

Eau de refroidissement

Dernière révision : 24/01/2025

Mots clés : refroidissement, consommation d'eau, impact thermique, pollution des eaux, AOX

Contexte et problématiques

Les besoins en eau de refroidissement concernent le bâtiment (régulation thermique par géothermie), l'industrie, en particulier les procédés réalisés à haute température, la production d'énergie et les services, dont le secteur du numérique (centres de données en particulier).

L'eau est prélevée dans le milieu et utilisée comme fluide frigorigène primaire (circulation de l'eau pour capter les calories du procédé) ou secondaire, voire tertiaire (étape(s) d'échanges de calories entre l'eau et le(s) fluide(s) assurant la réduction de température). Ce prélèvement doit être étudié dans l'évaluation environnementale d'un projet et devrait être distingué des autres besoins en eau du site (eaux de procédé, eau à usage sanitaire...).

De façon générale, l'eau est rendue au milieu naturel, le plus souvent dans les eaux superficielles, même si le prélèvement se fait dans les eaux souterraines.

Les opérateurs, essentiellement industriels et énergéticiens, exploitent deux grands types de circuits de refroidissement :

- **les circuits dits « ouverts »**, où seule la capacité calorifique de l'eau est utilisée (le volume d'eau restitué est voisin du volume prélevé) ; ce type de dispositif est fréquemment interdit par la réglementation ;
- **les circuits dits « fermés »** où le refroidissement est en général obtenu par évaporation de l'eau (l'essentiel du débit prélevé devrait être évaporé¹, le reste correspondant aux quantités nécessaires pour remplacer les purges des circuits). Les volumes d'eau nécessaires sont moins importants² que pour un circuit ouvert, mais seule une faible partie des volumes prélevés est donc restituée.

¹ Dans des situations particulières comme la centrale nucléaire de production d'électricité de Belleville-sur-Loire, des défauts de conception hydraulique peuvent conduire à prélever des débits bien plus importants que nécessaires, restitués après mélanges avec les eaux de purge, ce qui aboutit à une dilution des effluents ([avis Ae sur les rejets de la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire](#)).

² La capacité calorifique de l'eau est de 4,180 kJ/kg/°C alors que la chaleur latente de vaporisation de l'eau est de 2 450 kJ/kg à 20°C, ce qui signifie qu'il faut réchauffer de 10°C près de 60 fois plus d'eau qu'il ne faudrait en évaporer pour obtenir le même refroidissement.

	Circuit ouvert	Circuit fermé
Origine de l'eau	Souterraine peu profonde (nappe alluviale) ou superficielle (rivière, lac, mer) Parfois nécessité d'un traitement (prévention de la corrosion et de contaminations microbiologiques)	
Compartiment de rejet	Eaux souterraines (nappes alluviales) ou superficielles (rivières, lacs, mer), directement ou via rejet dans un réseau d'assainissement	Rejet atmosphérique sous forme de vapeur ou d'aérosols. Rejet des purges vers les eaux de surface (rivière, lac, mer) ou souterraines
Impacts au rejet	-	Atmosphère : Modification du microclimat (« neige » industrielle) et contamination microbiologique (légionellose)
	Eaux : pollution thermique Eaux : pollution chimique [produits de traitement et de conditionnement de l'eau et leurs produits de dégradation ; sous-produits de réactions entre ces produits et les matières organiques ou minérales contenues dans l'eau ; produits de corrosion des canalisations, condenseurs (essentiellement des métaux)...] Eaux : pollution microbiologique [bactéries dont légionnelles, protozoaires dont amibes]	
Secteurs d'activité	Centrales thermiques à flamme ou nucléaires Industries de transformation primaire (verrerie, sidérurgie, industrie alimentaire...) Géothermie sur nappe, centres de données	

Dans le cas général, le refroidissement de l'eau en circuit fermé (TAR - tours aéroréfrigérantes dites « de refroidissement ») est obtenu en faisant circuler en sens opposé un flux d'air montant (sous l'effet de la convection thermique ou avec l'aide de ventilateur) et un flux tombant de gouttelettes d'eau chaude. Le flux d'air permet l'évaporation d'une partie de l'eau³, ce qui permet le refroidissement des gouttelettes d'eau tombant au sol. L'eau peut ainsi être de nouveau utilisée pour son rôle de refroidissement. Un complément d'eau est nécessaire pour compenser l'eau évaporée, mais également pour compenser les purges, rendues nécessaires pour maintenir les concentrations en solutés dans l'eau à des niveaux acceptables.

Des rejets chimiques dans les eaux, dont beaucoup de substances toxiques

L'eau prélevée dans le milieu naturel (souterrain, superficiel continental ou marin) est traitée afin de prévenir la corrosion des installations (en particulier en cas de recours à de l'eau de mer), l'entartrage, l'embouage ou encore le développement de biofilm, la colonisation par des mollusques...

Les circuits primaires et secondaires des centrales thermiques, à flammes ou nucléaires, et des installations industrielles, sont donc traités et conditionnés, pour obtenir des propriétés satisfaisantes (pH tamponné, équilibre calco-carbonique, réduction de l'agressivité pour la protection des canalisations et équipements) : chlore, phosphates, morpholine, hydrazine... D'autres produits sont plus ou moins spécifiques au fonctionnement des centrales nucléaires (lithine, acide borique...). Certains de ces produits sont toxiques ou CMR⁴. Ces produits sont rejetés avec les purges des circuits.

Les produits de traitement de l'eau réagissent dans les circuits mais également après rejet dans le milieu avec les autres substances contenues dans le rejet ou dans l'eau du milieu récepteur (matière organique, nitrates, ammonium, amines...) pour former des dérivés (AOX⁵, nitrosamines...) dont certains sont également des toxiques ou des CMR. Lorsqu'il reste des quantités importantes de réactifs (chlore ou brome actifs...) en sortie de circuits de refroidissement, les quantités de sous-produits formés après rejet peuvent être plus importantes que dans le rejet lui-même.

Par ailleurs, certaines installations couplent un refroidissement avec rejet à l'atmosphère avec un lavage d'effluents gazeux : on parle alors de systèmes mixtes refroidissement/traitement.

³ Qui se condense dès sa sortie à l'air libre formant les « nuages » caractéristiques des tours aéroréfrigérantes des centrales thermiques en circuit fermé.

⁴ CMR : substances Cancérogènes, Mutagènes et Reprotoxiques

⁵ Composés organiques halogénés adsorbables (adsorbable organic halides)

Dans tous les cas, le rejet d'eau de refroidissement n'est pas constitué d'eau « propre » mais d'eau « usée » nécessitant la mise en œuvre d'une démarche d'évitement et de réduction, avec une réflexion sur l'origine des polluants ou de leurs précurseurs, les moyens de les éviter et, le cas échéant, un traitement avant rejet et contrôle de la qualité.

Des rejets thermiques dans les eaux, valorisables, mais aux effets encore insuffisamment pris en compte

L'eau de refroidissement permet d'évacuer la chaleur fatale d'une installation. À partir d'un certain niveau, la température de l'eau de refroidissement peut présenter un atout pour d'autres usages. Selon sa température, elle est :

- peu récupérable (moins de 25°C) et non récupérée sur la plupart des installations de refroidissement ;
- récupérable sous forme de calories (de 25°C à 60°C) ;
- valorisable sous forme de chaleur ou en cogénération d'électricité (au-delà de 60°C).

Les rejets d'eau chaude dans les eaux de surface ont une incidence directe par l'élévation de la température de l'eau du milieu au point de rejet et à son aval. Il en résulte différents effets :

- modification des paramètres physiques et chimiques de l'eau ;
- eutrophisation et diminution des capacités d'oxygénation du milieu ;
- effets sur la biologie piscicole : modification des migrations, de l'alimentation et de la reproduction, mais aussi formation de zones refuges en période hivernale... ainsi que sur d'autres espèces animales aquatiques, qui ont souvent plus de difficultés à se déplacer pour se mettre à l'abri du changement de température (crustacés, mollusques...), sur la flore et sur les micro-organismes⁶.

Des rejets atmosphériques

Les rejets de vapeur ou aérosols d'eau par des TAR affectent également l'environnement par :

- une modification du microclimat sous le panache pouvant aller jusqu'aux phénomènes spectaculaires de neige industrielle sous certaines conditions météorologiques ;
- une dispersion de pathogènes, dont les légionelles.

Appliquer les meilleurs standards ou techniques disponibles

Lorsqu'ils sont exploités dans des ICPE⁷ soumises à la directive IED⁸, ces dispositifs de refroidissement sont soumis au respect du BREF⁹ ICS¹⁰ et des conclusions associées. Au-delà des installations dites IED, l'ensemble des installations de refroidissement doivent répondre des performances des meilleurs standards actuels au titre de l'article L.110-1 du code de l'environnement.

Si les installations nucléaires sont soumises à une restitution dans des plages de température spécifiques et peuvent être amenées ainsi à diminuer leur puissance pour limiter la température de rejet, les Ae constatent l'absence fréquente de propositions de mesures ERC et de mesures de surveillance des rejets par les maitres d'ouvrage industriels.

Quelques ordres de grandeur de prélèvements d'eau

- Site Euroglas de Hombourg (68) : 1 500 m³/h

⁶ <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1996/04/lhb1996046.pdf>

https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/ec/En14-102-2013-fra.pdf

https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/News/2017/03/16/waermenutzung_seen_a_g.pdf ou, pour de la vulgarisation :

https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/nucleaire/les-derogations-permettant-le-rejet-d-eau-plus-chaude-des-centrales-nuclaires-impactent-elles-la-biodiversite-aquatique_165126

⁷ Installations classées pour la protection de l'environnement

⁸ Industrial Emission Directive (directive européenne sur les émissions industrielles)

⁹ Best REF : documents de référence sur les meilleures techniques disponibles

¹⁰ Industrial Cooling Systems (systèmes de refroidissement industriel). BREF paru en 2001

- Site Constellium de Biesheim et Kunheim (68) : 50 000 m³/j
- CNPE de Penly avec EPR : 20 millions de m³/j d'eau de mer intégralement restitués et 4 000 m³/j d'eau douce ;
- Dispositif de géocooling du parc des expositions de Strasbourg : 650 m³/h (fonctionnement non continu).

Les points d'attention des autorités environnementales

Les Ae relèvent des constats concernant :

- le périmètre de projet : un dispositif de refroidissement est conçu pour la régulation thermique d'installations, de bâtiments, d'activités. L'étude d'impact doit donc resituer l'opération dans le périmètre d'ensemble du projet en cas de modification d'une installation ou d'une activité existante (actualisation de l'étude d'impact) ou porter sur le projet dans son ensemble ;
- le prélèvement et la consommation d'eau :
 - en fonction des volumes mis en jeu, le projet peut être soumis à procédure administrative tant sur le prélèvement d'eau que sur son rejet. Ces opérations font partie du périmètre d'ensemble du projet et doivent être décrites dans l'évaluation environnementale ;
 - les cours d'eau ou les nappes de prélèvement et de rejet doivent être caractérisées en portant une attention particulière aux systèmes prélevant et réinjectant dans la même nappe mais dans des aquifères localement isolés (cas des pompages et réinjections dans deux horizons hydrauliquement indépendants des nappes alluviales) ;
 - la consommation d'eau est souvent minimisée en considérant que l'eau est rendue au milieu : la consommation nette s'entend par la différence entre le prélèvement et la restitution pour le même compartiment (eaux souterraines ou superficielles) et en son sein pour la même entité (cas des réinjections d'eau dans un horizon géologique différent de celui de prélèvement ou du transfert vers un autre cours d'eau ou réservoir pour les eaux superficielles) ; le prélèvement brut doit être précisé même quand la consommation d'eau est faible ;
 - la disponibilité de la ressource en eau est rarement prise en compte par les opérations de refroidissement par eau, y compris dans les zones en tension quantitative, ni dans la situation actuelle, ni dans la dynamique du changement climatique qui va accroître les besoins en eau de refroidissement et modifier la disponibilité de la ressource ;
- les rejets chimiques :
 - les analyses produites sur les rejets d'eau de refroidissement sont rarement complets : au mieux les paramètres analysés sont des paramètres génériques, comme le paramètre AOX sur les organochlorés : il est souvent nécessaire d'aller plus loin et de déterminer si des substances toxiques ou CMR sont émises, lesquelles et en quelles quantités. Il est d'ailleurs rappelé que les rejets de substances dites « prioritaires » doivent être progressivement réduits et que les rejets de substances dites « prioritaires dangereuses » sont déjà ou seront interdits dans un avenir proche, y compris pour les installations existantes ;
 - les autorités environnementales n'ont pas connaissance de dossiers prenant en compte la formation de pollution après rejet dans le milieu, même lorsque les quantités résiduelles de réactif dans le rejet sont importantes ; les Ae attendent des progrès dans ce domaine, tant dans les prévisions de rejet que dans le suivi de ces polluants néoformés ;
 - la prévention des rejets chimiques se limite, quand elle existe, au traitement des rejets ; une réflexion sur toute la chaîne de prélèvement et de traitement de l'eau, mais également du mode de refroidissement, peut offrir des solutions plus performantes et moins coûteuses (choix de la ressource en eau, de son mode de prélèvement¹¹ et de prétraitement physique comme la filtration, systèmes de refroidissement à air sec...).

¹¹ Ainsi un prélèvement dans la nappe d'accompagnement d'une rivière plutôt que dans la rivière elle-même permet d'obtenir une eau moins chargée en matière organique. Les consommations de chlore actifs sont dès lors réduites et de fait, la formation d'organochlorés avant et après rejet par réaction du chlore actif sur la matière organique de l'eau prélevée et de l'eau du milieu récepteur en est réduite d'autant.

- le rejet thermique en milieu superficiel :
 - le panache d'influence thermique n'est que rarement étudié ou modélisé¹² ;
 - la compatibilité de la température de rejet avec celle du milieu n'est que rarement prise en compte, si ce n'est pour les rejets les plus importants comme ceux des centrales nucléaires en mer ; par conséquent aucune mesure ERC n'est prévue, telles que des dispositifs de dilution avant rejet, de diffusion ou de rétention en période d'incompatibilité... Plus généralement, les dossiers ne présentent pas systématiquement la description et la justification des modalités de suivi des rejets et ne proposent qu'exceptionnellement des mesures de réduction de l'impact thermique ;
- le rejet à l'atmosphère :
 - il constitue la consommation nette d'eau de prélèvement ; la principale mesure d'évitement consiste à remplacer des TAR par des systèmes à air sec, solution de substitution qui permet également de limiter les risques de pollution microbiologique liés aux rejets des TAR ;
- la valorisation de la chaleur récupérée :
 - si des sites industriels récupèrent une partie de la chaleur pour les opérations de montée en température de leur procédé ou (très rarement) pour l'alimentation de clients externes (dont des réseaux de chaleur), les Ae relèvent qu'un potentiel significatif de chaleur est rejeté dans l'environnement par « *absence de réseau de chaleur dans un environnement proche* ». Les Ae considèrent que l'absence d'un réseau existant ne saurait constituer une justification de non-valorisation et encouragent les industriels à être à l'initiative de la récupération de chaleur pour leur usage ou celui d'activités et usages proches ;
 - l'association d'activités complémentaires afin de valoriser la chaleur fatale pourrait être recherchée au titre des solutions alternatives ou des mesures ERC. Des exemples existent déjà (serres agricoles, élevages piscicoles...), à condition que ces solutions n'engendrent pas elles-mêmes de nuisances (dispersion de pesticides, rejets de pathogènes, etc...).

Liens vers d'autres fiches

- L'eau dans les dossiers soumis à évaluation environnementale
- Géothermie
- Prise en compte de la pollution microbiologique des effluents et épandages dans les dossiers soumis à évaluation environnementale
- Réduction à la source de la consommation d'eau et des émissions de polluants dans les eaux
- Prélèvements en eau souterraine (forages, captages) : évaluation des impacts sur la ressource en eau et les milieux aquatiques

Pour aller plus loin

[Synthèse des connaissances en 2022](#)

[Prélèvements d'eau douce par usages et par ressources](#)

[Base de données des plus gros préleveurs d'eau en France](#)

Zoom Nucléaire dans le [rapport annuel 2023 de l'Ae](#)

¹² ... de même que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau dans le panache qui conditionnent l'état biologique au sein du panache. L'augmentation de température de l'eau dans le panache donne en général une bonne idée de la dilution du rejet dans l'eau (EDF utilise fréquemment cette méthode pour ses rejets en mer).