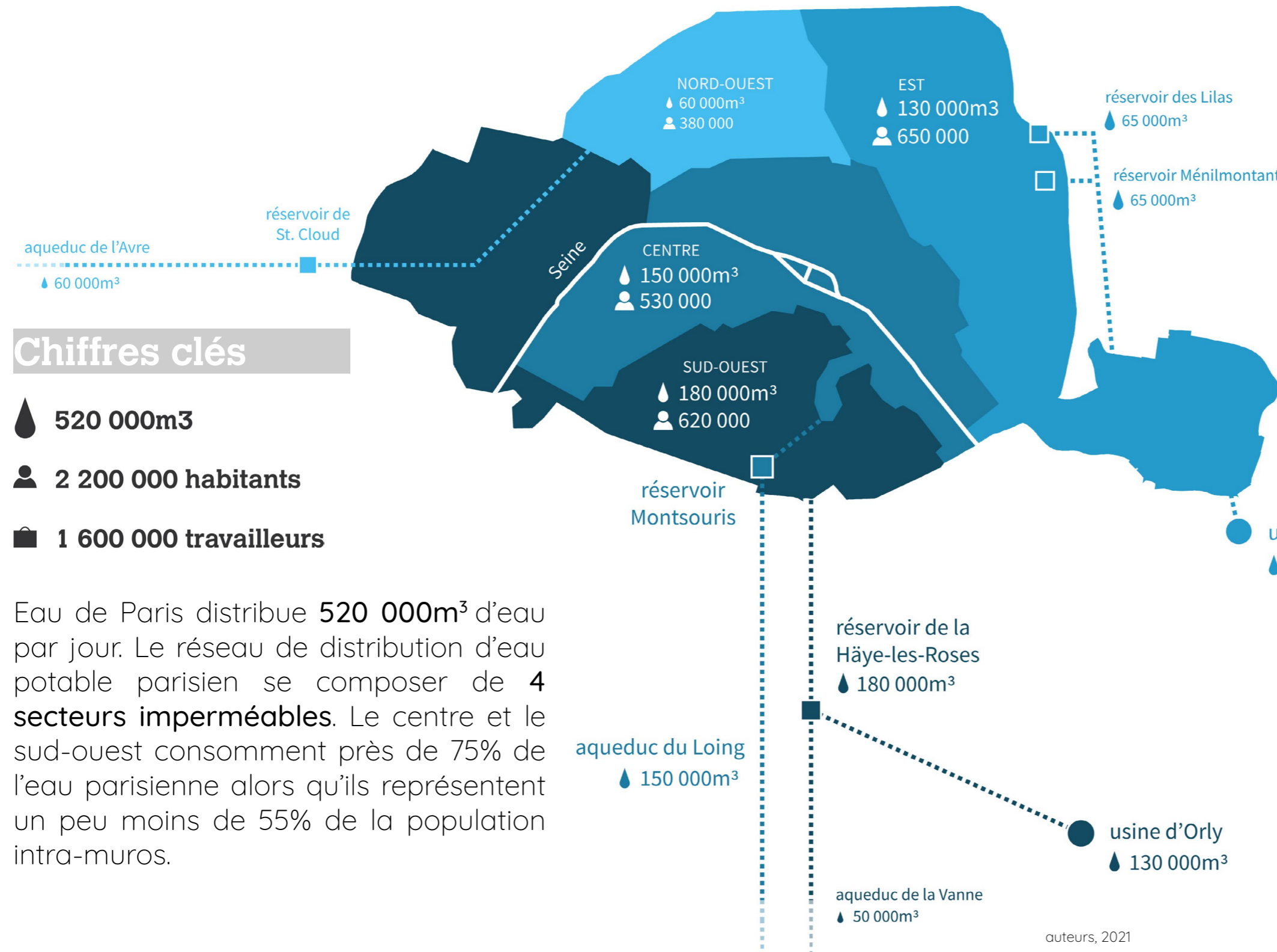
Altitude des éléments du réseau de distribution d'eau
auteurs, 2021



B. Usine de Joinville - Réservoir Mémilmontant - Télégraphe

Eau potable de Paris

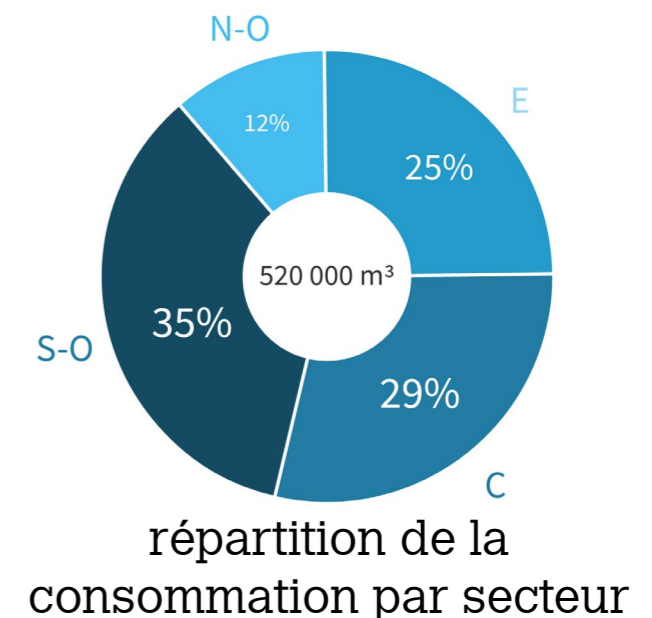
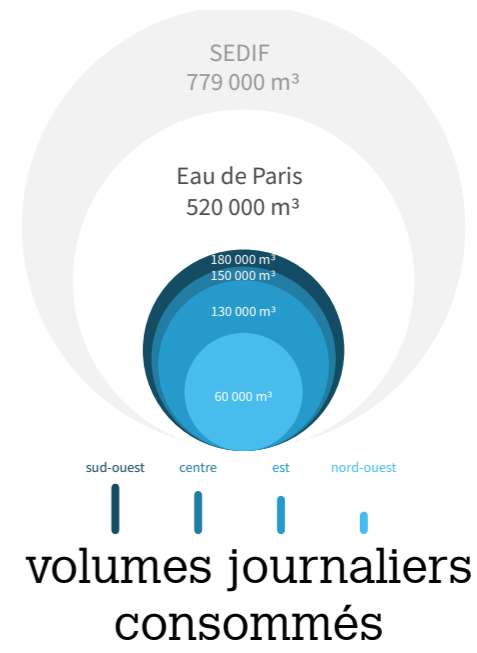
Distribution



Chiffres clés

- 🚰 520 000 m³
- 👤 2 200 000 habitants
- 🏢 1 600 000 travailleurs

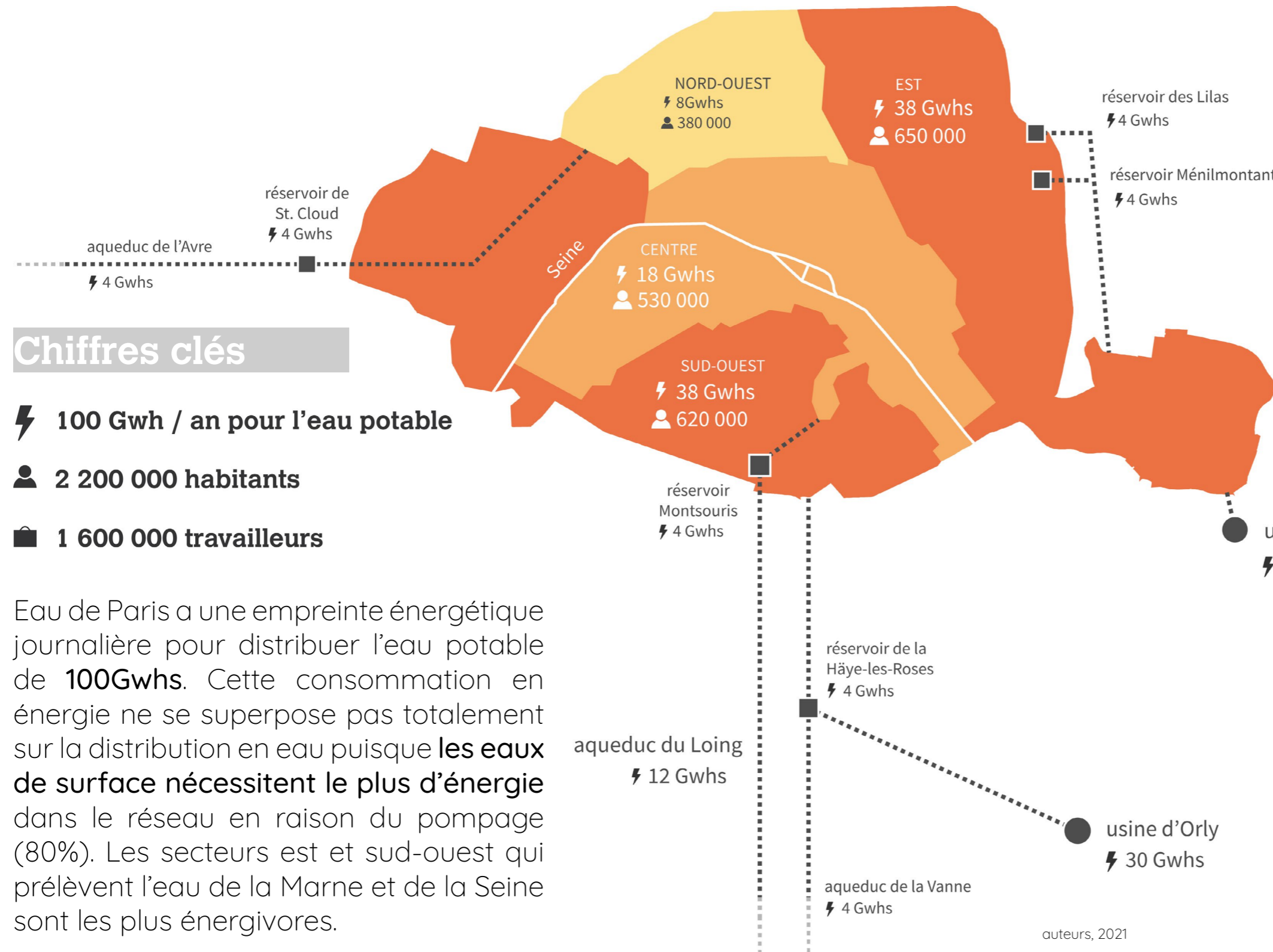
Eau de Paris distribue 520 000 m³ d'eau par jour. Le réseau de distribution d'eau potable parisien se compose de 4 secteurs imperméables. Le centre et le sud-ouest consomment près de 75% de l'eau parisienne alors qu'ils représentent un peu moins de 55% de la population intra-muros.



auteurs, 2021

Eau potable de Paris

Empreinte énergétique



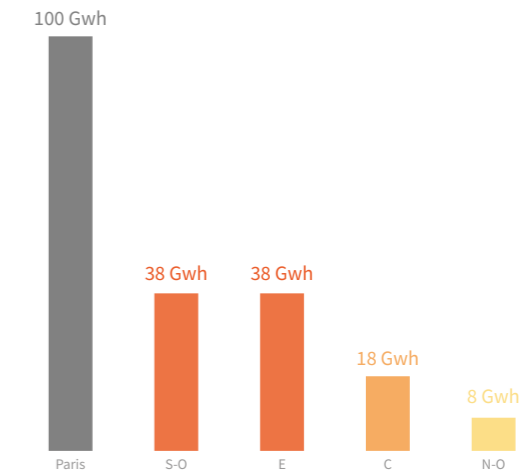
Chiffres clés

⚡ 100 Gwh / an pour l'eau potable

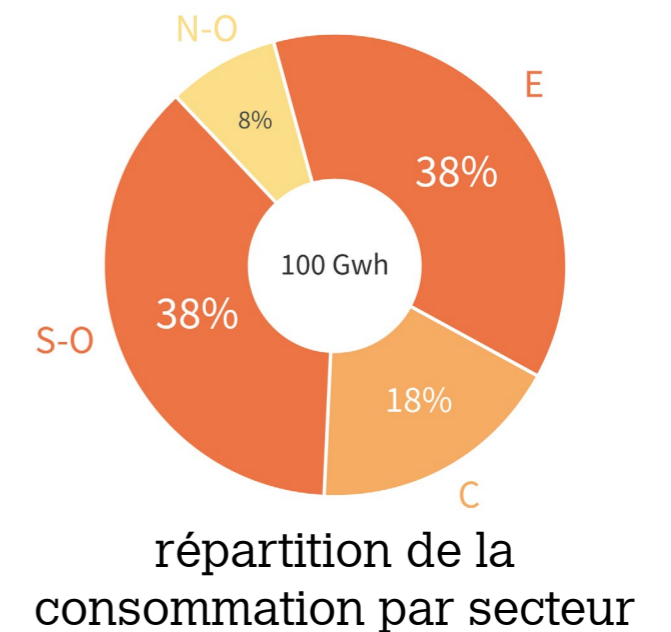
👤 2 200 000 habitants

🏢 1 600 000 travailleurs

Eau de Paris a une empreinte énergétique journalière pour distribuer l'eau potable de **100Gwhs**. Cette consommation en énergie ne se superpose pas totalement sur la distribution en eau puisque **les eaux de surface nécessitent le plus d'énergie** dans le réseau en raison du pompage (80%). Les secteurs est et sud-ouest qui prélèvent l'eau de la Marne et de la Seine sont les plus énergivores.



énergie journalière consommées



auteurs, 2021

Eau potable de Paris

Bilan : Surcapacité du réseau

Nos premiers objectifs étaient de favoriser l'acheminement en eau de façon gravitaire grâce aux aqueducs. Le système d'Eau de Paris est plutôt efficace puisqu'il achemine 50% de son eau à l'aide de ce système. Repenser le réseau en y ajoutant des aqueducs semble difficile pour de nombreuses **contraintes** principalement **foncières** et par le fait qu'Eau de Paris n'a pas comme cela a pu être le cas autrefois la main mise sur les territoires qu'elle traverse. Proposer une recomposition du réseau nous semblait être un projet **utopique** ne répondant pas aux problématiques énergétiques réelles. De plus, cette intervention aurait nécessité une bonne connaissance des conduits d'eaux et de ses informations qui revêtent un caractère **sensible** et **confidentiel**.

Nous avons néanmoins relevé une **poche du secteur sud-ouest** qui ne répond pas à la logique de distribution selon la topographie du territoire. Peut-être parce que l'aqueduc de l'Avre n'est pas capable d'acheminer assez d'eau vers cette zone de la butte de la Muette. Cette zone nécessite un **pompage conséquent**. On pourrait peut-être imaginer de lier cette poche à la zone nord-ouest, de dériver l'eau du réservoir de la Haÿe-les-Roses ou de faire en sorte qu'il n'y ait pas de perte de charge lorsque l'eau traverse la Seine.

Eau de Paris bénéficie d'infrastructures performantes à une époque où la **consommation en eau des parisiens diminue** (130l journaliers par personne aujourd'hui contre 140l il y a 10 ans). On peut ainsi se poser la question de la surproduction en eau de la capitale. Peut-elle distribuer une partie de sa production à la banlieue? C'est la recherche que nous avons souhaité mener dans le cadre des grands projets actuels du **Grand Paris**.



poche sud-ouest

auteurs, 2021 d'après Eau de Paris



types de réseaux

auteurs, 2021 d'après Eau de Paris

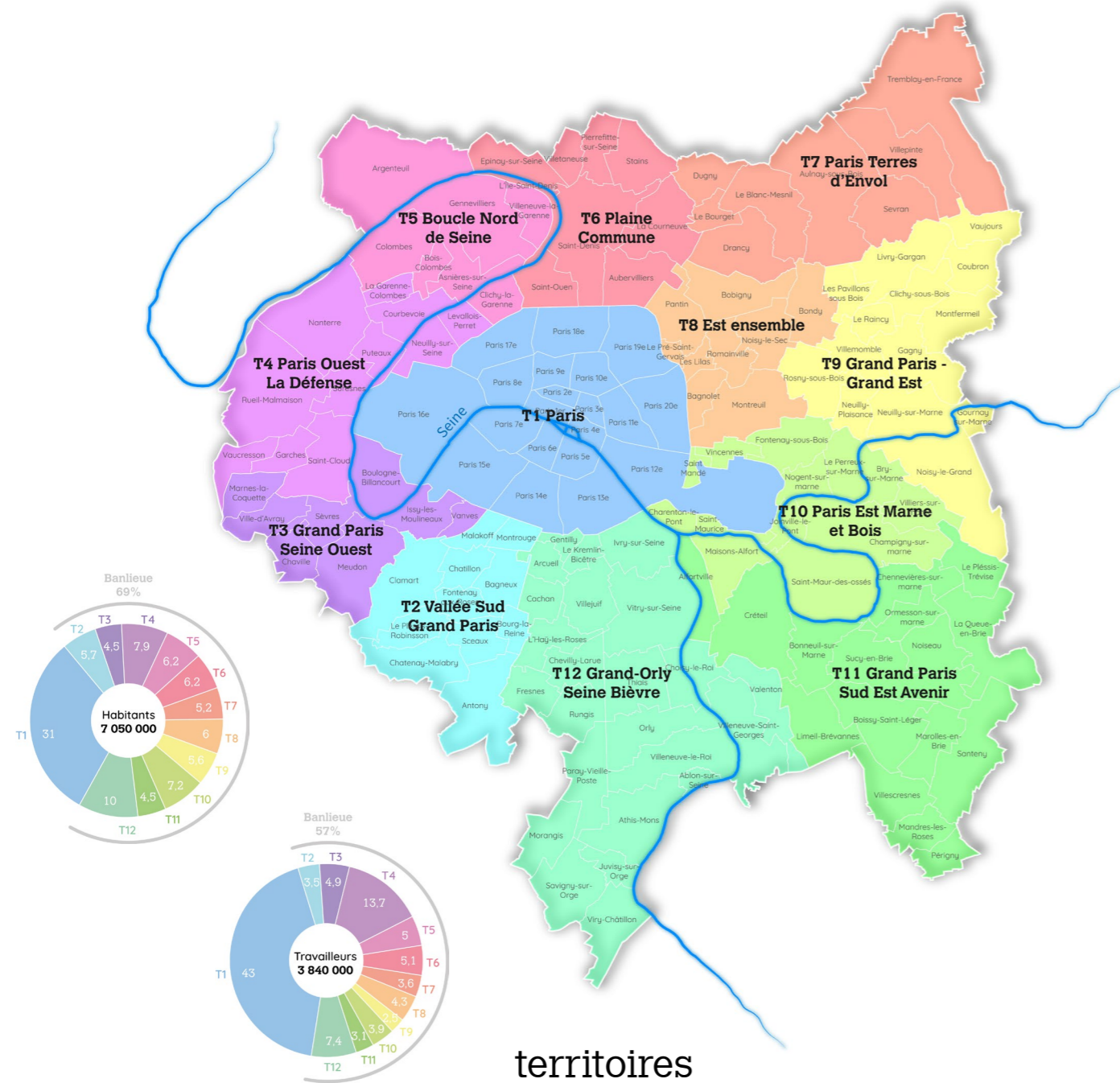
Grand Paris

Territoire et densité

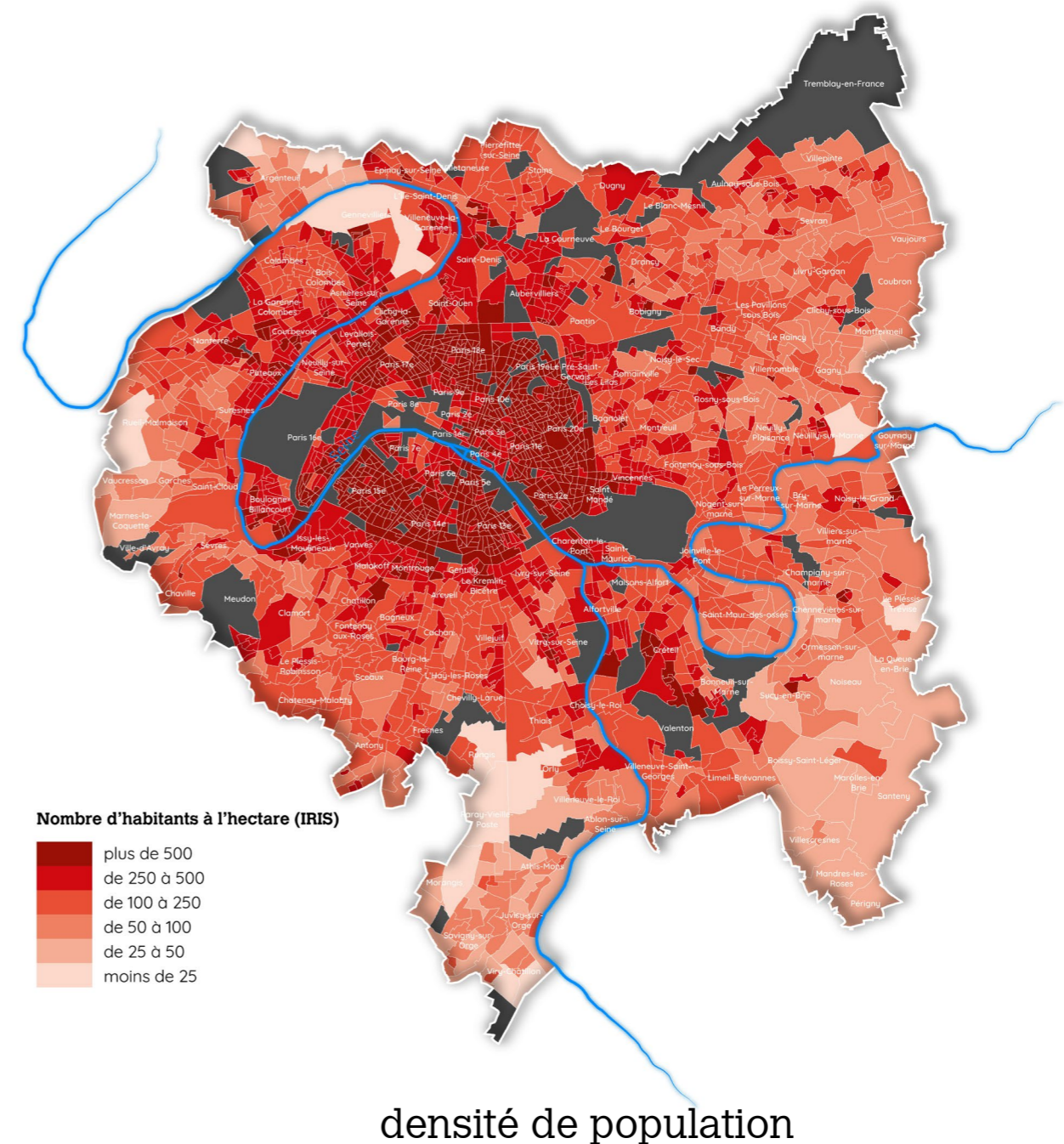
Le Grand Paris correspond à **12 EPT** (Etablissement Public Territorial). Plusieurs communes se fédèrent ainsi en mettant en commun leurs savoirs, logistique et compétences pour aménager, fabriquer des projets urbains et répondre à des **mêmes problématiques** (question de l'eau, assainissement, etc).

comment mutualiser des services de distribution d'eau du Grand Paris?

Avec ses **7 millions d'habitants**, la distribution de la population du Grand Paris demeure hétérogène. Le découpage à l'**IRIS** (par zones de 2 000 habitants) nous permet de constater que Paris est la zone la plus densément peuplée du Grand Paris en plus d'y concentrer la majorité des emplois.



auteurs, 2021 d'après <https://www.apur.org/fr>



auteurs, 2021 d'après <https://www.apur.org/fr>

Grand Paris

Consommation énergétique

Le Grand Paris est une zone à forte **dépendance énergétique** comme nous l'avons vu précédemment. Nous avons essayé de comprendre où et comment était utilisée l'énergie dans la région.

Chiffres clés

c'est...

105 TWh annuellement

7,1 MWh par humain (habitat et travail)

5,4 MWh par habitant

6,6 MWh par emploi

11 MWh par logement

mais aussi...

12% de la consommation nationale pour la région francilienne

6% de la consommation nationale pour le Grand Paris

92% d'énergie importée

63% d'énergie fossile

45% des consommations liées au chauffage des bâtiments

808 376 ménages

1 million d'habitants chauffés par géothermie

Le kWh est une unité de mesure de l'énergie, égale à l'énergie que consomme ou que produit un équipement ou un générateur d'une puissance de 1 kW (1000 Watts) pendant une heure.

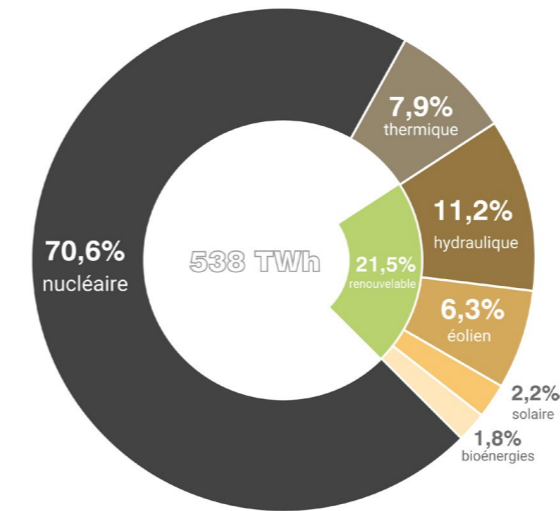
Comparaison unités

1 kWh peut maintenir un frigo moderne pendant 20 heures

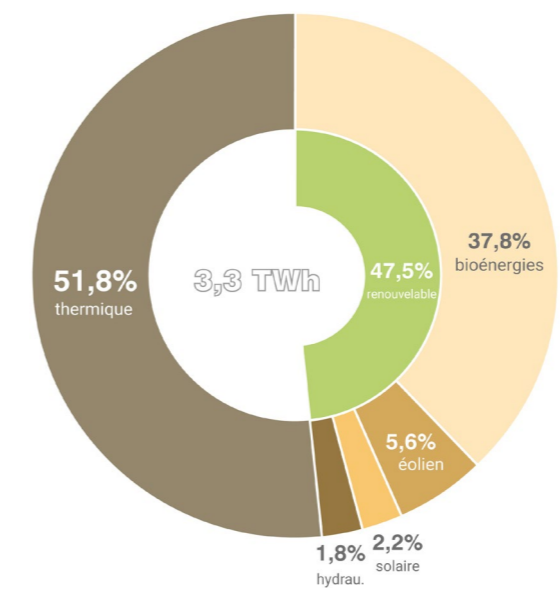
1 MWh peut couvrir la consommation de 2 000 foyers pendant 1 heure

1 GWh peut allumer 110 million de LEDs pendant 1 heure

1 TWh = 1 000 GWh = 1 million MWh = 1 milliard kWh

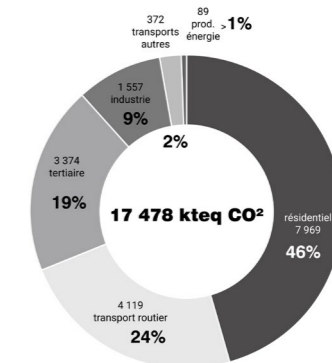


production électrique en France

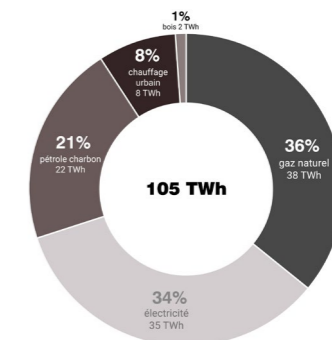


production électrique en Île-de-France

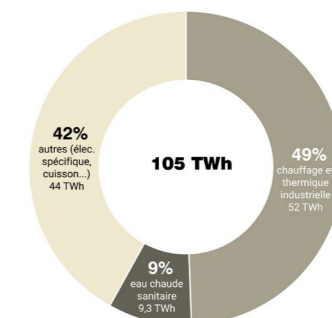
Grand Paris



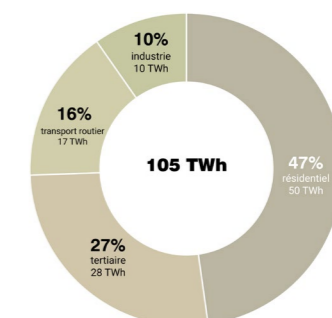
émission de gaz à effets de serre



consommation par type d'énergie



consommation par secteur d'activité

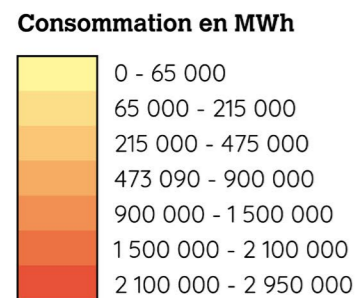
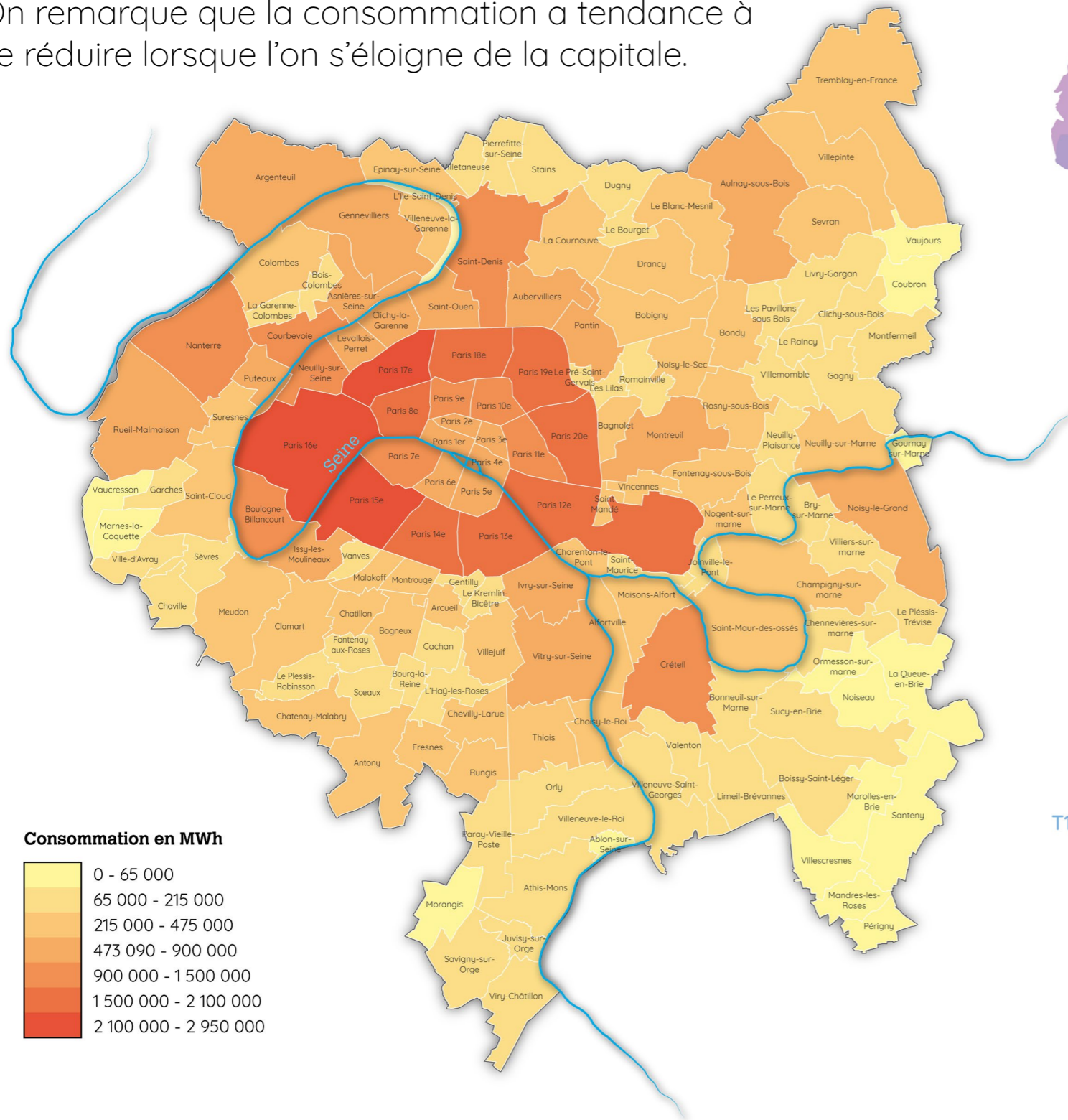


consommation par usage

Grand Paris

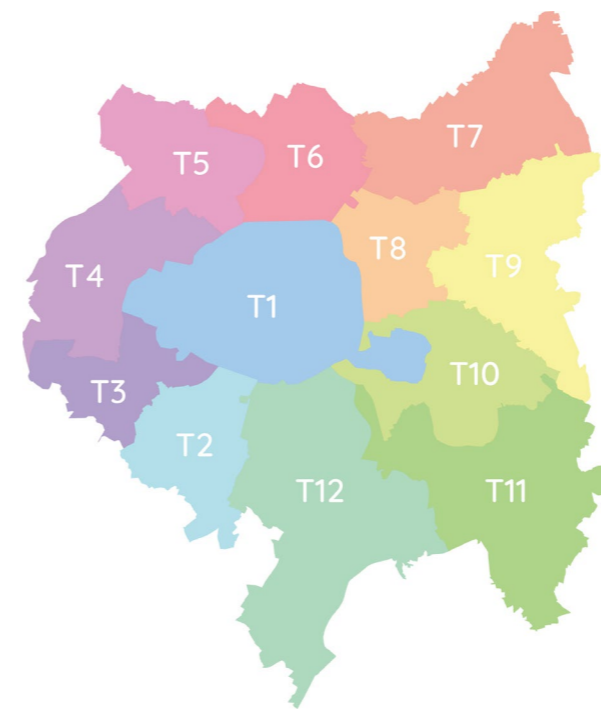
Consommation énergétique

Le centre parisien est l'espace le plus énergivore. On remarque que la consommation a tendance à se réduire lorsque l'on s'éloigne de la capitale.

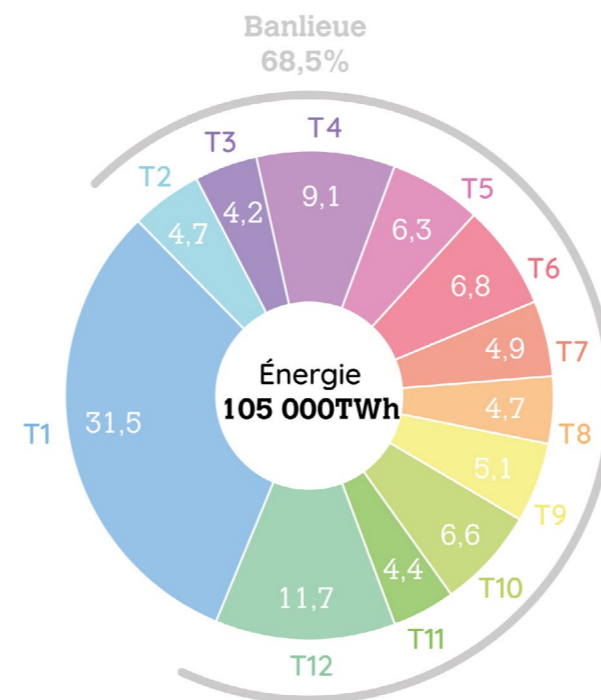


énergie journalière consommée

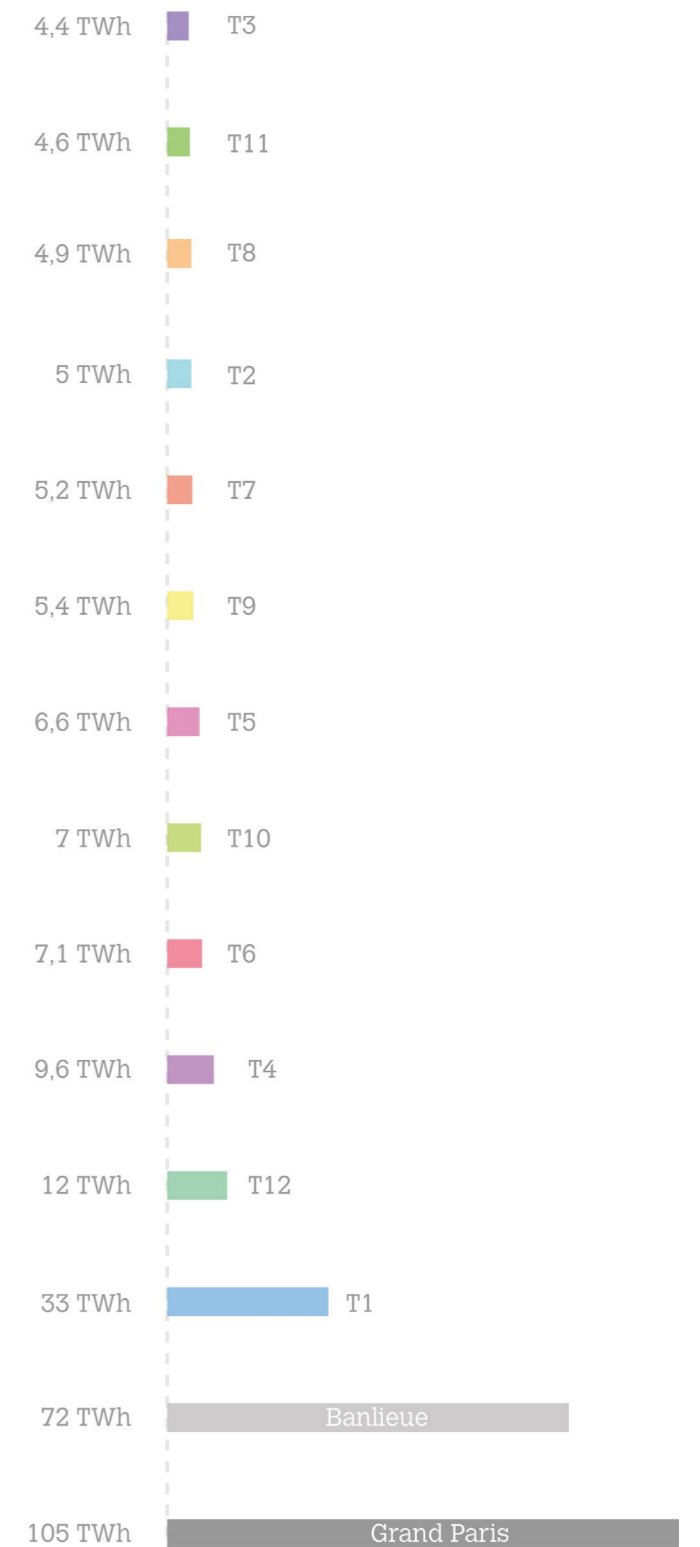
auteurs, 2021 d'après <https://www.ademe.fr/>



territoires



répartition de la consommation



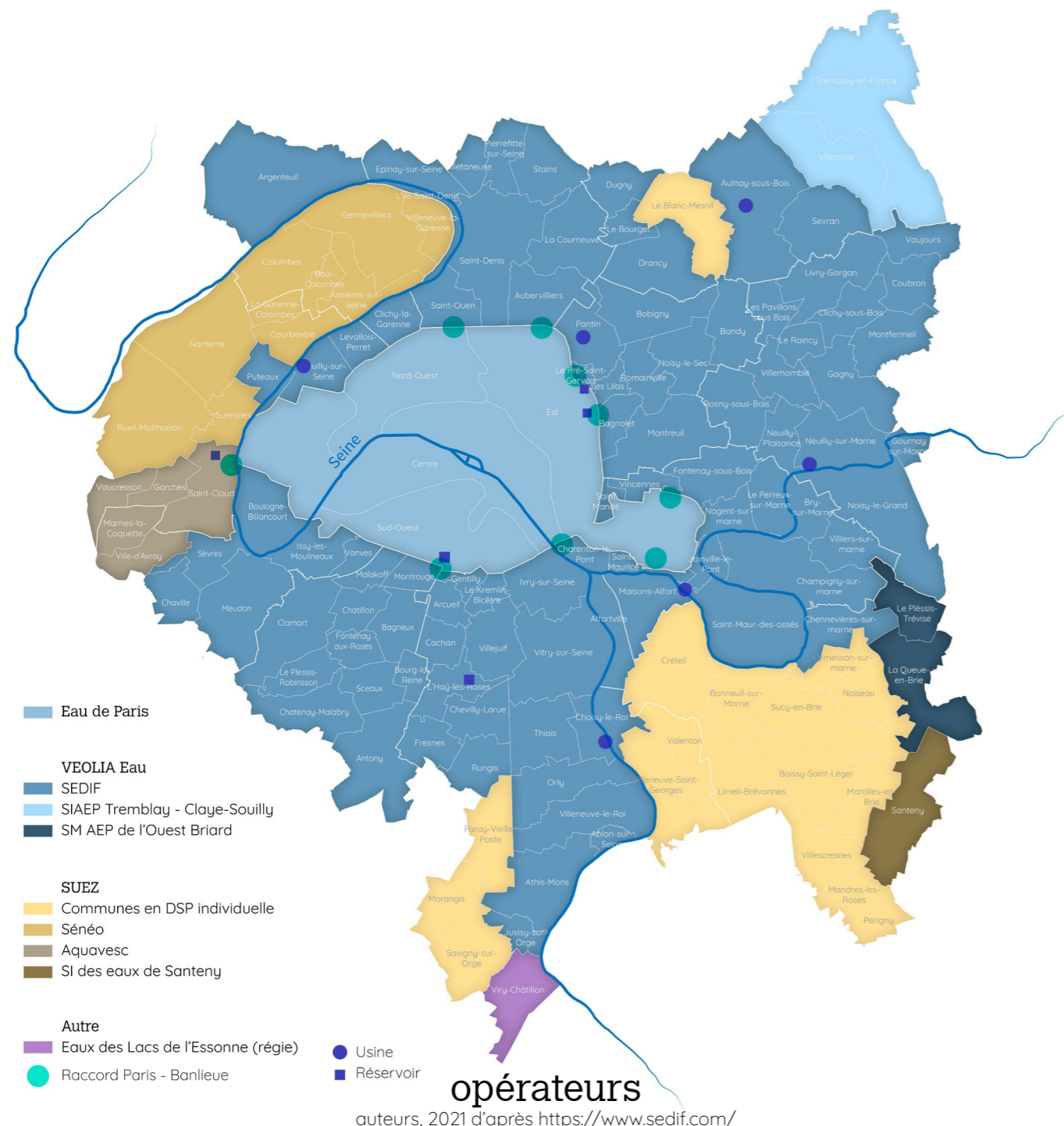
énergie par territoires

Grand Paris

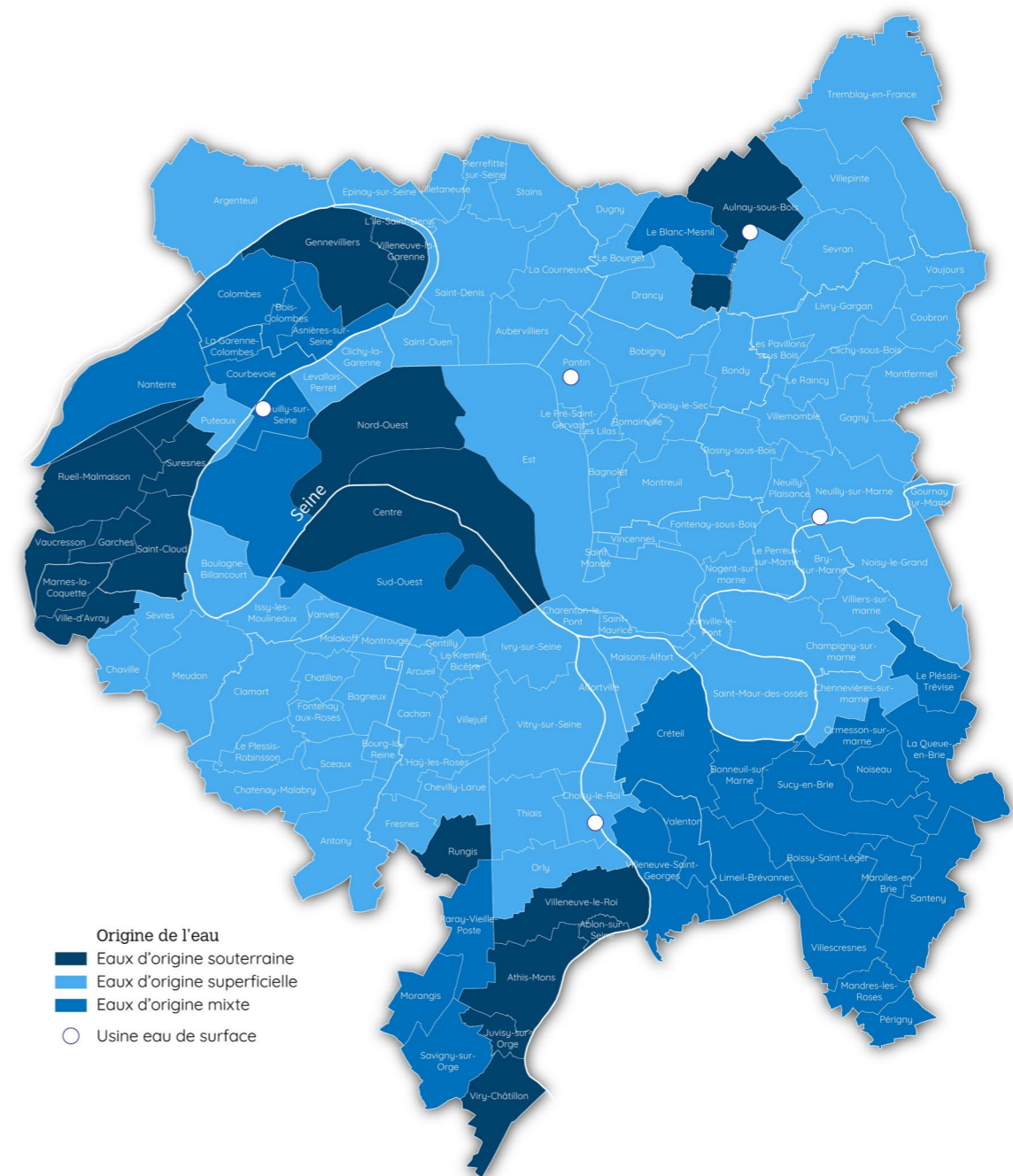
Opérateurs et origines de l'eau

Les **opérateurs** de production et distribution en eau potable dans la région du Grand Paris sont nombreux. Parmi les différents modes de gestion qui peuvent être délégués ou non, on peut relever la présence de **trois grand opérateurs** : Eaux de Paris, le SEDIF (Veolia) et dans une moindre mesure Sénéo (Suez).

Les **origines de l'eau** (surface ou souterraine) diffèrent d'un opérateur à l'autre et au sein même d'un opérateur comme Eau de Paris qui distribue des eaux d'origines différentes selon les secteurs. Ces secteurs sont étanches pour que l'abonné garde une eau dont il ait l'habitude du goût.



auteurs, 2021 d'après <https://www.sedif.com/>

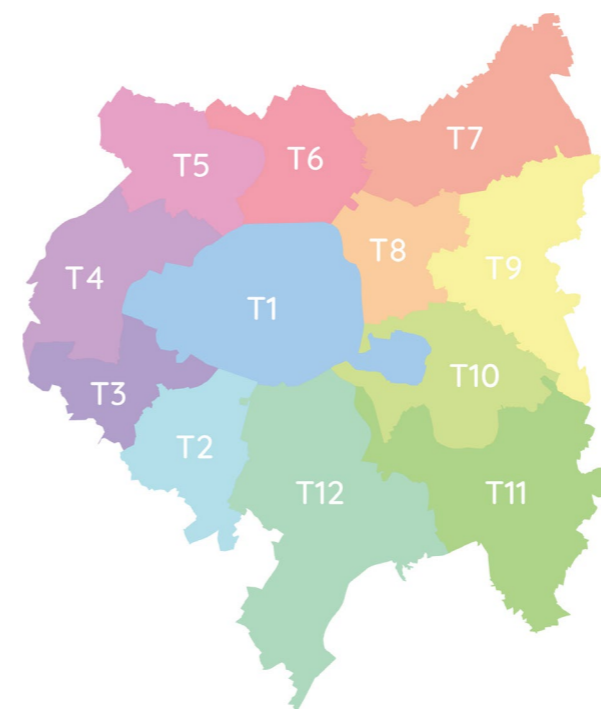
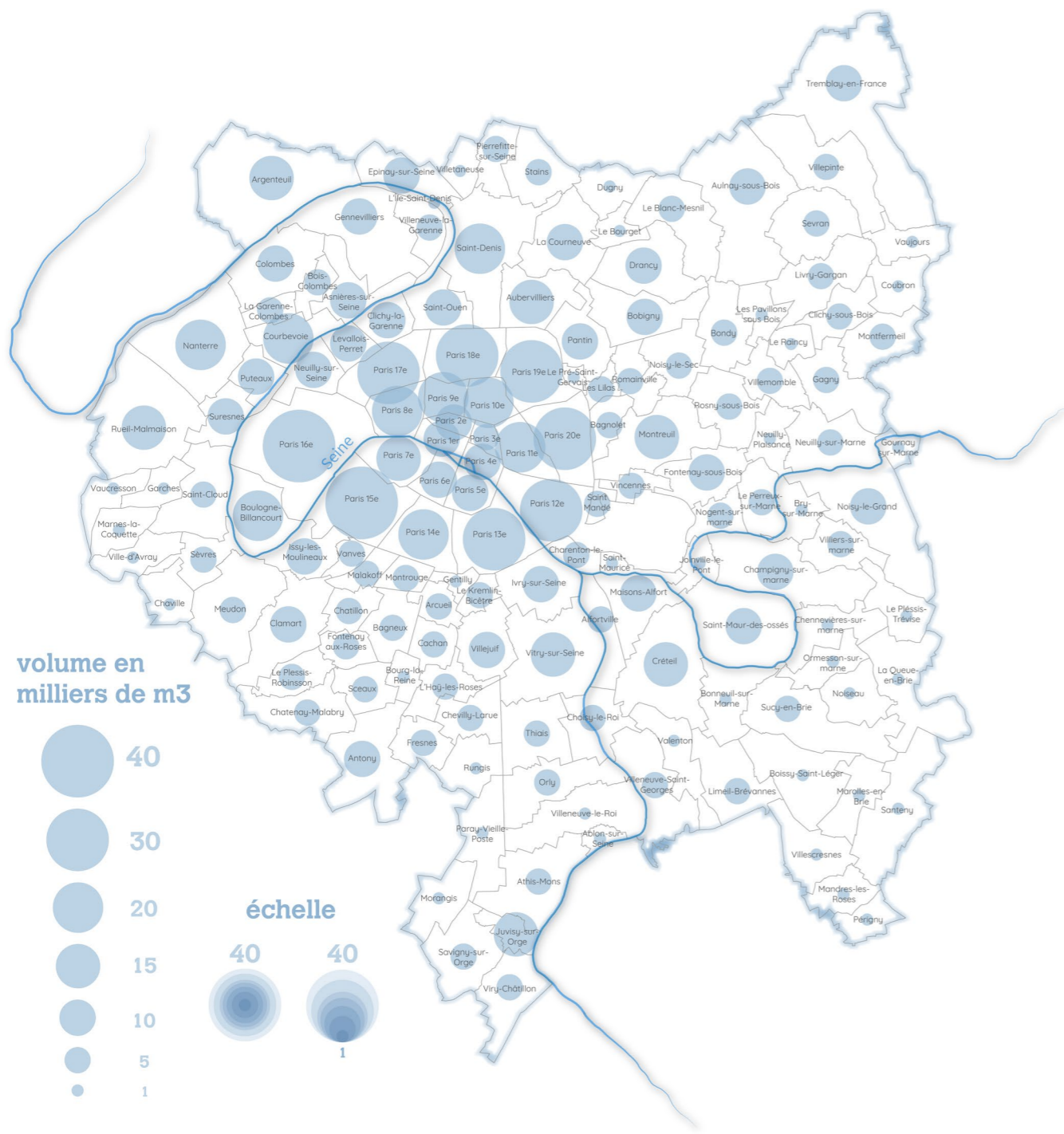


auteurs, 2021 d'après <http://www.dreee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/>

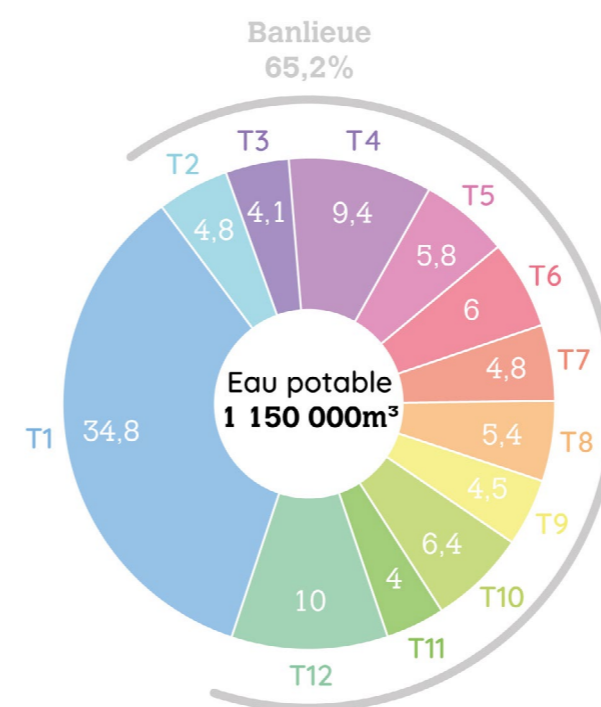
Grand Paris

Consommation hydrique

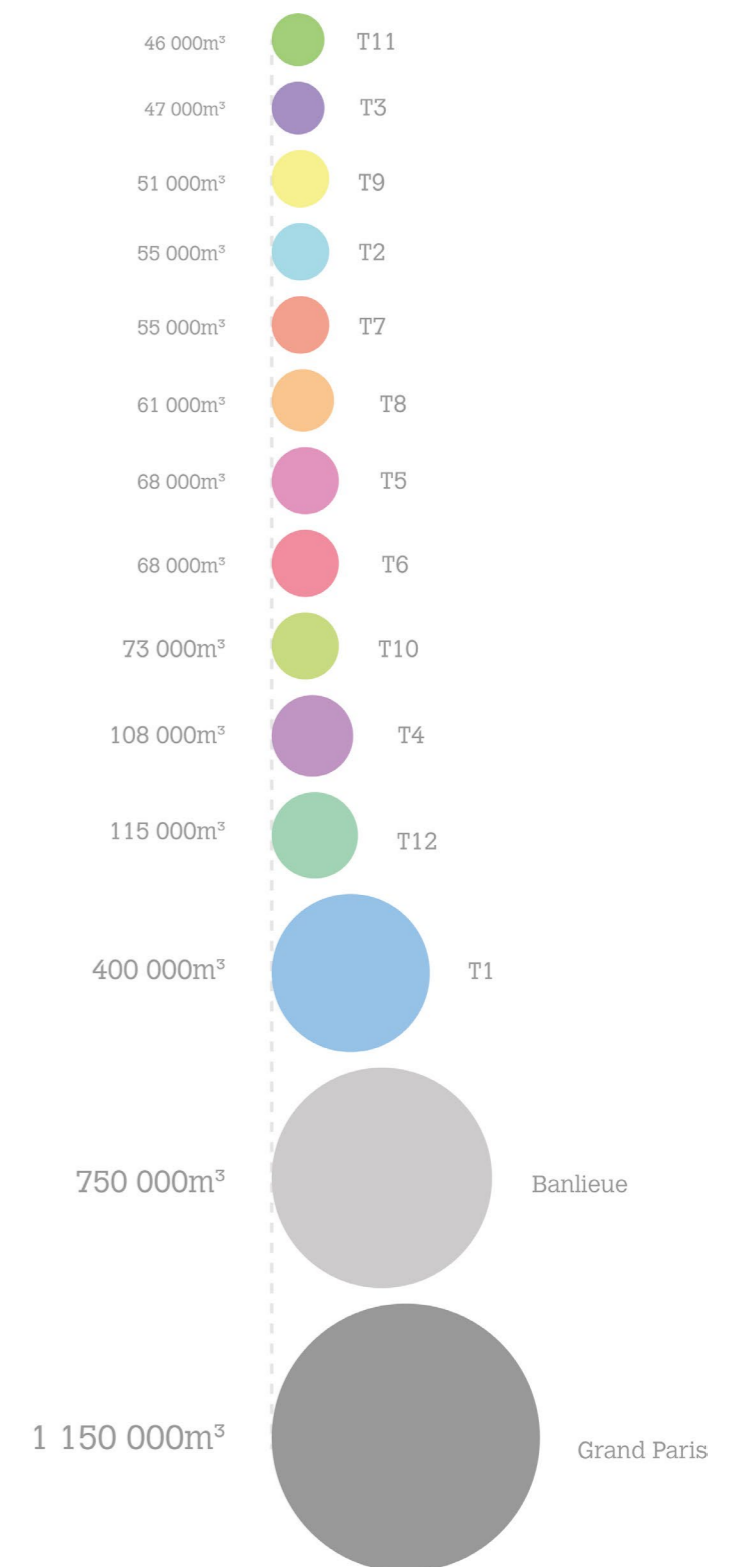
La consommation journalière en eau du Grand Paris n'est pas également répartie sur l'ensemble du territoire, Paris concentrant près d'1/3 de la consommation totale.



territoires



répartition de la consommation



volumes par territoires

Chaleur fatale

Définition et types

Définition de la chaleur fatale :

«La chaleur fatale est la chaleur dérivée d'un site de production qui n'en constitue pas l'objet premier et n'est donc pas nécessairement récupérée.»

ADEME, Étude des potentiels de production et de valorisation de chaleur fatale en Île-de-France, Mai 2017

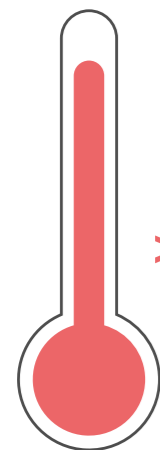
Le Grand Paris possède un gisement considérable de chaleur fatale, ce gisement maximal est estimé à **26 000 GWh ou 26 TWh** ce qui couvrirait 1/4 des besoins de la région qui consomme 105 TWh. Ce gisement important s'explique par la forte densité de la population et donc des infrastructures qui en résultent.

Le travail est basé sur les travaux et recherches de l'**ADEME (agence de la transition écologique)** qui vise à identifier les procédés et opérations existantes et en dégager les gisements potentiels de valorisation de chaleur fatales liées à l'eau pour une utilisation plus rationnelle de l'énergie. L'ADEME est un établissement public dépendant du ministère de l'environnement qui accompagne les collectivités, entreprises, grand public dans les thématiques des énergies renouvelables, mobilité, etc.

quelles sont les nouvelles productions d'énergie liées à l'eau en région parisienne?



Deux classes de chaleurs fatales



>90°C

Gisement Haute Température (HT)

T > 90°C

ce sont des chaleurs à haute température qui sont exportables à tous types de bâtiments en chauffage collectif

Sources : industries et unités d'incinération (vapeur en sortie de four, cheminées, etc.)



<90°C

Gisement Basse Température (BT)

T < 90°C

ce sont les chaleurs à basses températures qui sont exportables aux bâtiments en chauffage collectifs équipés d'émetteurs basse température (après 2005)

Elles sont aussi utilisables dans les réseaux de chaleurs urbains directement ou à l'aide d'une pompe à chaleur d'appoint.

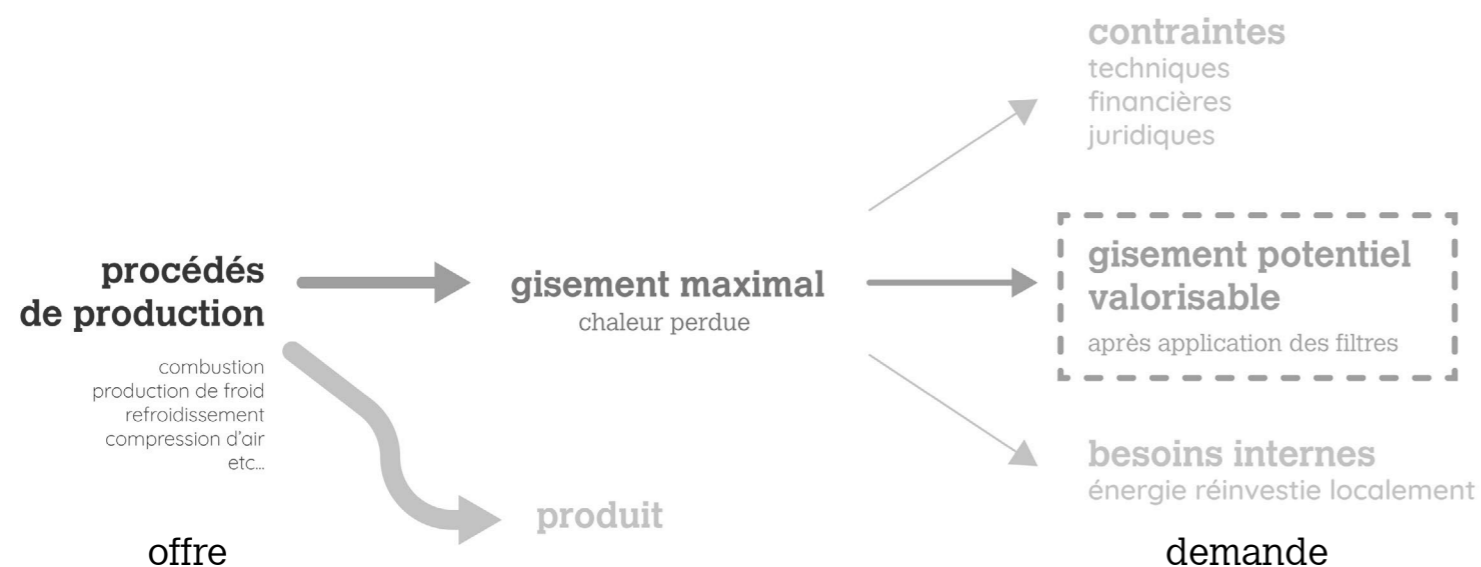
Sources : industries, unités d'incinération, eaux usées et datacenters

Chaleur fatale

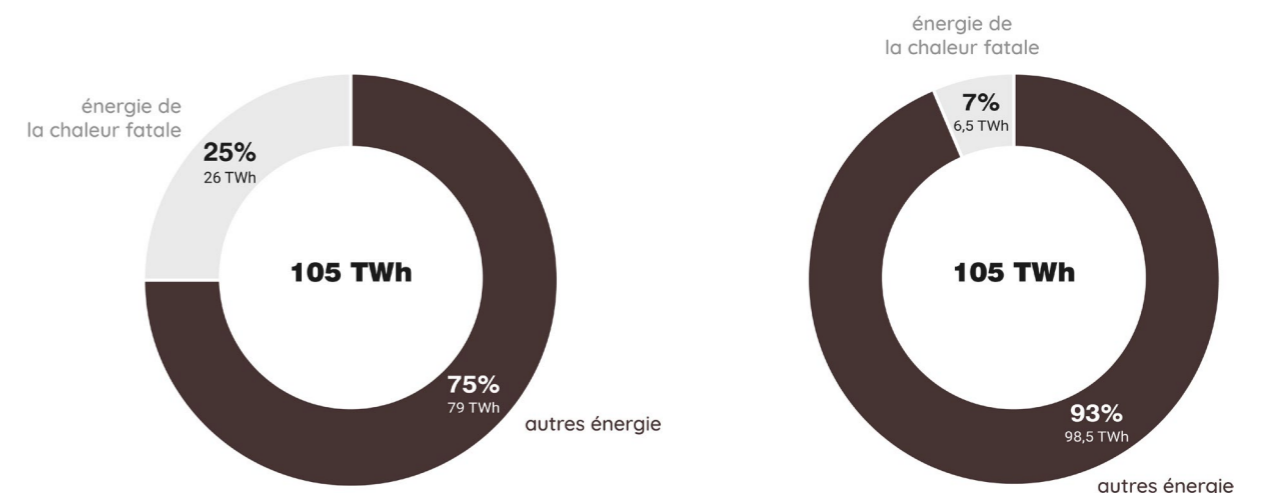
Définition et types

Il convient de distinguer le gisement selon sa **désignation** :

- Le **gisement maximal** correspond à la chaleur dissipée par les procédés de combustion, production de froid, refroidissement et compression d'air indépendamment de tout frein technique, juridique ou économique à sa récupération.
- Le **gisement potentiel valorisable** correspond à prendre en compte ces multiples freins tout en les croisant avec les besoins internes propres à chaque lieu (énergie qui peut être réinvestie localement) puis en les comparant avec les besoins externes contextuels (bâtiments, réseaux de chaleur à proximité).

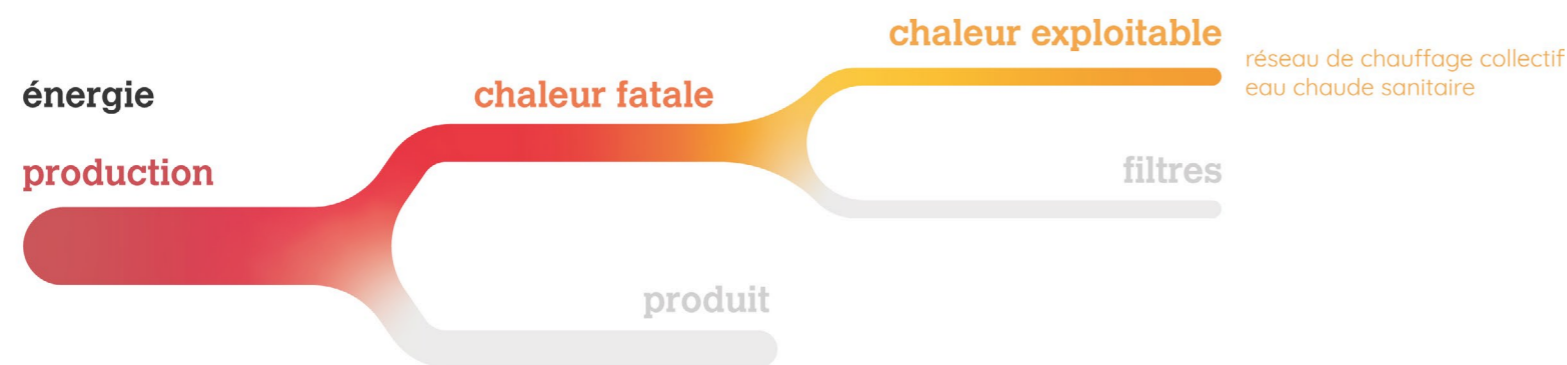


intégration potentielle dans le Grand Paris



gisement maximal

gisement potentiel valorisable



schémas
auteurs, 2021

Par la suite, nous ne raisonnerons qu'en **gisement potentiel valorisable par an** car il constitue une mise en situation réelle de l'efficacité des récupérateurs en prenant en compte les bâtiments dont l'alimentation par une solution collective est possible. Il s'agit des logements collectifs, établissements d'enseignement, gymnases, piscines et équipements culturels.

Chaleur fatale

Origines des gisements

Les gisements de chaleur fatales sont issues de milieux et origines différentes que l'on peut catégoriser en 4.

1. Les industries

HT et BT

Cette catégorie correspond aux installations classées ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) de tous les secteurs d'activité sauf les industries dédiées à la production d'énergie. D'autres établissements du secteur non industriel sont dans le périmètre, à condition qu'ils détiennent des installations industrielles génératrices de chaleur fatale.

Gisement annuel valorisable

2,7 TWh annuellement en BT

730 GWh annuellement en HT

S'ajoute à cela les blanchisseries et laveries dont le gisement uniquement en **Basse Température** est de **710 GWh** annuel

2. Les unités d'incinération des déchets non dangereux (UIDND)

HT et BT

LES UIDND sont dédiées à l'incinération qui est un des modes légaux d'élimination des déchets non dangereux. Il y a aujourd'hui 18 unités en fonctionnement.

Les UIDND valorisent déjà la majorité de la chaleur perdue et il existe une difficulté et un manque de consensus sur l'évaluation des perspectives d'évolution des tonnages de déchets. (Population, densité, efficacité du tri, réduction des déchets, etc.).

Gisement annuel valorisable

860 GWh annuellement en BT

200 GWh annuellement en HT

3. Les DATA Center

BT

Les Data Centers sont des sites physiques qui hébergent les systèmes nécessaires au fonctionnement d'applications informatiques. Ils permettent de stocker et de traiter des données et sont constitués de composants informatiques.

La chaleur fatale d'un Data Center est dégagée par les équipements informatiques puis traitée par les équipements de production de froid. C'est en installant un échangeur "eau/eau" en sortie de ces groupes froids qu'il est possible de récupérer la chaleur fatale.

L'Île-de-France qui concentre le plus grand nombre de Data Centers mais il n'existe qu'une seule opération de récupération de chaleur.

Gisement annuel valorisable

300 GWh annuellement en BT

Chaleur fatale

Valorisation des eaux usées

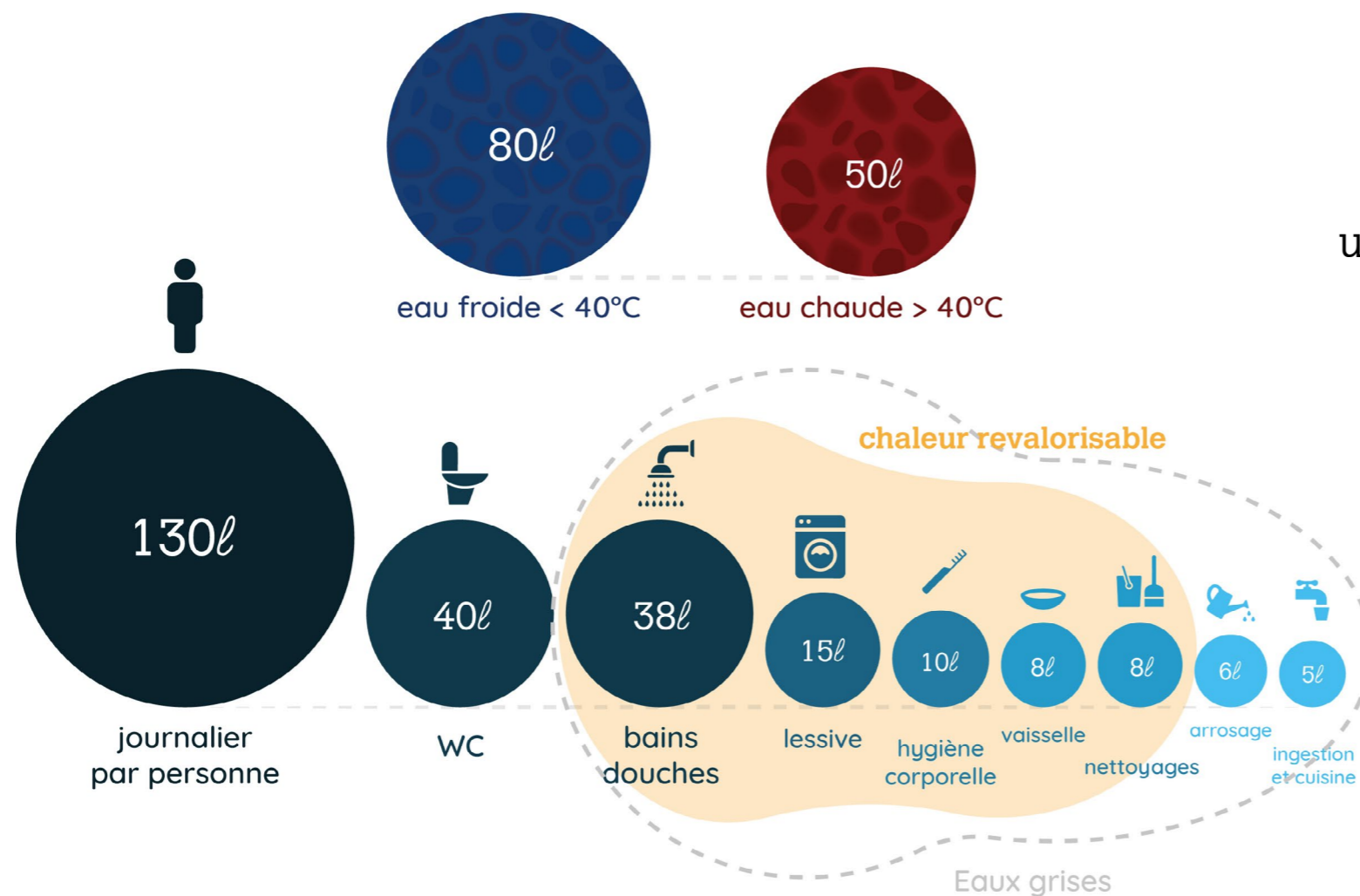
4. Les Eaux usées (Basse Température)

Le dernier procédé que nous avons souhaité développer et comprendre en profondeur concerne la valorisation de la chaleur des eaux usées ou cloacothermie dans le **cadre du logement**.

Ethymologie du latin *cloaca* qui désigne les égouts ou le réceptacle des eaux usées et du grec ancien *thermos* qui veut dire chaud

Il s'agit donc de l'énergie renouvelable qui provient de la chaleur ou les calories des eaux usées notamment les **eaux grises** (lavabos, cuisine, douche, lave-linge). L'eau rejetée en moyenne par chaque utilisateur est de l'ordre de **20 à 30°C** ce qui représente un réel gâchi énergétique.

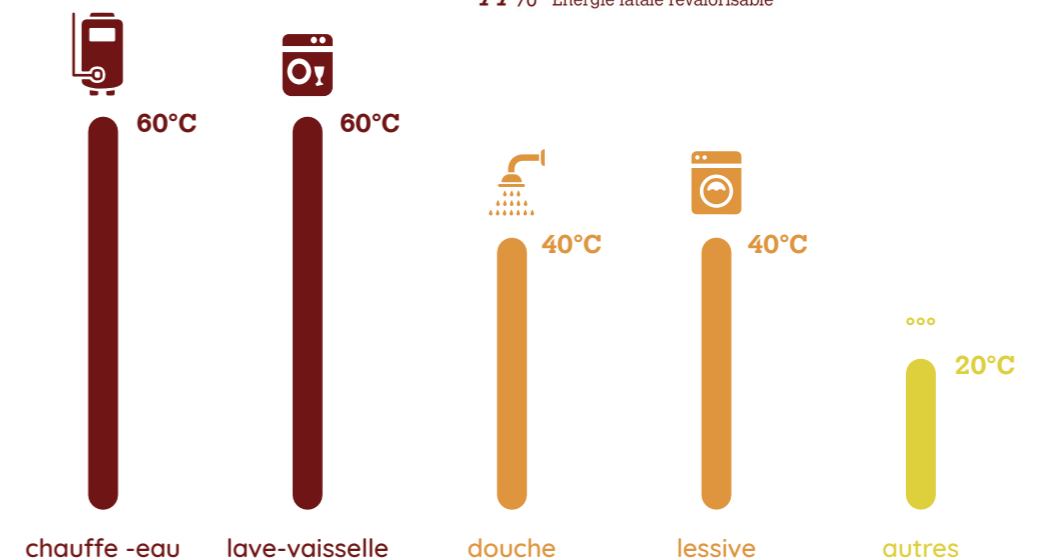
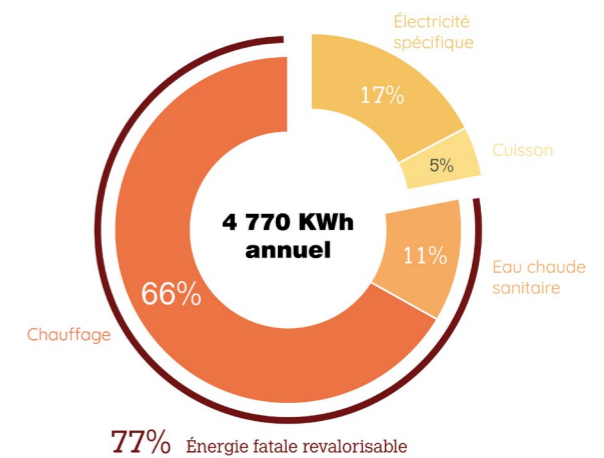
La température des eaux usées dans les zones urbaines se situe entre **15° et 20°**. Ainsi, ce potentiel valorisable est de l'ordre de **1,1 TWh annuel en basse température** sur une consommation totale de 50 TWh dans le résidentiel.



volumes moyens en eau dans le logement

auteurs, 2021

consommation énergétique par usage par ménage



température moyenne de rejet de l'eau

auteurs, 2021

Chaleur fatale

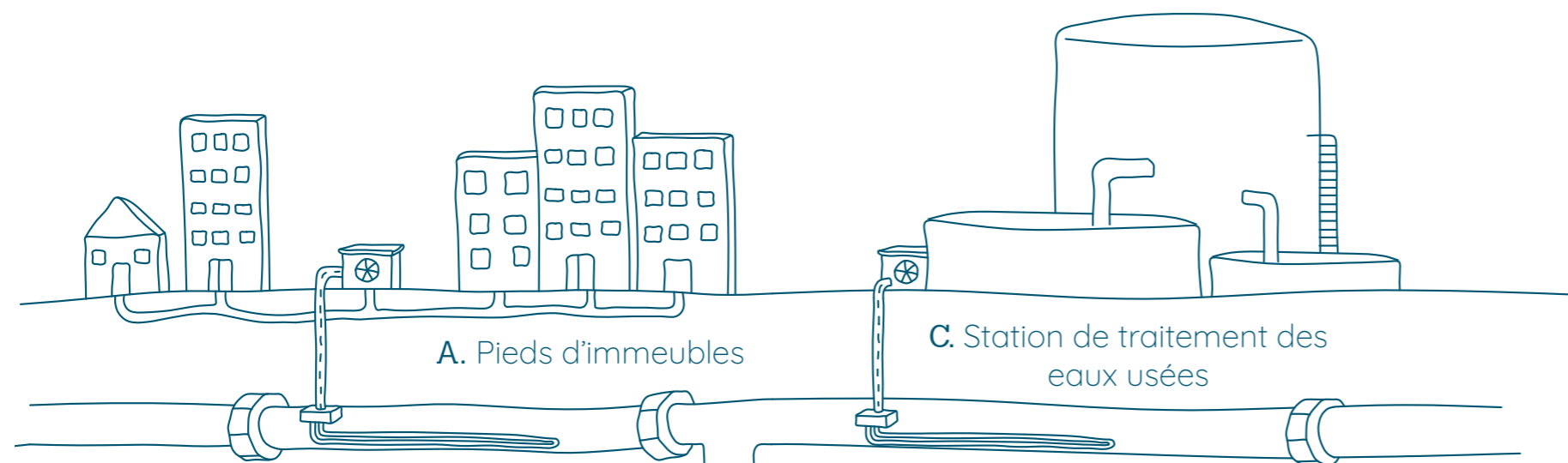
Valorisation des eaux usées

La cloacothermie met en œuvre un échangeur qui **récupère et transfère l'énergie vers une pompe à chaleur (PAC)** qui a pour rôle de porter un liquide caloporteur à la température souhaitée pour répondre aux besoins thermiques donnés. Les **eaux usées** débarrassées de leur énergie récupérée au travers de l'échangeur, reprennent ensuite le cycle classique de collecte et d'assainissement. **L'énergie calorifique produite** est ensuite distribuée jusqu'à des sous-stations des bâtiments ou aux émetteurs.

La température des eaux usées varie peu entre l'hiver et l'été, toute l'année la **température moyenne est d'environ 15°C** ; la cloacothermie peut aussi bien répondre à des besoins de chauffage en hiver que des besoins de rafraîchissement en été. Des retours d'expérience montrent qu'un mètre de canalisation permet de produire de 2 à 8 kW de puissance de chauffage. Ce potentiel reste encore très peu exploité en France, alors que **l'énergie est disponible en grande quantité** en milieu urbain là même où les besoins sont importants.

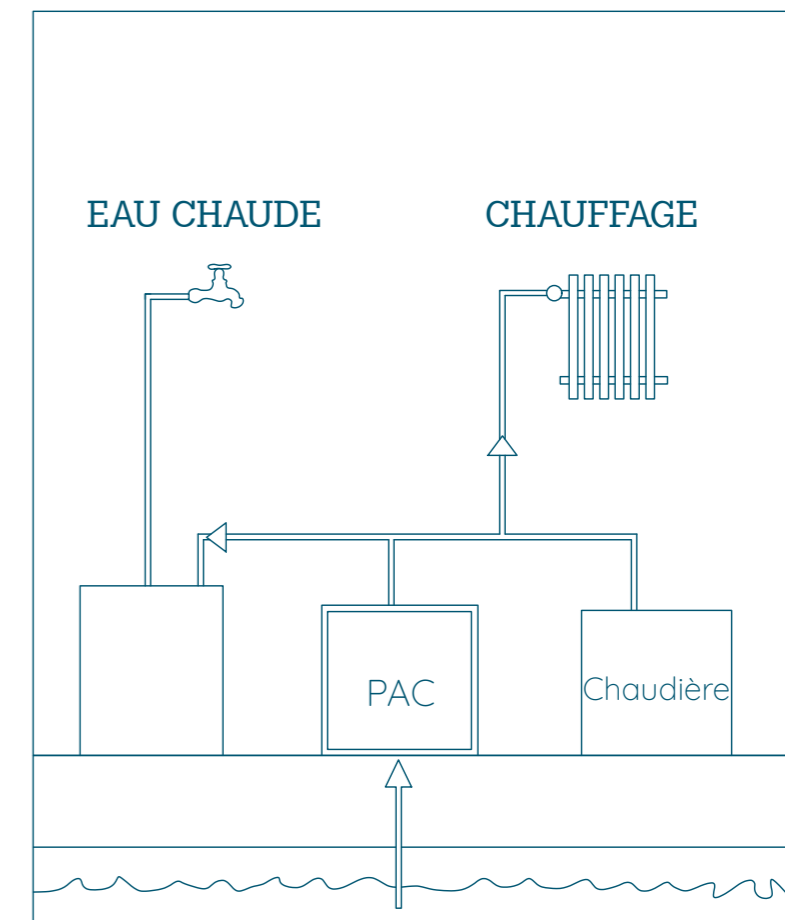
Avec une même technique de récupération de chaleur, celle-ci peut se déployer à 3 positions du réseau d'assainissement des eaux usées :

- A. le pied d'immeuble
- B. collecteur d'assainissement
- C. Station de Traitement des Eaux Usées (STEU)



B. Collecteurs d'assainissement

auteurs, 2021 d'après <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/>



auteurs, 2021 d'après <https://eduscol.education.fr/>

Fonctionnement de la cloacothermie

Chaleur fatale

Zones favorables : pied d'immeuble ZAC

Les eaux usées sont dérivées depuis le réseau de canalisations principal vers un échangeur thermique et une pompe à chaleur. C'est un dispositif très efficace sur les eaux chaudes sanitaires puisqu'il peut se raccorder rapidement au réseau.

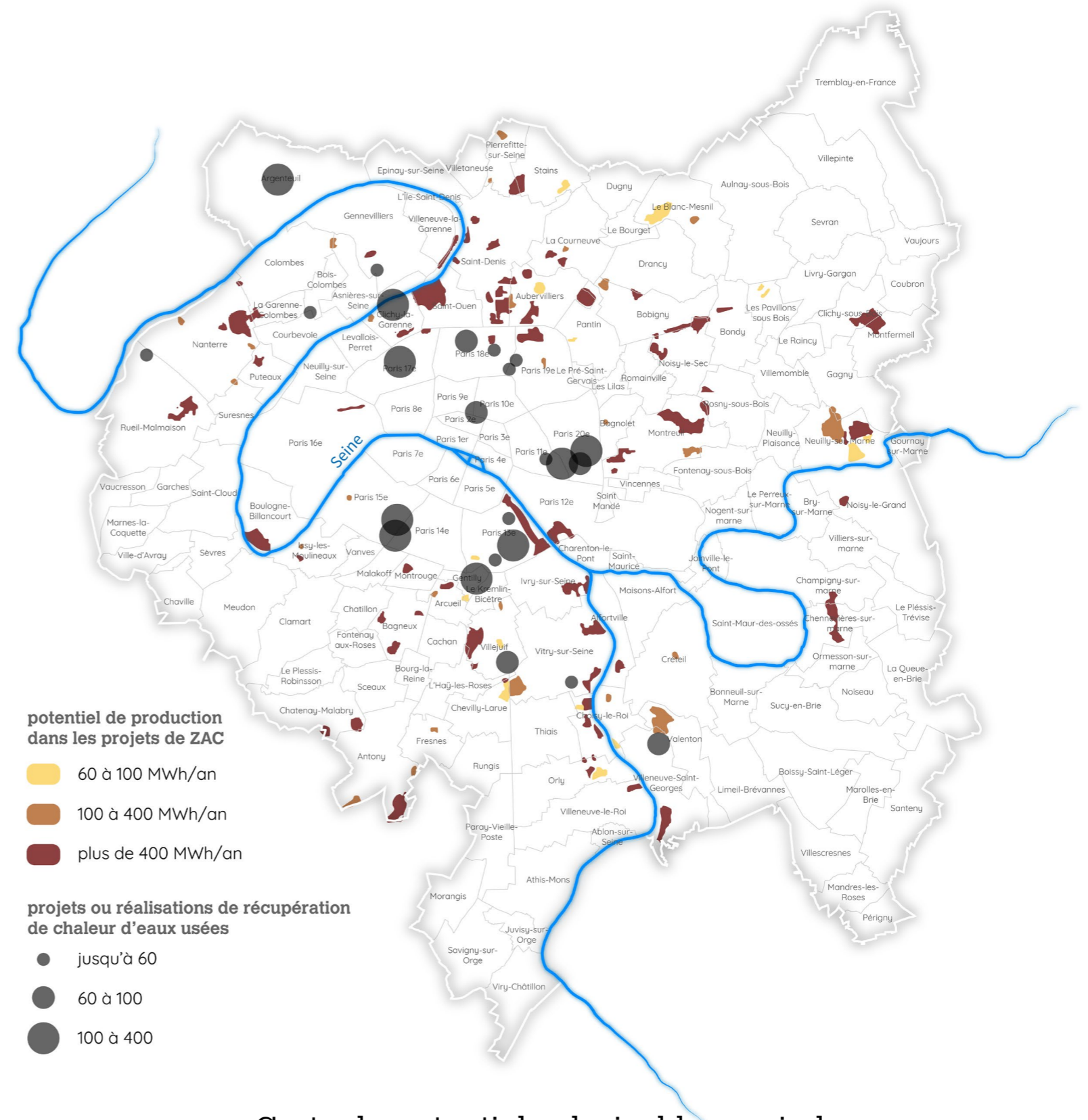
Le gisement maximal correspond au potentiel valorisable puisque l'énergie est réutilisée directement dans le bâtiment sans les autres contraintes.

Ce potentiel a été estimé à l'échelle des ZAC où il est considéré que la totalité des logements sera des habitations collectives. Celles-ci seront toutes équipées par un dispositif de récupération de chaleur sur les eaux usées donnant ainsi un potentiel de valorisation thermique maximal.

À l'horizon 2030, il serait donc possible de récupérer au maximum une énergie de 430 GWh/an, soit 56% des besoins en eau chaude sanitaire sur les logements des futures ZAC.

Il y'a à ce jour 23 opérations de récupération de chaleur recensées dans la région du Grand Paris.

Gisement annuel valorisable
220 GWh annuellement en **BT**



Carte du potentiel valorisable en pieds d'immeuble des logements en ZAC

auteurs, 2021 d'après <https://www.ademe.fr/>

Chaleur fatale

Zones favorables : collecteurs d'assainissement

Il existe déjà 5 opérations récupération de chaleur sur les collecteurs d'assainissement dans les rues des communes du Grand Paris. Cette récupération peut se faire aussi bien en série dans le collecteur qu'en dérivation.

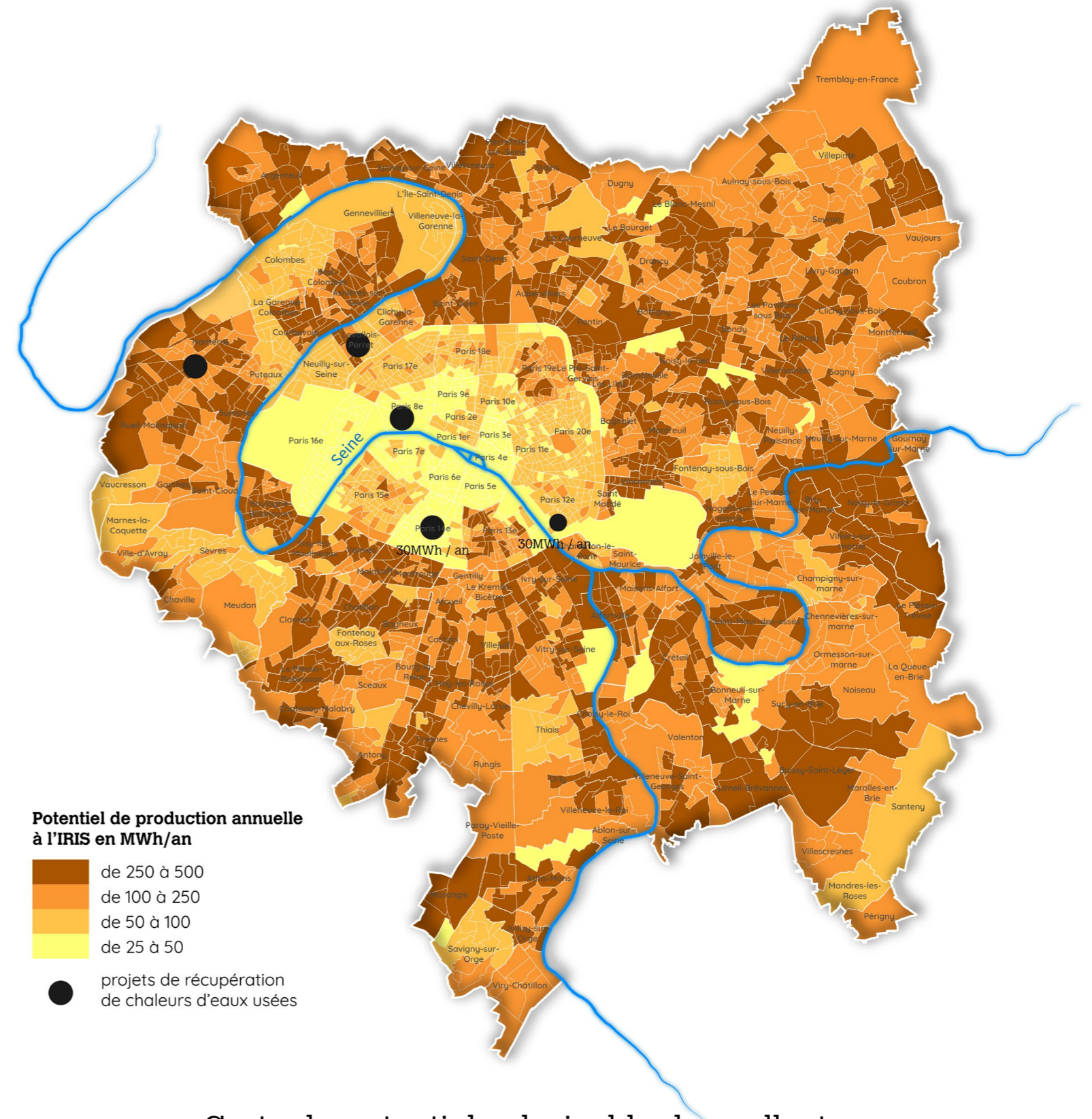
Le débit d'eaux usées a été estimé à l'échelle de chaque commune, à partir de leurs populations et du rejet journalier moyen de leurs habitants. L'échelle a été remise à l'IRIS (zones de 2000 habitants)

La ressource des collecteurs est comme celle des Data Centers, localisée principalement autour de la petite couronne où se trouvent les plus gros collecteurs. Cette zone correspond également à celle de la plus grande densité de besoins BT.

Les zones en grande couronne dont le potentiel est important correspondent principalement aux IRIS à proximité des stations d'épuration. En effet, les collecteurs en entrées de STEU ont des diamètres plus importants.

A moyen terme (en 2020 et 2030), il est prévu que ce gisement chute légèrement du fait de la diminution de la consommation en eau et donc du rejet d'eau des populations.

Gisement annuel valorisable
360 GWh annuellement en **BT**



Carte du potentiel valorisable des collecteurs d'assainissement à l'IRIS

auteurs, 2021 d'après <https://www.ademe.fr/>

Chaleur fatale

Zones favorables : Station de Traitement des Eaux Usées

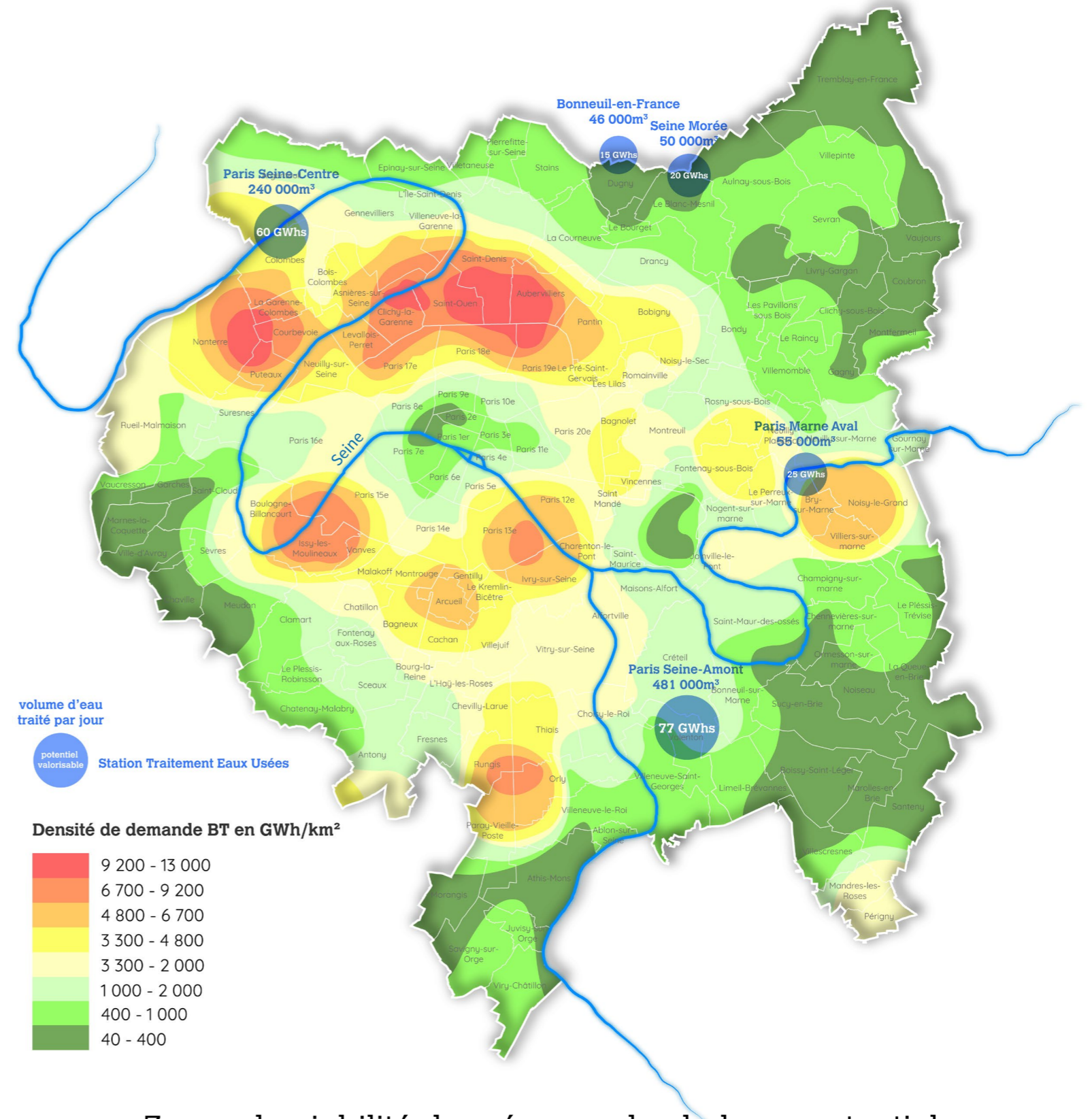
Ce dispositif se place en fin de cycle d'assainissement, au niveau des Stations de Traitement des Eaux Usées (STEU) dans les-quelles les eaux usées sont traitées avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

Le Grand Paris rassemble 5 STEU mais aucune n'est encore doté de ce dispositif de récupération de chaleur car le processus y est moins bien maîtrisé.

Les zones de viabilité sont aussi limitées face aux obstacles tels que les dessertes éventuelles par de nouveaux réseaux de chaleur, l'isolement des sites de STEU souvent encerclés d'obstacles routiers ferroviaires ou fluviaux. Cela contraint ainsi l'opportunité d'une valorisation par un réseau de chaleur basse température.

Comme les collecteurs d'assainissements et du fait de la diminution de la consommation en eau, ce gisement potentiel tendra à se réduire.

Gisement annuel valorisable
520 GWh annuellement en BT



Zones de viabilité des réseaux de chaleurs potentiels d'après les gisements BT des STEU et la demande BT

auteurs, 2021 d'après <https://www.ademe.fr/>

Chaleur fatale

Bilan chaleurs fatales

Après nous être intéressés à l'énergie de l'eau en amont, nous nous sommes intéressés à l'**énergie en aval** qu'elle contenait. L'ensemble des informations provient des études menées par l'**ADEME** qui propose déjà d'accompagner les collectivités par du financement, de l'audit, etc. Il existe ainsi de multiples **plateformes et outils d'accompagnement** : EnR'Choix, Energif géré par l'IAU (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme) ou encore le guide « De la chaleur fatale à la chaleur de récupération : mobiliser l'énergie des territoires » par la FNCCR. Tous ces outils s'orientent dans ce sens de priorisation des énergies renouvelables pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire pour que les différents acteurs : collectivités territoriales, gestionnaires de patrimoines, aménageurs ; bureaux d'études, exploitants, etc. C'est donc en estimant les gisements, cartographiant et localisant les zones potentielles que l'on peut y établir des **stratégies d'aménagement et planifications territoriales durables** selon un écosystème d'offre et de demande.

S'il est important de réduire le besoin utile, cela ne préjuge en rien sur la consommation énergétique car la **chaleur fatale** qui est **perdue si elle n'est pas valorisée**. Elle se localise sur un périmètre bien précis qui ne peut être délocalisé aisément. Il est donc particulièrement intéressant de rechercher d'abord à valoriser cette ressource avant d'aller chercher d'autres ressources renouvelables comme la géothermie. Elle est aisée à mettre en place et présente de nombreux avantages : coût faible, logique d'économie circulaire, renforcement de la résilience du territoire, lien entre la collectivité et les industriels, etc. Cette mise en œuvre doit s'articuler avec les études prospectives des évolutions de consommation des franciliens (baisse de la consommation hydrique, bâtiments plus efficaces thermiquement)

Nous avons vus à travers la **valorisation des eaux usées** que celle-ci avait un certain potentiel énergétique et s'appliquait déjà à certains endroits de la métropole. Ce dispositif nécessite un important débit sortant ainsi qu'une forte demande pour être efficace. En l'occurrence, l'importante consommation hydrique de Paris qui a une faible demande en basse température devient une aubaine pour les territoires limitrophes de banlieue dont les besoins sont importants.

Les industries et les **DATA center** sont 2 pistes intéressantes à exploiter en raison de leur fort potentiel en chaleur fatale future qui ne cessera d'augmenter notamment avec l'introduction de la 5G qui nécessitera un traitement rapide des données, des serveurs plus volumineux et donc des circuits de refroidissement plus importants. Ces énergies bien qu'elle ne soient par directement reliées à la consommation en eau nécessitent néanmoins un système hydraulique pour fonctionner.

Eau et énergie

Bilan semestre

Durant ce développement, nous nous sommes rendus compte que l'énergie était une **ressource difficile à quantifier** en raison de sa fluctuation dans le temps. Bien qu'au départ nous voulions développer un projet architectural, nous avons très vite été confrontés à des problèmes traitant de l'ingénierie, ainsi qu'un **manque de données** et d'informations, complexifiant la réalisation d'un projet physique, menant à des résultats souvent approximatifs et prospectifs.

Nous avons donc décidé d'analyser l'énergie et l'eau en nous intéressant aux **différents acteurs de l'eau** à Paris et dans le futur Grand Paris, ouvrant ainsi sur des enjeux politiques, technologiques et sociaux, en passant par la **compréhension des réseaux de distribution** d'eau potable. L'eau est en effet un sujet sensible qui revête pourtant un caractère primordial dans la vie urbaine. Durant nos recherches, nous avons découvert des projets existants mettant en place des **énergies renouvelables** comme la géothermie ou encore la cloacothermie. Nous avons donc voulu les mettre en lumière car elles sont malheureusement encore peu connues et **peu valorisées**.

Enfin en nous intéressant aux **chaleurs fatales**, et particulièrement à leur valorisation, nous avons pu comprendre en quoi elles représentaient un réel potentiel pour le futur, et comment leur **implantation dans de nouvelles réalisations**, ou même dans l'existant, permettrait de faire des gains d'énergie non négligeables. Ces implantations peuvent ainsi se répercuter dans l'**aménagement du territoire** et même dans celle des logements toujours lié à l'aspect énergétique et thermique.

Les différents intervenants nous ont offert de nombreuses **perspectives de vue différentes**, tantôt confrontées à des réalités, tantôt utopiques. Et chaque fois que nous avançons d'un pas, nous faisons également deux pas en arrière. Cela nous a permis d'ouvrir notre champ de connaissances mais a nécessité une **synthèse de toutes ces informations**, qui appartiennent chacune à des domaines très vastes que nous ne pouvons guère traiter sur un seul semestre. Grâce à ce développement, nous avons pris conscience de l'importance d'une **meilleure gestion de l'eau et des énergies au quotidien**, qu'elle soit à l'échelle de l'habitant tout comme des grands acteurs de l'eau dans nos villes.

Eau et énergie

Schéma bilan

Les architectes et urbanistes ont donc un rôle à jouer dans cette relation entre énergie, eau et empreinte énergétique. C'est ce que nous avons souhaité schématiser par ce bref schéma bilan issue de nos recherches.



Eau et énergie

Sources

Énergies

<https://ile-de-france.ademe.fr/>
<http://sigessn.brgm.fr/>
<https://www.edf.fr/>
<https://www.geothermies.fr/>
<https://www.engie.fr/>
<https://www.planete-energies.com/>
<https://www.paris.fr/>
<https://www.mtaterre.fr/>
<https://www.connaissancedesenergies.org/>
<http://www.energies-renouvelables.org/>
<https://www.mon-energie-verte.com/>
<http://energiesdemain.e-monsite.com/>
<https://wikiwater.fr/>

Eau de Paris

<http://www.eaudeparis.fr/>
<https://www.paris.fr/>
<https://www.planetoscope.com/>
<http://damien.jullemier.pagesperso-orange.fr/>
<https://sortir.grandparissud.fr/>

Grand Paris

<https://www.apur.org/fr>
<https://climat-energie-idf.fr/>
<https://www.lejdd.fr/>
<https://eau-iledefrance.fr/>
<https://lexpansion.lexpress.fr/>

Chaleur fatale

<https://www.enrchoix.idf.ademe.fr/>
<https://www.ademe.fr/> <https://www.caue77.fr/>
<https://www.sia-partners.com/fr/>
<http://sigriau-idf.fr/>
<https://eduscol.education.fr/>
<https://www.caue77.fr/content/l-autonomie-energetique-ressources-et-experiences>