

Les tours de refroidissement



APPROCHE TECHNIQUE



- ▶ D'une façon générale, tout procédé lié à une activité de type industriel, de conditionnement d'air ou de réfrigération, produit une certaine quantité d'énergie perdue sous forme de chaleur. Cette chaleur perdue devra être rejetée dans l'environnement et nécessite donc un refroidissement.
- ▶ De manière générale, quel que soit le procédé, plus la température à laquelle peut s'effectuer ce rejet sera basse, meilleur sera le rendement du procédé



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (DIZ) GmbH



**BUREAU
VERITAS**

- ▶ Selon les températures souhaitées pour obtenir le rendement optimal du process, l'on peut distinguer quatre catégories de technologie de refroidissement :
 - **l'eau**, avec refroidissement par passage unique; entraînant pollution, nuisance pour l'environnement et gaspillage de ce si précieux élément qu'est l'eau. Il est donc primordial de prendre en compte d'autres systèmes;
 - **l'air évaporatif** : ce principe, appelé refroidissement évaporatif, est celui utilisé dans les tours de refroidissement. En réutilisant 95% de l'eau de refroidissement, il est le plus adapté pour le refroidissement de procédés nécessitant des températures comprises entre 25° C et 45° C;
 - **l'air sec**, utilisé dans tous les aéroréfrigérants secs, est destiné au procédé ayant un rendement optimal avec des températures supérieures à 45° C. Dans les applications de conditionnement d'air, beaucoup de procédés utilisent aujourd'hui des condenseurs à air pour évacuer la chaleur générée. Ces systèmes entraînent à la fois des consommations électriques et des coûts d'installation très élevés;
 - **le refroidissement mécanique par groupes frigorifiques** qui sera utilisé pour des températures de refroidissement inférieures à 25° C et pour tout besoin en températures négatives.

Les deux « grands » types de refroidissement

Systèmes de refroidissement	Voie sèche	Voie humide
Refroidissement par rapport à la température de l'air ambiant	sec	humide
Refroidissement minimal avec par exemple air sec 32°C	32°C	21°C (avec 40% humidité)
Refroidissement	Indirect (batterie)	Direct
T° au niveau du condenseur	T° ≥ 45°C	25°C < T° < 45°C

Surface
Au sol ↗

Ventilateurs puissants

-1°C Condenseur =
gain 3 % d'énergie au Compresseur

Consommation électrique ↗

32°C BS
21°C BH



giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Le refroidissement évaporatif : principe et avantages

- ▶ Le refroidissement **évaporatif** est basé sur un principe naturel simple. Dans une tour ouverte l'eau à refroidir est pulvérisée sur une surface de ruissellement alors que de l'air est soufflé ou aspiré au travers de cette surface de ruissellement. Une petite quantité d'eau est évaporée, provoquant ainsi le refroidissement de l'eau restante. Cette eau froide tombe dans le bac de la tour, et la chaleur est extraite par l'air sortant de la tour.



Comparaison

COMPARATIF POUR UN PROCÉDE REFRIGERATION
R-717 - Capacité de Refroidissement 1050 kW

	Condenseur Evaporatif	Condenseur à eau + tour	Condenseur à air
Temp. Cond. °C	30°C	36°C	45 °C
Compr. kW/e	205 kW/e	236 kW/e	324 kW/e
Rejet chaleur kW	1255 kW	1286 kW	1374 kW
Ventil./Pompe kW/e	23 kW/e	32 kW/e	33 kW/e
Puissance totale kW/e	228 kW/e	268 kW/e	357 kW/e

35% d'économie d'énergie avec un Condenseur Evaporatif

Ces exemples démontrent sans ambiguïté les avantages du refroidissement évaporatif. Utilisés depuis plus d'un demi-siècle, ces systèmes consomment peu d'énergie et permettent d'économiser plus de 95 % de l'eau en circulation. Ils sont simples à utiliser et à entretenir.



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



- ▶ Toutefois les événements récents ont rendu l'opinion publique et les utilisateurs très soucieux du risque du développement de la bactérie Legionnella dans les systèmes de refroidissement évaporatif.



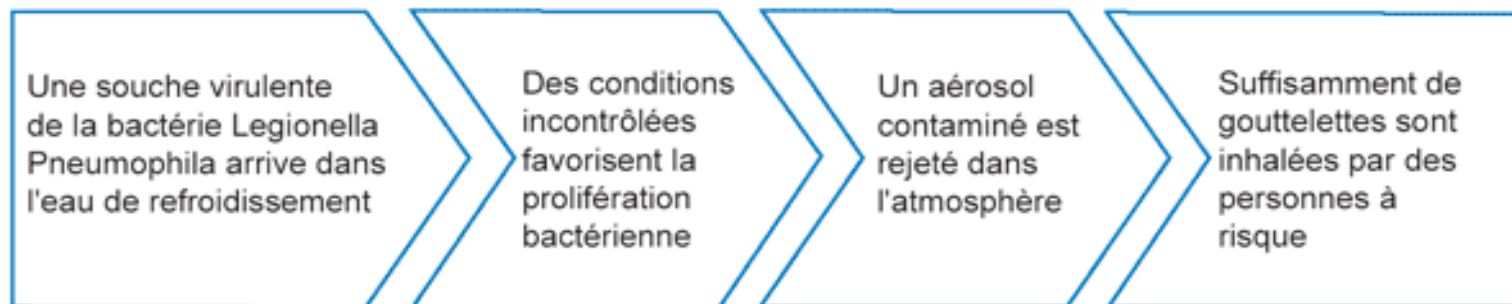
Légionellose et les moyens de la prévenir

- ▶ Bien que de rares cas de **légionellose** aient été associés à des systèmes de refroidissement évaporatif, lesquels n'étaient pas bien suivis ni entretenus, aucun cas de légionellose n'a pu être rattaché à un système qui était suivi correctement et disposant des éléments de contrôle de prolifération bactérienne nécessaires



Enchaînement des événements

- ▶ Les cas de légionellose engendrés par une tour de refroidissement ou un condenseur évaporatif nécessitent l'enchaînement de quatre événements consécutifs décrits ci-dessous et ce, impérativement dans l'ordre indiqué. Si cette chaîne est interrompue, n'importe où, le risque de légionellose est évité.





giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



**BUREAU
VERITAS**

Prévention

- ▶ Une approche de bonne pratique globale, ainsi que la mise en œuvre de méthodes planifiées et systématiques de gestion de la qualité de l'eau et de maintenance du système, ont prouvé qu'elles permettaient de minimiser la possibilité de développement de la bactérie Legionella et de prolonger ainsi la durée de vie de l'équipement sans risque de développement de corrosion ou de formation de tartre.



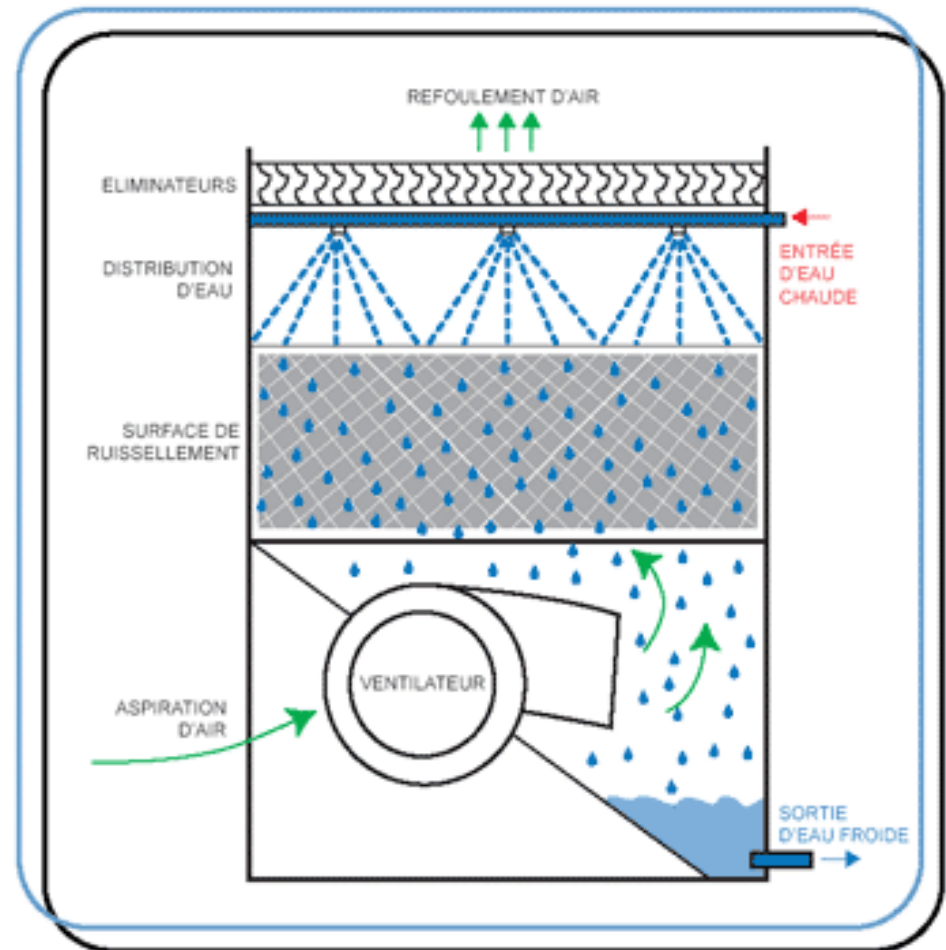
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



TYPES D'ÉQUIPEMENTS DE REFROIDISSEMENT

Tour de refroidissement ouverte

La tour ouverte est l'équipement évaporatif qui offre les plus grands avantages en matière de rendement, d'encombrement, de coût unitaire et de **consommation énergétique**, présentant également le poids d'installation le plus faible.



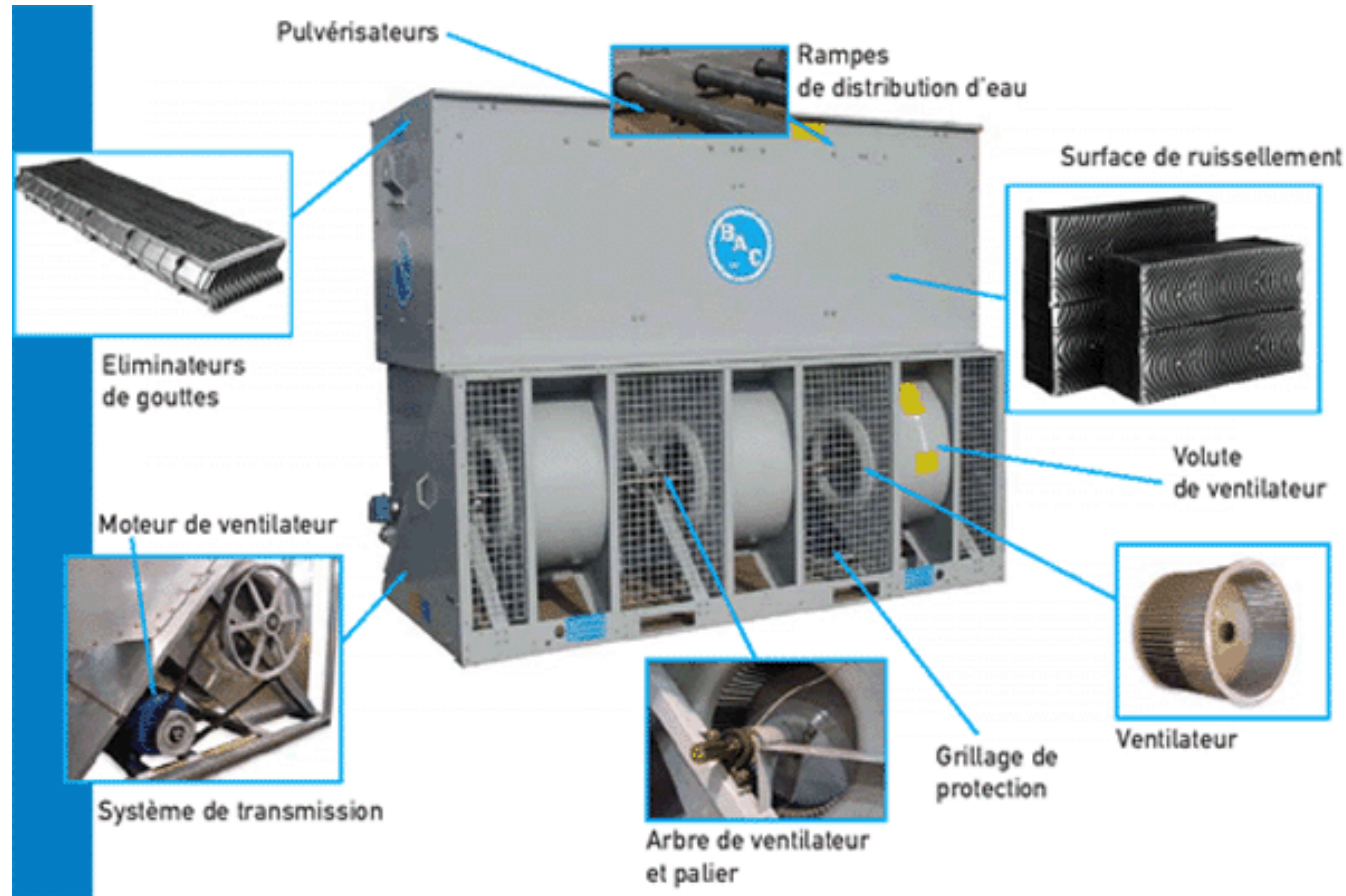
Tour de refroidissement ouverte

Avantages :

- Coût
- Rendement (échange direct)
- Encombrement
- Poids

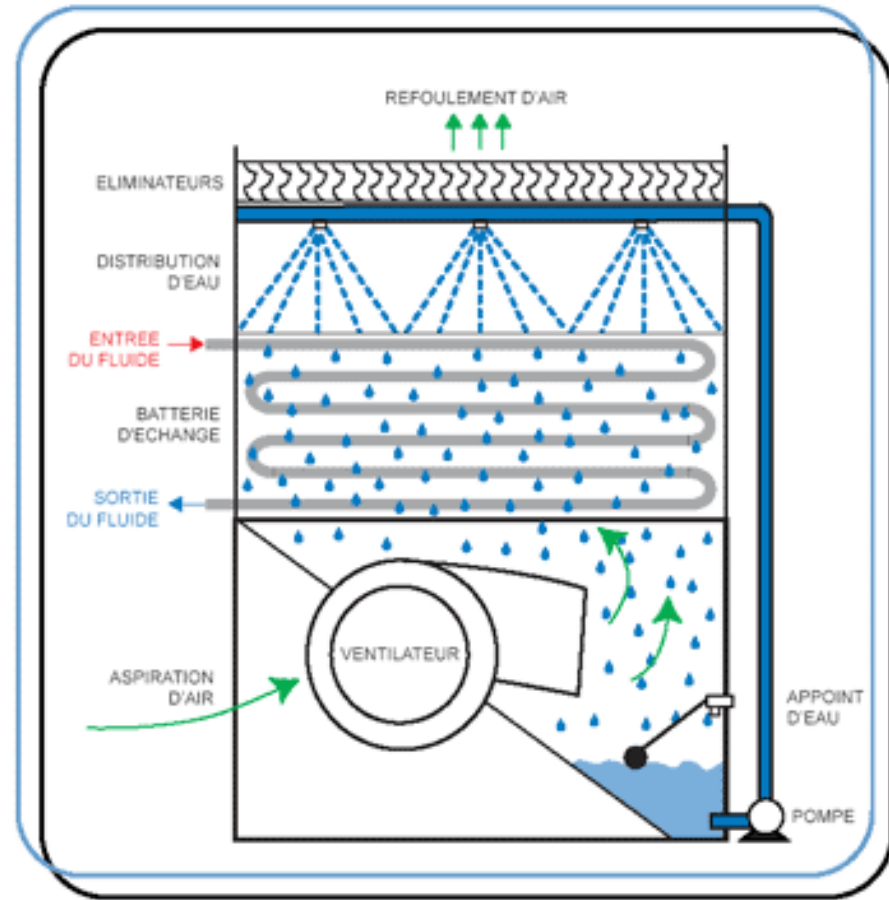
Inconvénients :

- Volume du circuit d'eau plus important à traiter
- Développement du tartre et des bactéries dans le circuit primaire
- Difficulté de nettoyage et de désinfection du système
- Pollution possible du process



Tour de refroidissement à circuit fermé

- ▶ En matière de gestion du risque, la tour fermée avec échangeur arrosé offre donc de nombreux avantages. Ce principe permet ainsi de confiner l'eau de pulvérisation à la seule tour de refroidissement. Le circuit primaire est fermé et totalement confiné, sans entrer en contact avec l'air. L'eau de pulvérisation ne peut donc pas être contaminée par les bactéries qui se développent dans les bras morts des tuyauteries ou dans les autres équipements externes au refroidisseur évaporatif (ex. condenseur).



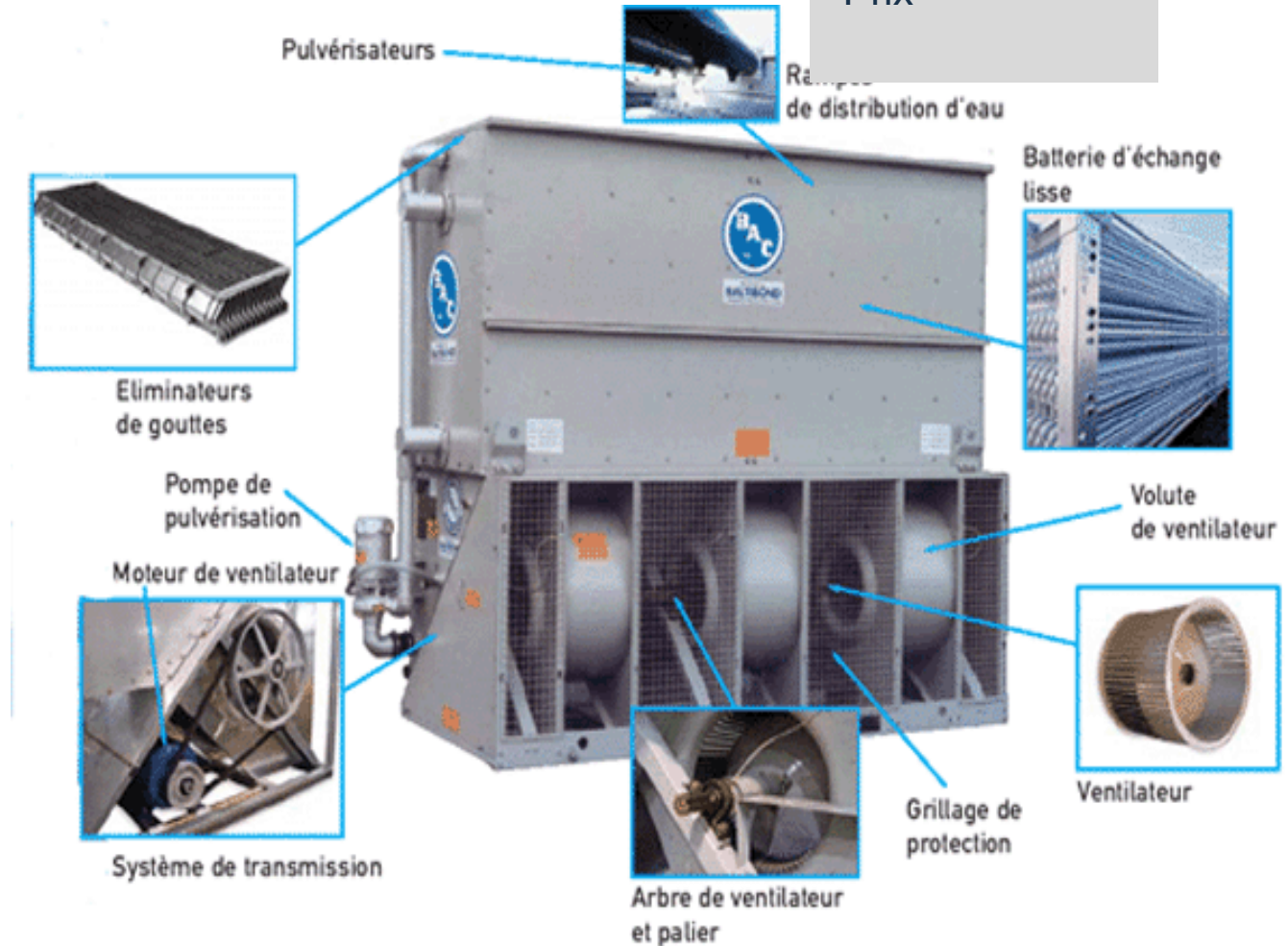
Tours fermées



Inconvénients (par rapport à une tour ouverte) :

- Encombrement
- Poids
- Prix

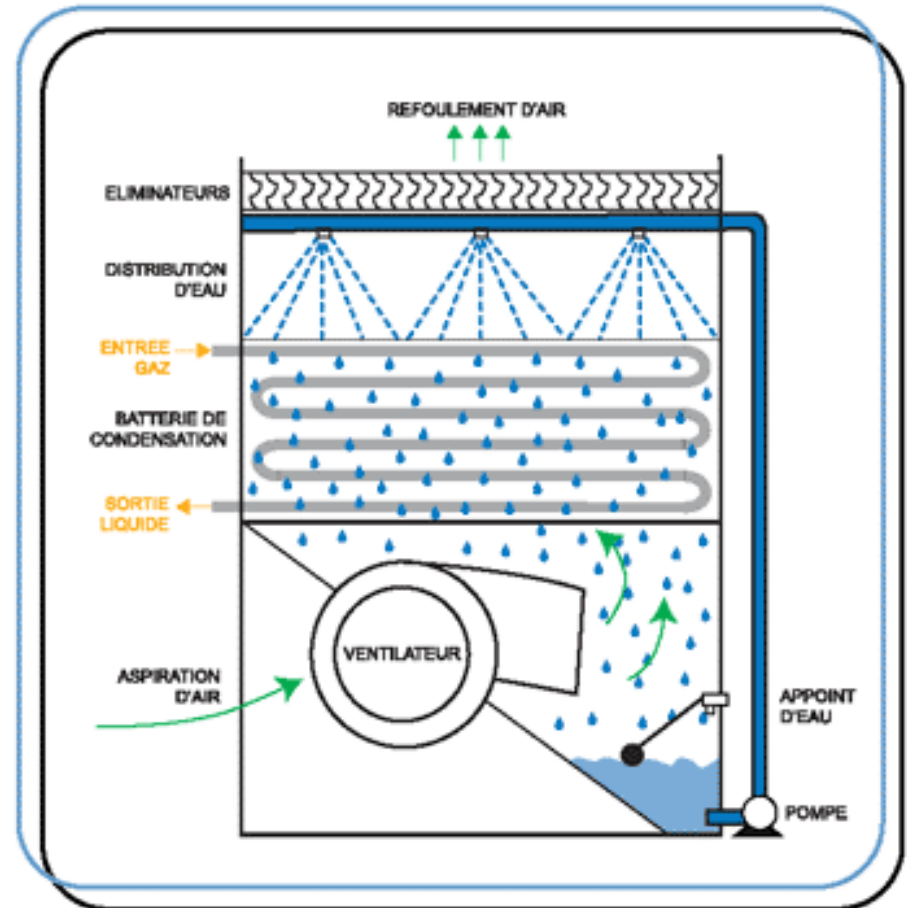
Tours fermées



- ### Avantages :
- Un seul appareil (pas d'échangeur externe)
 - Grand débit d'eau constant sur échangeur
 - Pas de pollution du process (circuit primaire fermé et propre)
 - Température d'eau de pulvérisation basse
 - Surface échangeur lisse et accessible pour nettoyage
 - Volume d'eau à traiter très limité et confinement sanitaire au bassin

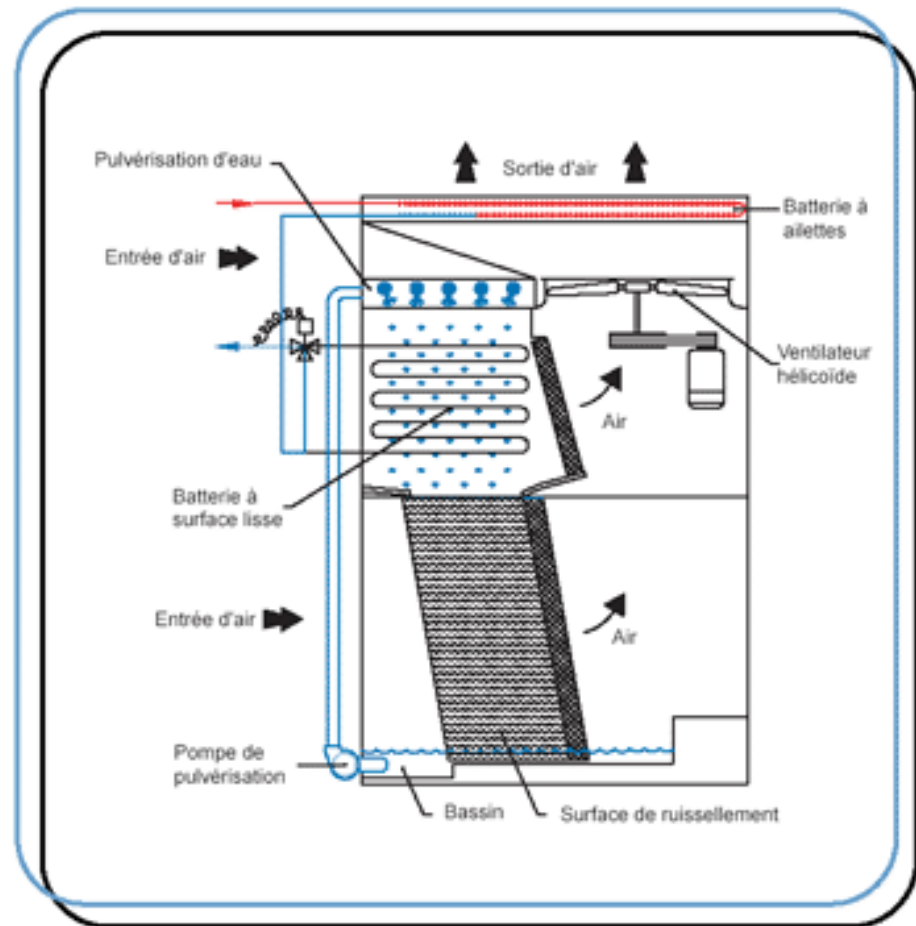
Condenseurs évaporatifs

- ▶ Les condenseurs évaporatifs sont de construction équivalente à celle des tours de refroidissement à circuit fermé. En lieu et place d'une surface d'échange dans une tour de refroidissement conventionnelle, on trouve une batterie de condensation dans laquelle circule le frigorigène



Tour de refroidissement à circuit fermé hybride

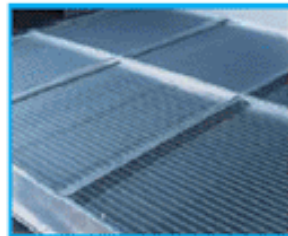
- Les systèmes de refroidissement hybrides conjuguent le meilleur des deux systèmes: le refroidissement évaporatif en été, alliant température basse et consommation d'énergie inférieure et le refroidissement sec dans les saisons plus fraîches.



Tours fermées hybrides



Tour de refroidissement à circuit fermé hybride



Batterie d'échange à ailettes



Batterie d'échange à surface lisse



Surface de ruissellement



Pompe de pulvérisation

Ventilateurs à faible niveau sonore



Rampes de distribution d'eau



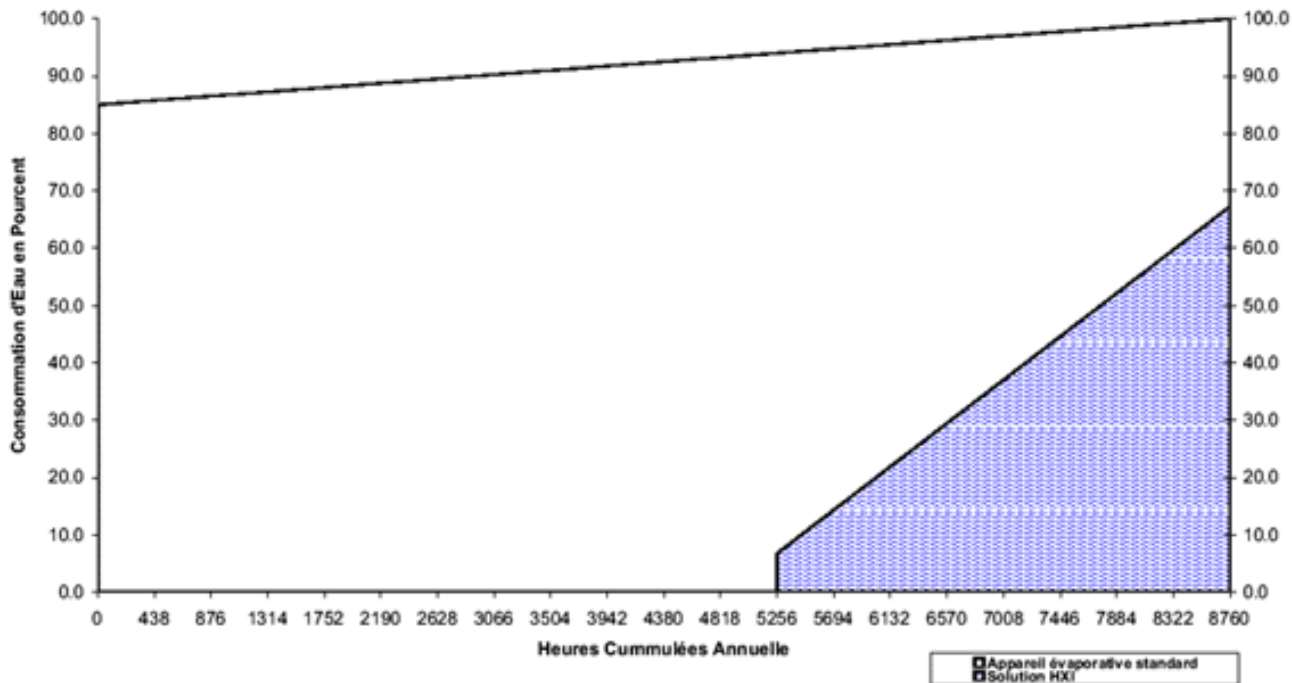
Régulation modulante du débit



Tour de refroidissement à circuit fermé hybride



Consommation d'Eau Annuelle



33.0 / 27.0 / 21.0 °C
1050 kW (= 100% charge) (30% EG)
(1) x HX1-560-D

Baltimore Aircoil International N.V.

Economie d'eau estimée 84%
Graphique basé sur une comparaison relative
et ne peut être utilisé qu'à titre indicatif.



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



LES COMPOSANTS

Le corps d'échange ou packing :

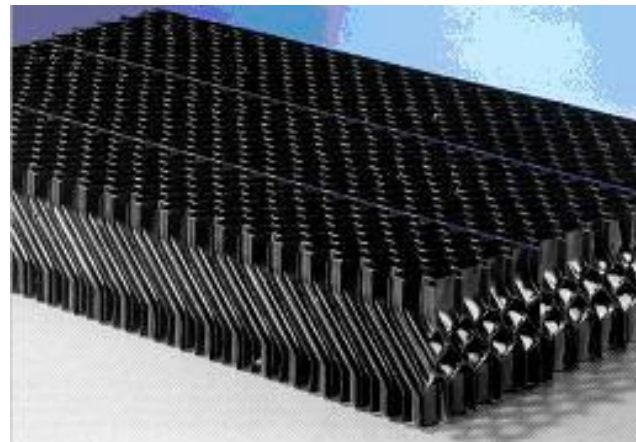
► Il peut être constitué :

- 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.



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 ne doit pas être supérieur à 0,01% du débit d'eau en circulation.



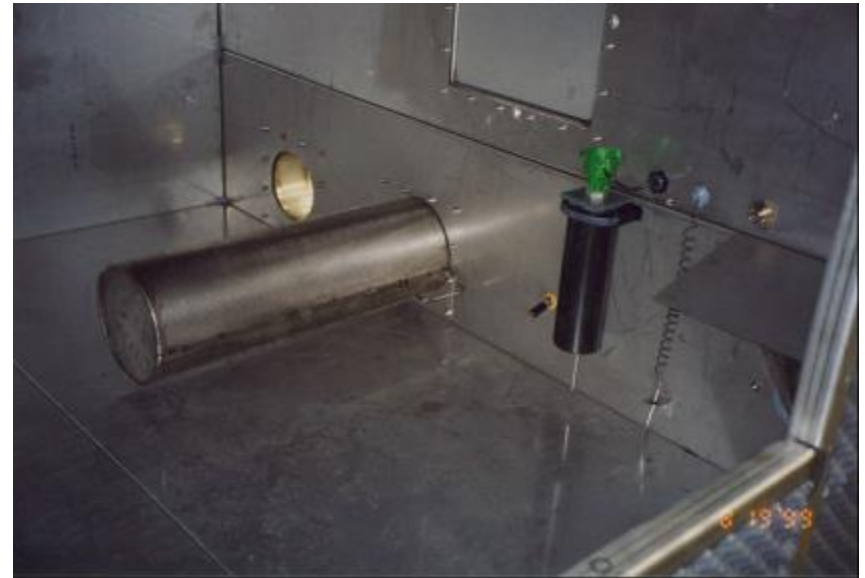
Les rampes de dispersion (encore couramment appelées rampes de pulvérisation) :

- ▶ Celles-ci servent à la dispersion du fluide sous forme de gouttelettes sur le corps d'échange



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



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.





Traitement d'eau préventif, tour de refroidissement

- ▶ En matière de sécurité et d'hygiène les tours de refroidissement à circuit ouvert ou fermé et les condenseurs évaporatifs sont classés de la même façon. Les mêmes standards de qualité de suivi de la qualité de l'eau, de la propreté de l'installation et de la bonne maintenance doivent être appliqués quel que soit le type d'équipements en jeu.
- ▶ Le refroidissement évaporatif est obtenu par l'évaporation de l'eau de circulation. Cette eau s'évaporant, les solides dissous présents restent dans le système. La concentration de solides augmente rapidement et peut atteindre des proportions inacceptables. De plus, la tour agit comme un laveur d'air et les impuretés apportées par l'air ainsi que les matières organiques se retrouveront dans l'eau de circulation.

- ▶ S'ils ne sont pas contrôlés parfaitement, ces éléments peuvent engendrer des risques de corrosion, d'entartrage, de dépôt et de développement bactériologique. Ceci réduit l'efficacité du transfert de chaleur et accroît de façon significative les coûts de fonctionnement

A titre d'exemple, un dépôt de 1 mm de tartre sur un faisceau d'échange à tube lisse va réduire l'efficacité de l'appareil de l'ordre de **30 %**, ce qui se traduit par une augmentation de la température de refroidissement ou de condensation de 6°C, soit une augmentation de la puissance électrique absorbée par le système (groupe froid ou compresseur) de l'ordre de **18 %**.



giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Gestion du taux de concentration

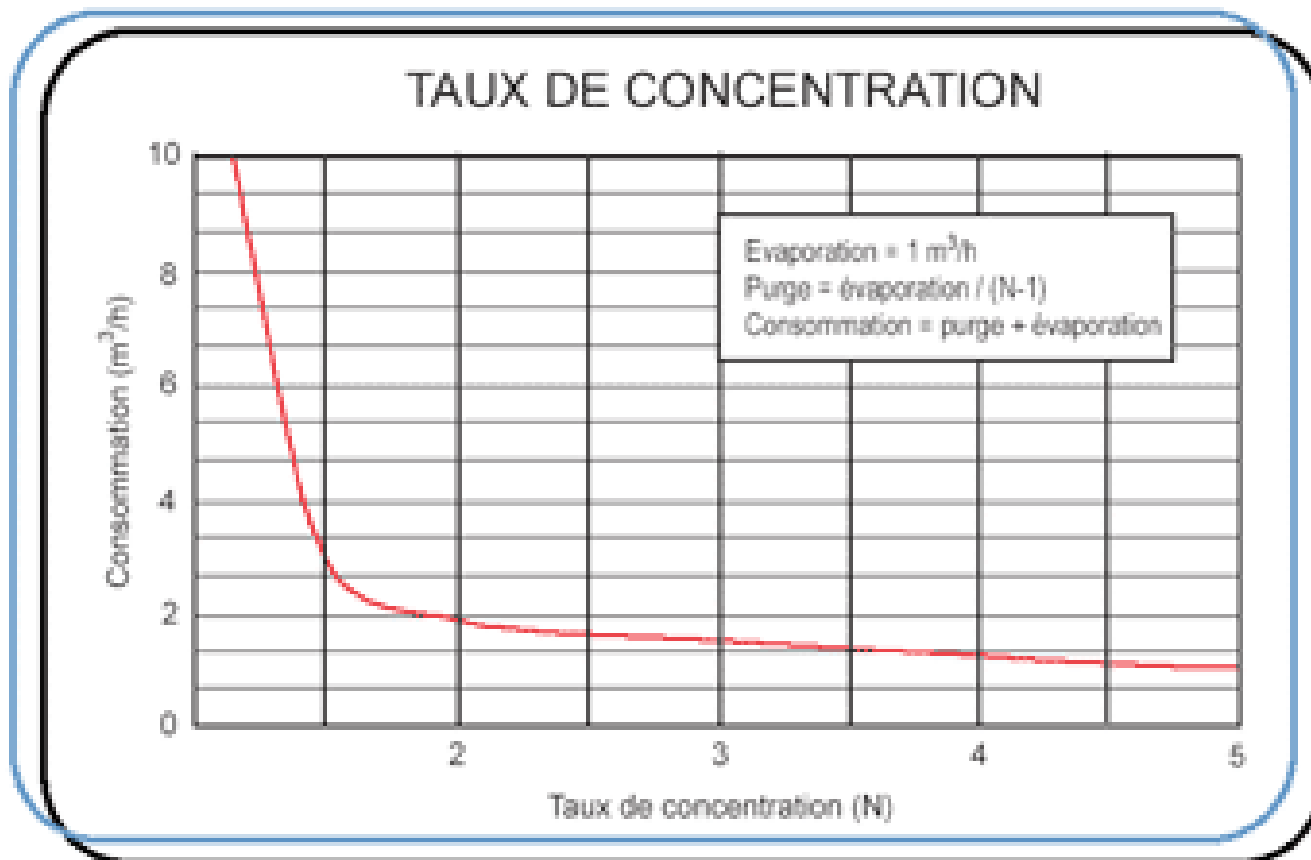
- ▶ Il faut gérer de manière précise le taux de concentration de l'eau de circulation. Pour éviter une accumulation excessive d'impuretés dans l'eau en circulation, il faut veiller à purger une faible quantité d'eau, de façon à maintenir une concentration de l'eau de circulation par rapport à l'eau d'appoint à une valeur admissible.

Le taux de concentration se calcule par la formule suivante : **$C = (E + D) / D$**

avec :

- C = taux de concentration
- E = débit d'évaporation
- D = débit de purge

Taux de concentration





giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Traitement anti-tartre et anti-corrosion

- ▶ Afin de contrôler la formation de tartre ou la corrosion, un traitement anti-tartre, anti-corrosion doit être prévu par injection d'inhibiteurs chimiques adaptés à la qualité d'eau spécifique du site. Ces produits sont dosés en continu, proportionnellement à l'appoint d'eau fraîche .
- ▶ Un pré-traitement par adoucisseur ou autre traitement spécifique peut être nécessaire pour des eaux de dureté élevée.

Traitement bactéricide et anti-Legionella

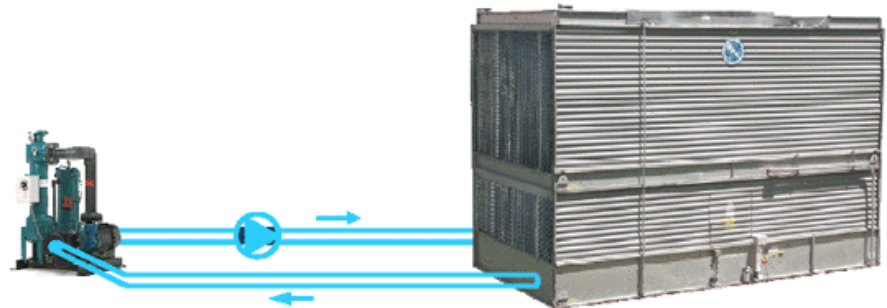
- ▶ Un traitement bactéricide et anti-Legionella par injection de produits biocides adaptés doit être mis en œuvre également sous forme d'un traitement permanent



La filtration dérivée

► Avantages :

- Circuit propre et facile à entretenir
- Pas de consommation d'eau supplémentaire



Tuyauterie d'injection de bassin

Evaluation des tours

Paramètres mesurés

- Température sèche air
- Température humide air
- Température eau: entrée tour
- Température eau: sortie tour
- Température air sortie
- Mesures électriques: ventilateurs et pompes
- Débit d'eau
- Débit d'air

Evaluation des tours

Paramètres de performance

1. Variation
2. Approche
3. Efficacité
4. Capacité de refroidissement
5. Pertes par évaporation
6. Cycles de concentration
7. Pertes par les purges
8. Ration Liquide / Gaz

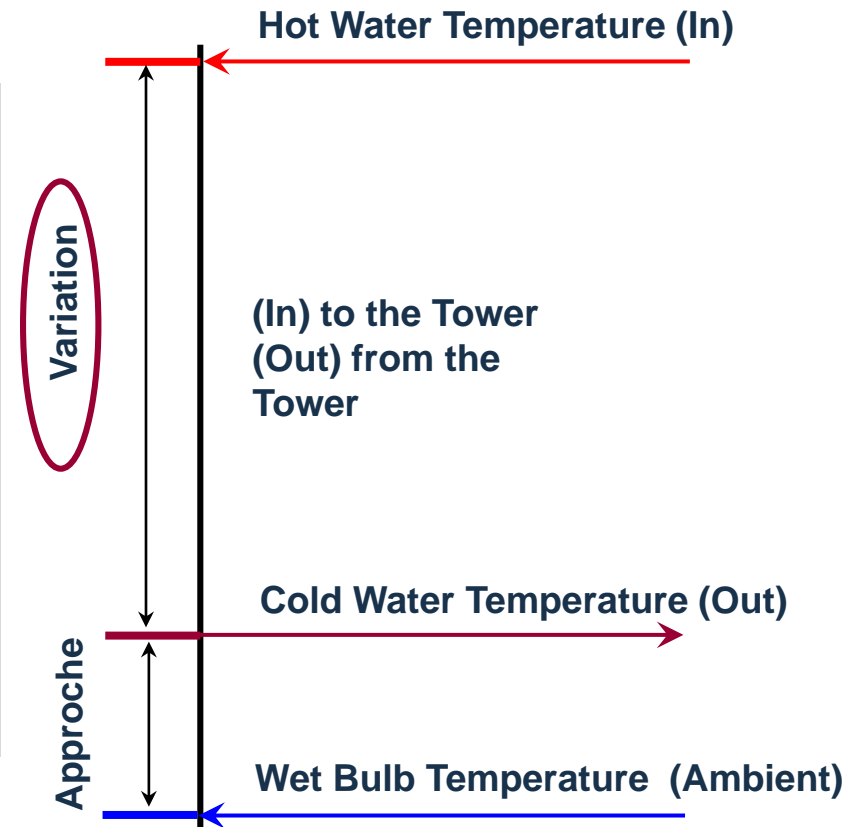
Evaluation des tours

1. Variation

Différence entre T entrée et T sortie eau:

Variation (°C) = CW inlet temp
– CW outlet temp

Grande variation = bonne performance



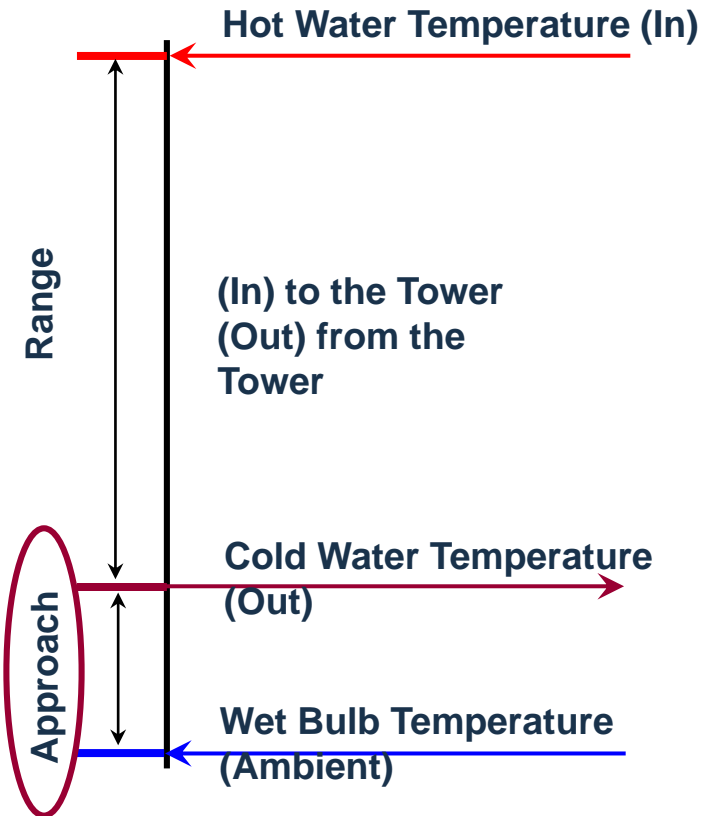
1. Evaluation des tours

2. Approche

Difference en T de sortie eau et T
ambiante humide:

Approche (°C) =
Temp sortie eau – temp. ambiante
humide

**Faible approche = bonne
performance**



Evaluation des tours

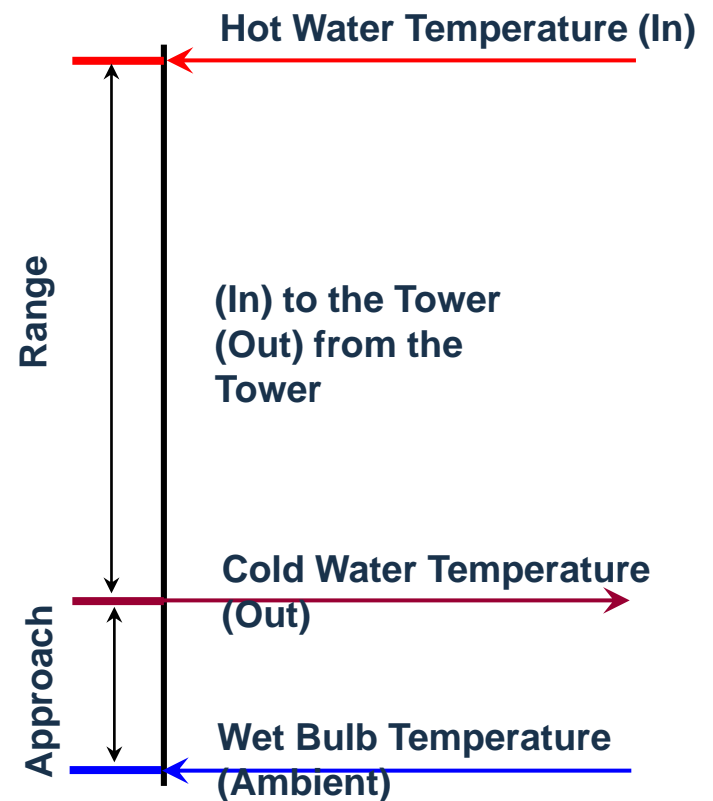
3. Efficacité

Efficacité en %

= Variation / (Variation +
Approche)

= 100 x (temp eau entrée –
temp eau sortie) / (temp eau
sortie – temp ambiante humide)

**Grande efficacité = bonne
performance**



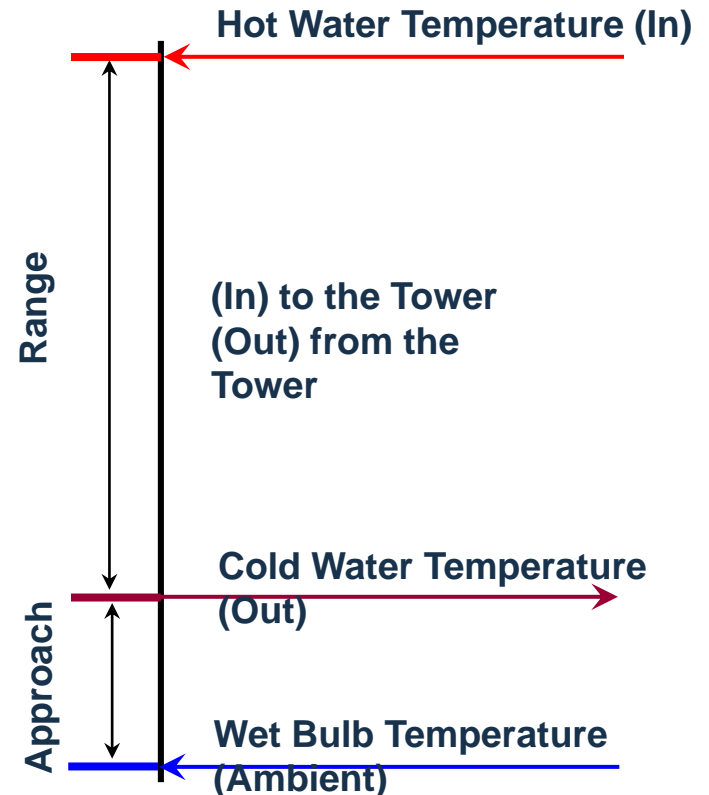
Evaluation des tours

4. Capacité de refroidissement

Chaleur rejetée en kCal/hr ou
tonne de réfrigération (TR)

= Débit massique eau X Chaleur
spécifique X différence de
température

**Grande capacité de
refroidissement = bonne
performance**



Evaluation des tours

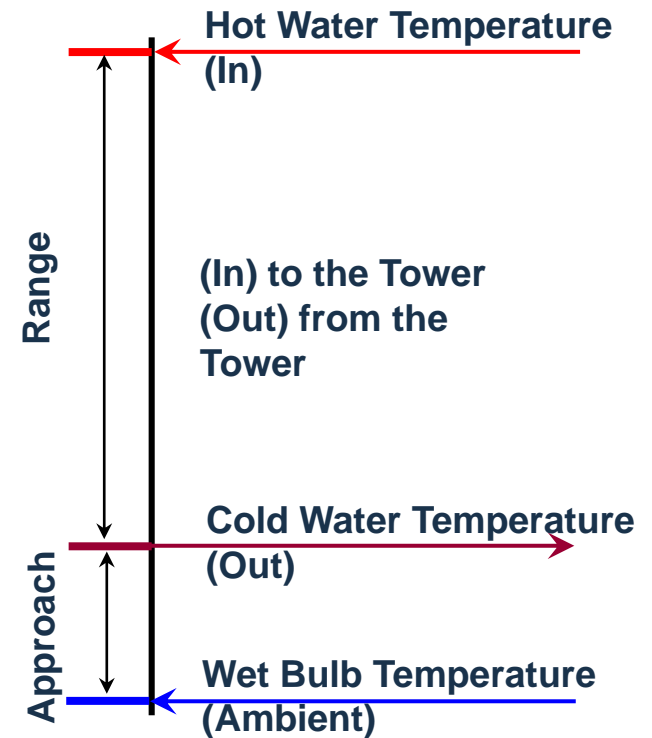
5. Pertes évaporation

Quantité d'eau (m³/hr) évaporée

= théoriquement, 1.8 m³ pour chaque 10,000,000 kCal de chaleur rejetée

= 0.00085 x 1.8 x débit de circulation (m³/hr) x (T1-T2)

T1-T2 = difference de température d'eau entre l'entrée et la sortie



Evaluation des tours

6. Cycles de concentration (C.O.C.)

Ratio des solides dissous dans l'eau qui circule sur ceux dans l'eau d'appoint

7. Pertes par les purges

Dépend des cycles de concentration et des pertes par évaporation

$$\text{Purge} = \frac{\text{Pertes évaporation}}{\text{C.O.C.} - 1}$$



giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Evaluation des tours

8. Ratio Liquide Gaz (L/G)

Ratio entre les débits massiques d'eau et d'air

La chaleur retirée à l'eau doit être égal à celle rejetée à l'atmosphère

$$L (T1 - T2) = G (h2 - h1)$$

$$L/G = (h2 - h1) / (T1 - T2)$$

T1 = temp eau chaude (°C)

T2 = temp eau froide (°C)

Enthalpie du mélange air vapeur d'eau à T humide entrée (h1)
et la sortie (h2)