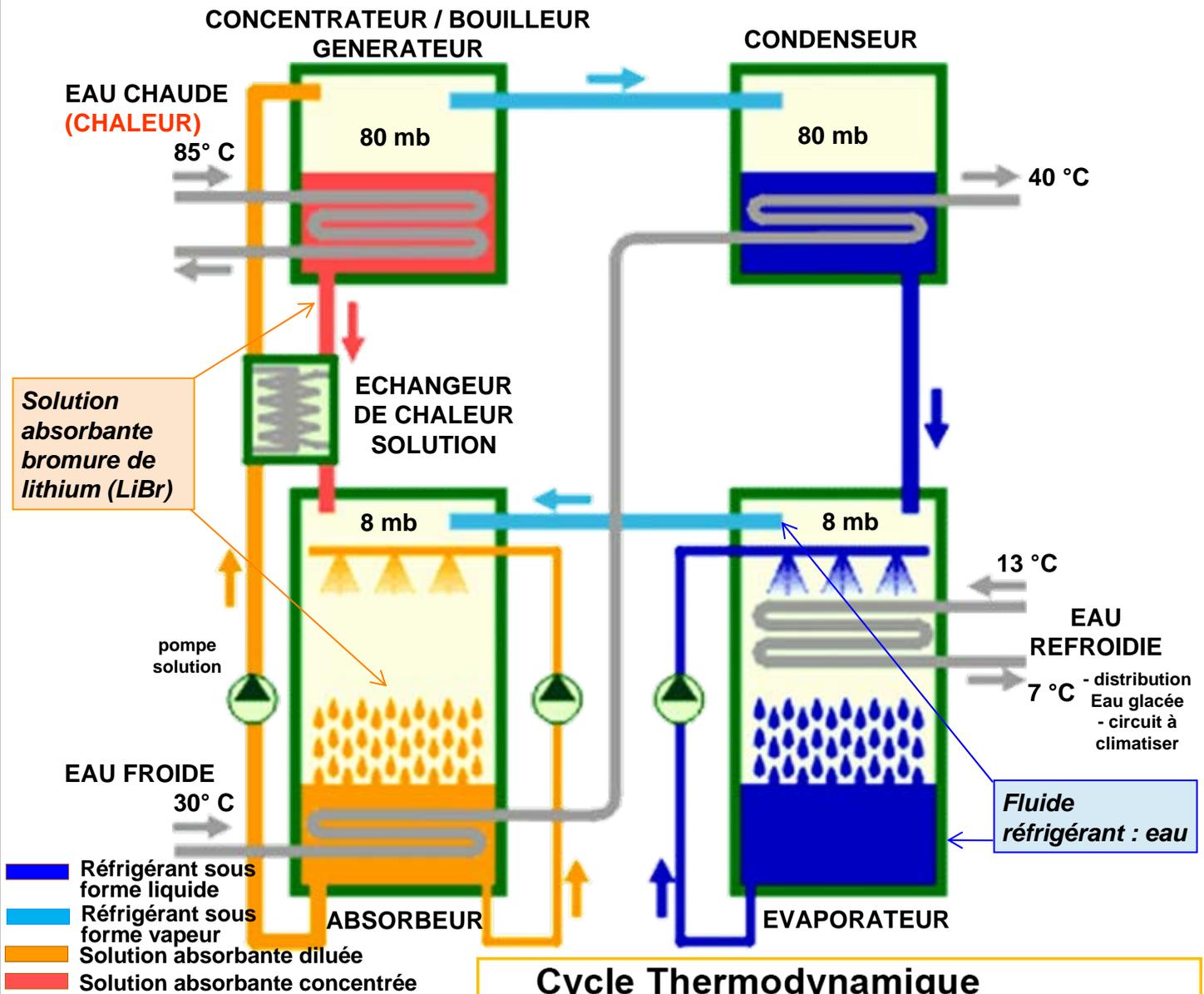


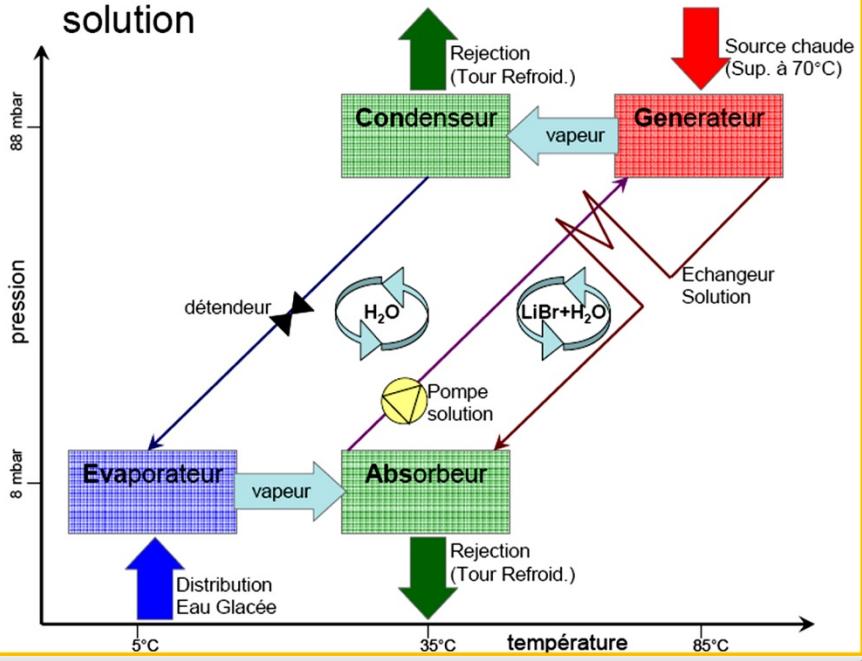
Machine frigorifique à ab/adsorption



Principe : pulvériser de l'eau en fines gouttelettes dans un récipient sous vide ; grâce à la basse pression, l'eau s'évapore ; pour cela elle a besoin d'une certaine quantité de chaleur qui est extraite de l'eau à rafraîchir, circulant dans un circuit à travers le récipient. Pour que le système puisse fonctionner et que le récipient sous vide ne se sature pas en vapeur d'eau, l'eau dispersée devant s'évaporer, il faut un moyen pour maintenir ou recréer le vide dans le récipient ! C'est là qu'intervient le sorbant. C'est soit un liquide, on parle alors d'absorbant, ou un solide poreux, on parle alors d'adsorbant qui "boit" la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, et la retient. Au fur et à mesure qu'il ab/adsorbe de la vapeur, sa capacité d'ab/adsorption diminue jusqu'à être nulle, à saturation. Le sorbant est alors chauffé à une certaine température "rendant" la vapeur d'eau et récupérant ainsi toute ses propriétés d'ab/adsorption.

Cycle Thermodynamique

Un cycle réfrigérant, un cycle solution





*Exemple d'**absorbant**.*

Dans les machines frigorifiques à absorption utilisées en climatisation, la substance absorbante est généralement le bromure de lithium (LiBr), le fluide réfrigérant, de l'eau. Ce type de machine permet de refroidir de l'eau jusque environ 5°C. La température de l'eau utilisée pour la régénération de l'absorbant doit être comprise entre 80 et 120°C.

*Exemple d'**adsorbant**.*

Le gel de silicium couplé avec de l'eau comme fluide réfrigérant. La température de l'eau utilisée pour la régénération de l'adsorbant doit être comprise entre 65 à 80 °C. Cette température plus basse est un avantage par rapport à la machine à absorption.

La machine à absorption : se divise en quatre composants principaux :

l'évaporateur,
l'absorbeur,
le concentrateur / bouilleur,
le condenseur.

1. Dans l'**évaporateur**, le réfrigérant (ici de l'eau) est pulvérisé dans une ambiance à très faible pression. L'évaporateur est parcouru par un circuit à eau. En s'évaporant, le réfrigérant soustrait sa chaleur à cette eau qui est ainsi refroidie.

Une partie du réfrigérant pulvérisé ne s'évapore pas et tombe dans le fond de l'évaporateur où elle est pompée pour être à nouveau pulvérisée.

2. La vapeur d'eau créée dans l'évaporateur est amenée à l'**absorbeur**. Il contient la solution absorbante (LiBr) qui est continuellement pompée dans le fond du récipient pour y être pulvérisée. Le LiBr absorbe la vapeur d'eau hors de l'évaporateur et y maintient ainsi la basse pression nécessaire à la vaporisation du réfrigérant. Au fur et à mesure qu'elle absorbe la vapeur d'eau, la solution absorbante est de plus en plus diluée. Elle finirait par être saturée et ne plus rien pouvoir absorber.

3. La solution est donc régénérée dans le **concentrateur / bouilleur**. Elle est réchauffée, par une batterie à eau chaude (environ 85°C) et une partie de l'eau s'évapore. La solution régénérée retourne à l'absorbeur. Enfin, la vapeur d'eau extraite du concentrateur / bouilleur est amenée dans le **condenseur**, où elle est refroidie par une circulation d'eau froide. L'eau condensée retourne à l'évaporateur.

Deux compléments au système augmentent son efficacité :

- *Une circulation d'eau froide dans l'absorbeur.*

Le phénomène d'absorption génère de la chaleur. La circulation d'eau froide dans le fluide absorbant évite sa montée en température, ce qui diminuerait son efficacité.

Remarque : l'eau de refroidissement de l'absorbeur peut ensuite passer dans la batterie de refroidissement du condenseur.

- *Un échangeur de chaleur sur le circuit du fluide absorbant.*

Le fluide chaud sortant du concentrateur qui retourne à l'absorbeur préchauffe le fluide qui va vers le concentrateur, économisant ainsi une partie de l'énergie nécessaire pour chauffer le fluide à régénérer.

La machine à adsorption

L'adsorbant étant solide, il est impossible de l'amener au fur et à mesure vers la source de chaleur pour être régénéré.

La machine fonctionne donc de manière cyclique. Deux récipients servent, tour à tour, d'adsorbent et de désorbent. Dans la première période, le premier adsorbent est utilisé pour la production de froid, tandis que l'autre est parcouru par l'eau chaude, et ainsi régénéré. Dans la seconde période, lorsque le premier adsorbent est saturé, il est remplacé par le second pour la production de froid, et est alors lui-même régénéré.

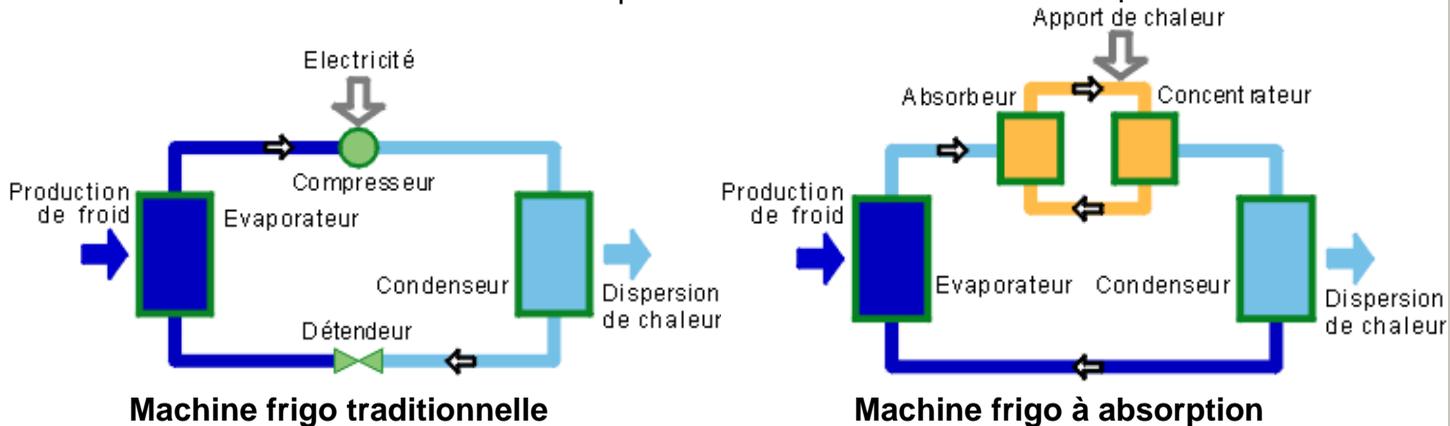
Analogie avec la machine frigorifique traditionnelle

Bien que la machine à ..sorption semble assez différente de la machine frigorifique traditionnelle, le principe de base de fonctionnement reste le même : circulation d'un fluide réfrigérant, évaporation du fluide avec production de froid, compression du fluide demandant un apport d'énergie, condensation du fluide avec production de chaleur. La différence réside dans :

Le moyen de comprimer le fluide : - mécanique dans le cas d'une machine traditionnelle,
- thermochimique dans le cas de la machine à sorption.

Le type d'énergie nécessaire à cette compression

- électrique dans le cas d'une machine traditionnelle,
- calorifique dans le cas de la machine à sorption.

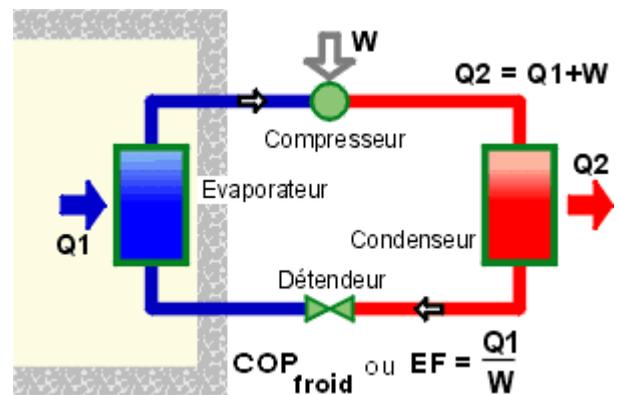


L'efficacité énergétique ou COP-froid

Une machine frigorifique est énergétiquement efficace si elle demande peu d'énergie pour fournir une puissance frigorifique donnée

On évalue son efficacité par le calcul du COP (coefficient de performance) : rapport entre la puissance frigorifique produite et la puissance fournie au compresseur.

Dans le cas d'une machine frigorifique traditionnelle, la puissance fournie est électrique. Le COP d'une telle machine peut atteindre la valeur de 3, voire plus. Dans le cas d'une machine frigorifique à absorption, le COP réel tourne autour de 0.7; celui d'une machine à adsorption varie entre 0.5 et 0.6.



Quel est alors l'intérêt d'une telle machine ?

Un premier avantage réside dans l'absence de compresseur mécanique, donc de vibrations et de bruits, qui impliquent à ces machines un entretien limité en leur conférant une grande longévité. Le second avantage vient de la possibilité de valoriser une énergie calorifique disponible et d'éviter ainsi la consommation électrique d'un compresseur.

Quelles sources de chaleur ?

La machine à ..sorption "fait du froid avec du chaud" !

Voici de quoi éveiller notre désir d'utiliser de la chaleur "gratuite" ! Ce n'est pas pour rien que ce type de machine est surtout répandue dans le secteur industriel parce que certains process libèrent une chaleur importante dont il est possible de tirer une puissance frigorifique utile par ailleurs.

Dans le secteur du bâtiment, on peut imaginer deux possibilités :

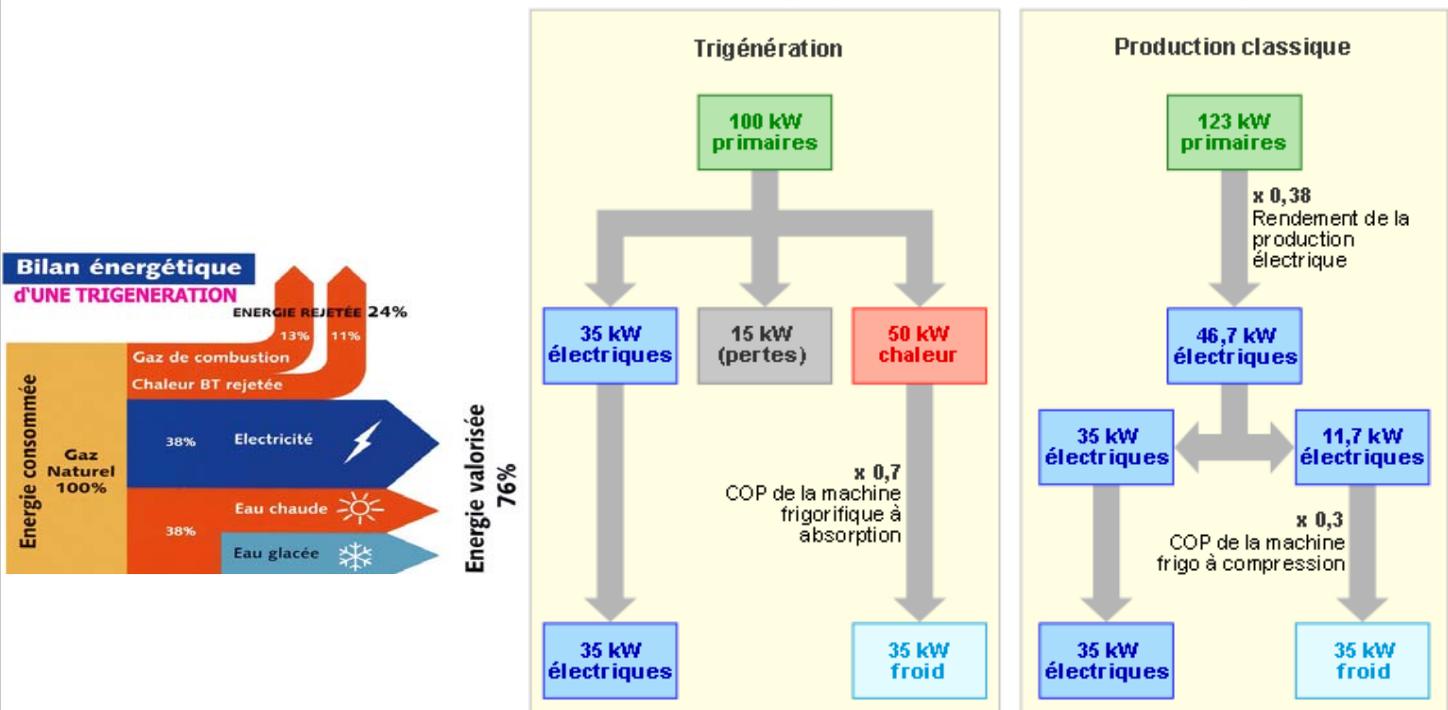
- la chaleur issue d'un cogénérateur
- la chaleur solaire

TRIGENERATION

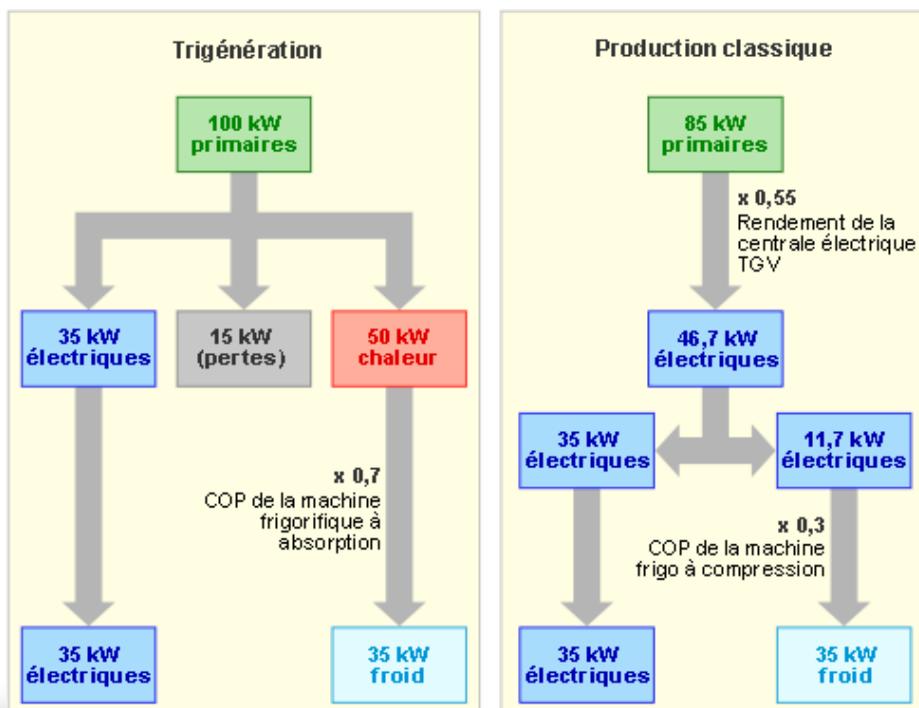
La cogénération permet de produire simultanément de l'énergie électrique et de la chaleur. La trigénération consiste à utiliser la chaleur disponible pour produire du froid lorsque la chaleur ne peut être valorisée pour le chauffage du bâtiment. Les machines frigorifiques à absorption sont alors utilisées. La rentabilité d'un tel système est difficile à évaluer, car elle dépend de nombreuses valeurs de rendement :

- rendement moyen de la production électrique en centrale,
- COP de la machine frigorifique à compression,
- rendement de la cogénération,
- COP de la machine frigorifique à sorption.

Dans le schéma ci-dessous, en prenant 38 % comme rendement moyen de production électrique en centrale, le bilan au niveau de la consommation d'énergie primaire est favorable à la trigénération.



Par contre, dans ce deuxième schéma ci-dessous, on compare la trigénération avec un système classique dont l'électricité serait produite à partir d'une centrale TGV (rendement est estimé à 55 %). Dans ce cas, le bilan au niveau de la consommation d'énergie primaire est favorable au système classique.



Remarque : une étude complète de rentabilité devrait prendre en compte les heures de fonctionnement où la chaleur est utilisée directement pour le chauffage du bâtiment, ainsi que les coûts d'investissement des deux solutions. Un intérêt financier peut être tiré par l'exploitant (en produisant lui-même son électricité). Mais au niveau de l'énergie primaire consommée, le profil de demande (chaleur, froid et électricité) d'un immeuble de bureaux est plutôt mal adapté à ce que peut fournir la cogénératrice, alors qu'un bâtiment hospitalier présente un profil beaucoup mieux adapté.

Refroidissement solaire

L'intérêt du refroidissement solaire réside dans la simultanéité de la demande de froid et de l'ensoleillement. Lorsque la chaleur nécessaire au fonctionnement de la machine frigo est fournie par le soleil, le froid fourni est gratuit (pas de coût, pas de pollution). Ce système n'est pourtant pas encore utilisé dans les pays nordiques pour deux raisons : 1) pour fonctionner, la machine frigo à absorption demande une température d'eau minimale qui se situe entre 70 et 95°C en fonction du couple solvant-réfrigérant. Pour atteindre cette température, l'emploi de capteurs performants est indispensable (sélectifs, sous vide, à faible concentration), ce qui induit un coût d'investissement assez important, 2) Lorsque l'ensoleillement n'est pas suffisant pour fournir de l'eau à température adéquate, une autre source de chaleur (d'appoint ou de substitution) doit permettre le fonctionnement du système. Des solutions de stockage peuvent résoudre le problème à certaines périodes, mais il reste toujours un certain nombre d'heures de fonctionnement où la chaleur doit être produite par du gaz ou du fuel. Pendant ces heures, le rendement du système est faible comparé au système classique de la machine frigorifique à compression.

L'intérêt de la machine frigorifique à absorption couplée avec des capteurs solaires doit donc être évalué sur base d'une moyenne annuelle, en tenant compte des heures d'ensoleillement exploitables. Cette évaluation dépend de nombreuses valeurs à estimer :

- rendement de la chaudière, - rendement de la machine frigorifique à absorption,
- proportion de la demande de froid qu'on peut produire avec l'énergie solaire (X) qui dépend du nombre d'heures d'ensoleillement exploitables, - rendement moyen de la production électrique en centrale, - COP de la machine frigorifique à compression.

Avec les hypothèses prises dans le schéma ci-dessus, le bilan au niveau de la consommation d'énergie primaire est favorable au système de refroidissement solaire si au moins 51 % de la demande de froid peut être satisfaite par l'énergie solaire. Pour évaluer la rentabilité économique du système, il faudrait tenir compte des prix de l'énergie et des coûts d'investissement. On peut néanmoins conclure de cette comparaison grossière qu'un tel système est à exclure, sous notre climat tempéré, pour un bâtiment dont la demande de froid proviendrait principalement des charges internes : la demande ne pourrait alors certainement pas être rencontrée par l'ensoleillement plus de la moitié du temps. Il pourrait par contre être envisagé pour un bâtiment dont la demande de froid est limitée aux mois d'été grâce à une conception adéquate (protections solaires, valorisation de l'inertie thermique, free cooling ou free chilling)

