

## Fiche explicative détaillée #4

### Systèmes de refroidissement

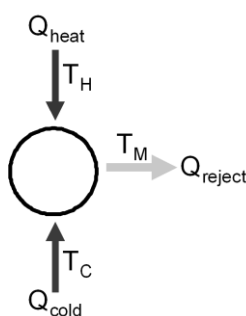
#### 1 Objet et limites du document

Ce document est intimement lié au CCTP type (cahier des clauses techniques particulières), spécifique aux systèmes de climatisation et de chauffage solaire, qui a été réalisé dans le cadre du projet de recherche et développement MeGaPICS (projet ANR). Cette fiche fait partie du livrable MeGaPICS L32 « Fiche détail CCTP ».

Cette fiche technique a pour objectif de présenter les différentes solutions techniques envisageables permettant d'évacuer la chaleur produite à l'absorbeur et au condenseur de la machine à sorption, de souligner leurs avantages et leurs inconvénients, puis dans un deuxième temps, d'expliquer quelles sont les répercussions du choix de tel ou tel système sur le CCTP type.

***Il ne sera décrit ici que les caractéristiques générales communes à chaque système envisagé. Néanmoins, chaque élément le constituant est régi par ses propres caractéristiques et possède son propre comportement, il faudra donc dans tous les cas se référer à la documentation technique du fabricant de chaque élément pour dimensionner le système complet de climatisation et chauffage solaire, et pour rédiger le CCTP du projet.***

#### 2 Généralités



La figure ci-contre schématise les transferts d'énergie qui se déroulent au sein d'une machine à sorption. Elle montre que chaque procédé de climatisation solaire opère à trois niveaux de température différents: en injectant la chaleur  $Q_{heat}$  à la température  $T_H$  dans le processus, on retire de la chaleur du côté de la basse température  $T_C$  en créant donc le 'froid'  $Q_{cold}$ . La chaleur  $Q_{heat}$  peut être fournie par un ensemble de capteurs solaires, seuls ou associés à une production de chaleur auxiliaire. Ces deux quantités de chaleur doivent donc être ensuite rejetées du système ( $Q_{reject}$ ) à la température moyenne  $T_M$ .

Alors que dans un processus ouvert la chaleur est rejetée dans le flux d'air extrait, les cycles fermés à eau glacée ont besoin d'un circuit de refroidissement spécifique.

Actuellement un intérêt particulier est porté sur les circuits de refroidissement au sein du système, car ils sont responsables d'une part importante de la consommation électrique de celui-ci. D'autre part les performances de la machine à sorption sont étroitement liées à la qualité de refroidissement du système.

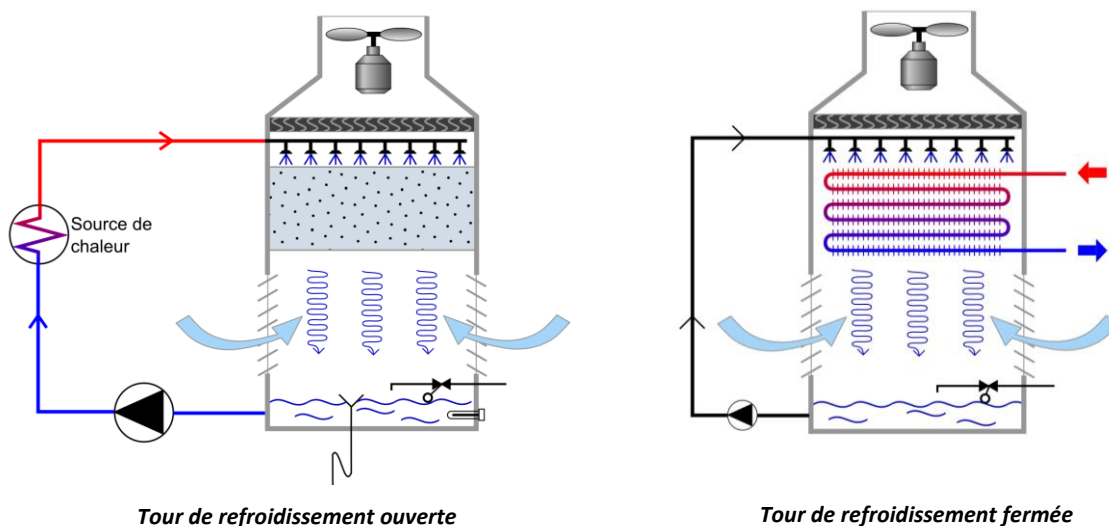
En principe, différents systèmes de refroidissement sont envisageables et vont être décrits plus bas.

### 3 Solutions techniques envisageables

#### 3.1 Refroidissement humide à cycle ouvert ou fermé

##### 3.1.1 Principe

La technologie de refroidissement la plus répandue pour les groupes froids thermiques est le refroidissement humide, à l'aide de tours de refroidissement ouvertes. La figure ci-dessous, illustre le principe d'une tour de refroidissement ouverte: l'eau du circuit de refroidissement est envoyée en spray au sommet de la tour sur la zone d'échange (matériau de garnissage). Le principal effet de refroidissement est obtenu par évaporation d'un faible pourcentage d'eau (typiquement <5%) ; cette perte doit être compensée par l'ajout d'eau neuve du réseau. L'eau refroidie retourne dans le circuit. Un ventilateur (horizontal en sommet de tour pour les modèles hélicoïdaux ou en partie basse de la tour pour les modèles centrifuges) extrait l'air saturé pour assurer que l'évaporation continue. Cette technologie est très efficace dans les climats appropriés (dotés d'une hygrométrie raisonnable, soit moins de 80% en moyenne) et, en principe la température limite de retour de l'eau refroidie est proche de la température de bulbe humide de l'air (3°C à 5°C au-dessus de la température humide).



Le principe des tours de refroidissement fermées est très similaire, à ceci près que l'eau évaporée lors du procédé de refroidissement est différente de l'eau circulant dans le circuit de refroidissement. La figure ci-dessus illustre son principe.

Dans les climats secs, la vitesse des ventilateurs doit souvent être diminuée pour ne pas descendre en dessous de la température minimum acceptée par le groupe froid (souvent 24°C pour les systèmes à absorption), Alors que dans des climats très humides la température de bulbe humide de l'air est souvent élevée.

Dans certains pays, il existe une législation sur l'installation de tours humides pour des raisons hygiéniques. Dans le but de limiter les développements de bactéries type légionelles, des traitements de l'eau de refroidissement doivent être nécessaires. En France, les traitements de l'eau sont obligatoires [Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006 – Traitements pour la gestion du risque de prolifération des légionelles dans les installations de refroidissement : [www.ecologie.gouv.fr/-Legionellose-.html](http://www.ecologie.gouv.fr/-Legionellose-.html)] et le contrôle de la qualité de l'eau de refroidissement est régi par un arrêté ministériel (13/12/2004). L'installation doit être déclarée quelque soit sa puissance

(0 à 2 MW) et il est obligatoire de maintenir le taux de légionelle inférieur à 1 000 UFC/l (unités formant colonie).

### 3.1.2 Avantages et inconvénients

#### Avantages

- Efficacité
- Maturité technique
- Prix (prix faible surtout pour les tours ouvertes)
- Faible consommation en électricité

#### Inconvénients

- Consommation d'eau (environ 5 litres/kWh froid)
- Législation très stricte visant à lutter contre les légionelles (traitement et contrôle régulier de la qualité de l'eau sont obligatoires)

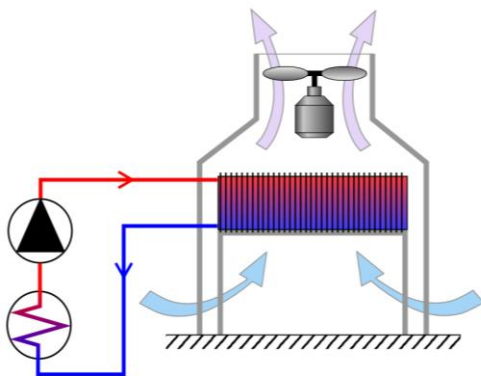
### 3.1.3 Modifications à apporter dans le CCTP

Etant donné que le système de refroidissement le plus utilisé à l'heure actuelle est le système de refroidissement humide à cycle ouvert, c'est ce système qui a été pris comme référence lors de la rédaction du CCTP type.

Si cette technique est utilisée, il faudra toutefois veiller à ce que les matériels d'ajout et de traitement d'eau neuve du réseau soient correctement détaillés dans le CCTP.

## 3.2 Refroidissement sec sans évaporation

### 3.2.1 Principe



Pour éviter les problèmes de risques de prolifération de légionelles, et donc d'éviter l'application d'une législation lourde, un autre moyen de refroidissement est possible : les systèmes de refroidissements sec sans évaporation (aérorefroidisseur), également appelés « drycoolers ». Dans ce cas, l'eau du circuit de refroidissement passe par un échangeur air/eau. L'air frais extérieur mis en circulation par des ventilateurs assure le refroidissement de l'eau. La température de retour de l'eau est alors de quelques degrés plus élevée

que la température de l'air ambiant. L'efficacité de ce dispositif est fortement dépendante de la température ambiante et celle-ci doit être impérativement significativement inférieure à la température de condensation de la machine à sorption.

Les performances de ce système sont donc moins élevées que celle des tours de refroidissement humides, et la consommation en électricité est plus importante, mais ce système permet de s'affranchir des traitements et du contrôle régulier de l'eau, et des coûts qui lui sont associés.

### 3.2.2 Avantages et inconvénients

#### Avantages

- Pas de consommation d'eau
- Pas de traitement ni de contrôle de l'eau

- Simple à mettre en œuvre (pas de circuit d'alimentation d'eau de réseau à mettre en place)

**Inconvénients**

- Consommations électriques élevées
- Efficacité moins élevée
- Impossibilité de tenir une consigne de refroidissement lorsque la température extérieure est trop élevée

### **3.2.3 Modifications à apporter dans le CCTP**

Si cette option est choisie, il faudra :

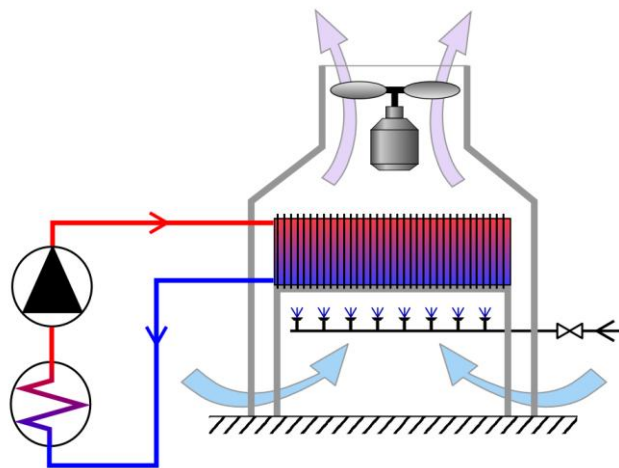
- Supprimer toutes les références à un traitement bactériologique de l'eau, ou un adoucisseur spécialement destiné au système de refroidissement
- Supprimer toutes les références à un circuit d'alimentation en eau neuve alimentant le système de refroidissement
- Supprimer les références au matériel de comptage de l'eau utilisée dans le système de refroidissement
- Selon les caractéristiques du matériel utilisé, il faudra ajouter les éléments nécessaires (métrologie, etc.) pour réguler la vitesse de rotation des ventilateurs du drycooler pour permettre une réduction des consommations électriques du système
- Prévoir une stratégie de secours en cas de température ambiante élevée (neutralisation du système solaire, refroidissement d'appoint)

### 3.3 Refroidissement hybride

#### 3.3.1 Principe

Une autre solution de refroidissement se situe entre la tour de refroidissement humide et le refroidisseur sec. Les systèmes hybrides mélangent ces deux technologies : Durant les périodes relativement fraîches que sont les intersaisons, le système fonctionne comme un simple drycooler, puis en été lorsque la température ambiante est trop élevée pour avoir un niveau de température du fluide de refroidissement suffisamment faible, le système passe alors en mode évaporatif similaire à une tour humide. Ce système peut, par exemple, être mis en place en ajoutant une rampe de spray d'eau en direction de l'échangeur air/eau d'un drycooler.

La combinaison de ces deux modes permet de réaliser des économies d'eau tout au long de l'année et de limiter les risques de bactéries. De plus, un niveau correct de la température retour de l'eau du circuit de refroidissement est toujours possible, même pendant les jours très chauds d'été.



#### 3.3.2 Avantages et inconvénients

##### Avantages

- Faible consommation en eau
- Risque de développement des légionelles quasi-inexistant (utilisation d'eau du réseau sans recirculation - eau perdue)
- Niveau de température assuré même lors de fortes chaleurs estivales

##### Inconvénients

- Consommation en électricité toujours importante
- N'est pas affranchi de la réglementation anti-légionelles (traitement et contrôle régulier de la qualité de l'eau sont obligatoires)

#### 3.3.3 Modifications à apporter dans le CCTP

L'installation et l'intégration de ce moyen de refroidissement dans le système de climatisation/chauffage solaire sont sur le principe très similaire à ceux du refroidissement humide. Il n'y a donc pas de changement majeur à effectuer dans le CCTP lors de sa rédaction.

Il faudra néanmoins :

- Veiller à ce que les matériels d'ajout et de traitement d'eau neuve du réseau soient correctement détaillés dans le CCTP. Il faut que l'eau utilisée au niveau des buses d'aspersion soient préalablement adoucie si l'eau du réseau présente une certaine dureté

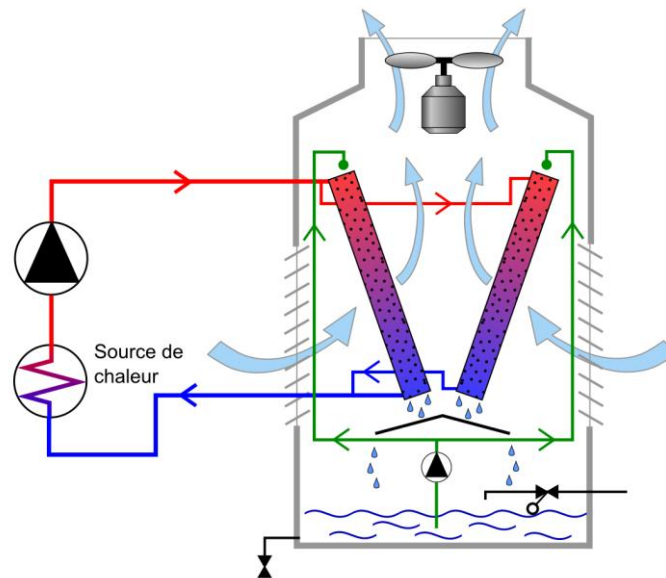
- Selon les caractéristiques du matériel utilisé, il faudra ajouter les éléments nécessaires (météologie, etc.) pour réguler la vitesse de rotation des ventilateurs du refroidisseur pour permettre une réduction des consommations électriques du système

### 3.4 Refroidisseurs adiabatiques

#### 3.4.1 Principe

Les refroidisseurs adiabatiques sont des échangeurs de chaleur. Les calories sont rejetées en sec à l'atmosphère. Dès que les conditions climatiques augmentent, cet échangeur utilise l'évaporation de l'eau. Ainsi, en toute sécurité et sans traitement d'eau, il dissipe les calories en maintenant une température d'eau froide inférieure à celle de l'air ambiant.

Ce refroidisseur adiabatique résulte de l'association d'un aéroréfrigérant sec et d'une section de prérefroidissement adiabatique : cette section de pré-refroidissement a pour rôle d'abaisser la température de l'air ambiant par évaporation d'eau sur un média conçu spécifiquement pour cet usage. La différence fondamentale de ce dispositif avec le refroidisseur hybride est qu'il garanti l'impossibilité de relargage dans l'air ambiant d'eau sous forme d'aérosols (eau liquide).



#### Mode sec :

- Le fluide est refroidi dans la batterie sèche qui est traversée par l'air ambiant. Cet air est entraîné par les ventilateurs. Le média à l'entrée est sec.
- La ventilation est régulée en fonction de la charge thermique afin de maintenir constante la température de sortie du fluide.
- L'air est ensuite évacué vers le haut.

#### Mode adiabatique :

- Lorsque le refroidissement en mode sec devient insuffisant, le média est humidifié.
- L'air ambiant traversant le média se refroidit par évaporation.
- L'air ainsi pré-refroidi traverse ensuite la batterie pour refroidir le fluide.
- L'eau d'humidification excédentaire est collectée dans un bac en acier inox, puis évacuée. Elle peut, en option, être recyclée et venir en complément de l'alimentation en eau. L'économie d'eau est alors majeure, sans risque légionelle.

### **3.4.2 Avantages et inconvénients**

#### **Avantages**

- Efficacité
- Niveau de température du retour de l'eau de refroidissement faible toujours assuré
- Consommation d'eau très faible
- N'est pas soumis à la législation visant à lutter contre les légionnelles (Pas de traitement ni de contrôle de l'eau)
- Faible consommation en électricité

#### **Inconvénients**

- Investissement très important
- Poids et encombrement importants
- Peu (ou pas) de petites puissances disponibles sur le marché

### **3.4.3 Modifications à apporter dans le CCTP**

L'installation et l'intégration de ce moyen de refroidissement dans le système de climatisation/chauffage solaire sont sur le principe très similaire à ceux du refroidissement humide. Il n'y a donc pas de changement majeur à effectuer dans le CCTP lors de sa rédaction.

Il faudra néanmoins :

- Eventuellement supprimer toutes les références à un traitement bactériologique de l'eau, ou un adoucisseur spécialement destiné au système de refroidissement (non nécessaire pour ces systèmes)
- Veiller à mentionner que, de part son poids important, cette solution de refroidissement nécessite un système de répartition de charges efficace (type caillebotis maille par exemple) s'il est installé en toiture ou sur une surface ne tolérant pas les charges importantes.

## 3.5 Refroidissement par géothermie

### 3.5.1 Principe

On distingue trois types de géothermie :

- la géothermie peu profonde à basse température ;
- la géothermie profonde à haute température ;
- la géothermie très profonde à très haute température.

C'est le premier type de géothermie (peu profonde, à basse température) qui est exploité pour une utilisation dans un procédé de climatisation et chauffage solaire (les deux autres types de géothermie sont réservés à d'autres applications comme par exemple la production d'électricité). L'idée est d'utiliser l'inertie du sol, et non pas de récupérer de la chaleur. En effet, en dessous de 4,50 m, la température du sol est constante tout au long de l'année avec une température moyenne de 12°C.

Parmi ce type de géothermie, deux techniques majeures existent :

- les sondes géothermiques verticales
- les champs géothermiques horizontaux



*Sondes verticales*



*Champ horizontal*

Les sondes verticales ont une emprise au sol bien moins importante que les champs horizontaux, cependant ils doivent descendre à des profondeurs bien plus grandes (80 à 100 mètres environ, contre environ 1 à 2 mètres pour le champ horizontal).

Les travaux pour mettre en place ce genre de système seront donc lourds, et nécessiteront soit l'intervention d'un foreur pour les sondes verticales, soit l'intervention d'entreprises de terrassement pour les champs horizontaux.

### 3.5.2 Avantages et inconvénients

#### Avantages

- Pas de consommation en électricité autre que la pompe du circuit de refroidissement
- Pas de consommation d'eau (donc pas de problème de législation anti légionelles)
- Aucune pollution sonore
- Très peu de maintenance
- Bonne efficacité si le champ est bien dimensionné
- Possibilité d'un stockage inter-saisonnier (récupération de la chaleur injectée en été pour chauffer l'hiver → certaines machines à sorption sont dotées d'un mode "pompe à chaleur")

#### Inconvénients

- Investissement très important (ordre de grandeur : 50 euros/mètre linéaire pour un champ de sondes verticales, hors matériel hydraulique (pompe, vase, etc.))



- S'il n'est pas dimensionné avec une certaine marge, le champ a tendance à saturer (légère baisse des performances) en fin de saison de chauffage ou de climatisation
- Emprise au sol importante dans le cas du champ horizontal
- nécessité de très bien connaître la nature géologique du sol pour dimensionner les sondes au plus juste

### **3.5.3 Modifications à apporter dans le CCTP**

Si cette option est choisie, lors de la rédaction du CCTP il faudra :

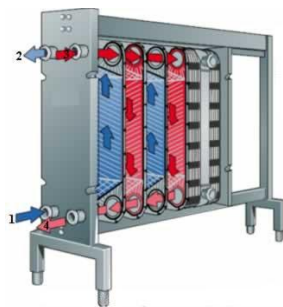
- Supprimer toutes les références à un traitement bactériologique de l'eau, ou un adoucisseur spécialement destiné au système de refroidissement
- Supprimer toutes les références à un circuit d'alimentation en eau neuve alimentant le système de refroidissement
- Supprimer les références au matériel de comptage de l'eau utilisée dans le système de refroidissement
- Supprimer les références d'une quelconque arrivée d'électricité, ou régulation dans le circuit de refroidissement (autre que la pompe du circuit)
- Préciser avec le plus de détail possible le dimensionnement exact et toutes les caractéristiques du champ géothermique (longueur, profondeur, emprise au sol, espacement nécessaire entre tubes/sondes, matériaux utilisés, etc.)
- On pourra éventuellement envisager l'ajout d'une ou plusieurs sondes de températures dans le but de suivre la température du sol dans le temps à différents endroits du champ géothermique
- Faire référence à une étude de sol sérieuse et suffisamment poussée dans le cas de sondes verticales

### 3.6 Refroidissement par l'eau de nappe, de la mer, des rivières, ou des sources

#### 3.6.1 Principe

Le principe de cette solution de refroidissement est d'utiliser une grande réserve d'eau à température quasi-constante pour refroidir le procédé. L'eau utilisée est ensuite rejetée à une température plus élevée.

L'énergie du circuit de refroidissement du procédé est transmise à l'eau de pompage via un échangeur. Parmi les différents échangeurs disponibles (échangeurs tubulaires, échangeurs à spirale, etc.) les plus adaptés à cette application sont les échangeurs à plaques qui allient performance, compacité, fiabilité, et facilité d'entretien.



Principe d'un échangeur à plaques



photo d'un échangeur à plaques

Le réglage de la température retour dans le circuit de refroidissement peut se régler très finement en faisant varier de débit de l'eau pompée grâce à une pompe à débit variable ou vanne 3 voies du côté du circuit de pompage.

Cependant, ce type de refroidissement par eau de rivière ou de mer n'est possible que pour un nombre limité de site (littoral, etc.), de plus il est souvent réservé aux grandes puissances pour des raisons financières.

De plus, l'autorisation pour rejeter de la chaleur dans la mer ou les rivières est souvent difficile à obtenir et il est limité en termes de débit (se rapprocher de l'agence de l'eau locale pour connaître le classement du cours d'eau concerné). Et l'utilisation d'eau de forage seulement pour refroidir un procédé est légalement interdit, il faut alors stocker cette eau et la réutiliser pour une autre utilisation (arrosage par exemple).

#### 3.6.2 Avantages et inconvénients

##### Avantages

- Réglage très fin du niveau de température du retour de l'eau de refroidissement
- Très bonne efficacité permettant un COP électrique du système solaire très élevé (faible consommation électrique pour le refroidissement et performances élevées de la machine à sorption)
- Faible consommation électrique (seulement 2 pompes)
- Simplicité

##### Inconvénients

- Très souvent soumis à de fortes contraintes réglementaires

- Utilisation d'un grand volume d'eau (même si c'est de l'eau gratuite considérée comme non potable)

### **3.6.3 Modifications à apporter dans le CCTP**

Si cette option est choisie, lors de la rédaction du CCTP il faudra :

- Supprimer toutes les références à un traitement bactériologique de l'eau, ou un adoucisseur spécialement destiné au système de refroidissement
- Supprimer toutes les références à un circuit d'alimentation en eau neuve du réseau alimentant le système de refroidissement
- Faire figurer dans le CCTP l'utilisation d'un échangeur à plaques au niveau du circuit de refroidissement.
- Un nouveau circuit doit être ajouté : le circuit de pompage. Ce circuit devra comporter des canalisations adaptées, une pompe à débit variable, ou une pompe à débit fixe couplée à une vanne trois voies, le matériel de métrologie nécessaire à la régulation et au suivi de ce circuit, un filtre destiné à clarifier l'eau avant qu'elle ne pénètre dans l'échangeur, et tous les autres matériels d'hydraulique nécessaire (vannes, vannes de réglage, clapet anti-retours, etc.)
- Le cheminement des canalisations entre l'installation de climatisation/chauffage solaire et le point de pompage (rivière, mer, point de forage, source, etc.) devra également être étudié avec attention.
- Dans le cas d'un forage ou d'une source, il faudra prévoir une solution pour revaloriser l'eau utilisée durant le procédé : cuve de stockage servant à l'arrosage par exemple. En effet, il est interdit en France d'utiliser de l'eau perdue pour le refroidissement thermique d'un procédé sauf dérogation (l'arrosage en eau perdue contrevient aux prescriptions des arrêtés ministériels du 13 décembre 2004 qui imposent notamment que toutes dispositions doivent être prises pour limiter la consommation d'eau)
- Indiquer les sources réglementaires prouvant l'autorisation d'utiliser cette énergie (classement cours d'eau par exemple)

### 3.7 Récupération de l'énergie pour chauffage d'un système de faible niveau de température (piscine, préchauffage ECS, procédé industriel)

#### 3.7.1 Principe

Plutôt que de rejeter la chaleur vers le milieu extérieur, cette solution de refroidissement du système de climatisation solaire vise à réutiliser cette "énergie fatale" pour d'autres applications.

En effet, certaines applications ont besoin d'énergie mais à un faible niveau de température. Typiquement c'est l'exemple du chauffage de piscine, où l'objectif est de chauffer l'eau de la piscine jusqu'à environ 28°C maximum.

D'autres applications ou procédés industriels dans lesquelles un besoin d'énergie à faible température est présent peuvent être envisagés. C'est le cas par exemple pour le préchauffage de l'ECS.



Souvent l'énergie est transmise du système de climatisation solaire au système récupérant l'énergie via un échangeur de chaleur à plaque.

Pour ce type de refroidissement il faudra néanmoins prévoir un système complémentaire pour refroidir le système de climatisation solaire lorsque l'autre système récupérant l'énergie n'en a plus besoin (lorsqu'il a atteint son niveau maximum de température par exemple).

#### 3.7.2 Avantages et inconvénients

##### Avantages

- Pas de perte d'énergie, car l'énergie qui doit être évacuée du système de climatisation solaire est réutilisée par ailleurs. Donc baisse des consommations énergétiques globales du bâtiment
- Faible consommation électrique (seulement pompes)
- Pas de consommation d'eau

##### Inconvénients

- N'est possible que pour des cas particuliers (présence d'une piscine de taille significative et dont le chauffage est plein été n'est pas préjudiciable, ECS compatible avec un système de préchauffage, etc.)
- Nécessite quand même l'installation d'un autre système de refroidissement "classique" de secours (décrits plus haut dans cette fiche), avec les avantages et inconvénients lui étant associés.

#### 3.7.3 Modifications à apporter dans le CCTP

Si cette option est choisie, lors de la rédaction du CCTP il faudra :

- Supprimer toutes les références à un traitement bactériologique de l'eau, ou un adoucisseur spécialement destiné au système de refroidissement
- Supprimer toutes les références à un circuit d'alimentation en eau neuve du réseau alimentant le système de refroidissement
- Faire figurer dans le CCTP l'utilisation d'un échangeur à plaques au niveau du circuit de refroidissement.

- Toutes les modifications à apporter au système récupérant la chaleur doivent être détaillées lors de la rédaction du CCTP.
- Le système de refroidissement de secours doit également être détaillé dans le CCTP avec tous les éléments (hydraulique, métrologie) nécessaire à son fonctionnement. (PS : Si une tour de refroidissement humide est choisie pour le système de secours, il faudra alors toujours décrire le circuit d'alimentation en eau et son matériel de traitement)