

Fiche explicative détaillée #5

Régulation

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 ». Ce document s'appuie, entre autre, sur les livrables des projets de recherche internationaux Tache 38 et Tache 25 de l'AIE.

Cette fiche technique synthétique a pour objectif de présenter une stratégie de régulation possible lorsqu'un système de climatisation solaire par sorption est envisagé. Cette fiche envisagera ensuite quelques cas particuliers en fonction de la position des appoints. Néanmoins chaque système est unique et utilise des matériels de différentes caractéristiques, la régulation choisie lors de la rédaction du CCTP devra donc s'inspirer de ce qui est proposé ici mais devra être adaptée au système retenu.

Il ne sera décrit ici que les caractéristiques générales communes à la plupart des systèmes envisagés. Néanmoins, chaque élément constituant un système 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 régler au mieux la régulation du système complet de climatisation et chauffage solaire, et pour rédiger le CCTP du projet.

2 Généralités

Seule une petite gamme de machine à sorption est disponible sur le marché, ainsi le dimensionnement du système doit absolument prendre en compte cette contrainte.

Les performances de la machine sont étroitement liées aux niveaux de températures (au générateur, à l'évaporateur, et au condenseur), et également aux autres éléments du système. La capacité de la machine à sorption doit être adaptée autant que possible au profil de charge du bâtiment, et devra être dimensionnée en fonction des pics de charge, mais également en fonction des besoins en froid moyens dans le bâtiment. En effet, le fonctionnement en courts cycles doit autant que possible être évité, car il entraîne une production en froid du système beaucoup plus faible voire inexistante.

La production de froid est lié à l'irradiation solaire reçue, pour les systèmes autonomes dotés d'un ballon tampon, la production de froid se déroule généralement de 11h à 18h.

Les machines à sorption sont dotées de 3 échangeurs de chaleur (générateur, évaporateur, condenseur + absorbeur). Chacun d'entre eux ont été conçus pour un certain débit, ainsi la qualité des transferts de chaleur à l'intérieur de la machine est liée à ces débits. En conséquence, dans la plupart des cas, des débits fixes doivent être programmés pour ces boucles, l'intérêt de pompes à débit variable dans ces circuits est donc limité.

La régulation des installations de climatisation et chauffage solaire joue un rôle très important pour la stratégie globale de gestion de l'énergie, dans le but de minimiser l'énergie consommée ainsi que les coûts tout en maintenant le niveau requis de confort à l'intérieur du bâtiment.

La régulation d'un système de climatisation solaire dépend très fortement de sa configuration et de son application. Le dimensionnement d'un système de climatisation solaire, tout comme le dimensionnement de n'importe quel système de CVC (Chauffage Ventilation et Climatisation), est un compromis entre les coûts d'investissements, les coûts d'exploitation (maintenance et coûts de l'énergie primaire), et du confort de l'occupant. La régulation d'un système de climatisation solaire influe largement sur les coûts d'exploitations et sur le niveau de confort. En général les objectifs de la régulation sont :

- Rendre le système autonome
- Minimiser les coûts d'exploitation (coûts de l'énergie primaire)
- Maximiser le confort de l'occupant
- Atteindre un haut niveau de sécurité
- Détecter les défauts et les corriger

Les systèmes de CVC dans les bâtiments sont habituellement contrôlés grâce à une régulation structurée à deux niveaux. Le premier niveau de contrôle supervise les opérations, spécifie les consignes et les modes d'opérations dépendant du temps. Le second niveau de contrôle tente d'atteindre la consigne à l'aide d'un actionneur. Cette fiche technique se concentre sur le premier de ces deux niveaux de contrôle.

Les principaux objectifs de la régulation des systèmes de climatisation solaire sont :

- Eviter les dysfonctionnements d'une part du système dans sa globalité, mais aussi de chaque élément technique le composant pour assurer un bon fonctionnement de l'ensemble de l'installation
- Satisfaire les charges de climatisation (c'est-à-dire garantir un certain confort thermique au sein du bâtiment en termes de température et d'humidité relative)
- Minimiser la consommation d'énergie primaire par kilowattheure froid produit. C'est-à-dire faire fonctionner tous les éléments consommateur en énergie du système (pompes, ventilateurs, capteurs solaires, machine à sorption, etc.) à leur point optimal de fonctionnement (le moins consommateur en énergie) et utiliser au maximum l'énergie du soleil comme la principale énergie motrice du système thermique.

3 Régulation d'un système de froid solaire à sorption

3.1 Principes de bases

Dans la plupart des applications des systèmes de climatisation solaire, la température de l'eau glacée doit être maintenue constante. Le niveau de température désiré de l'eau glacée dépend du système de distribution qui est employé. Plusieurs systèmes de distribution existent. Les plus courants sont les ventilo-convecteurs, les plafonds rafraichissants ou les panneaux muraux, ou encore le refroidissement par la dalle (slab cooling). Les ventilo-convecteurs fonctionnent habituellement avec une température d'entrée voisine de 6 - 8°C., les plafonds rafraichissants fonctionnent avec des températures d'entrées d'environ 15 – 16 °C, et le refroidissement par dalle peut fonctionner avec une température d'entrée pouvant aller jusqu'à 20°C. Une température d'entrée fixée est habituellement requise pour chaque système de distribution. Pour les ventilo-convecteurs, la température doit être plus faible que la température du point de rosée de l'air pour assurer une

déshumidification suffisante de l'air. Pour les plafonds rafraichissants la température doit être supérieure à ce point de rosée pour éviter tout phénomène de condensation sur les panneaux.

La détermination d'une stratégie de régulation dépend du schéma hydraulique de l'installation générale de climatisation solaire et des éléments techniques le composant. Dans ce document, il sera exposé la stratégie générale de régulation du système, puis trois cas particuliers seront développés plus en détail :

- Les systèmes thermiques autonomes de rafraichissement solaires sans appoint
- Les systèmes avec appoint chaud
- Les systèmes avec appoint froid

A l'heure actuelle, les refroidisseurs thermiques disponibles sur le marché et qui sont les plus utilisés pour les applications de climatisation solaire sont les machines à absorption et les machines à adsorption. Ces deux types de machines produisent de l'eau glacée, mais elles utilisent des matériaux de sorption différents, qui sont régis par des caractéristiques physiques différentes.

Dans les machines à absorption, le fluide absorbant a la faculté de circuler entre l'absorbeur et le désorbeur, en conséquence cette machine fonctionne en continu.

En revanche, dans les machines à adsorption, l'adsorbant solide doit être alternativement refroidi et chauffé pour être capable d'adsorber et de désorber de réfrigérant, l'opération est donc intrinsèquement cyclique dans le temps. Cet effet oscillatoire concerne les trois circuits connectés à la machine à adsorption (générateur, évaporateur, et absorbeur+condenseur). De ce fait, il faut que ces températures oscillatoires dans les circuits hydrauliques doivent être acceptées et respectées par la régulation du système. Ainsi, il est fortement conseillé d'intégrer suffisamment de stockage tampon dans le système général pour éviter tout dysfonctionnement de l'installation et de la régulation.

3.2 Stratégie générale de régulation

La régulation d'un système de climatisation/chauffage solaire est forcément liée à sa configuration et aux éléments le constituant. Néanmoins, elle est souvent décomposée en 4 étapes :

- Régulation du circuit primaire : La pompe du circuit solaire primaire, c'est-à-dire la pompe qui met en mouvement le fluide dans les capteurs solaires, est mise en marche lorsqu'une certaine différence de température entre la sortie des capteurs et le ballon est atteinte, ou bien lorsque l'ensoleillement dépasse une certaine valeur seuil.
- Régulation du circuit secondaire (le cas échéant) : Lorsque la température de sortie des capteurs dépasse la température du ballon de stockage, la pompe du circuit secondaire, c'est-à-dire la pompe entre l'échangeur et le ballon, est mise en marche et le ballon se charge jusqu'à atteindre la température de consigne pour le démarrage de la machine. Si pendant ce temps une demande en froid est déjà présente, la machine à sorption peut être mise en marche en utilisant un appoint chaud, ou bien directement l'appoint froid sans passer par la machine à sorption.
- Régulation de la machine à sorption : Une fois que la température minimum de consigne pour le démarrage de la machine est atteinte, la production de froid par la machine à sorption peut commencer. Selon la stratégie de régulation adoptée, la machine peut être en marche (démarrage machine précédant sensiblement le démarrage des pompes) ou arrêtée avant cet état, et elle peut également être maintenue à l'arrêt s'il n'y a pas de besoin en climatisation dans le bâtiment.
- Régulation des appoints :

Appoint chaud : Le système d'appoint est mis en fonctionnement si la température dans le ballon a dépassé la température de consigne mais n'est pas suffisamment élevée pour satisfaire les besoins en énergie de la machine nécessaires pour couvrir la demande en climatisation.

Appoint froid : Le système est régulé de manière « conventionnelle », c'est-à-dire en fonction de la température du fluide de départ vers le circuit de distribution, ou de retour vers l'appoint.

Pas d'appoint : Dans le cas particulier d'un système autonome sans appoint, deux stratégies peuvent être adoptées, et sont explicités dans le prochain paragraphe :

- ✓ Garder la température de l'eau glacée à un niveau constant mais à une capacité frigorifique de la machine réduite.
- ✓ Maximiser la capacité de refroidissement de la machine mais en fournissant une température d'eau glacée variable.

3.3 Systèmes autonomes : Pas d'appoints chaud ou froid

Comme déjà évoqué plus haut, deux stratégies de régulations sont possibles ici, en fonction de l'objectif de confort qui a été fixé. Dans les deux cas, la vanne située sur le circuit générateur est utilisée pour réguler la température de l'eau chaude dans le but de garder la température de sortie de l'évaporateur dans une certaine fourchette prédéfinie (par exemple à l'aide d'un capteur de température humide dans le but d'éviter la condensation sur les panneaux d'un plafond rafraichissant). Dans le cas où l'énergie apportée au générateur n'est pas suffisante pour satisfaire complètement les besoins en froid, cette vanne sera maintenu complètement ouverte dans le but d'envoyer le maximum de chaleur possible au générateur.

Le système de refroidissement et son circuit démarrent dès que la machine à sorption est mise en marche.

Les deux stratégies de régulation sont les suivantes :

- ✓ Garder la température de l'eau glacée constante à une capacité frigorifique de la machine réduite :

Si la température en haut du ballon n'est pas suffisante pour refroidir la totalité du volume d'eau passant à travers l'évaporateur (c'est-à-dire l'eau de retour du circuit eau glacée), une vanne peut être utilisée pour by-passer la charge. Cette vanne est utilisée pour mélanger la sortie de l'évaporateur et l'eau de retour de l'évaporateur, ainsi la température à l'entrée de l'évaporateur est plus faible que la température de retour de l'eau glacée. De ce fait, il est suffisant de faire fonctionner la machine à une capacité réduite pour refroidir l'eau glacée jusqu'à la température de consigne. A cause du plus faible débit relatif passant dans le sous-système de distribution, une partie de la charge ne pourra pas être couverte à cause de la réduction de la capacité frigorifique. Durant le mode de fonctionnement normal, pendant lequel la capacité frigorifique de la machine est suffisante pour satisfaire aux besoins de climatisation, la vanne du côté de l'évaporateur reste complètement ouverte, et la température de l'eau glacée est contrôlée par la vanne du côté du générateur.

Cette stratégie de régulation n'est adoptée que lorsque l'évacuation de la chaleur latente est plus importante que celui de la chaleur sensible.

- ✓ Maximiser la capacité de refroidissement de la machine mais en fournissant une température d'eau glacée variable :

S'il n'y a pas de contraintes très strictes vis-à-vis de la température de l'eau distribuée, par exemple pour la déshumidification, le contrôle précis de la température de l'eau glacée grâce

à la vanne du côté évaporateur n'est pas nécessaire, et cette dernière est maintenue complètement ouverte. Durant la phase de préchauffage du générateur et durant les pointes de demandes en froid, la température de l'eau glacée sortant de l'évaporateur risque d'être trop haute pour satisfaire aux besoins en climatisation. Si une vanne du côté de l'évaporateur a toutefois été installée, elle devra toujours rester grande ouverte. Même si les charges en climatisation ne peuvent pas être entièrement couvertes par cette stratégie, la température de l'eau glacée est plus élevée que pour la stratégie précédente, et la réduction de la capacité de la machine est donc plus faible. Cette stratégie convient bien par exemple aux plafonds ou planchers rafraichissants, ou autre systèmes de refroidissement silencieux.

Cette deuxième stratégie de régulation est fortement recommandée car elle permet de faire fonctionner la machine plus souvent à sa puissance nominale.

3.4 Système avec appoint chaud

On ne considèrera ici que le cas (le plus fréquent) où l'appoint est directement connecté au ballon de stockage chaud du système de climatisation solaire.

Grâce à la présence d'un système d'appoint thermique, la température de l'eau glacée peut toujours être contrôlée en modulant la température d'eau chaude envoyée dans le générateur. Ainsi la vanne du côté de l'évaporateur n'est pas nécessaire. Néanmoins, durant la phase de préchauffage, la température de l'eau glacée est souvent supérieure à la température de consigne. Si cela doit absolument être évité, cette vanne du côté de l'évaporateur est nécessaire. Dans ce cas, une partie de l'eau glacée sortant de l'évaporateur est renvoyée à son entrée ce qui permet à l'eau distribuée d'être à la température de consigne. Après la phase de préchauffage, la vanne sera gardée complètement ouverte.

Pour que les coefficients de transfert de chaleurs restent élevés au générateur, de nombreux fabricants de machine recommandent de garder le débit constant au générateur. Ainsi, la vanne de l'eau chaude est le principal élément de contrôle de la machine à sorption. Elle est active dès que la machine est active et contrôle la température de l'eau glacée en ajustant la température à l'entrée du générateur. Dans certains cas, un débit variable de l'eau chaude peut être utilisé, ce qui peut mener à des plus faibles températures de retour.

3.5 Système avec appoint froid

Deux principales configurations d'installations sont possibles dans le cas l'un appoint froid : L'installation d'un appoint froid en série au système de climatisation solaire, ou bien en parallèle.

- ✓ Lorsque le système d'appoint froid est monté en série au système de climatisation solaire, la stratégie de régulation est la suivante : L'eau du circuit de distribution revient d'abord vers le système solaire, ce dernier fonctionne à sa capacité maximale, et refroidit cette eau autant que possible (avec ou sans stockage froid). Cette eau de distribution pré-refroidie est ensuite envoyée dans l'appoint froid qui, si cela est nécessaire, va encore refroidir cette eau jusqu'à une certaine valeur de consigne. L'eau du circuit de distribution ainsi refroidie est ensuite distribuée dans le bâtiment.

Pour des raisons de simplicité, cette solution de mise en série de l'appoint sera conseillée.

- ✓ Lorsque le système d'appoint est installé en parallèle, un stockage froid doit également être installé, et la stratégie de contrôle est plus complexe. La principale valeur de contrôle est la température de l'eau dans le stockage froid qui doit correspondre à une température de consigne dépendant de la charge (supérieure ou inférieure à la température de rosée). Ainsi une vanne du côté de l'évaporateur de la machine est nécessaire pour contrôler la

température de l'eau glacée, lorsque la capacité de la machine n'est pas suffisante pour refroidir la totalité du flux d'eau jusqu'à la température de consigne. Néanmoins, cette vanne réduit le débit jusqu'à ce que la température de consigne soit atteinte. Cependant, lorsque la charge de climatisation est plus grande que la capacité de la machine à sorption, la température du stockage froid augmente et l'appoint est mis en marche. Une attention particulière est requise lorsque l'appoint est mis en marche avant la machine à sorption. Ce phénomène est possible le matin, lorsqu'un besoin en froid est présent avant que la température arrivant dans le générateur ne soit suffisante. Même lorsque le système solaire a démarré, l'appoint devra éventuellement rester en fonctionnement jusqu'à ce que l'eau glacée de la machine à sorption atteigne la température de consigne pendant une certaine période. Ceci est avantageux si la capacité de l'appoint peut être diminuée progressivement. Si cela n'est pas possible, le stockage froid devra être bien dimensionné pour éviter que le système solaire et l'appoint ne fonctionnent en court cycle.

4 Point sur la régulation en mode Chauffage

Lors du fonctionnement en mode chauffage, plusieurs possibilités sont possibles : Les deux possibilités les plus usuelles sont tout d'abord de by-passer complètement la machine à sorption et fonctionner en chauffage direct, ou bien d'utiliser la machine à sorption dans son mode de pompe à chaleur (non disponible pour toute les machines).

Si ce deuxième mode de fonctionnement est choisi, il faudra se référer à la documentation technique du fabricant pour adopter une régulation correcte.

La régulation d'un système de climatisation/chauffage solaire est forcément liée à sa configuration et aux éléments le constituant. Néanmoins, si le mode de chauffage direct est choisi (by-pass total de la machine à sorption), la régulation en mode chauffage se décompose souvent en 4 étapes :

- Régulation du circuit primaire : La pompe du circuit solaire primaire, c'est-à-dire la pompe qui met en mouvement le fluide dans les capteurs solaires, est mise en marche lorsqu'une certaine différence de température entre la sortie des capteurs et le ballon est atteinte, ou bien lorsque l'ensoleillement dépasse une certaine valeur seuil.
- Régulation du circuit secondaire (le cas échéant) : Lorsque la température de sortie des capteurs dépasse la température du ballon de stockage, la pompe du circuit secondaire, c'est-à-dire la pompe entre l'échangeur et le ballon, est mise en marche et le ballon se charge jusqu'à atteindre la température de consigne. Si pendant ce temps une demande en chauffage est déjà présente, il est possible de fournir de la chaleur au bâtiment en faisant fonctionner l'appoint chaud.
- Régulation bypass machine à sorption et distribution : Une fois que la température minimum de consigne dans le ballon de stockage est atteinte, les pompes permettant le cheminement de la chaleur dans le circuit de distribution sont activées, ou bien, s'il n'y a pas de besoins de chauffage, la chaleur est alors stockée dans le ballon.
- Régulation appoint : Le système d'appoint est mis en fonctionnement si la température dans le ballon a dépassé la température de consigne mais n'est pas suffisamment élevée pour couvrir la demande en chauffage.