



## HISTOIRE D'EAU

### Centrales thermoélectriques et environnement

André Marquet, Global Chance, avril 2021

## INTRODUCTION

L'air et l'eau sont l'objet de sollicitations colossales et de pollutions multiples : prélèvements d'eau considérables par l'industrie et l'agriculture intensive notamment, rejets de gaz à effet de serre, de produits chimiques divers, de produits radioactifs.

Notre environnement est sujet, en France comme à l'échelle planétaire, à d'énormes rejets d'énergie perdue, souvent plus considérable encore que celle que l'on cherche à produire pour satisfaire notre course à la production et notre soif de transports et de déplacements planétaires.

Nous examinons ci-dessous le cas d'une partie encore dominante de la production d'électricité par des centrales thermiques.

Après l'âge des machines à vapeur du 19<sup>ème</sup> siècle, la production d'électricité par turbines à gaz ou à vapeur a pris au cours du 20<sup>ème</sup> siècle des proportions de plus en plus importantes. Selon EDF, les centrales thermiques, qu'elles soient à flammes ou nucléaires, produisaient en 2016 dans le monde 18926 milliards de kWh (appelés térawattheures - TWh), soit 75,5 % de la production mondiale d'électricité<sup>1</sup>.

Quand on fait le tour des systèmes de production d'électricité en France et dans le monde, on constate que le grand nombre de grandes centrales thermiques mettent à très rude épreuve les eaux de surface dont disposent les différents pays, en tant que « source froide » et en ne restituant sous forme d'électricité qu'environ 30 % (cas des centrales nucléaires) à 40 % (cas des centrales à flamme et turbine à vapeur) des énergies primaires qu'elles consomment.

---

<sup>1</sup> Voir <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-thermique-a-flamme-en-chiffres/>  
et aussi <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres/>

Selon Eaufrance<sup>2</sup>, en 2013, un total de 55,1 % du volume total d'eau douce dite « de surface » (par opposition aux eaux souterraines), se trouve prélevé sur les cours d'eau ou lacs en France pour servir au refroidissement des centrales thermiques. Cela représente de l'ordre de 17 milliards de m<sup>3</sup> dont "plus de 90% sont restitués" aux cours d'eau après utilisation. Au passage, on note que ces eaux supportent une élévation de température et aussi des injections de biocides et produits chimiques divers indispensables au bon fonctionnement des installations.

A une époque de rude changement climatique où l'eau devient un milieu et un bien indispensable de plus en plus précieux et de plus en plus fragile, et qu'il convient donc à la fois de ménager et d'éviter de renvoyer massivement sous forme de vapeur dans l'atmosphère, il n'est pas inutile de rappeler les sollicitations actuelles et de prendre conscience de leurs impacts.

On va d'abord tenter ici de jauger l'impact, sur l'eau en France, des moyens de production électriques que sont les différentes centrales thermiques équipées de turbines à vapeur.

## Les tendances centrales de la production d'électricité en France

- Centrales thermique charbon et barrages hydrauliques jusque dans les années 1950.
- Loi de nationalisation d'EDF en 1946. EDF centralise la distribution dès 1952.
- Années 60 : Ere du tout pétrole bon marché ; EDF construit des centrales thermiques à fioul.
- Après les chocs pétroliers de 1973 et 1979 : EDF bascule dans le "tout électrique, tout nucléaire"
- "Retrouver la croissance heureuse (et insouciant n.d.l.r.) des 30 glorieuses"
- EDF abandonne de grands projets de stations de pompage et stockage hydrauliques (STEP)
- Virage commercial d'EDF : développement concurrentiel et promotionnel des usages thermiques de l'électricité
- Jusque dans les années 1990 : construction surcapitaire de centrales nucléaires
- Après 2000 : Introduction laborieuse et parcimonieuse en domaine concurrentiel des énergies renouvelables
- 75% de l'électricité consommée est produite par les centrales nucléaires
- A partir de 2007 reprise de construction nucléaire avec l'EPR de Flamanville : mise en service...après 2022 ?
- Projets EDF d'installer 6 nouveaux EPR en France

---

<sup>2</sup><https://www.eaufrance.fr/chiffres-cles/>

## 1. SOLLICITATIONS DES EAUX DE SURFACE PAR LES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES THERMIQUES À TURBINES À VAPEUR

Ces machines thermodynamiques fonctionnent avec de l'eau :

- portée à l'état de vapeur sous forte pression, chauffée aux environs de 500 °C par une chaudière à combustible fossile (charbon, pétrole ou gaz naturel, parfois bois), ou bien par une chaudière nucléaire à uranium aux environs de 300 °C. C'est la "source chaude".
- ramenée à l'état liquide et basse pression dans un échangeur - appelé condenseur - où la vapeur d'eau se condense, après être passée dans la turbine ; pour évacuer la chaleur de condensation, cet échangeur est alimenté en eau prélevée sur les cours d'eau ou sur la mer (on parle alors de "prélèvement"). C'est la "source froide".

En regardant plus en détail, on sait que, pour maintenir le condenseur à sa température basse, l'eau prélevée dans les cours d'eau ou dans la mer est utilisée en gros selon deux techniques différentes :

- en circuit dit "ouvert" ; l'eau prélevée en très grand débit traverse directement le condenseur avant d'être rejetée dans le cours d'eau ou la mer. C'est le cas des centrales de bord de mer, du Blayais sur la Garonne, de deux tranches du Bugey, de Saint-Alban et de Tricastin sur le Rhône, de Cordemais sur la Loire. C'était aussi le cas de Fessenheim sur le Rhin.
- en circuit dit "fermé" ; l'eau est prélevée en plus faible quantité mais une partie importante est évaporée et rejetée dans l'atmosphère par une tour d'aéroréfrigérant. La chaleur latente de vaporisation de l'eau permet de maintenir en équilibre la « source froide » de la centrale

On prend en compte dans ce qui suit, pour les prélèvements et pour les consommations évaporées, les valeurs suivantes extraites notamment du guide EDF "Centrales nucléaires et environnement".<sup>3</sup>

Les quantités évaporées par les différents types de centrales thermiques sont estimées :

- de l'ordre de 1% du prélèvement dans le cas de circuits ouverts où l'eau prélevée s'échauffe de 10 °C ou davantage avant d'être rejetée, puis de ce fait s'évapore en faible partie du lit du cours d'eau avant que ce dernier retrouve sa température normale.

---

<sup>3</sup> [https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/enjeux/environnement/gestion-de-l-eau/centrales\\_nucleaires\\_et\\_environnement\\_-\\_rejets\\_deau\\_light.pdf/](https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/enjeux/environnement/gestion-de-l-eau/centrales_nucleaires_et_environnement_-_rejets_deau_light.pdf/)

- d'un ordre de grandeur plus élevé dans le cas de circuits fermés avec aéroréfrigérants.

Besoins hydrauliques des centrales électriques (puissance exprimée en mégawatts notés MW - 1 MW = 1000 kW)

Centrale	puissance MW	type de circuit	prélèvement m <sup>3</sup> /s	évaporation lit du cours d'eau après rejet m <sup>3</sup> /s	évaporation aéroréfrigérant m <sup>3</sup> /s
nucléaire	900	fermé	2		0,67
nucléaire	900	ouvert	42	0,42	
nucléaire	1300	fermé	2		0,75
nucléaire	1300	ouvert	57	0,57	
nucléaire	1450	fermé	3		0,85
charbon	600	ouvert	18	0,18	
charbon	600	fermé	0,85*		0,28

*\* en prenant les mêmes ratios circuit fermé / circuit ouvert que pour les centrales 900 MW.*

Pour mémoire les centrales nucléaires "bord de mer" de 900 MW (10) et 1300 MW (8) fonctionnent en circuit ouvert, et évaporent donc environ 9 m<sup>3</sup>/s.

Il convient rappeler que les filières d'énergies renouvelables que sont l'hydraulique, l'éolien ou le solaire se passent de solliciter à de tels niveaux les ressources en eau, et devraient de ce seul point de vue recueillir un soutien beaucoup plus appuyé et organisé de l'Etat et des Collectivités locales.

## 2. PRÉLEVEMENTS D'EAU DES CENTRALES EN FRANCE - DÉBITS-MODULES ET DÉBITS D'ÉTIAGES DES FLEUVES ET RIVIÈRES FRANÇAIS

On appelle module le débit hydrologique moyen pluriannuel d'un cours d'eau. Son étiage naturel est le débit minimum qui serait constaté ; cet étiage en période d'été est fréquemment soutenu par des "lâchers d'eau" provenant de barrages situés en amont des centrales.

### LA LOIRE

Le module de la Loire à Orléans est environ 349 m<sup>3</sup>/s. Son étiage est de 50 m<sup>3</sup>/s, mais il est soutenu en été par des lâchers d'eau dans des barrages du bassin amont pour permettre aux centrales aval de fonctionner ; l'étiage naturel est calculé à environ 34 m<sup>3</sup>/s.

Les centrales thermiques qui équipent la Loire sont les suivantes :

Centrale thermique - puissance électrique en MW	Débit d'eau prélevé m <sup>3</sup> /s	Débit d'eau évaporé m <sup>3</sup> /s
BELLEVILLE - nucléaire - 2 x 1300 circuit fermé	4	1,5
DAMPIERRE - nucléaire - 4 x 900 circuit fermé	8	2,68
ST LAURENT - nucléaire - 2 x 900 circuit fermé	4	1,34
CHINON - nucléaire - 4 x 900 circuit fermé	8	2,68
CORDEMAIS - charbon - 2 x 600 circuit ouvert	36	0,36
<b>Totaux Loire</b>	<b>60</b>	<b>8,56</b>

L'addition des prélèvements d'eau douce sur la Loire est de l'ordre de grandeur du double de l'étiage naturel et l'évaporation représente presque le tiers de ce dernier, ce qui peut s'avérer très problématique en période de crise hydrique en été.

On peut noter que la production de la centrale au charbon de Cordemais qui était censée s'arrêter en 2021 fait l'objet d'un projet controversé de fonctionnement "Ecocombust" aux déchets de bois agglomérés jusqu'en 2024.

### LA SEINE

Le module de la Seine à Nogent Pont-sur-Seine est de 79 m<sup>3</sup>/s. Son étiage soutenu par des lâchers venant de retenues en amont pour permettre le fonctionnement de la centrale de Nogent est de 30 m<sup>3</sup>/s. Son étiage naturel est calculé à 5 m<sup>3</sup>/s.

La centrale thermique nucléaire de NOGENT est équipée de 2 réacteurs de 1300 MW en circuit fermé ; elle prélève 4 m<sup>3</sup>/s d'eau et le débit évaporé est de 1,5 m<sup>3</sup>/s.

Le prélèvement est de l'ordre de grandeur de l'étiage naturel !

## LE RHÔNE

Le module du Rhône à Beaucaire est de 1700 m<sup>3</sup>/s pour un étiage naturel élevé de 330 m<sup>3</sup>/s.

Les centrales nucléaires qui l'équipent sont les suivantes :

Centrale thermique nucléaire - puissance électrique en MW	Débit d'eau prélevé m <sup>3</sup> /s	Débit d'eau évaporé m <sup>3</sup> /s
BUGEY 2 x 900 circuit ouvert	84	0,84
BUGEY 2 x 900 circuit fermé	4	1,34
SAINT ALBAN 2 x 1300 circuit ouvert	114	1,14
CRUAS 4 x 900 circuit fermé	8	2,68
TRICASTIN 4 x 900 circuit ouvert	168	1,68
<b>Totaux Rhône</b>	<b>378</b>	<b>7,68</b>

Là encore l'addition des prélèvements est de l'ordre de grandeur de l'étiage naturel en raison des prélèvements en circuits ouverts des centrales de Bugey, St Alban et Tricastin !

## LE RHIN

Les deux tranches thermiques nucléaires de 900 MW de la centrale de FESSENHEIM sur le RHIN, dont l'arrêt est décidé, ne sont plus à prendre en compte.

## LA GARONNE

Le module de la Garonne à Tonneins est de 631 m<sup>3</sup>/s pour un étiage naturel de 56 m<sup>3</sup>/s

La centrale thermique nucléaire de GOLFECH est équipée de 2 réacteurs de 1300 MW refroidis en circuit fermé. Leur débit prélevé est de 4 m<sup>3</sup>/s et le débit évaporé de 1,5 m<sup>3</sup>/s.

Les 4 tranches de 900 MW de la centrale thermique nucléaire du BLAYAIS prélevant 168 m<sup>3</sup>/s d'eau saumâtre de Gironde en circuit ouvert, et évaporant 1,68 m<sup>3</sup>/s sont comptabilisées ici au nombre des centrales "eau de mer".

Le prélèvement total sur la Garonne, soit 172 m<sup>3</sup>/s représente 3 fois l'ordre de grandeur de l'étiage !

## LA MEUSE

Le module de la Meuse à Chooz est de 350 m<sup>3</sup>/s. L'étiage soutenu par des retenues d'eau en été est de 25 m<sup>3</sup>/s. Son étiage naturel est calculé à environ 10 m<sup>3</sup>/s.

Le prélèvement de la centrale thermique nucléaire de CHOOZ, équipée de deux réacteurs de 1450 MW refroidis en circuit fermé est de 6 m<sup>3</sup>/s et le débit d'eau évaporé est de 1,7 m<sup>3</sup>/s.

Le prélèvement sur la Meuse est de l'ordre de grandeur de l'étiage naturel !

## LA VIENNE

Le module de la Vienne est de 70 m<sup>3</sup>/s au niveau de Civaux. L'étiage soutenu par des retenues amont est de 12 m<sup>3</sup>/s, alors que l'étiage naturel est de 6 m<sup>3</sup>/s.

Le prélèvement de la centrale thermique nucléaire de CIVAUX, équipée de deux réacteurs de 1450 MW refroidis en circuit fermé est de 6 m<sup>3</sup>/s tandis que le débit d'évaporation est de 1,7 m<sup>3</sup>/s

Le prélèvement est comparable à l'étiage naturel ! Le fonctionnement de la centrale de Civaux est problématique en été.

## LA MOSELLE

Le module de la Moselle mesuré à Bertrange est de 150 m<sup>3</sup>/s. L'étiage naturel est de 17 m<sup>3</sup>/s. Les centrales suivantes la concernent :

CENTRALE thermique - puissance électrique en MW	Débit d'eau prélevé m <sup>3</sup> /s	Débit d'eau évaporé m <sup>3</sup> /s
CATTENOM - thermique nucléaire - 4 x 1300 circuit fermé	8	3
SAINT AVOLD tranche n°6 au charbon - 600 MW circuit fermé	0,85	0,28
<b>Total Moselle</b>	<b>8,85</b>	<b>3,28</b>

Le prélèvement représente la moitié de l'étiage naturel. La centrale à charbon de St Avold dont la fermeture est prévue a priori en 2021 a un nouvel acquéreur qui affiche un intérêt pour le combustible déchets de bois agglomérés.

## PROVENCE

La centrale au charbon de GARDANNE 600 MW en circuit fermé prélève 0,85 m<sup>3</sup>/s et évapore de l'ordre de 0,28 m<sup>3</sup>/s. Sa fermeture est en principe prévue en 2021. Son nouveau propriétaire - le même que celui de la centrale de St Avold sur la Moselle - s'intéresserait aussi au combustible déchets de bois.

### 3. RÉCAPITULATION POUR LA FRANCE

Dans la plupart des cas les débits prélevés sur les cours d'eau français atteignent ou dépassent les étiages. Les fonctionnements des centrales en été peuvent en être affectés. Des ouvrages de retenues en amont sur les cours d'eau et/ou leurs affluents sont alors indispensables pour maintenir le débit à la hauteur de ces prélèvements. Ce problème ne peut que s'accroître à la mesure du réchauffement climatique et de l'extension des sécheresses estivales. Le total de 468 m<sup>3</sup>/s prélevé sur les "eaux de surface" tel que pris en compte ci-dessus mènerait à une quinzaine de milliards de m<sup>3</sup> par an, ce qui reste cohérent avec les dix-sept milliards de m<sup>3</sup> considérés par Eaufrance.

Le total de l'eau de surface et de l'eau de mer **évaporées** tel que relevé ci-dessus est de 35,2 m<sup>3</sup>/s qui conduiraient **par an** à 1,11 milliards de m<sup>3</sup> (ou milliards de tonnes). La partie concernant les eaux douces de surface est de 26,2 m<sup>3</sup>/s ou en un an 826 millions de m<sup>3</sup>.

Pour en prendre la mesure, rappelons que la France prélève 5,5 milliards de m<sup>3</sup> par an pour l'eau potable, mais dont seulement le tiers, soit 1,83 milliards de m<sup>3</sup> provient des eaux de surface (par opposition aux eaux de nappes souterraines).

L'évaporation des eaux douces de surface par les centrales thermiques correspond donc à 45 % du prélèvement d'eau potable sur ces mêmes eaux de surface. Là encore, l'accentuation et l'élargissement des sécheresses risque fort de développer un sensible conflit d'usages.

Sachant que la France produit en gros chaque année selon RTE environ 432 TWh d'électricité à l'aide de centrales thermiques à turbines à vapeur, on peut adopter en première approche un ratio de :

$1,11 \cdot 10^9 / 432 = 2,57 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> d'eau évaporée par TWh d'électricité produite chaque année.

On note aussi que, via cette évaporation, via l'échauffement des eaux de surface et via un rejet direct de chaleur par la cheminée des centrales à charbon, c'est en gros le double de l'énergie électrique produite qui est rejetée dans l'environnement par ces centrales françaises, soit 864 TWh.

Mais si l'on parvenait à remplacer progressivement ces centrales par des systèmes renouvelables prélevant sur le rayonnement solaire incident - directement (photovoltaïque) ou indirectement (éolien par exemple) - au lieu de rejeter 864 TWh dans l'environnement, ce sont à utilisation égale 432 TWh qu'on prélèverait sur l'environnement.

Pour l'environnement s'opposent une **dissipation thermique** dans le milieu de presque **deux fois** l'énergie utile (favorisant le réchauffement climatique) à un **prélèvement** de l'énergie utile (en réduction du réchauffement). L'écart est de presque **trois fois** l'énergie utile. On y reviendra par ailleurs.



## 4. PROJETS EDF DE NOUVEAUX EPR 2

Les sites envisagés seraient, semble-t-il :

- Tricastin et Bugey sur le Rhône
- Belleville sur la Loire déjà équipée de 2 tranches de 1300 MW en circuit fermé
- Chooz sur la Meuse déjà équipée de 2 tranches de 1450 MW en circuit fermé
- Cattenom sur la Moselle déjà équipée de 4 tranches de 1300 MW en circuit fermé
- Gravelines sur la mer du Nord déjà équipé de 6 tranches 900 MW en circuit ouvert (dont les 2 tranches initialement destinées à l'Iran...)

Les tranches envisagées le sont dans un contexte de surcharge déjà existante des cours d'eau concernés, comme on l'a vu plus haut :

- Les prélèvements sur la Loire s'élèvent déjà au double de son étiage naturel en été
- Sur le Rhône ils atteignent le niveau de l'étiage naturel pourtant élevé, surtout en raison des centrales du Bugey et de Tricastin fonctionnant en circuit ouvert le prélèvement sur la Meuse est proche de l'étiage naturel en été
- Celui sur la Moselle est à la moitié de l'étiage naturel

Il n'est donc guère envisageable de recourir dans le cas de nouvelles tranches à des prélèvements en circuit ouvert qui seraient de l'ordre de 70 m<sup>3</sup>/s, sauf dans le cas de Gravelines en bord de mer du Nord. Il s'agirait donc de tranches en circuit fermé munies d'une tour aéroréfrigérante.

Par extrapolation, en se référant au cas de CHOOZ (1450 MW circuit fermé) on peut estimer que le prélèvement pour chaque tranche en bord de cours d'eau serait de l'ordre de 3,3 m<sup>3</sup>/s et que le débit d'évaporation serait d'environ 0,94 m<sup>3</sup>/s (pour mémoire 1 m<sup>3</sup>/s représente 31,5 millions de m<sup>3</sup> par an).

En se référant aux débits prélevés et évaporés existants tels que décrits plus haut, si les tranches envisagées ne s'accompagnaient pas de l'arrêt de certaines tranches existantes, on arriverait aux chiffres globaux suivants, **avant / après** l'installation des EPR2 :

Cours d'eau	ÉTIAGE NATUREL m <sup>3</sup> /s	DÉBIT PRÉLEVÉ m <sup>3</sup> /s	DÉBIT ÉVAPORÉ m <sup>3</sup> /s
LOIRE	34	60 / 63,3	8,56 / 9,5
RHÔNE	330	378 / 384,6	7,68 / 9,56
MEUSE	10	6 / 9,3	1,7 / 2,6
MOSELLE	17	8,85 / 12,2	3,28 / 4,22

Sur les sites concernés, les débits prélevés et évaporés seraient les suivants (avant/après) en ordre de grandeur :

SITE	DÉBIT PRÉLEVÉ m <sup>3</sup> /s	DÉBIT ÉVAPORÉ m <sup>3</sup> /s
BELLEVILLE	4 / 7,3	1,5 / 2,4
BUGEY	84 / 87,3	0,84 / 1,78
TRICASTIN	168 / 171,3	1,68 / 2,62
CHOOZ	6 / 9,3	1,7 / 2,64
CATTENOM	8,85 / 12,2	3,28 / 4,22

Le total du volume d'eau de surface évaporé augmenterait de 4,66 m<sup>3</sup>/s, soit 30,86 m<sup>3</sup>/s ou 973,2 millions de m<sup>3</sup> par an. La proportion des eaux de surface évaporées passerait de 45 à 53% de la consommation d'eau potable française.