

LES DIFFERENTS PROCEDES DE REFROIDISSEMENT D'EAU DANS LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES ET TERTIAIRES

GUIDE TECHNIQUE



SOMMAIRE

1.	PREAMBULE.....	3
1.1.	Principe du refroidissement évaporatif.....	4
1.2.	La légionellose et les légionelles.....	7
2.	PRESENTATION DES DIFFERENTES SOLUTIONS D'INSTALLATIONS DE REFOIDISSEMENT D'EAU.....	9
3.	EXEMPLE D'EVALUATION DES DIFFERENTES SOLUTIONS D'INSTALLATION DE REFOIDISSEMENT D'EAU.....	12
4.	TABLEAU DE COMPARAISON RECAPITULATIF.....	19
5.	CONCLUSION	23

ANNEXES

1 -	Installations de refroidissement utilisant une tour de refroidissement ouverte : installation qui n'est pas du type "circuit primaire fermé"	24
2 -	Installations de refroidissement utilisant une tour de refroidissement ouverte + échangeur accolé - Installation du type "circuit primaire fermé".....	32
3 -	Installations de refroidissement utilisant une tour de refroidissement fermée avec échangeur tubulaire interne - Installation du type "circuit primaire fermé".....	35
4 -	Installations de refroidissement utilisant une tour de refroidissement hybride.....	38
5 -	Installations de refroidissement utilisant un aéroréfrigérant sec (dry cooler)	43
6 -	Installations de refroidissement utilisant un groupe de production d'eau glacée à condensation par air	46
7 -	Installations de refroidissement utilisant l'eau en circuit ouvert	49
8 -	Glossaire	52

1. PREAMBULE

Ce guide technique, élaboré à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable dans le cadre du plan national de prévention des légionelloses, est un document destiné aux exploitants des installations de refroidissement d'eau (ou de fluide). Il décrit les différentes solutions techniques utilisables sur les installations de refroidissement d'eau industrielles et sur les circuits chauds des systèmes de froid et de conditionnement d'air, destinés aux secteurs tertiaires et industriels. Il présente leurs principes de fonctionnement, leurs composants et caractéristiques, ainsi que leurs impacts sur le risque de prolifération des légionelles.

Dans un premier temps, pour la bonne compréhension de la partie technique de ce guide, des rappels sont faits sur le principe du refroidissement évaporatif, sur la légionelle et la légionellose, puis sur le cadre réglementaire français applicable en 2005.

En partie centrale de ce guide, on trouvera :

- un exemple d'évaluation sur une application réelle de refroidissement industriel fonctionnant en discontinu pour expliquer la démarche à suivre pour la sélection d'un système de refroidissement,
- un tableau récapitulatif de comparaison des différentes solutions techniques destinées aux installations de refroidissement d'eau.

Chaque solution technique destinée aux installations de refroidissement est ensuite détaillée dans une annexe.

1.1. Principe du refroidissement évaporatif

Le refroidissement évaporatif ou par voie humide est basé sur le contact direct entre l'air et l'eau du procédé à refroidir. L'air, avide d'humidité, évapore une partie de l'eau à refroidir en prélevant la chaleur latente de vaporisation*, pour conduire finalement au refroidissement recherché. Cette chaleur latente de vaporisation constitue la majeure partie de l'échange thermique, complété par des échanges par convection entre l'eau et l'air. Cette technologie est particulièrement adaptée pour le refroidissement de procédés nécessitant des températures comprises entre 25 et 50°C.

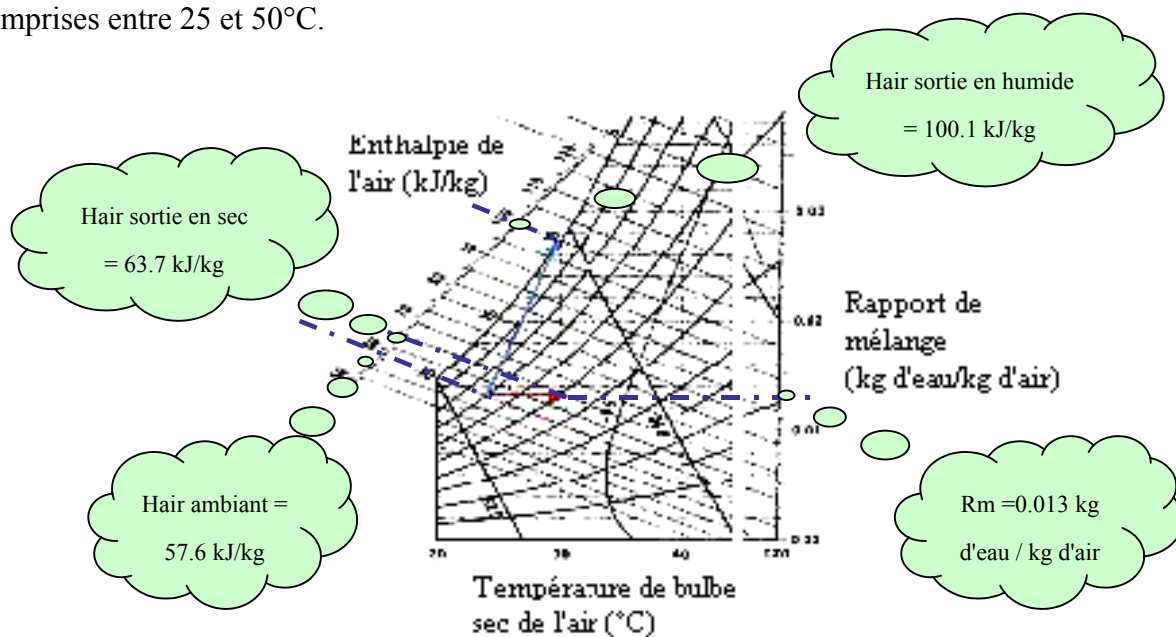


Figure 1 : Schéma de principe du refroidissement humide sur un diagramme de l'air humide

Sur la figure 1 ci-dessus, l'exemple présenté est le suivant :

- la température de l'air ambiant est prise à 24°C (température de bulbe sec*) avec un taux d'humidité (HR) de 70 % (correspondant à 0,013 kg d'eau/kg d'air). L'enthalpie de l'air à l'entrée de la tour est donc de 57,6 kJ/kg,
- en supposant que l'air de refroidissement se réchauffe jusque 30°C (par exemple avec de l'eau chaude à 34°C), l'enthalpie de l'air à la sortie sera :

- ♦ Dans le cas d'un échange humide (flèche bleue sur la figure) aboutissant à un air saturé en humidité : 100.1 kJ/kg, soit + 42,6 kJ/kg

- ♦ Dans le cas d'un échange sec (flèche rouge) : 63.7 kJ/kg, soit + 6.1 kJ/kg

Dans ce cas, l'échange humide est 6 à 7 fois plus performant que l'échange sec

* Voir Glossaire en Annexe 8

Une tour aéroréfrigérante utilise le principe de refroidissement évaporatif afin de, quel que soit son type, refroidir un débit d'eau déterminé pour obtenir l'écart thermique* souhaité entre la température de l'eau chaude entrant dans la tour et la température de l'eau refroidie par la tour. L'efficacité de l'échange de la tour de refroidissement est conditionnée par l'approche*, c'est-à-dire la différence entre la température d'eau froide et celle du bulbe humide de l'air.

La température du bulbe humide de l'air* pénétrant dans la tour de refroidissement conditionne la quantité d'eau évaporée et donc la quantité de chaleur transférée de l'eau à l'air. Généralement, cette quantité d'eau évaporée est de 1 % pour un écart thermique de 6 K. Cette température de bulbe humide est, dans les conditions de base (en été), bien plus basse que la température de bulbe sec de l'air* (environ 20°C de température au bulbe humide en été, pour une température sèche de 32°C). En outre, le transfert de chaleur latente de vaporisation permet de transférer plus de chaleur par m³ d'air traversant le corps d'échange, comparativement au transfert de chaleur sensible.

Pour ces raisons, les tours de refroidissement permettent d'atteindre des températures de sortie d'eau basses, jusqu'à 25°C, par une température extérieure de 32°C et 40% d'humidité relative, avec un débit d'air relativement faible.

La puissance thermique d'une tour de refroidissement* (en kW) est donnée par la formule suivante :

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

où $\dot{m} = Q / 3,6$ est le débit massique en kg/s et avec :

Q : débit d'eau circulant dans la tour de refroidissement (en m³/h)

C_p : capacité thermique massique de l'eau (en kJ/kg/K)

ΔT : écart de température entre l'eau chaude et l'eau refroidie (en K)

Exemple :

Débit d'eau Q : 180 m³/h, soit un débit massique de 50 kg/s

Régime d'eau : 32/27°C soit un écart ΔT de 5 K

C_p : 4,186 kJ/kg/K

D'où une puissance échangée par la tour de refroidissement : $P = 50 \cdot 4,186 \cdot 5 = 1046 \text{ kW}$

* Voir Glossaire en Annexe 8

La puissance thermique maximale* d'une tour de refroidissement est basée sur un régime été pour lequel le refroidissement désiré est le plus difficile à obtenir. Ce régime été correspond à une température de bulbe humide de l'air à l'entrée de la tour de l'ordre de 21°C pour une température sèche de 32°C et une humidité relative de 35 % (variable en fonction des conditions climatiques locales de l'installation). Les conditions sur l'eau à refroidir sont généralement 32/27°C. Lorsque la température de bulbe humide de l'air diminue (fonctionnement en demi saison et en hiver), la ventilation de la tour de refroidissement est régulée de façon à maintenir la température de sortie d'eau désirée.

Il existe plusieurs configurations possibles de tours aéroréfrigérantes. Elles se différencient par :

- le mode d'échange thermique utilisé (humide, sec, hybride ou combiné sec/humide),
- le mode de mise en circulation de l'air (tirage naturel ou forcé),
- les trajectoires relatives entre l'air et l'eau (échange à contre courant ou courant croisé).

Emissions des installations de refroidissement par voie humide

L'utilisation du principe de refroidissement par voie humide sur les installations équipées de tours de refroidissement conduit à deux types d'émissions dans l'air :

- le panache* qui est un nuage visible constitué de vapeur d'eau condensée, provenant de la quantité d'eau évaporée pour assurer le refroidissement. Ce débit d'évaporation est constitué par de l'eau pure qui n'entraîne aucun sel dissout,
- un entraînement vésiculaire* (dénomination en application tertiaire) ou primage* (dénomination en application industrielle). Cet entraînement vésiculaire est constitué de fines particules d'eau (ou aérosol*) entraînées dans l'atmosphère par la circulation de l'air dans la tour de refroidissement. Ces gouttelettes entraînées possèdent la même composition que le circuit d'eau et sont donc susceptibles de véhiculer des sels et des bactéries si le circuit est contaminé.

* Voir Glossaire en Annexe 8

1.2. La légionellose et les légionelles

La légionellose est une infection bactérienne respiratoire qui peut prendre une forme de pneumopathie sévère, voire mortelle dans 15 à 20% des cas, touchant plus particulièrement les personnes fragilisées (par une autre maladie, par un traitement, par l'âge, par le tabagisme, ...).

Cette maladie est due à une bactérie de la famille des *Legionella* qui compte près de 50 espèces différentes dont une, *Legionella pneumophila*, est majoritairement mise en cause (plus de 90% des cas).

Les *Legionella* sont des bactéries naturelles de l'environnement hydrique (eaux et sols humides) qui, sous certaines conditions, peuvent proliférer dans différentes installations et réseaux d'eau. La contamination humaine est alors possible par inhalation de fines gouttelettes d'eau (<5 µm) contenant la bactérie.

Les facteurs favorisant l'apparition de légionelles dans l'eau des installations de refroidissement sont notamment :

- la température de l'eau entre 25^(*) et 42°C (optimum de croissance à 35°C),
- la faible circulation, voire la stagnation de l'eau,
- la présence dans l'eau d'autres micro-organismes (algues, amibes, protozoaires) libres ou adhérents aux parois des réservoirs et canalisations (*biofilm*[†]), car certains de ces micro-organismes peuvent jouer un rôle de réservoir et de site de multiplication des *Legionella*,
- la présence de dépôts de tartre et/ou de corrosion.

* Certaines sources indiquent comme limite basse de prolifération des légionelles une température de 15°C

† Voir Glossaire en Annexe 8

Contexte réglementaire

La rubrique 2921 de la Nomenclature des Installations Classées, créée par le décret 2004-1331 du 1^{er} décembre 2004 publié au *Journal officiel* du 7 décembre 2004, vise les installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air. Cette rubrique indique quelles installations sont soumises à Déclaration ou Autorisation. Le libellé de la rubrique 2921 est le suivant :

NUMERO	DESIGNATION DE LA RUBRIQUE	A,D,S (1)	R (2)
2921	Refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air (installations de) : 1. Lorsque l'installation n'est pas du type « circuit primaire fermé » a) La puissance thermique évacuée maximale étant supérieure ou égale à 2000 kW... b) La puissance thermique évacuée maximale étant inférieure à 2000 kW..... 2. Lorsque l'installation est du type « circuit primaire fermé ».....	A D D	3
Nota - Une installation est de type « circuit primaire fermé » lorsque l'eau dispersée dans l'air refroidit un fluide au travers d'un ou plusieurs échangeurs thermiques étanches situés à l'intérieur de la tour de refroidissement ou accolés à celle-ci; tout contact direct est rendu impossible entre l'eau dispersée dans la tour et le fluide traversant le ou les échangeurs thermiques. (1) A : autorisation ; D : déclaration ; S : servitude d'utilité publique (2) Rayon d'affichage en kilomètres			

La puissance thermique maximale évacuée d'une installation correspond à l'ensemble des puissances des tours de refroidissement constituant l'installation de refroidissement. Elle est déterminée pour un fonctionnement en été (généralement 21°C de température de bulbe humide de l'air).

Ce décret est complété par deux arrêtés ministériels du 13 décembre 2004 (publié au *Journal officiel* du 31 décembre 2004). Ces arrêtés détaillent les prescriptions applicables aux installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air soumises à Autorisation ou à Déclaration au titre de cette rubrique 2921.

Les installations suivantes sont visées par la rubrique 2921-1 (Installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air *qui ne sont pas du type "circuit primaire fermé"*) :

- tour ouverte,
- tour ouverte équipée d'un échangeur thermique intermédiaire séparant le circuit à refroidir du circuit de la tour, si celui-ci n'est pas accolé au sens physique à la tour ouverte,
- tour hybride ouverte : constituée d'une batterie sèche et d'un corps d'échange sur lequel l'eau du procédé ruisselle.

Les installations suivantes sont visées par la rubrique 2921-2 (Installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air *du type "circuit primaire fermé"*) :

- tour ouverte équipée d'un échangeur thermique intermédiaire séparant le circuit à refroidir du circuit de la tour, si celui-ci est accolé au sens physique,
- tour fermée équipée d'un échangeur tubulaire à l'intérieur de celle-ci, évitant le contact direct de l'eau du procédé à refroidir avec l'air,
- tour hybride fermée équipée d'un échangeur fonctionnant en mode sec, et d'un échangeur intérieur tubulaire (ou un échangeur extérieur accolé) fonctionnant en régime humide.

2. PRESENTATION DES DIFFERENTES SOLUTIONS D'INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT D'EAU

Les processus industriels s'accompagnent généralement d'émission de chaleur provenant du traitement de produits chauds (sidérurgie, plasturgie, automobile, ...), de condensations (centrales électriques, distilleries, ...), de transformations en chaleur d'énergie mécanique ou de réactions exothermiques (gaz industriels, chimie, verreries, ...).

Ce besoin de refroidissement est également nécessaire pour les installations frigorifiques (alimentaires, industrielles, commerciales, ...) et de climatisation utilisées dans le secteur tertiaire car les bâtiments sont soumis à des apports thermiques importants aussi bien externes qu'internes. Certaines applications nécessitent un refroidissement permanent et fiable (salles informatiques, musées, salles blanches, ...), d'autres ont des besoins plus ponctuels (bureaux, hôtellerie, centres commerciaux, ...).

Ces quantités de chaleur (dénommées "chaleur perdue" sur le schéma suivant) doivent donc être évacuées vers une source froide qui doit être à une température la plus basse possible afin d'obtenir un rendement optimal de l'installation.

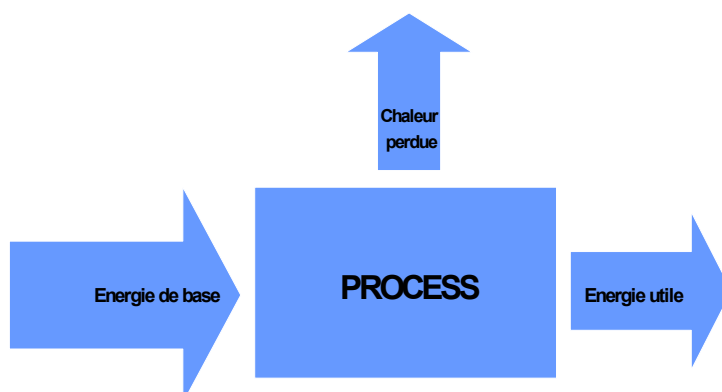


Figure 2 : Schéma de principe d'un procédé industriel montrant le besoin d'une installation de refroidissement

Selon les températures de fonctionnement souhaitées, les puissances thermiques totales à évacuer, que ce soit dans les procédés industriels ou les installations à refroidir dans le domaine tertiaire, et les débits d'eau à traiter, quatre grands principes d'installations de refroidissement de l'eau sont techniquement envisageables :

1. Les installations de refroidissement par voie humide ou évaporatif (avec dispersion d'eau) :

- ◆ **Tour ouverte** : l'eau du circuit à refroidir est directement dispersée sur le corps d'échange^{*} de la tour de refroidissement. Une partie de l'eau s'évapore pour assurer le refroidissement de l'eau, l'autre partie est récupérée dans le bassin de rétention, puis retourne vers le procédé à refroidir. Ce type d'installation est décrit en Annexe 1.
- ◆ **Tour ouverte + échangeur non accolé** : un échangeur à plaques intermédiaires est disposé entre le circuit à refroidir et le circuit de la tour équipée d'un corps d'échange. Le fonctionnement de la tour est identique à celui d'une tour ouverte avec un circuit d'eau indépendant. Ce type d'installation est décrit en Annexe 1.
- ◆ **Tour ouverte + échangeur accolé** : l'échangeur à plaques intermédiaires est accolé physiquement à la tour équipée d'un corps d'échange. Le fonctionnement de la tour est identique à celui d'une tour ouverte avec un circuit d'eau indépendant. Ce type d'installation est décrit en Annexe 2.
- ◆ **Tour fermée (avec échangeur tubulaire intérieur à la tour)** : le fluide à refroidir circule dans un échangeur tubulaire disposé dans la tour de refroidissement qui remplace le corps d'échange. Un circuit d'eau secondaire propre à la tour permet de mettre en œuvre le refroidissement évaporatif. Ce type d'installation est décrit en Annexe 3.

* Voir Glossaire en Annexe 8

2. Les installations de refroidissement par voie sèche et humide (avec et sans dispersion d'eau) décrites en Annexe 4 :

- ♦ **Tour hybride ouverte** : ce type de tour est constituée d'une batterie sèche et d'un corps d'échange sur lequel l'eau du procédé ruisselle : le fluide à refroidir circule en premier lieu dans une batterie sèche située au sommet de la tour de refroidissement. Si le refroidissement en mode sec n'est pas suffisant, le fluide est alors dispersé sur un corps d'échange, s'évapore en partie puis retourne à la température désirée vers le procédé.
- ♦ **Tour hybride fermée** : ce type de tour est constituée d'une batterie sèche et d'un échangeur extérieur accolé avec une surface de ruissellement de l'eau ou un échangeur tubulaire interne à la tour. Deux cas peuvent donc se présenter :
 - le fluide à refroidir circule dans la batterie sèche, puis dans un échangeur à plaques intermédiaires accolé à la tour de refroidissement. L'autre circuit de cet échangeur à plaques est parcouru par de l'eau dispersée si nécessaire sur le corps d'échange de la tour,
 - le fluide à refroidir circule dans une batterie sèche située au sommet de la tour, puis circule si nécessaire dans un échangeur tubulaire interne à la tour sur lequel l'eau du circuit tour est dispersée.

3. Les installations de refroidissement utilisant l'air sec :

- ♦ **Aéroréfrigérant sec**, *non concerné par la rubrique 2921* : le fluide à refroidir circule dans les tubes d'un échangeur à ailettes et est refroidi par de l'air mis en mouvement par des ventilateurs et traversant cet échangeur. Ce type de système ne fonctionne qu'en mode sec. Il ne permet donc pas d'obtenir des températures de refroidissement aussi basses qu'avec un refroidissement évaporatif. Ce type d'installation est décrit en Annexe 5.
- ♦ **Groupe refroidisseur de liquides à condensation par air**, *non concerné par la rubrique 2921* : le fluide à refroidir circule dans l'évaporateur d'un groupe refroidisseur de liquide basé sur le principe du cycle thermodynamique avec un compresseur. La chaleur est évacuée au condenseur directement à l'air ambiant. Les niveaux de températures obtenus sont généralement de 7°C, mais peuvent atteindre 15 à 20°C. Lorsqu'il est possible de séparer les fluides du procédé en deux niveaux de température, il est envisageable d'associer un groupe de production d'eau glacée avec un aéroréfrigérant pour réduire l'investissement initial. Ce type d'installation est décrit en Annexe 6.

4. Les installations de refroidissement par eau en circuit ouvert :

- ◆ **Utilisation de la nappe phréatique ou de l'eau d'une rivière** : il s'agit d'utiliser l'eau d'une nappe phréatique ou d'une rivière, de la pomper et de la rejeter à une distance minimale et/ou à une profondeur différente. Cette eau prélevée dans le sol ou une rivière parcourt le circuit secondaire d'un échangeur à plaques ou à tubes venant prélever de la chaleur au fluide à refroidir, circulant de l'autre côté de l'échangeur. Ce type d'installation, utilisé dans les applications tertiaires, industrielles et pour le refroidissement des centrales électriques est décrit en Annexe 7.

Les annexes 1 à 7 décrivent les installations de refroidissement listées brièvement ci-dessus en présentant leurs principes de fonctionnement, leurs composants et principales caractéristiques ainsi que leurs impacts sur le risque de prolifération des légionelles.

3. EXEMPLE D'EVALUATION DES DIFFERENTES SOLUTIONS D'INSTALLATION DE REFROIDISSEMENT D'EAU

Dans le but de présenter la démarche devant être suivie lors de la sélection d'une installation de refroidissement, ce paragraphe présente un exemple de comparaison des différentes solutions techniques possibles sur un cas réel. *Son objectif est didactique. Il expose la méthodologie à appliquer sur un cas particulier de procédé industriel fonctionnant en discontinu, afin de déterminer la solution technique la plus appropriée.*

D'une manière générale, les données d'entrée nécessaires à la sélection des systèmes de refroidissement techniquement envisageables sont les suivantes :

- température de retour du fluide désirée : le procédé à refroidir peut éventuellement être scindé en plusieurs circuits nécessitant des températures différentes,
- la puissance thermique totale du procédé à refroidir (circuit primaire),
- le débit d'eau ou fluide circulant dans la tour, sur la base de l'écart de température souhaité pour le fluide venant du procédé à refroidir,
- le taux de charge d'utilisation du système de refroidissement (temps annuel de fonctionnement).

L'exemple présenté ci-après comporte les données d'entrée chiffrées suivantes :

- niveau de température de retour d'eau désirée : 27 °C,
- niveau de puissance thermique : environ 1000 kW,
- débit d'eau basé sur un écart de 5K : 180 m³/h,
- taux de charge de 70 %.

Les solutions techniques étudiées sont les suivantes :

- tour ouverte (installation qui n'est pas du type "circuit primaire fermé"),
- tour ouverte avec échangeur accolé (installation du type "circuit primaire fermé"),
- tour fermée avec échangeur tubulaire intérieur (installation du type "circuit primaire fermé"),
- tour hybride fermée avec échangeur intérieur ou échangeur accolé (installation du type "circuit primaire fermé"),
- aéroréfrigérant sec couplé avec un groupe d'eau glacée à condensation par air,
- refroidissement par eau de nappe.

En fonction de ces données d'entrée, les différentes solutions technologiques peuvent être comparées selon les critères ci-dessous :

- **impact sur le risque de prolifération des légionelles** : type de circuit primaire et classification, volume d'eau à traiter, résistance à l'entartrage, à l'encrassement et la corrosion du circuit du système de refroidissement,
- **efficacité énergétique** : consommation électrique totale,
- **impact sur l'environnement (rejet CO₂)** : en relation avec la consommation électrique totale (et les recharges en fluide frigorigène le cas échéant),
- **impact sur l'environnement (rejets en eaux)** : niveaux et précautions à prendre,
- **coût d'investissement initial**,
- **coût d'exploitation** (consommation en eau, puissance électrique consommée, traitement d'eau, maintenance et accessibilité),
- **surface au sol**,
- **masse en service**,
- **niveau sonore** (pression acoustique à 10 m).

Pour l'établissement du tableau d'évaluation des différentes solutions techniques considérées, présenté ci-après, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- ***pour chacun des critères, les valeurs indiquées sont des valeurs relatives par rapport à la solution la meilleure (indiquée à 100 dans le tableau suivant et surlignée en vert)***,
- la consommation électrique est basée sur un coût énergétique de 0,05 €/kWh,
- la consommation d'eau est basée sur un *facteur de concentration*^{*} de 3 et un coût de l'eau de 2,5 €/m³,
- l'impact des coûts de la prévention du risque de prolifération des légionelles (traitement suivi, analyses) est considéré sous la forme d'un surcoût de 1 €/m³ d'eau consommée,
- des indications quantitatives sont données sur la résistance à l'encrassement, à l'entartrage et à la corrosion des différents composants des systèmes analysés.

* Voir Glossaire en Annexe 8

NOTA BENE :

Cette étude de cas réel a été réalisée sur une application de procédé industriel en fonctionnement discontinu. Elle est présentée à titre d'exemple, afin de pouvoir comparer les différentes solutions techniques de refroidissement d'eau et déterminer le système convenant le mieux à l'application donnée.

Les valeurs indiquées dans les tableaux suivants ne sont donc valables que pour ce cas particulier. Toute autre application devra faire l'objet d'une étude de ce type et les résultats obtenus pourront être sensiblement différents.

Ainsi, des procédés industriels de puissances plus élevées ne fourniront pas les mêmes résultats car, à partir de 2 MW, il n'y a plus d'alternative économique face aux tours aéroréfrigérantes, excepté le refroidissement par eau de nappe, fortement pénalisé par les autorisations en préfecture et les contrôles réguliers nécessaires.

Voir Annexe 1

Voir Annexe 2

Voir Annexe 3

Voir Annexe 4

Voir Annexes 5 et 6

Voir Annexe 7

SOLUTIONS TECHNIQUES EVALUEES							
CRITERES	○ Tour ouverte	○ Tour ouverte + échangeur accolé	○ Tour fermée avec échangeur intérieur	○ Tour hybride (avec circuit primaire fermé)	○ Aéroréfrigérant sec + groupe froid à air *	○ Puits sur nappe	
Type de circuit primaire (rubrique 2921)	NON FERME	FERME				NA	NA
Puissance thermique évacuée (kW)	1000						
Température entrée/sortie d’eau (°C) aux bornes du système de refroidissement	32/27				32/27 avec 50/45 sur aéro 12/7 ou 20/15 sur groupe froid	32/27 avec 12/17 en hiver 14/18 en été	
Débit d’eau refroidie (m³/h) au circuit primaire	180						
Surface au sol	100	150	170	170	240	100	
Masse en service	400	1000	1200	1400	500	100	
Type de ventilateurs	Axial ou Centrifuge pour bas niveau sonore					Axiaux	NA
Débit d’air	100	140	200	200	250	NA	
Pression acoustique à 10 m	50 dBA	+ 2 dBA	+ 3 à 6 dBA	+ 3 à 6 dBA	+ 10 à 15 dBA	Pas de bruit	
Variation de vitesse	Possibilité d’adaptation sur les ventilateurs						NA
Evaporation d’eau	200	200	200	100	NA	NA	

* : cette solution n'est valable que pour cet exemple de refroidissement de procédé. Celle-ci est couplée avec une location sur 2 mois de pleine charge en été d'un groupe froid supplémentaire.

NA : non applicable

SOLUTIONS TECHNIQUES EVALUEES						
CRITERES	Tour ouverte	Tour ouverte + échangeur accolé	Tour fermée avec échangeur intérieur	Tour hybride (avec circuit primaire fermé)	Aéroréfrigérant sec + groupe froid à air *	Puits sur nappe
Matériaux de construction de la carcasse de la tour	PVC, polyester, inox, acier pré galvanisé + revêtement extérieur optionnel Certaines avec acier galvanisé à chaud + revêtement extérieur optionnel					
Matériaux de construction de l'échangeur	Corps d'échange en PVC, PE ou PP	Corps d'échange en PVC/PE/PP, échangeur intermédiaire en inox	Echangeur tubulaire en acier galvanisé à chaud En inox en option	Echangeur tubulaire en acier galvanisé, échangeur sec en cuivre/aluminium + revêtement polyuréthane ou époxy	Echangeurs en cuivre/aluminium sur aéroréfrigérant et groupe froid	En inox
Matériaux de construction du pare-gouttelettes	En PVC, PP et FRP (Polyester)					
Résistance à la corrosion	Systèmes classés par ordre décroissant de résistance : PVC, polyester, inox, acier galvanisé à chaud, acier prégalvanisé					
Résistance à l'encrassement	Correcte avec nettoyage régulier impératif des échangeurs (corps d'échange sur tour ouverte, échangeurs tubulaires, échangeurs intermédiaires). Trappes de visites à prévoir					
Résistance à l'entartrage **	Moyenne (corps d'échange).	Moyenne (corps d'échange + échangeur à plaques).	Moyenne (échangeur tubulaire). Traitement d'eau approprié sinon	Moyenne (échangeur tubulaire ou à plaques). Traitement d'eau approprié sinon détartrage régulier avec des produits appropriés de l'échangeur tubulaire ou à plaques, voire leur remplacement	Correcte	Dépend de la nature de l'eau de nappe
	Traitement d'eau approprié sinon détartrage régulier, voire changement	Traitement d'eau approprié sinon détartrage régulier, voire changement de ces 2 composants	Traitement d'eau approprié sinon détartrage régulier, voire son remplacement			
Batterie anti-panache	Disponible			Compris	NA	NA

* : cette solution n'est valable que pour cet exemple de refroidissement de procédé. Celle-ci est couplée avec une location sur 2 mois de pleine charge en été d'un groupe froid supplémentaire.

** : L'entartrage peut être évité par un traitement d'eau approprié et un suivi régulier

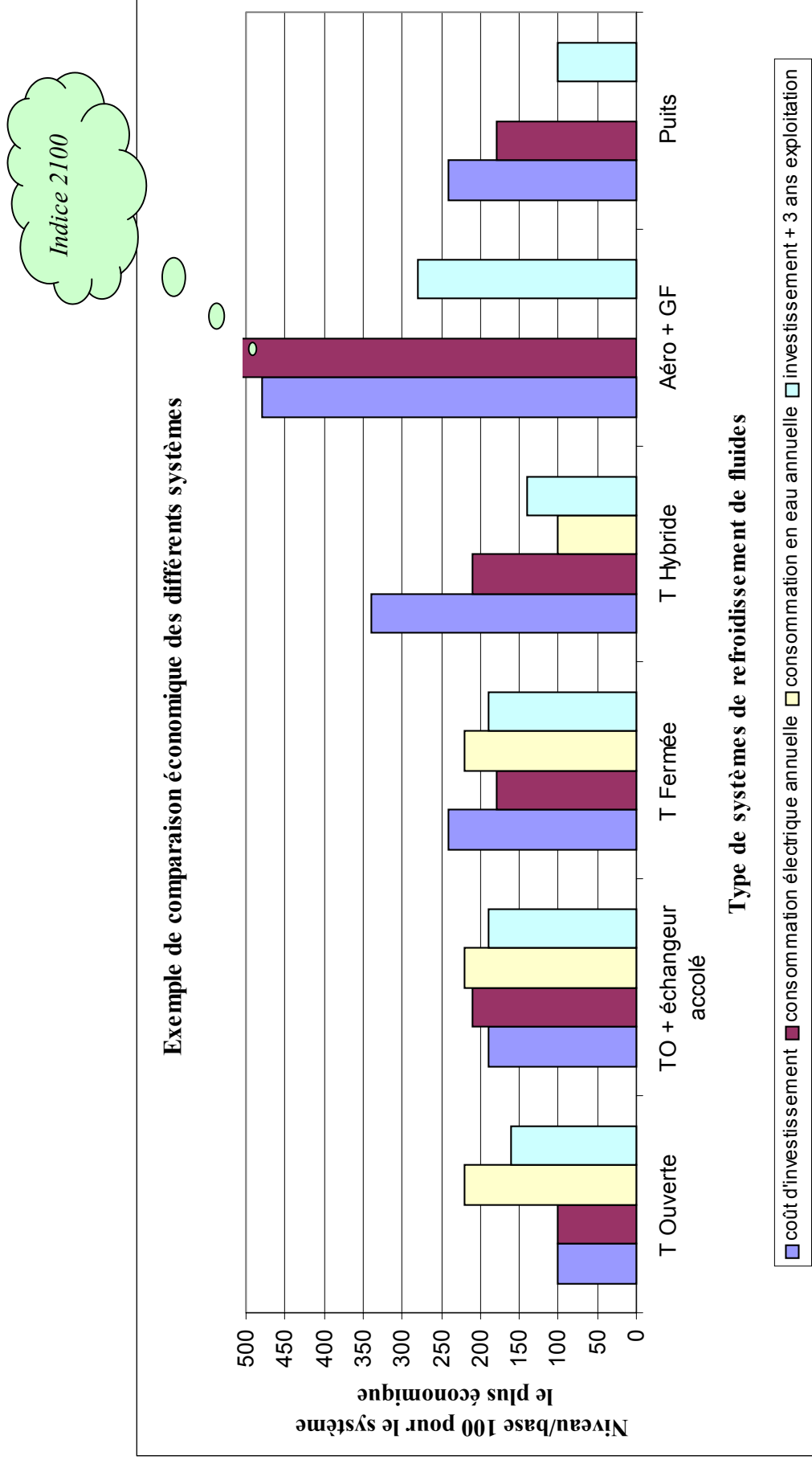
NA : non applicable

SOLUTIONS TECHNIQUES EVALUEES						
CRITERES	Tour ouverte	Tour ouverte + échangeur accolé	Tour fermée avec échangeur intérieur	Tour hybride (avec circuit primaire fermé)	Aéroréfrigérant sec + groupe froid à air *	Puits sur nappe
Gestion du risque de prolifération des légionelles	Délicate car l'installation n'est pas du type à circuit primaire fermé	Plus simple car le circuit tour est limité en volume, bien qu'exigeant des précautions et un suivi régulier			Aucun risque associé	
Coût investissement	100	190	240	340	500	240
Coût d'installation (montage + raccordements)	100	100	100	110	110	170
Consommation électrique /an (ventilateurs + pompe)	100	210	180	210	2100	180
Consommation d'eau /an (avec Facteur de Concentration de 3)	220	220	220	100	Pas de consommation d'eau	
Coût de la gestion du risque de prolifération des légionelles -	220	220	220	100	NA	NA
Coût d'exploitation /an (électricité + eau + traitement)	490	530	510	280	660	100
Coût investissement + installation + entretien sur 3 ans	160	190	190	140	280	100

* : cette solution n'est valable que pour cet exemple de refroidissement de procédé. Celle-ci est couplée avec une location sur 2 mois de pleine charge en été d'un groupe froid supplémentaire.

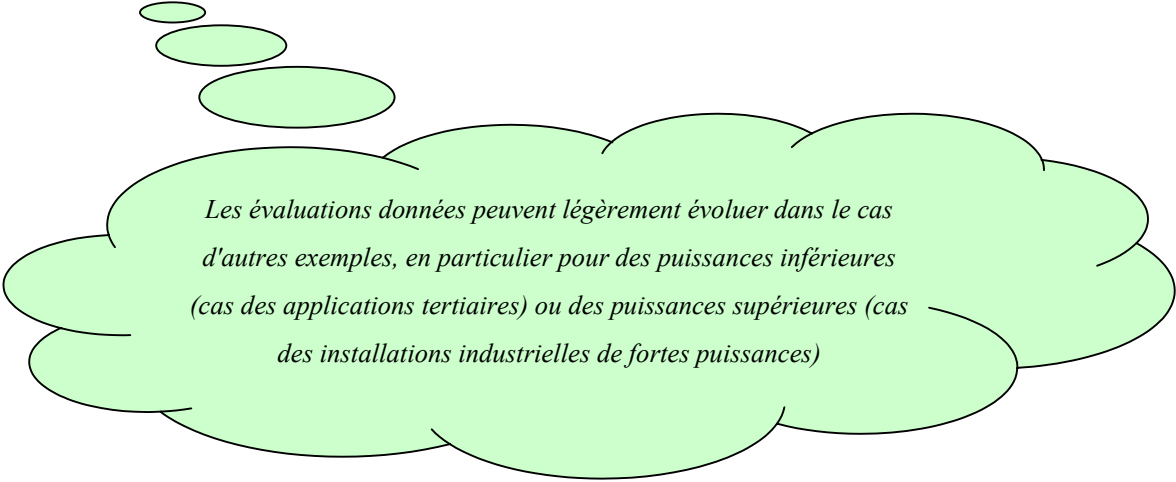
NA : non applicable

Illustration des principaux coûts associés aux différents systèmes d'installations de refroidissement d'eau comparés



4. TABLEAU DE COMPARAISON RECAPITULATIF

Selon les différents critères retenus dans ce guide et en fonction des résultats obtenus dans l'exemple d'évaluation, le tableau en page suivante présente une synthèse des avantages et inconvénients des différentes solutions techniques présentées dans ce guide. Ce tableau peut servir de base à la sélection d'un système de refroidissement destiné à un procédé industriel fonctionnant en discontinu.



Les évaluations données peuvent légèrement évoluer dans le cas d'autres exemples, en particulier pour des puissances inférieures (cas des applications tertiaires) ou des puissances supérieures (cas des installations industrielles de fortes puissances)

SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LES INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT D'EAU							
CRITERES	Tour ouverte	Tour ouverte + échangeur accolé	Tour fermée avec échangeur intérieur	Tour hybride avec circuit primaire fermé	Aéroréfrigérant sec	Groupe froid à condensation à air	Puits sur nappe
Type de circuit Primaire (rubrique 2921)	NON FERME	FERME			NA	NA	NA
Plage de tempé- ratures de sortie d'eau	Entre 25 et 50°C	Entre 25 et 50°C			Supérieure de 10°C à la température sèche de l'air	Entre 7 et 20°C	Entre 15 et 50°C
Plage de Puissances Thermiques évacuées	De quelques centaines de kW à plusieurs MW				Quelques centaines de kW à quelques MW	Quelques centaines de kW à 2 MW	De quelques centaines de kW à plusieurs MW

NA : non applicable

Grille de lecture :

++++ : système le plus efficace ou présentant le moins de risques pour le critère considéré

+ : système le moins efficace ou présentant le plus de risques pour le critère considéré

SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LES INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT D'EAU							
CRITERES	Tour ouverte	Tour ouverte + échangeur accolé	Tour fermée avec échangeur intérieur	Tour hybride avec circuit primaire fermé	Aéroréfrigérant sec	Groupe froid à condensation à air	Puits sur nappe
Risque de prolifération des légionelles	Le plus élevé +	Risque plus limité ++			NA ++++		++++ NA mais doit respecter la réglementation sur l'eau
Résistance à la corrosion	+++ si matériaux adéquats employés						
Résistance à l'encrassement	++		Nettoyage régulier impératif		++		Nettoyage régulier +++
Résistance à l'entartrage	++ Utilisation d'un traitement d'eau approprié. Le cas échéant, détartrage régulier, voire changement corps d'échange	++ Utilisation d'un traitement d'eau approprié. Le cas échéant, détartrage régulier, voire changement corps d'échange et échangeur à plaques	++ Utilisation d'un traitement d'eau approprié. Le cas échéant, détartrage régulier. Remplacement possible en pratique de l'échangeur tubulaire ou à plaques			+++ Dépend de la nature de l'eau de la nappe	
Niveau sonore	+++	+++	++	++	+	+	++++
Surface au sol	+++	++	++	++	+	++	++++

NA : Non Applicable

Grille de lecture :

- ++++ : système le plus efficace ou présentant le moins de risques (comparativement aux autres systèmes) pour le critère considéré
- + : système le moins efficace ou présentant le plus de risques (comparativement aux autres systèmes) pour le critère considéré
- : système le plus pénalisant (comparativement aux autres systèmes) pour le critère de respect de l'environnement considéré
- : système le moins pénalisant (comparativement aux autres systèmes) pour le critère de respect de l'environnement considéré

SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LES INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT D'EAU							
CRITERES	Tour ouverte	Tour ouverte + échangeur accolé	Tour fermée avec échangeur intérieur	Tour hybride avec circuit primaire fermé	Aéroréfrigérant sec	Groupe froid à condensation par air	Puits sur nappe
Consommation électrique	+++	++	++	++	+(1)	La plus pénalisante +	++
Impact sur l'environnement *	-	--	--	--	---	----	--
Consommation d'eau	+	+	+	+++	Pas de consommation d'eau ++++		
Rejets en eau	----	----	----	-	NA	NA	----
Investissement + Installation	++++	+++	++	++	+	+	+
Coût d'exploitation	++	++	++	+++	++	+	++++
Investissement + installation + exploitation sur 3 ans	+++	++	++	+++	+(1)	+	++++

* : indiqué selon les performances énergétiques (et les recharges en fluide frigorigène pour le groupe froid)

(1) : pondéré par le fait que le niveau de température de sortie d'eau n'est pas identique aux autres systèmes

NA : Non applicable

5. CONCLUSION

Ce guide technique destiné aux exploitants présente les différentes solutions techniques de refroidissement dans les installations tertiaires et industrielles (principes, composants et principales caractéristiques).

Il permet d'identifier le contexte réglementaire et les éléments à prendre en compte lors de la sélection d'un système de refroidissement.

Des tableaux de comparaison sur un exemple présentant la démarche à suivre permettent de positionner les différentes solutions techniques vis-à-vis de leur impact sur le risque de prolifération des légionelles, mais également en termes de performances énergétiques, de coûts d'investissement et d'exploitation, de niveau sonore et de caractéristiques dimensionnelles.

Ces éléments sont à adapter en fonction de la nature du projet étudié (puissance thermique à évacuer, niveau de température désiré, et temps de fonctionnement du procédé).

ANNEXE 1 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT UNE TOUR DE REFROIDISSEMENT OUVERTE : INSTALLATION QUI N'EST PAS DU TYPE "CIRCUIT PRIMAIRE FERME"

Ce type d'installation est basé sur les deux principes suivants :

- Soit le circuit primaire (circuit d'eau à refroidir) traverse la tour aéroréfrigérante ouverte. Le refroidissement se produit directement par dispersion de l'eau du circuit primaire dans l'air humide en circulation dans la tour.

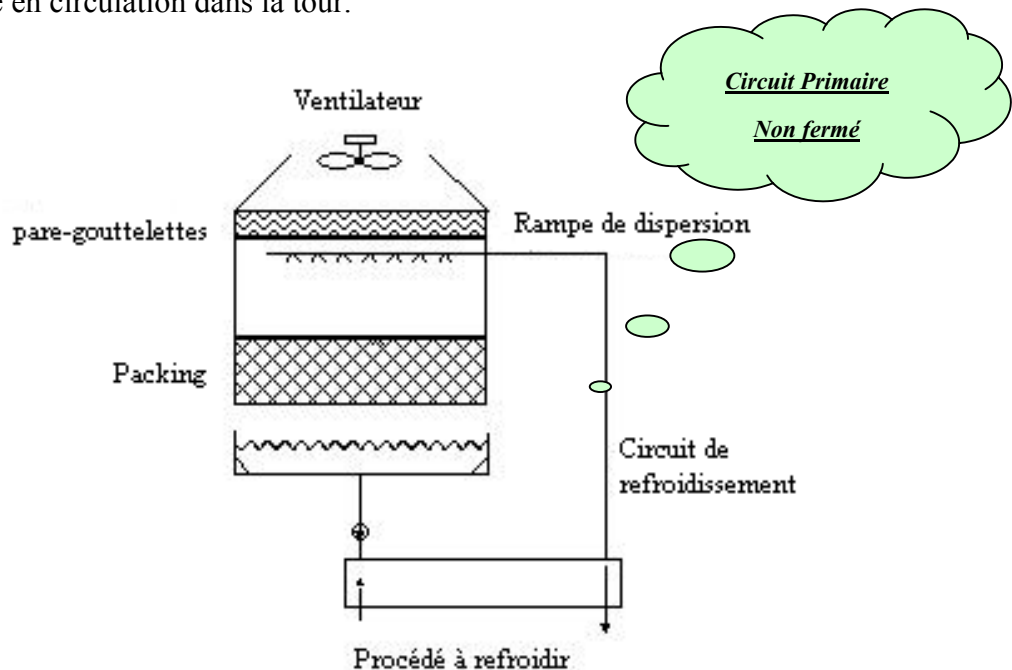


Figure 1A : Schéma de principe d'une installation de refroidissement avec une tour ouverte où l'eau dispersée provient directement du circuit à refroidir

- Soit le circuit primaire (circuit d'eau à refroidir) traverse d'abord un échangeur intermédiaire *distant* de la tour aéroréfrigérante ouverte. Le circuit secondaire de l'échangeur intermédiaire constitue le circuit tour. L'eau de ce circuit est dispersée dans l'air humide en circulation dans la tour.

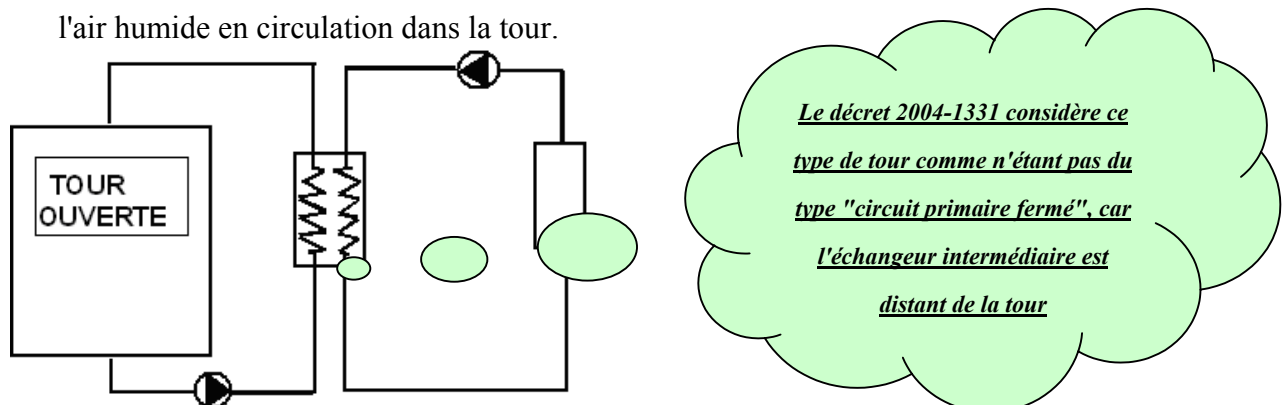


Figure 1B : Schéma de principe d'une installation de refroidissement avec une tour ouverte et un échangeur intermédiaire distant

Principe de fonctionnement d'une tour aéroréfrigérante ouverte

L'eau provenant du procédé à refroidir (1^{er} type de tour ouverte) ou de l'échangeur intermédiaire (2^{ème} type de tour ouverte) est dispersée en fines gouttelettes par une ou plusieurs rampes de dispersion*. L'eau traverse alors de haut en bas une surface d'échange constituée par le packing*. Ce packing peut être considéré comme un échangeur air/fluide avec une surface d'échange élevée de par sa constitution. L'eau refroidie est collectée dans un bassin de rétention en bas de la tour avant de retourner vers le procédé à refroidir, directement ou via l'échangeur intermédiaire. L'air est mis en mouvement par un ventilateur (centrifuge ou hélicoïde) ou par tirage naturel. Il y a donc contact direct de l'eau venant du procédé avec l'air extérieur. Ce flux d'air se charge en humidité prélevant de la chaleur à l'eau pour s'évaporer (dite chaleur latente de vaporisation*) et peut entraîner des gouttelettes d'eau. Un pare-gouttelettes* est disposé au sommet de la tour afin de limiter l'entraînement vésiculaire* des gouttelettes éventuellement contaminées.

Les tours décrites sur la figure 1C suivante sont dites à contre-courant, car le flux d'air montant et le ruissellement de l'eau descendant se font à contre sens.

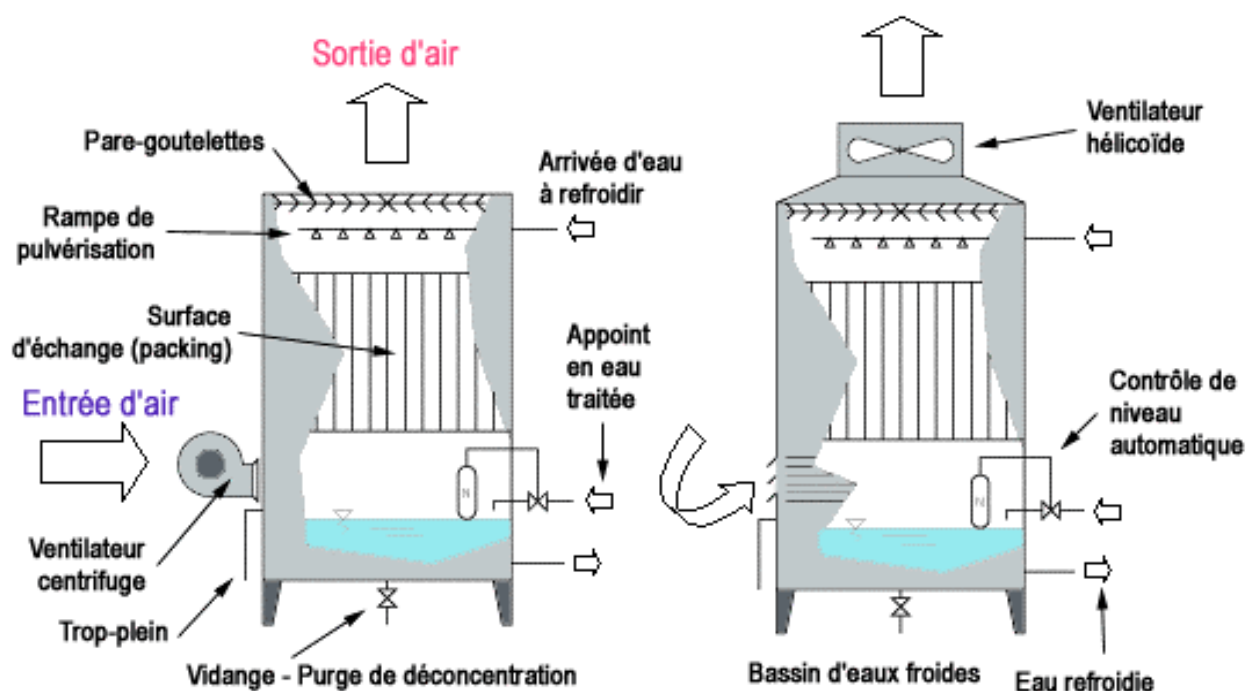


Figure 1C : Schémas de principe de deux tours aéroréfrigérantes à circuit ouvert à contre-courant

* Voir Glossaire en Annexe 8

La tour décrite sur la figure 1D est dite à circulation à courant croisé, car si l'eau est toujours dans un flux descendant, le flux d'air se fait horizontalement à travers le corps d'échange grâce au ventilateur axial. Les flux d'air et d'eau se croisent à environ 90°.

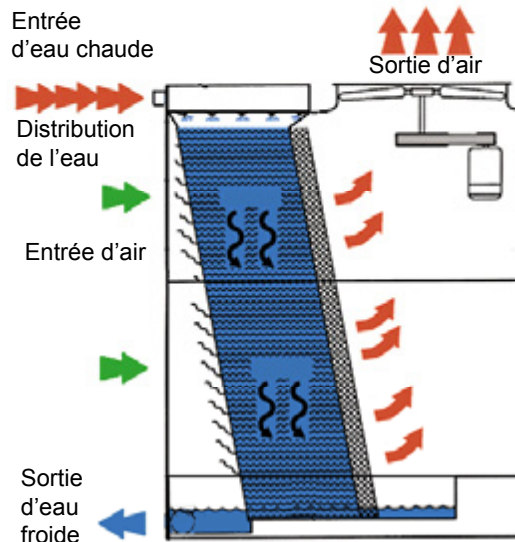


Figure 1D : Schéma de principe d'une tour aéroréfrigérante à circuit ouvert à courant croisé

Les tours aéroréfrigérantes nécessitent des appoints d'eau* car leur mode de fonctionnement conduit à une quantité d'eau évaporée de 1% (pour un écart thermique de 6 K) et à des purges de déconcentration* du circuit d'eau. L'appoint d'eau permet ainsi de limiter la concentration en sels dissous dans l'eau présente dans le circuit de la tour. Ce facteur de concentration* est un des points à prendre en compte lors de la conception de la tour aéroréfrigérante car il peut influencer sur les conditions de prolifération bactériologique. Généralement, l'appoint d'eau correspond au double de la quantité d'eau évaporée, bien que des aspects économiques tendent à diminuer dans la pratique ce niveau avec un traitement d'eau approprié. Cet appoint d'eau dépend également de la nature de l'eau disponible sur le site et de son traitement.

Description et illustration des composants

Les principaux composants d'une tour de refroidissement ouverte sont :

➤ Le corps d'échange* ou packing* :

Il peut être constitué :

- ◆ d'un empilement de parois ondulées ou en nid d'abeille sur lesquelles les gouttelettes d'eau s'écoulent sous forme de film,
- ◆ d'un empilement de lattes sur lesquelles l'eau s'éclate en gouttes successives.

* Voir Glossaire en Annexe 8

Les matières plastiques généralement utilisées éliminent le risque de corrosion. Ces corps d'échange sont sensibles à l'encrassement et surtout à l'entartrage. Les figures suivantes illustrent des exemples de corps d'échange utilisés couramment :



Figure 1E : Corps d'échange avec canaux verticaux

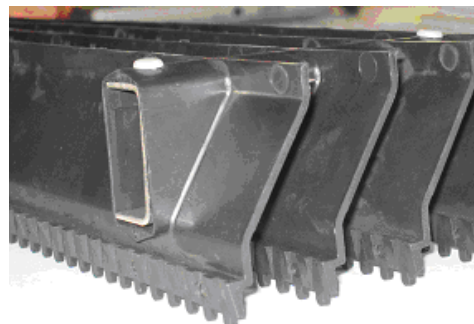


Figure 1F : Corps d'échange type gouttes

Pour réduire l'encrassement et l'entartrage des corps d'échange, il est recommandé de veiller à garantir une accessibilité optimale, en vue du nettoyage et détartrage (ce dernier est nécessaire en cas de traitement d'eau non approprié) au minimum une fois par an. Une porte d'accès doit en outre permettre le contrôle visuel de la surface d'échange. Un échange standard du packing* peut également s'avérer être une solution économique.

➤ Le pare-gouttelettes*, encore appelé éliminateur de gouttes, séparateur de gouttelettes ou dévésiculeur :

Celui-ci est très important pour prévenir le risque d'entraînement de gouttelettes potentiellement infectées par les légionelles. Sa conception doit être telle que le taux d'entraînement soit limité le plus possible. Le taux d'entraînement (appelé également entraînement vésiculaire) ne doit pas être supérieur à 0,01% du débit d'eau en circulation (valeur donnée pour le point de fonctionnement nominal, car le taux d'entraînement varie selon les conditions de fonctionnement d'une tour aéroréfrigérante). Il revient donc aux exploitants de s'assurer auprès du fabricant de la tour de refroidissement que ce seuil est respecté. La même démarche doit être effectuée lors d'un changement d'un des composants de la tour.

Les matériaux utilisés pour ce composant sont principalement des matières plastiques. Il est aussi nécessaire de tenir compte de l'accessibilité à ce composant pour faciliter son nettoyage.

* Voir Glossaire en Annexe 8

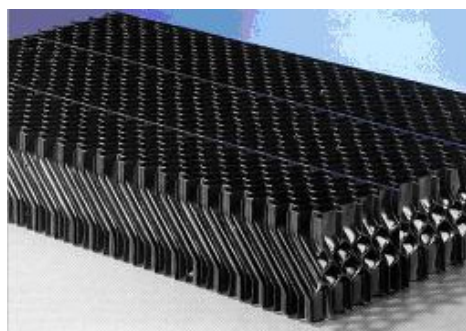


Figure 1G : Exemples de pare-gouttelettes en PVC

➤ **Les rampes de dispersion*** (encore couramment appelées rampes de pulvérisation) :

Celles-ci servent à la dispersion du fluide sous forme de gouttelettes sur le corps d'échange. Afin de prévenir au maximum les risques de dissémination des légionelles, il est préférable d'utiliser des systèmes permettant une dispersion à des pressions faibles pour éviter les éclaboussements. Les disperseurs à basse pression (environ 0,5 bar) doivent donc être préférés.



Figure 1H : Système de dispersion du fluide à refroidir

De même que pour les autres composants, les résistances à la corrosion, à l'entartrage et à l'encrassement doivent être prises en compte pour leur sélection. Les **disperseurs*** sont généralement en matières plastiques, ce qui élimine le risque de corrosion, mais pas ceux d'encrassement, ni d'entartrage. Ces derniers aspects sont en prendre en compte lors de l'exploitation.

* Voir Glossaire en Annexe 8

➤ **Le bassin de rétention :**

Il est situé sur la partie basse de la tour afin de récupérer l'eau non évaporée après le passage sur le corps d'échange. Cet élément doit être conçu de façon à être fermé et non poreux, tout en facilitant sa maintenance, en privilégiant les pentes d'écoulement et l'accessibilité. Il doit comprendre un point de vidange situé en son point bas, ainsi qu'une purge de déconcentration*. Le remplissage en eau d'appoint y est généralement régulé par un contrôleur de niveau soit mécanique, soit électronique. Les matériaux utilisés pour les bacs de rétention sont généralement l'acier galvanisé, l'inox, les polyester et le béton (pour les applications industrielles de puissances thermiques supérieures à 4 MW).

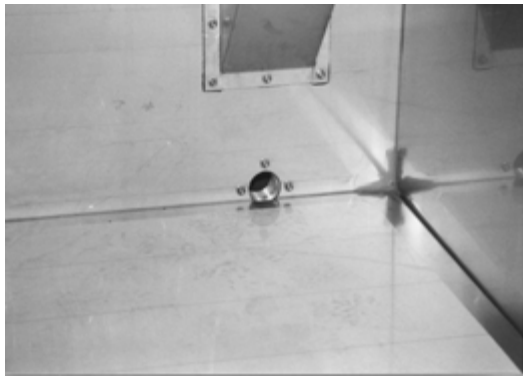


Figure II : Exemples de bassin de rétention avec point de vidange

➤ **Ventilateur :**

Pour assurer la circulation de l'air à travers le corps d'échange*, deux types de ventilateurs sont utilisés sur les tours de refroidissement :

- ◆ les ventilateurs axiaux,
- ◆ les ventilateurs centrifuges.

Les ventilateurs peuvent soit être en accouplement direct avec le moteur qui les entraîne, soit équipés de transmission ; ils exigent dans le second cas une maintenance renforcée.

La vitesse des ventilateurs est régulée pour maintenir la température de sortie d'eau souhaitée quelles soient les conditions ambiantes.



Figure IJ : Photos de ventilateurs centrifuge et axial.

* Voir Glossaire en Annexe 8

Dans le cas d'une tour de refroidissement ouverte avec un échangeur intermédiaire distant, deux autres composants font partie du système de refroidissement :

- **L'échangeur intermédiaire** disposé entre le circuit d'eau de la tour et celui du procédé à refroidir. Celui-ci peut être un échangeur à plaques ou un échangeur tubulaire (généralement en inox). Cet échangeur intermédiaire doit résister à la corrosion, l'entartrage et à l'encrassement,
- **La pompe de circulation additionnelle** pour la circulation du circuit tour.



Figure 1J : Assemblage d'un échangeur à plaques

Principales caractéristiques

Cas des tours ouvertes reliées directement au circuit primaire

Les tours ouvertes alimentées directement avec le circuit primaire sont les systèmes qui permettent de refroidir avec les meilleurs rendements les eaux de procédés industriels et de climatisation grâce aux températures d'eau basses qu'il est possible d'atteindre à la sortie de la tour.

- température de sortie d'eau comprise entre 25°C et 50°C,
- puissances thermiques évacuées comprises entre quelques centaines de kW et plusieurs MW.

Ces appareils présentent les avantages suivants :

- investissement modéré en raison du rendement élevé de ce type de système à échange direct,
- surface au sol et masse en service réduites,
- niveau sonore faible surtout si la tour de refroidissement utilise un ou des ventilateur(s) centrifuge(s),
- consommation d'exploitation modérée (électricité, eau, traitement d'eau, maintenance et analyses).

Cas des tours ouvertes avec échangeur intermédiaire distant

Ces systèmes présentent surtout des inconvénients par rapport au premier type de tour ouverte :

- réduction des performances par rapport à une tour ouverte (due à la présence de l'échangeur intermédiaire induisant un pincement* de 2 K), compensée par une diminution des températures de fonctionnement à la tour de refroidissement,
- le coût d'investissement, l'encombrement et le poids d'une tour ouverte + échangeur sont nettement supérieurs à ceux d'une tour ouverte classique,
- consommation électrique augmentée par rapport à une installation avec tour ouverte classique (présence d'une 2^{ème} pompe et débit d'air plus important),
- à technologie de ventilation égale, le niveau sonore est légèrement plus élevé,
- circuit tour nécessitant une pompe de circulation et une tuyauterie de raccordement,
- encrassement de l'échangeur intermédiaire, évité par une maintenance régulière,
- entartrage de l'échangeur à plaques évité en premier lieu par un traitement d'eau approprié (prévention), mais gérable également par un détartrage régulier, voire un remplacement de l'échangeur à plaques (action curative),
- risque de gel de l'échangeur à plaques côté primaire (mais pas côté circuit tour, car en cas d'arrêt, l'eau retourne au bassin).

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

Ces installations de refroidissement équipées de tours ouvertes nécessitent une bonne gestion du risque de prolifération des légionelles pour les raisons suivantes :

- volume important du circuit tour à traiter : risque accru de formation de biofilm* et de développement de légionelles dans le circuit d'eau de la tour de refroidissement ouverte. Le poste traitement de l'eau de ces systèmes représente alors un coût élevé.
- l'accessibilité difficile au corps d'échange, aux rampes de dispersion, à l'échangeur à plaques le cas échéant, et aux parois des canalisations rend délicat leur nettoyage et détartrage éventuel (voir illustrations ci-dessous) : un biofilm peut se former à la surface de ces composants et des bactéries peuvent s'y développer entraînant un risque accru de prolifération des légionelles.



Figure 1K : Exemples de corps d'échanges encrassés

* Voir Glossaire en Annexe 8

ANNEXE 2 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT UNE TOUR DE REFROIDISSEMENT OUVERTE + ECHANGEUR ACCOLE - INSTALLATION DU TYPE "CIRCUIT PRIMAIRE FERME"

Le principe d'une telle installation de refroidissement est schématisé sur la figure suivante :

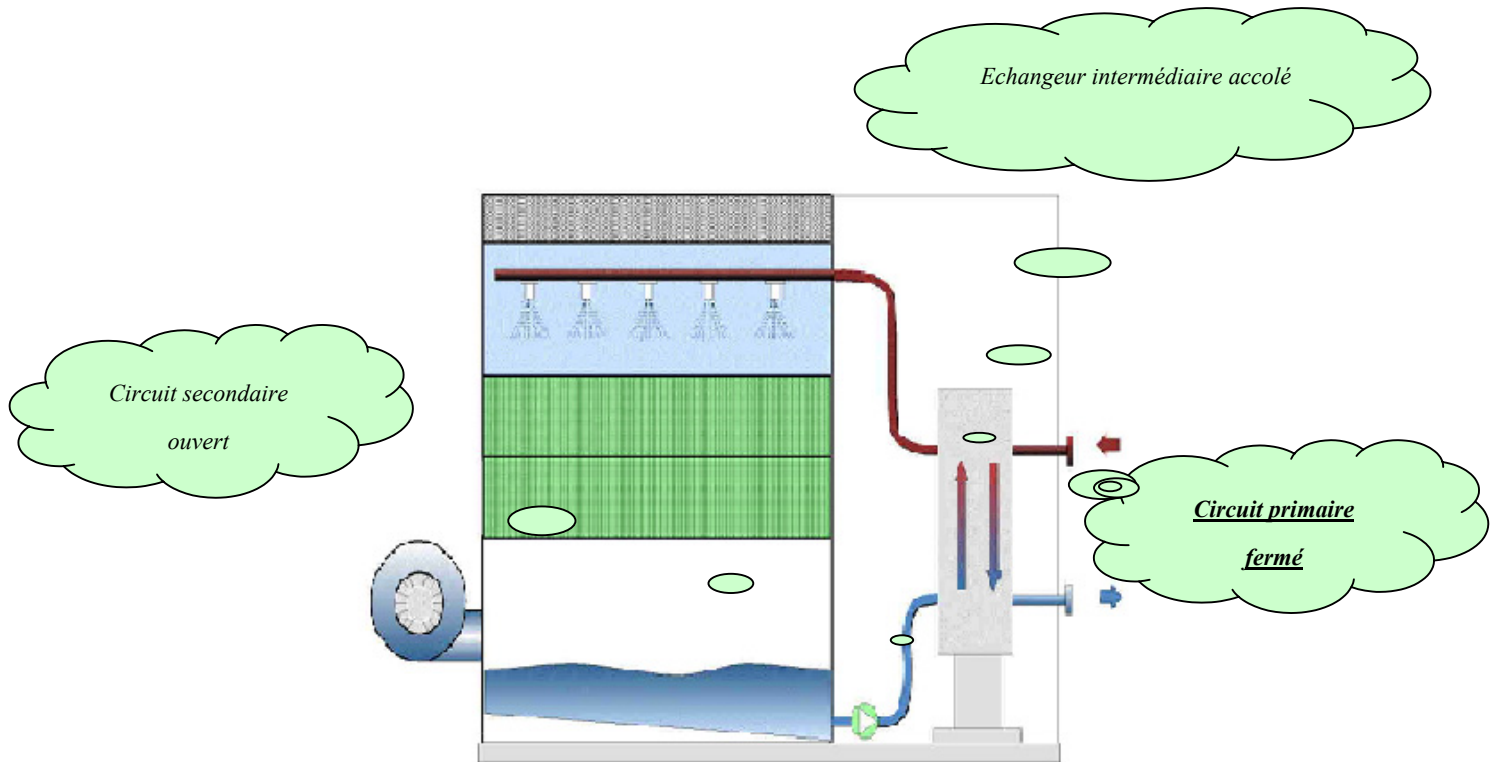


Figure 2A : Schéma de principe d'une tour aéroréfrigérante à circuit ouvert avec échangeur accolé

Principe de fonctionnement

Sur une tour ouverte avec échangeur accolé, l'eau dispersée en fines gouttelettes par la rampe de dispersion, provient d'un échangeur intermédiaire (traditionnellement à plaques) qui réalise l'échange entre l'eau de la tour et le fluide provenant du procédé à refroidir. Il n'y a donc plus de contact direct entre le fluide du procédé à refroidir et l'air servant au refroidissement.

Le fonctionnement de la tour ouverte avec échangeur accolé est identique à celui d'une tour ouverte, mais utilisant son propre circuit d'eau (circuit secondaire) provenant de l'échangeur intermédiaire.

Du fait du pincement* de 2 K dû à l'échangeur intermédiaire, les niveaux de température en entrée de la tour de refroidissement doivent être plus bas pour obtenir une même température

* Voir Glossaire en Annexe 8

d'eau froide sur le circuit primaire. Il faut alors surdimensionner la tour pour obtenir les caractéristiques suivantes sur le circuit primaire :

- températures de sortie d'eau de 25°C au minimum et jusqu'à 50°C,
- puissances thermiques évacuées : de quelques centaines de kW à plusieurs MW.

Description et illustration des composants

Par rapport à une tour ouverte, deux composants supplémentaires composent une tour ouverte avec échangeur accolé :

- **l'échangeur intermédiaire**, accolé à la tour ouverte et séparant le circuit d'eau de la tour de celui du procédé à refroidir. Celui-ci peut être un échangeur à plaques ou un échangeur tubulaire (généralement en inox). Cet échangeur intermédiaire doit résister à la corrosion, l'entartrage et à l'encrassement.
- **la pompe de circulation additionnelle** pour la circulation dans l'échangeur intermédiaire et le circuit de la tour de refroidissement.



Figure 2B : Echangeur à plaques accolé à une tour de refroidissement

Principaux avantages (par rapport aux tours ouvertes)

Les avantages suivants sont associés aux installations équipées de tours aéroréfrigérantes ouvertes avec échangeurs à plaques accolées :

- le circuit d'eau à traiter est diminué par rapport à un circuit de tour ouverte. Cette tour est alors considérée comme du type "circuit primaire fermé",
- la consommation d'eau est sensiblement la même qu'avec une tour ouverte puisque le principe d'échange thermique par contact direct avec l'air est conservé (coût d'exploitation identique),

- le procédé à refroidir, séparé de la tour ouverte par l'échangeur intermédiaire, ne peut pas être pollué par le circuit de la tour.

Principaux inconvénients (par rapport à une tour ouverte)

Les tours de refroidissement ouvertes avec échangeur présentent les inconvénients suivants :

- réduction des performances par rapport à une tour ouverte (due à la présence de l'échangeur intermédiaire induisant un pincement de 2 K), compensée par une diminution des températures de fonctionnement à la tour de refroidissement,
- le coût d'investissement, l'encombrement et le poids d'une tour ouverte + échangeur sont nettement supérieurs à ceux d'une tour ouverte,
- consommation électrique augmentée par rapport à une installation avec tour ouverte (présence d'une 2^{ème} pompe et débit d'air plus important),
- à technologie de ventilation égale, le niveau sonore est légèrement plus élevé,
- circuit tour nécessitant une pompe de circulation et une tuyauterie de raccordement,
- encrassement de l'échangeur intermédiaire, évité par une maintenance régulière,
- entartrage de l'échangeur à plaques évité en premier lieu par un traitement d'eau approprié (prévention), mais gérable également par un détartrage régulier, voire un changement de l'échangeur à plaques (action curative),
- risque de gel de l'échangeur à plaques côté primaire mais non pas côté circuit tour (car en cas d'arrêt, l'eau retourne au bassin),
- le faible volume d'eau du circuit tour à traiter entraîne des variations sensibles et rapides de ses caractéristiques et exige donc un suivi régulier.

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

- le volume du circuit tour est plus limité que sur une tour ouverte. **Le risque de prolifération des légionelles est donc plus facilement maîtrisable,**
- l'accessibilité difficile au corps d'échange, aux rampes de dispersion et à l'échangeur à plaques rend délicat le nettoyage et le détartrage éventuel de ces surfaces. Un biofilm peut se former à la surface de ces composants entraînant un risque de prolifération des légionelles. Il faut mettre en place un traitement d'eau approprié sur la boucle secondaire (celle de la tour ouverte avec son échangeur) : traitement, analyse de l'eau, conductivité, ...

ANNEXE 3 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT UNE TOUR DE REFROIDISSEMENT FERMEE AVEC ECHANGEUR TUBULAIRE INTERNE – INSTALLATION DU TYPE "CIRCUIT PRIMAIRE FERME"

Le principe d'une telle installation de refroidissement est schématisé sur la figure 3A suivante :

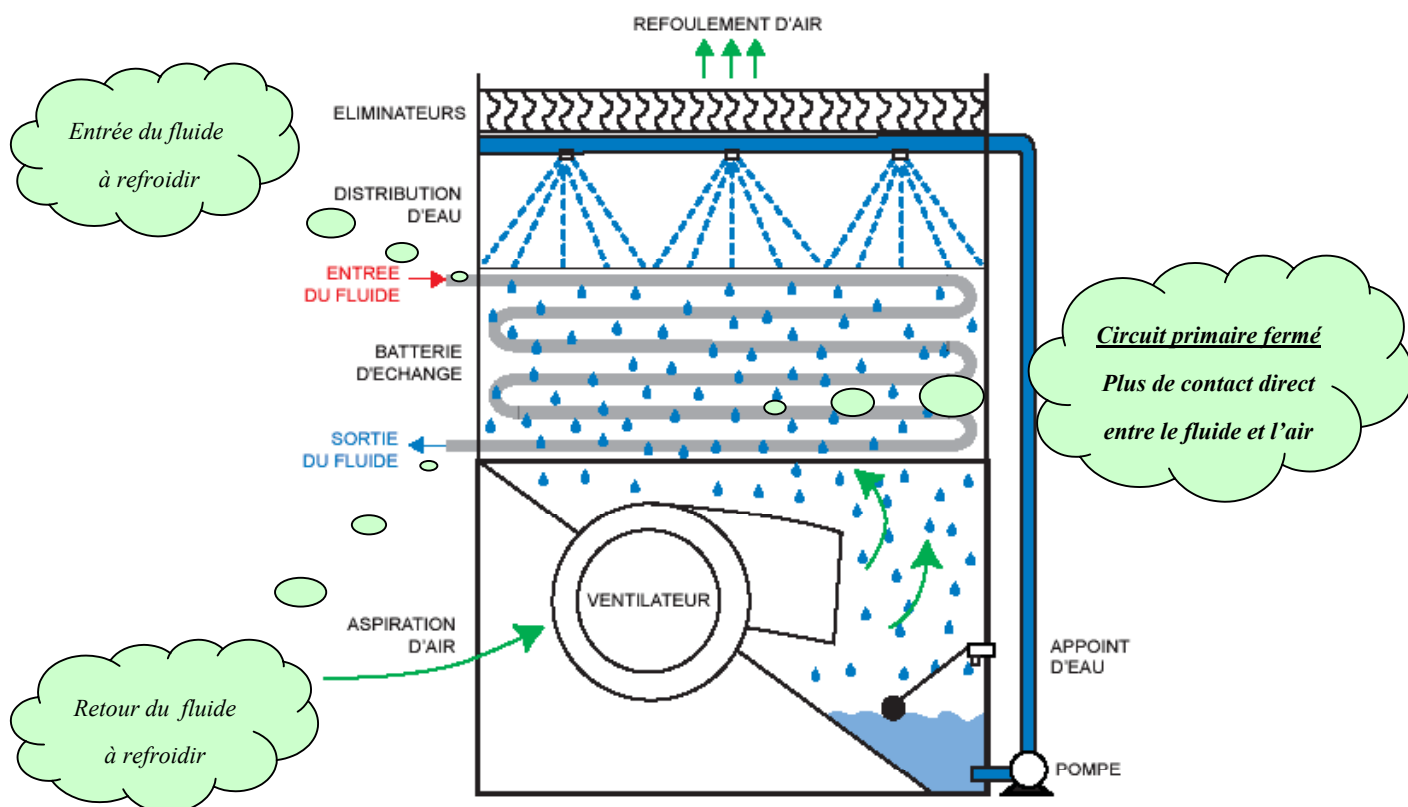


Figure 3A : Schéma de principe d'une tour aéroréfrigérante avec échangeur tubulaire

Principe de fonctionnement

Dans une tour fermée, le fluide du procédé à refroidir circule dans un échangeur tubulaire. Il n'y a donc plus de contact direct entre le fluide du circuit primaire et l'air. Le refroidissement est assuré par évaporation d'une partie de l'eau dispersée du circuit tour, provenant du bassin de rétention et complétée par l'appoint en eau.

La puissance disponible avec ces tours fermées est légèrement inférieure à celle d'une tour ouverte, mais il est tout de même possible d'atteindre 25°C en régime été (32°C, HR 40%) pour la température du fluide à refroidir. Ces performances ne sont possibles qu'en surdimensionnant la tour de refroidissement, comparativement à une tour ouverte (augmentation nette du débit d'air et de la taille).

- la température de retour du fluide peut donc être comprise entre 25 et 50°C,
- les puissances thermiques évacuées varient de quelques centaines de kW à plusieurs MW.

Description et illustration des composants

Comparativement à une tour ouverte, le principal changement est la suppression du *corps d'échange** (*packing**) sur laquelle ruisselait l'eau du procédé à refroidir et son remplacement par un échangeur tubulaire. La figure 3B suivante montre un exemple du type d'échangeur couramment utilisé :



Figure 3B : Exemple d'un échangeur tubulaire intégré dans une tour de refroidissement fermée

Cet échangeur tubulaire est généralement en acier galvanisé, parfois en inox. Les aspects encrassement et entartrage sont des points essentiels à prendre en considération au moment de la conception de l'installation et lors de son exploitation.

Principaux avantages (par rapport à une tour ouverte)

- le volume d'eau à traiter est faible (rampes de dispersion, bassin de rétention et tuyauterie de retour d'eau du bassin vers les rampes), ce qui simplifie les traitements d'eau,
- consommation d'eau identique à celle d'une tour ouverte.

Principaux inconvénients (par rapport à une tour ouverte)

- réduction des performances par rapport à une tour ouverte (pas de contact direct air/eau du procédé à refroidir), la température minimale atteignable en été est cependant de 25°C, mais en augmentant nettement le débit d'air et la taille de la tour,
- coût d'investissement nettement plus élevé,
- surface au sol et masse en service à performance identique plus élevées,
- le faible volume d'eau à traiter entraîne des variations sensibles et rapides de ses caractéristiques et exige donc un suivi régulier,
- consommation électrique plus élevée (présence d'une pompe sur le circuit tour, et fonctionnement à un débit d'air plus important),

* Voir Glossaire en Annexe 8

- le niveau sonore est plus élevé (de 3 à 6 dBA maximum) du fait d'un fonctionnement avec des débits d'air importants afin de compenser les pertes de puissances thermiques liées au contact indirect entre le fluide du procédé à refroidir et l'air. Des options existent pour l'atténuation acoustique de ce type d'installation,
- entartrage possible de l'échangeur tubulaire, pénalisant pour les performances thermiques et le développement de légionelles. En préventif, un traitement approprié doit être mis en place ; en curatif, des traitements et procédures existent pour les opérations de détartrage avant d'en arriver au changement de l'échangeur,
- utilisation recommandée d'eau glycolée sur le circuit tour afin de prévenir les risques de gel à l'arrêt de l'installation.

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

- le volume du circuit tour est plus limité que sur une tour ouverte. **Le risque de prolifération des légionelles est donc plus facilement maîtrisable,**
- l'accessibilité difficile à l'échangeur tubulaire et aux rampes de dispersion rend délicat le nettoyage et le détartrage éventuel de ces surfaces. Un biofilm peut se former à la surface de ces composants entraînant un risque de prolifération des légionelles. Il faut mettre en place un traitement d'eau approprié sur la boucle secondaire (boucle de dispersion sur l'échangeur) : traitement, analyse de l'eau, conductivité, ...

ANNEXE 4 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT UNE TOUR DE REFROIDISSEMENT HYBRIDE

Le principe d'une telle installation de refroidissement est schématisé sur les deux figures suivantes :

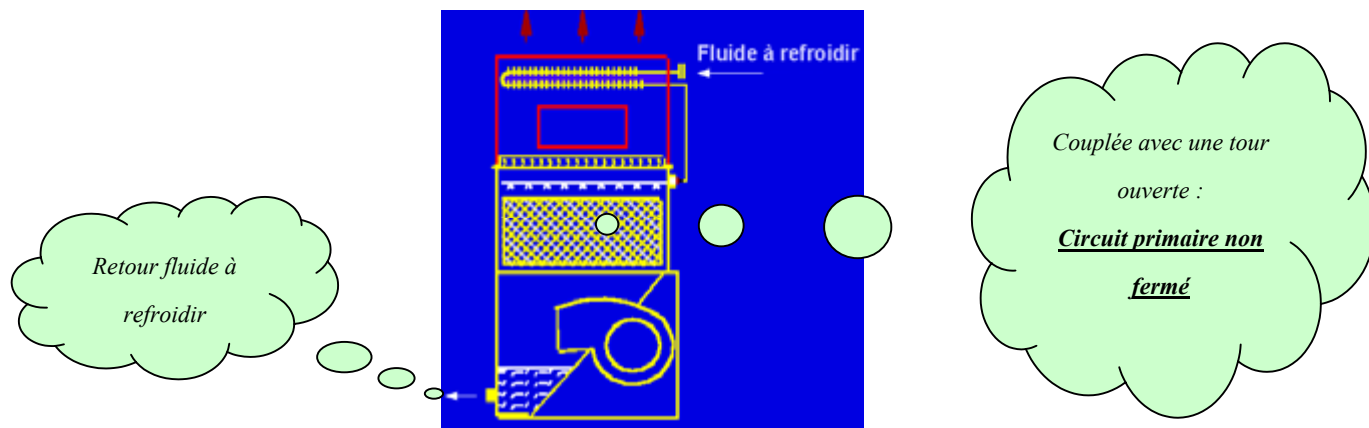


Figure 4A Cas N°1 : Tour hybride ouverte
Installation qui n'est pas du type "circuit primaire fermé"

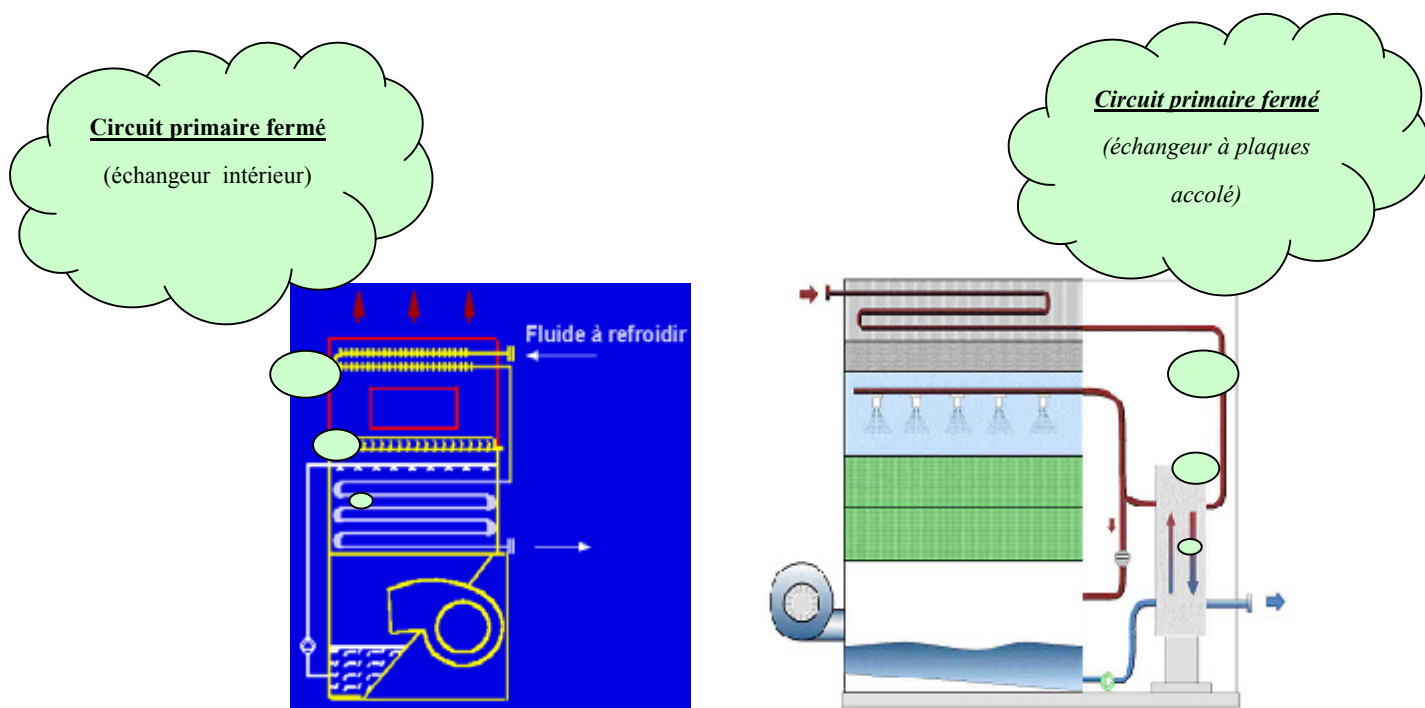


Figure 4B Cas N°2 : Tour hybride fermée (échangeur intérieur ou échangeur accolé)
Installation du type "circuit primaire fermé"

Principe de fonctionnement

Les installations de refroidissement équipées de tours de refroidissement hybrides combinent à la fois un échange sec et un échange humide.

L'échange sec est assuré par une batterie à ailettes, appelée également "*batterie anti-panache**" ou "*désurchauffeur**". Cet échangeur est placé au sommet de la tour de refroidissement. L'échange thermique est réalisé par convection et conduction. Le désurchauffeur assure la suppression du panache visuel.

Dans le cas d'une tour hybride ouverte, le fluide à refroidir passe dans le désurchauffeur, puis si l'échange en mode sec n'est pas suffisant (cas de fonctionnement par haute température extérieure), le fluide à refroidir, est dispersé sur le corps d'échange. Cette solution technique correspond donc à une installation qui n'est pas du type "circuit primaire fermé".

Dans le cas d'une tour hybride fermée, deux cas peuvent se présenter :

- le fluide à refroidir circule dans la batterie sèche, puis dans un échangeur à plaques intermédiaire accolé à la tour de refroidissement. L'autre circuit de cet échangeur à plaques est constitué par de l'eau qui est dispersée si nécessaire sur le corps d'échange de la tour,
- le fluide à refroidir circule dans une batterie sèche située au sommet de la tour, puis circule si nécessaire dans un échangeur tubulaire interne à la tour, sur lequel l'eau du circuit tour est dispersée.

Ces systèmes de refroidissement sont bien adaptés aux procédés avec des charges thermiques à évacuer importantes toute l'année. Ils sont dimensionnés pour fonctionner en mode sec une grande partie de l'année. Le mode de fonctionnement combiné sec et humide est utilisé lors des périodes où les températures ambiantes sont les plus élevées et permet des économies d'eau importantes. Une régulation est effectuée généralement sur la température de sortie du fluide pour adapter le fonctionnement de la tour de refroidissement dans le mode adéquat. Ces changements de mode ne doivent cependant pas être trop fréquents afin de limiter les purges automatiques réalisées lors des arrêts de fonctionnement en mode humide.

Les performances obtenues avec ce type de tours hybrides sont équivalentes à celles fournies par une tour ouverte, c'est-à-dire qu'il est possible d'atteindre des températures minimales de fluide refroidi à la sortie de la tour de l'ordre de 25°C. Ces performances ne sont possibles qu'en surdimensionnant la tour de refroidissement (taille et augmentation significative du débit d'air).

* Voir Glossaire en Annexe 8

- la température du fluide refroidi peut être comprise entre 25 et 50°C,
- les puissances thermiques évacuées varient de quelques centaines de kW à plusieurs MW.

Description et illustration des composants

Par rapport à une autre tour de refroidissement, les composants supplémentaires sont :

- ◆ la *batterie anti-panache** ou *désurchauffeur** servant à l'échange sec avec le fluide à refroidir (par convection et conduction) : il s'agit d'une batterie à ailettes classiques. La figure 4C suivante en donne un exemple :

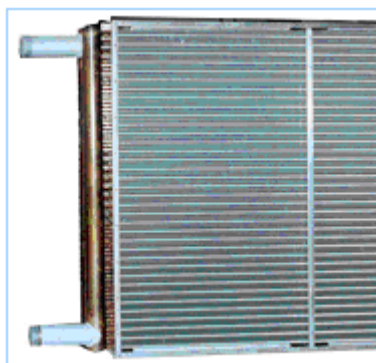


Figure 4C : Exemple de batterie anti-panache ou désurchauffeur

- ◆ la *vanne de bypass* entre le désurchauffeur et l'échangeur servant au refroidissement évaporatif afin de gérer les différents modes de fonctionnement entre l'échange sec et l'échange humide.

Principaux avantages (par rapport à une tour ouverte)

Cas des tours hybrides ouvertes et fermées :

- **suppression du panache visuel**, grâce à la batterie désurchauffeur,
- la batterie pour refroidissement sec est à haute densité d'ailettes, ce qui se traduit par des performances énergétiques élevées,
- en fonctionnement en mode sec : **pas de risque de prolifération des légionelles**,
- **réduction de la consommation d'eau du système de refroidissement (et des coûts d'exploitation)** : les adaptations des modes de fonctionnement de la tour hybride permettent de réduire la consommation d'eau du système. Ces économies d'eau diminuent substantiellement les coûts d'exploitation (au minimum de 50 %).

* Voir Glossaire en Annexe 8

Cas des tours hybrides fermées :

Aux avantages cités précédemment pour les tours hybrides ouvertes et fermées, s'ajoute l'avantage suivant :

- en fonctionnement sec + humide : **réduction des risques de prolifération des légionelles dans le circuit d'eau** ; le **volume du circuit d'eau à traiter** (rampes de dispersion, bassin de rétention et tuyauterie de retour d'eau du bassin vers les rampes) **est limité** et nettement plus faible que sur une tour ouverte, ce qui simplifie les traitements d'eau.

Principaux inconvénients (par rapport à une tour ouverte)

Cas des tours hybrides fermées :

- coût d'investissement environ 3 fois plus élevé,
- encombrement important : caractérisé par une plus grande surface au sol, ainsi qu'une hauteur plus élevée,
- masse en service du système très élevée,
- nécessité d'une pompe de circulation sur le circuit tour,
- consommation d'énergie électrique (ventilateurs et pompes circuit tour) plus élevée, en raison du fonctionnement avec des débits d'air élevés,
- le faible volume d'eau à traiter entraîne des variations sensibles et rapides de ses caractéristiques et exige donc un suivi régulier,
- entartrage éventuel de l'échangeur tubulaire ou de l'échangeur intermédiaire et du packing à prendre en considération lors de l'exploitation avec des traitements d'eau appropriés et procédures adéquates de détartrage si nécessaire,
- niveau sonore généralement élevé (de 3 à 6 dBA maximum) du fait d'un fonctionnement avec des débits d'air importants afin de compenser les pertes de puissance liées au contact indirect entre le fluide du procédé à refroidir et l'air.

Cas des tours hybrides ouvertes :

Les inconvénients listés pour les tours hybrides fermées sont valables hormis ceux concernant :

- la nécessité d'une pompe sur le circuit tour,
- le coût d'investissement (plus faible qu'une tour hybride fermée),
- la surface au sol (réduite par rapport à tour hybride fermée),

Le volume du circuit d'eau est par contre plus important sur une tour hybride ouverte (à peu près équivalent à celui d'une tour ouverte classique).

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

Cas des tours hybrides fermées :

- en fonctionnement en mode sec, pas de risque de prolifération de légionelles,
- compte tenu de la séparation des circuits et du faible volume du circuit d'eau de la tour, **les risques de prolifération des légionelles sont assez facilement maîtrisables**,
- **réduction du coût de la prévention du risque de prolifération des légionelles** : la consommation d'eau étant réduite d'au moins 50 %, une diminution par deux au minimum du coût de la prévention du risque est envisageable,
- suppression du panache visuel,
- le fait de permettre des modes de fonctionnement en sec, puis en humide en fonction des conditions de charge, fait que pendant une grande période de l'année (environ 50 à 60 %), l'eau stagne dans le bassin de rétention et **peut entraîner des risques accrus de développement de légionelles**. Il est donc nécessaire de prévoir une purge automatique du bassin lors des phases d'arrêt et de respecter une procédure spécifique au redémarrage de l'installation.

Cas des tours hybrides ouvertes :

Ces tours présentent des impacts identiques à ceux des tours hybrides fermées sur le risque de prolifération des légionelles, hormis l'aspect important suivant :

- le volume du circuit étant plus élevé et non séparé du circuit primaire, **les risques de prolifération des légionelles sont plus élevés et plus difficiles à maîtriser**.

ANNEXE 5 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT UN AEROREFRIGERANT SEC (DRY COOLER)

Ce type de système ne fait pas partie des installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.

Le principe d'une telle installation de refroidissement est schématisé sur la figure suivante :

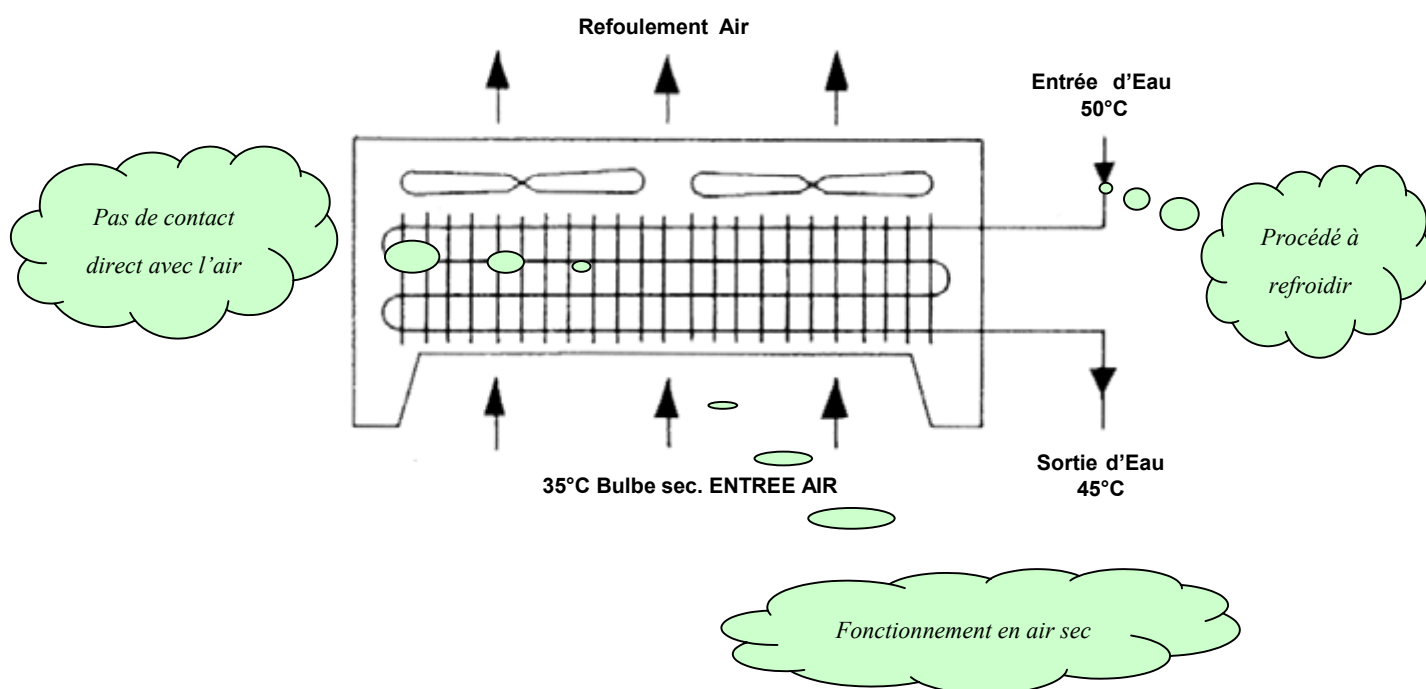


Figure 5A : Schéma de principe d'un aéroréfrigérant sec

Principe de fonctionnement

Le fluide du procédé à refroidir circule dans les tubes d'une batterie à ailettes et est refroidi par de l'air circulant à l'extérieur des tubes, l'échange se faisant à courant croisé. La circulation d'air sur l'échangeur air/fluide à refroidir est assurée aux moyens de ventilateurs.

Les conditions de fonctionnement nominales sont 35°C en température d'air sec, pour des températures d'entrée et de sortie d'eau par exemple de 50/45°C. Ce type de fonctionnement nécessite des surfaces d'échange et un débit d'air élevé. Plus généralement, on compte au

minimum une différence de 10 K entre la température de l'air et la température du fluide refroidi.

Les installations de refroidissement utilisant des aéroréfrigérants sec ne peuvent garantir une température de sortie du fluide à refroidir inférieure à 45°C en régime été. Cela implique généralement que ce système doit être couplé avec un autre système de refroidissement pour un fonctionnement pendant toute l'année dans le cas de procédés industriels nécessitant des températures de retour d'eau inférieures à la température de l'air ambiant.

Une autre solution pourrait consister à pulvériser de l'eau sur la batterie à ailettes afin de fonctionner en régime humide. Cela conduirait à retrouver une solution technique de type tour de refroidissement à circuit primaire fermé, sans toutes ses caractéristiques techniques, donc moins bien adaptée à la gestion du risque de prolifération des légionelles. Ce cas ne sera donc pas développé dans cette annexe.

Ces systèmes s'appliquent principalement dans le domaine de la climatisation en tertiaire, pour des puissances relativement faibles, mais peuvent également être utilisés en applications industrielles de puissances inférieures à 2 MW.

Description et illustration des composants

Les principaux composants sont la batterie à ailettes et les ventilateurs de type axiaux, dont il est possible d'asservir la vitesse à la température de sortie du fluide.



Figure 5B : Illustration d'une batterie à ailettes

Principaux avantages (par rapport à une tour ouverte)

- coût d'investissement comparable à celui d'une tour ouverte (mais ne permettant pas d'atteindre les mêmes niveaux de températures),
- pas de consommation d'eau,
- absence de panache,
- entretien aisé, bien que la batterie à ailettes demande à être nettoyée régulièrement, par des procédés adéquats afin de ne pas pénaliser les performances thermiques plus faibles que celles des systèmes humides.

Principaux inconvénients (par rapport à une tour ouverte)

Les aéroréfrigérants secs présentent les inconvénients suivants :

- limitation de la température de sortie d'eau, en fonction du niveau de la température de l'air ambiant (température sèche), ce qui dégrade la performance énergétique du procédé,
- surface au sol importante,
- consommation d'énergie électrique élevée (coût d'exploitation),
- niveau sonore plus élevé qu'avec une tour de refroidissement car les débits d'air sont supérieurs,
- nombreux moteurs électriques (nombre de ventilateurs),
- nécessité d'utiliser de l'eau glycolée pour prévenir le gel de l'installation.

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

- **ces installations de refroidissement ne présentent aucun risque sanitaire lié aux légionelles.**

ANNEXE 6 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT UN GROUPE DE PRODUCTION D'EAU GLACEE A CONDENSATION PAR AIR

Ce type de système ne fait pas partie des installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.

Le principe d'une telle installation de refroidissement est schématisé sur la figure suivante :

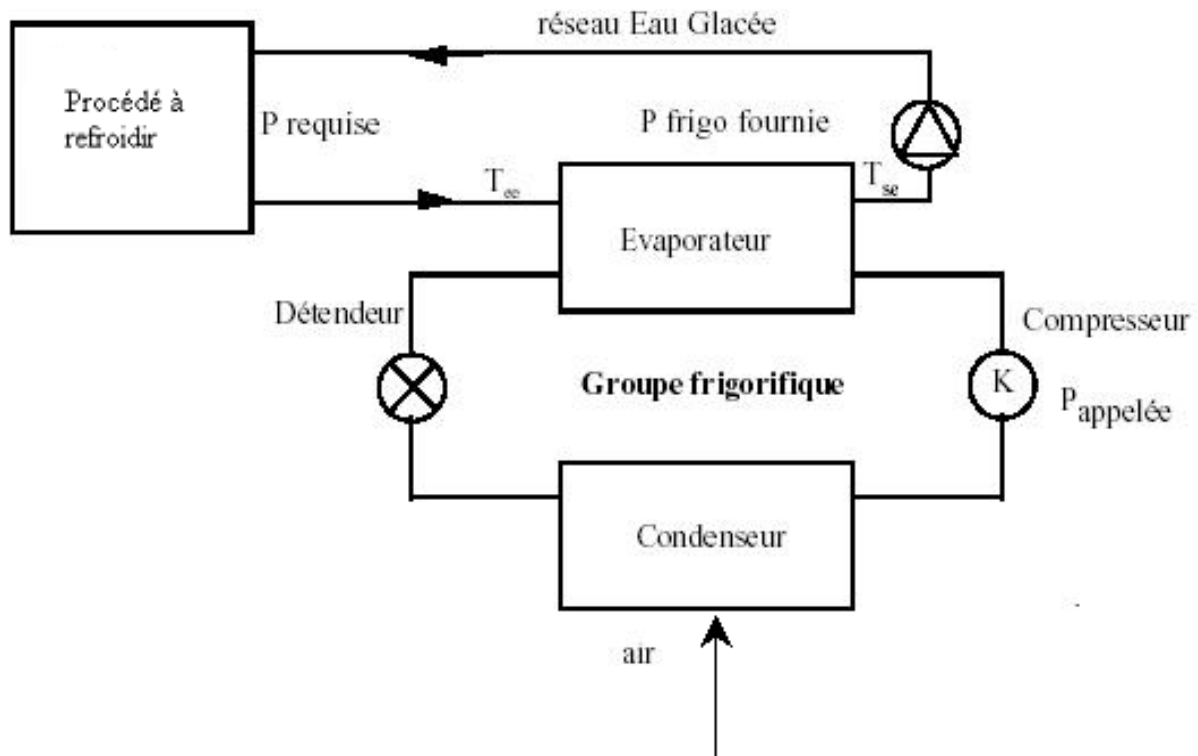


Figure 6A : Schéma de l'installation et de sa relation avec le procédé à refroidir

Principe de fonctionnement

Ces systèmes de refroidissement d'eau sont basés sur le principe du cycle thermodynamique entraîné par un compresseur frigorifique. La chaleur est évacuée au condenseur directement à l'air ambiant. Ce type de système assure la production d'eau de procédé, à une température de l'ordre de 7°C, mais il est aussi possible d'atteindre une température maximale de sortie d'eau de 15°C.

Ces systèmes s'appliquent principalement dans le domaine de la climatisation en tertiaire, pour des puissances relativement faibles, mais peuvent également être utilisés en applications industrielles de puissances inférieures à 2 MW.

Description et illustration des composants

Les principaux composants sont :

- le ou les compresseur (s) frigorifique (s),
- l'évaporateur qui permet le refroidissement du fluide du procédé à la température désirée, généralement inférieure à 15°C. Les évaporateurs utilisés sont à plaques pour les puissances inférieures à 250 kW et tubulaires pour des puissances thermiques supérieures,
- le condenseur à air constitué d'une ou plusieurs batteries à ailettes, l'air circulant à travers au moyen de ventilateurs,
- le fluide frigorigène faisant partie intégrante du refroidisseur d'eau et devant respecter les réglementations en vigueur,
- le détendeur permettant de compléter le cycle frigorifique.



Figure 6B : Illustration d'un refroidisseur de liquide à condensation par air



Figure 6C : Illustration d'un évaporateur à plaques muni de son kit hydraulique pour alimentation et retour du fluide à refroidir

Principaux avantages (par rapport à une tour ouverte)

- ce système de refroidissement constitue un circuit fermé : aucun contact entre l'eau du procédé à refroidir et l'air,
- possibilité d'adaptation de la puissance du groupe, par rapport à la charge thermique demandée, la régulation se faisant sur la température de retour d'eau,
- encombrement inférieur à celui d'une tour ouverte,
- masse en service sensiblement égale à celle d'une tour ouverte.

Principaux inconvénients (par rapport à une tour ouverte)

- coût d'investissement environ 5 fois plus élevé qu'une tour de refroidissement ouverte,
- consommation électrique très pénalisante (au moins 10 à 15 fois supérieure),
- niveau sonore élevé (avec 2 sources : ventilateurs et compresseurs),
- encrassement des échangeurs à eau (évaporateur) et à air (batterie à ailettes) : des procédés éprouvés existent pour pallier ces encrassements.

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

- **ces systèmes ne présentent aucun risque sanitaire lié aux légionelles.**



ANNEXE 7 - INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT UTILISANT L'EAU EN CIRCUIT OUVERT

Ce type de système ne fait pas partie des installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.

Ces installations utilisent l'eau se trouvant dans le milieu naturel (nappe phréatique ou rivière) pour assurer le refroidissement de procédés tertiaires, industriels et de centrales électriques.

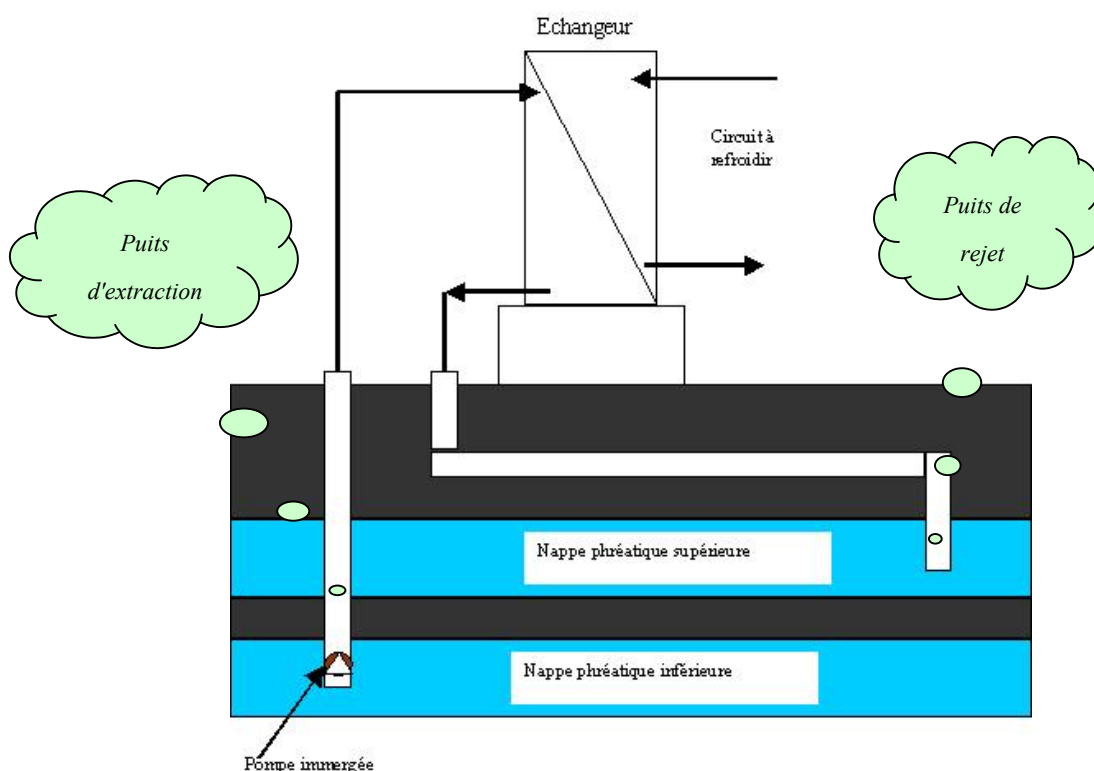


Figure 7A : Schéma de principe d'une installation de refroidissement utilisant la nappe phréatique

Principe de fonctionnement

Dans le cas d'utilisation de l'eau de nappe phréatique, il s'agit de la prélever par l'intermédiaire d'un puits d'extraction, de la pomper jusqu'à un échangeur à plaques et de la rejeter dans un puits de rejet à une distance minimale et à une profondeur différente. Cette eau prélevée dans le sol constitue le circuit secondaire d'un échangeur à plaques venant échanger par conduction et convection de la chaleur avec le fluide à refroidir.

Dans le cas des centrales électriques, l'eau est prélevée dans une rivière à l'amont de l'installation et rejetée à l'aval. L'eau prélevée circule dans un échangeur thermique afin de refroidir l'eau provenant de la centrale électrique.

- ce système permet d'obtenir des températures de sortie de fluide comprises entre 15°C et 50°C,
- les puissances thermiques échangées peuvent aller de quelques centaines de kW à plusieurs MW.

Description des composants

Les principaux composants de ce type de refroidissement par eau sont :

- les puits à réaliser dans le cas de prélèvement sur nappe phréatique, avec des distances minimales à respecter,
- la ou les pompes de sous-tirage de l'eau,
- l'échangeur à plaques ou à tubes en inox,
- les canalisations pour conduire l'eau extraite à l'échangeur et celle ramenant l'eau au milieu naturel (nappe ou rivière). Cette dernière est d'une longueur particulièrement importante car la réglementation en vigueur impose des distances minimales de l'ordre de 80 m.

Principaux avantages (par rapport à une tour ouverte)

- possibilité d'obtenir des niveaux de température correspondant à la plupart des applications industrielles et tertiaires,
- surface au sol réduite,
- niveau sonore minimal,
- bonne résistance à la corrosion de l'échangeur à plaques ou à tubes,
- utilisation naturelle des ressources disponibles dans le sol, ou les rivières.

Principaux inconvénients (par rapport à une tour ouverte)

- le coût d'investissement d'un tel système est élevé (forage des puits, conduites d'extraction et de rejet),
- le coût d'installation est élevé en raison de la réglementation exigeante relative aux prélèvements, à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets dans la nappe ou la rivière : de nombreux suivis, analyses, maintenance et contrôles doivent être effectués régulièrement afin de protéger le milieu naturel,
- l'encrassement de l'échangeur à plaques ou à tubes exige un entretien régulier,
- l'eau prélevée dans la nappe ou dans la rivière est taxée en fonction de sa situation géographique (taxe sur le captage en fonction de la profondeur (pour la nappe phréatique) et de la zone géographique et sur la restitution en fonction du milieu et de l'usage).

Impact réglementaire

Ces installations sont couvertes par l'arrêté du 02//02/1998 qui stipule dans son article 14 que ce type d'installation de refroidissement en circuit ouvert *est interdite sauf Autorisation explicite par l'arrêté préfectoral.*

Cet arrêté d'Autorisation fixe des niveaux de prélèvements maximaux, instantanés et journaliers dans les eaux souterraines et superficielles. Les installations doivent être équipées d'un dispositif de mesure totalisateur, relevé régulièrement et enregistré par l'exploitant.

L'arrêté fixe également les dispositions à suivre pour la réalisation et l'entretien des ouvrages de prélèvement.

Des valeurs limites de rejets ainsi que les dispositifs et surveillances à mettre en place font partie de cet arrêté.

Impact sur le risque de prolifération des légionelles

➤ ***ces systèmes ne présentent aucun risque sanitaire lié à la légionellose.***

ANNEXE 8 - GLOSSAIRE

Appoint : quantité d'eau qui rentre dans le circuit de pulvérisation (ou le circuit de refroidissement) pour compenser celle perdue par évaporation, par les entraînements vésiculaires et les purges de déconcentration.

Approche : différence de température de l'eau froide et celle de bulbe humide de l'air ambiant. C'est une des caractéristiques principales de dimensionnement d'une tour aéroréfrigérante.

Batterie anti-panache ou désurchauffeur : batterie à ailettes destinée à assurer l'échange sec entre le fluide à refroidir et l'air. Du fait de ce fonctionnement en sec, le panache visuel ne peut se produire. Cette batterie est également appelée désurchauffeur car elle assure la première partie (voire la totalité en régime hiver) du refroidissement du fluide.

Biofilm : dépôt associant bactéries, polymères naturels et sels minéraux se formant à la surface des eaux stagnantes et des canalisations.

Chaleur latente de vaporisation de l'eau : quantité d'énergie thermique qu'il faut fournir à 1 kg d'eau, ayant atteint sa température de vaporisation, pour la faire passer intégralement de l'état liquide à l'état gazeux.

Ecart thermique : différence entre la température du fluide à l'entrée et celle à la sortie de la tour de refroidissement.

Entraînement vésiculaire : émissions d'une installation de refroidissement par voie humide, constituées de fines particules d'eau (ou **aérosols**) entraînées dans l'atmosphère à la sortie de la tour de refroidissement. Ces gouttelettes ont la même composition que l'eau du circuit de la tour.

Facteur de concentration : rapport entre la quantité de sels dissous dans l'eau de circulation de la tour et dans l'eau d'appoint. Celui-ci dépend de la qualité de l'eau d'appoint et de celle admise par l'eau en circulation en fonction des matériaux utilisés sur les tours. Ce facteur de concentration est compris entre 2 et 4.

Packing ou corps d'échange : dispositif à travers lequel s'effectue le transfert thermique entre l'eau et l'air dans le cas de tours ouvertes (qui ne sont pas du type à "circuit primaire fermé").

Panache : air saturé en vapeur d'eau provenant de la quantité évaporée pour assurer le refroidissement du fluide qui crée un nuage visible à la sortie des tours de refroidissement. Ce panache est constitué par de l'eau pure qui n'entraîne aucun sel dissout.

Pare-gouttelettes, séparateur de gouttelettes, éliminateurs de goutte ou dévésiculeur : ensemble de chicanes, installé au sommet de la tour de refroidissement et destiné à retenir les gouttelettes d'eau pour limiter au maximum l'entraînement vésiculaire.

Perte d'eau par évaporation : quantité d'eau évaporée pour assurer le refroidissement du fluide. Elle correspond à l'échange thermique par chaleur latente de vaporisation de l'eau. Généralement cette perte d'évaporation est égale à 1% du débit d'eau circulant dans la tour de refroidissement pour un écart thermique de 6 K.

Pincement : écart de température (en K) entre la sortie du fluide primaire (procédé) et l'entrée du fluide secondaire (circuit tour) dû à la présence d'un échangeur intermédiaire. Par exemple, pour obtenir une température désirée de fluide refroidi pour le procédé de 27°C à la sortie de l'échangeur intermédiaire, la température d'eau du circuit tour sera de 25°C en entrée de l'échangeur intermédiaire si ce dernier présente un pincement de 2 K.

Puissance thermique évacuée d'une installation de refroidissement : somme des puissances thermiques évacuées de chacune des tours de refroidissement.

Puissance thermique évacuée d'une tour de refroidissement : produit du débit massique d'eau à refroidir (en kg/s) par la capacité thermique de l'eau (en kJ/kg/K) et l'écart de température souhaité pour le refroidissement (en K). Cette puissance sert à sélectionner la tour de refroidissement pour un fonctionnement en régime été (avec une température de bulbe humide de l'air de l'ordre de 21°C) durant lequel le refroidissement désiré est le plus difficile à obtenir. Cette puissance constitue la **puissance thermique maximale** de la tour de refroidissement. En fonctionnement durant la mi-saison et en hiver, la ventilation de la tour de refroidissement est régulée de façon à maintenir la température de sortie d'eau souhaitée.

Purge de déconcentration : quantité d'eau que l'on prélève au circuit de la tour pour contrôler la concentration en sels dissous. La quantité d'eau à purger est fonction de la concentration en sels admise par le circuit de refroidissement.

Rampes de dispersion (encore appelée **rampes de pulvérisation**) : ensemble de tubes munis de disperseurs, situé à la partie supérieure de la tour de refroidissement destiné à amener l'eau en contact avec l'air. Les **disperseurs** (encore dénommés gicleurs ou buses) transforment le flux d'eau arrivant à la tour en gouttelettes qui se répartissent sur le corps d'échange de la tour de refroidissement.

Température de bulbe humide de l'air : valeur de la température lue sur un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un coton mouillé d'eau distillée. Cette température est utilisée pour le dimensionnement des tours de refroidissement.

Température de bulbe sec de l'air : valeur de la température lue sur un thermomètre dont le bulbe est à l'air libre. Cette température est utilisée pour le dimensionnement des installations fonctionnant avec de l'air sec.

GROUPE DE TRAVAIL

Cet ouvrage a été rédigé au CETIAT par :

Dominique Hantz, Chargé d'Etudes à la Direction Scientifique

Avec les commentaires de :

François Durier, Directeur Scientifique

Jean-Luc Pagani, Responsable d'exploitation des installations dont celles de refroidissement du CETIAT

Pierre Raffa, Directeur de la Division Aéraulique et Thermique

Ont également contribué à ce document par leur relecture et commentaires :

Louis Lucas

ASSOCIATION FRANÇAISE DU FROID

Luc Deblon et Stéphane Vermylen

Société BALTICARE

Michèle Merchat

Société CLIMESPACE

Héloïse Fontaine et Jean-Philippe Fouquey

Société ICS'EAU

Laurent Petiot

Société JACIR AIR TRAITEMENT

Ainsi que le Bureau de la Pollution Atmosphérique des Equipements Energétiques et des Transports, Service de l'Environnement Industriel, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.

Ce guide technique est un document destiné aux exploitants des installations de refroidissement d'eau (ou de fluide). Il décrit les différentes solutions techniques utilisables sur les installations de refroidissement d'eau industrielles et sur les circuits chauds des systèmes de froid et de conditionnement d'air, destinées aux secteurs tertiaires et industriels. Il présente leurs principes de fonctionnement, leurs composants et caractéristiques (avantages et inconvénients) ainsi que leurs impacts sur le risque de prolifération des légionelles.

Il permet d'identifier le contexte réglementaire et les éléments à prendre en compte lors de la sélection d'un système de refroidissement.

Ce guide a été élaboré à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable dans le cadre du plan national de prévention des légionelloses. Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable en a assuré le financement.

Les images illustrant cet ouvrage ont été fournies par les sociétés suivantes :

BALTICARE, CARRIER, JACIR AIR TRAITEMENT, TRANE



CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES AÉRAULIQUES ET THERMIQUES

Domaine Scientifique de la Doua – 25, avenue des Arts – BP 2042 - 69603 Villeurbanne Cedex
Tél. +33 (0)4 72 44 49 00 - Fax. +33 (0)4 72 44 49 49 - www.cetiat.fr - E. Mail : cetiat.commercial@cetiat.fr