

Cette étude a pour objet de comparer les 2 grandes familles de capteurs solaires thermiques que sont le capteur plan et le capteur sous vide.

La comparaison portera sur :

- Chapitre 1 : des critères objectifs de sur leur efficacité intrinsèque.
- Chapitre 2 : les enjeux commerciaux et les critères subjectifs en présence.
- Chapitre 3 : les perspectives d'évolutions des 2 familles.

Chapitre 1 : des critères objectifs de sur leur efficacité intrinsèque.

A) Définitions :

Capteur Plan : il s'agit d'un caisson fixe isolé porteur en avant d'une surface vitrée. L'intérieur du caisson comprend l'absorbeur de chaleur. Cet absorbeur, de surface presque égale à la surface vitrée, est constitué d'une âme métallique pourvue d'un revêtement sombre qui maximise l'absorption du rayonnement solaire. La restitution de l'énergie captée se fait par passage d'un liquide caloporteur au contact de la surface métallique.

Capteurs plans



Capteur sous vide : Il s'agit d'un tube cylindrique porteur lui aussi d'un traitement de surface qui maximise l'absorption solaire.

Suivant les technologies le cylindre sous vide est en fait constitué de 2 tubes concentriques emboîtés l'un dans l'autre. Entre ces 2 tubes est réalisé le vide d'air. Dans cette version, le vide n'est fait qu'entre les 2 tubes, la partie centrale du tube interne n'est pas sous vide. Dans une autre version il s'agit d'un seul tube transparent dans lequel le vide est complet.

La restitution de l'énergie captée se fait au niveau d'un collecteur de chaleur placé au sommet du capteur dans lequel les tubes sous vides sont enfichés. La transmission d'énergie thermique au liquide caloporteur se fait par deux méthodes. La première fait passer directement le liquide caloporteur au contact de l'absorbeur, l'autre technique utilise un caloduc. Le caloduc est une simple tige de cuivre creuse qui contient une liquide à changement de phase. Au contact de la chaleur ce liquide se vaporise et échange sa chaleur au liquide caloporteur. Cet échange de chaleur le condense et ainsi de suite.



Tube CPC

B) Caractéristiques mathématiques prises en compte pour estimer le rendement d'un capteur

On détermine la fraction de l'énergie qu'un capteur est capable de restituer en tenant compte des paramètres suivants :

- « So » La surface d'ouverture : C'est la surface du capteur exposée au rayonnement **direct** solaire.
- « Se » La surface d'entrée : C'est la surface du capteur exposée au rayonnement solaire.
- « n0 » Le coefficient optique : C'est à dire le % du rayonnement solaire absorbé par le capteur. Il dépend de la qualité intrinsèque du produit. A savoir la qualité du verre, la qualité de l'absorbeur ect... et de certaines de ses caractéristiques physiques, nous le verrons plus tard.
- « a1 » le coefficient de déperditions thermiques par conduction du capteur (ponts thermiques) (en W/m².K)
- « a2 » le coefficient de déperditions thermiques par convection du capteur (capacité du capteur à perdre de l'énergie par rayonnement) (en W/m².K²)
- « Tm » la température moyenne du capteur (en °C)
- « Text » la température extérieure (en °C)
- « G » l'irradiation solaire (en W/m²). « G » est une variable dans le temps il dépend du rayonnement solaire direct et diffus, de l'angle avec lequel le rayonnement frappe la surface vitrée du capteur, et du % de réflexion et de réfraction que cette surface vitrée possède.

Tous ces paramètres permettent de déterminer le rendement d'un capteur par l'équation suivante :

$$\eta = n_0 - a_1 \times ((T_m - T_{ext}) / G) - a_2 \times G \times ((T_m - T_{ext}) / G)^2$$

Cette équation admet ensuite un facteur de correction **le Facteur angulaire** qui correspond aux modifications du rendement par rapport à l'angle d'attaque du soleil.

Cette équation admet 2 variables :

- La valeur T_m-Text ou deltaT: Elle correspond à la différence de température entre le milieu extérieur et celle

du capteur.

- La valeur de G qui dépend directement de l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface vitrée du capteur.

Nous allons étudier les variations de ces 2 valeurs. Elles conditionnent de manière très significative les différences de rendement que l'on peut observer entre les 2 technologies en études.

C) Point sur les surfaces soumises aux rayonnements solaires.

Capteur plan : Dans ce cas la surface de l'absorbeur soumise au rayonnement direct du soleil est maximisée. La surface d'entrée du capteur est égale à la surface d'ouverture.

Capteur Sous Vide : Dans ce cas la surface d'ouverture est calculée en additionnant toutes les zones noires du capteur. La surface occupée par le collecteur et les espaces entre les tubes ne sont pas comptabilisés. La surface d'entrée du capteur correspond à la surface réelle du capteur soumise en rayonnement solaire. En effet l'espace entre chaque tube sous vide fait qu'une partie du rayonnement passe au travers du capteur sans toucher les tubes. Cette fraction normalement perdue est en fait réfléchi par des réflecteurs pour être renvoyée sur les tubes. La surface d'entrée du capteur additionne donc la surface d'ouverture et l'espace vide entre chaque tube. Suivant que l'on utilise l'une ou l'autre des surfaces pour calculer le rendement du capteur, les résultats obtenus seront significativement différents. Utiliser la surface d'ouverture du capteur pour le calcul de rendement nie l'existence des réflecteurs placés sous les tubes et en réduit très significativement le rendement optique théorique. Utiliser la surface d'entrée de ce même capteur considère que la fraction d'énergie passant au travers du capteur est totalement réfléchi sur les tubes sous vide. Cette méthode n'est pas non plus valable car la fraction réfléchi dépend du matériau utilisé pour le réflecteur, de l'incidence solaire, de la forme du réflecteur (parabolique ou à éclatement). La vérité mathématique se situe entre ces 2 surfaces. Elle devrait être modélisée pour chaque capteur sous vide mais trop de paramètres entrent en compte. Quoiqu'il en soit trop de logiciels de rendement utilisent la surface d'ouverture des capteurs sous vide et sous-estiment le rendement. Cela est à l'origine de beaucoup de surdimensionnements d'installations solaires.

D) Influence de la variation du rayonnement solaire sur le rendement optique d'un capteur solaire.

Il estime en % la fraction de l'énergie absorbée par rapport à l'énergie qui entre en contact avec le capteur solaire. Pour le mesurer on place une source de lumière d'une puissance connue en face du capteur et on établit la fraction de l'énergie récupérée. Cette valeur est donnée pour un angle nul entre la source lumineuse et le capteur.

1) Capteur plan : Nous l'avons vu avec sa surface plane d'ouverture maximisée le capteur plan possède souvent un coefficient optique record lorsque le soleil lui fait face. Celui-ci évolue d'une valeur de 65% à 85% avec une moyenne de 75% en fonction de la qualité du panneau solaire.

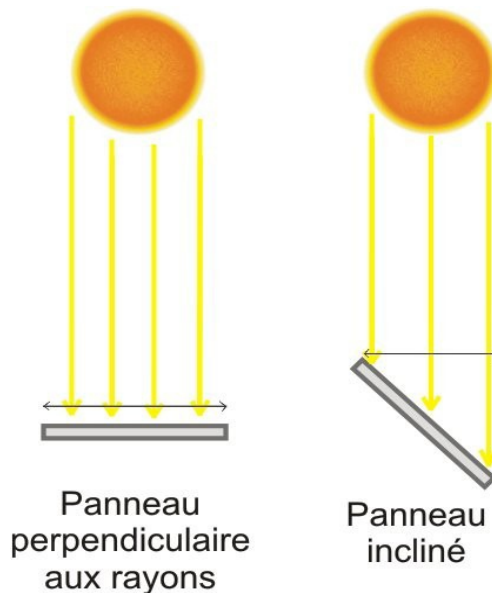
Pour étudier la signification de cette valeur, il convient de placer le capteur dans des conditions pratiques de fonctionnement c'est-à-dire non pas avec une source lumineuse fixe mais avec une source lumineuse qui copie la trajectoire du soleil autour du capteur.

Lorsque le soleil prend de l'angle avec la surface vitrée du soleil 2 phénomènes réduisent le rendement :

- le rayonnement solaire direct (R) présent à la surface du capteur (G) diminue suivant la relation $R = \cos(\text{angle})$. Cette donnée est commune à l'ensemble des capteurs plans et n'est pas fonction de la qualité des capteurs.
- Le % de rayonnement solaire réfléchi par la surface vitrée augmente avec l'angle d'attaque du soleil. On utilise une échelle graduée de 0 à 1 avec 0 correspondant au noir, pour un corps sans aucune réflexion, et 1 au miroir parfait. Lorsque le soleil se trouve dans l'axe du capteur la réflexion sera proche de 0 jusqu'à une valeur de 1 plus on s'écarte de l'axe du capteur. Dans le cas du capteur plan comme le rayonnement solaire utile se situe dans le proche infrarouge dès lors que l'angle limite de réflexion sera atteint il n'y aura plus de transmission d'énergie solaire. Donc plus de production d'énergie solaire. Cet angle limite de réflexion varie suivant la qualité du verre utilisé par le capteur. Nous voyons ici les limites des logiciels de simulation solaire, en effet pour 2 capteurs plans possédant un coefficient optique identique mais ne possédant pas une qualité de verre équivalente, les résultats de simulation du rendement seront les mêmes.

a) Effet sur le rendement de la variation du rayonnement solaire direct à la surface du capteur

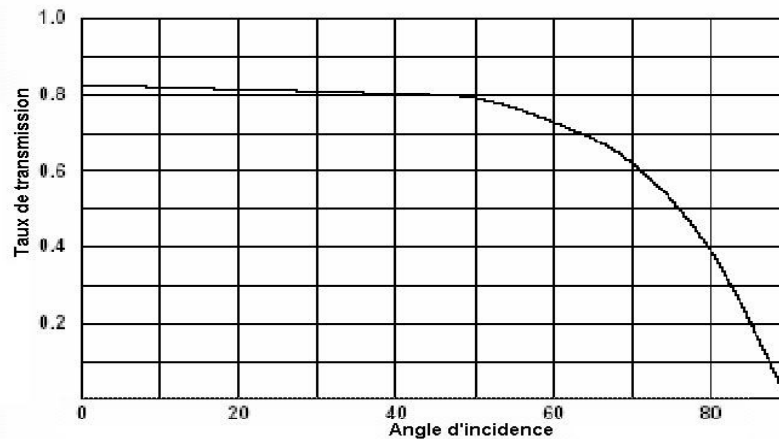
Si l'on prend comme valeur de départ un capteur plan de 1 m² soumis à un rayonnement solaire de 1000 w/m². La valeur du rayonnement direct sur le capteur est égale au cosinus de l'angle d'incidence du rayonnement solaire. Cela signifie que la puissance captée sera proportionnelle à la projection de la surface captante sur un plan perpendiculaire aux rayons solaires



Angle d'incidence du soleil sur la surface du capteur	Puissance du rayonnement au contact de la surface absorbante pour un rayonnement solaire de 1000W/m ²	% du rayonnement solaire sur l'absorbeur solaire
30°	860W/m ²	86,00%
45°	700W/m ²	70,00%
75°	258W/m ²	25,80%
90°	0W/m ²	0,00%

b) Effet de l'angle d'incidence du soleil sur la puissance du rayonnement disponible au contact de l'absorbeur solaire.

En fonction des données fournies par la courbe moyenne de transmission solaire de la plaque vitrée d'un capteur plan nous pouvons déterminer que :



Angle d'incidence du soleil sur la surface du capteur	% du rayonnement solaire est disponible sur l'absorbeur solaire
30°	80,00%
45°	79,00%
75°	50,00%
90°	0,00%

Les progrès technologiques ont permis d'améliorer ce coefficient de transmission solaire de 9% par la qualité du verre utilisé. Actuellement trop peu de capteurs utilisent ce progrès technique.

c) Compilation des résultats.

A l'aide des variables précédemment déterminées nous pouvons maintenant calculer la puissance solaire moyenne réellement présente à la surface de l'absorbeur solaire d'un capteur plan.

Pour réaliser le calcul nous ne pouvons pas utiliser un rayonnement constant qui, choisi de façon arbitraire, favorise le capteur plan ou le capteur sous vide. Nous utiliserons la méthode de la loi horaire. La loi horaire permet de définir en un point donné sur la carte du monde le rayonnement moyen reçu. En l'occurrence nous avons pris arbitrairement pour ce calcul le rayonnement présent sur un point des hautes alpes.

Le résultat obtenu pour un panneau plan incliné à 45° situé en ce point est de 52%.

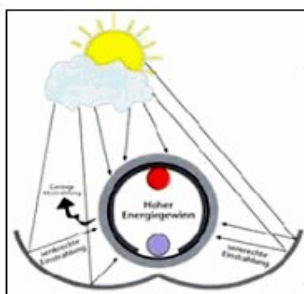
Ce résultat signifie que la surface du capteur solaire reçoit 52% de l'énergie solaire disponible au cours d'une année. Attention cette fraction de 52% ne correspond pas à l'énergie restituée par le capteur mais à l'énergie disponible à la surface de celui-ci. Pour calculer le rendement de ce capteur on multiplie cette valeur par le coefficient optique du capteur.

Pour mémoire le coefficient optique d'un capteur plan varie de 65% à 85% avec une moyenne de 75%

On obtient donc une valeur comprise entre 33% et 44% pour le meilleur des capteurs plans avec une moyenne de 39%.

2) Capteur sous vide

Le coefficient optique d'un capteur sous vide est par contrainte physique forcément inférieur à celle d'un capteur plan. En effet la surface de l'absorbeur solaire de couleur noire est discontinuée donc moins importante. Il est aussi diminué par le fait que quelle que soit l'orientation du soleil, la forme cylindrique du capteur entraîne un phénomène de réflexion important. Comme sur le schéma ci dessous.



Au total le coefficient optique d'un capteur sous vide varie d'une valeur de 50% à 75% avec une moyenne de 65% en fonction de la qualité du capteur solaire.

a) Effet sur le rendement de la variation du rayonnement solaire direct à la surface du capteur.

Nous nous trouvons ici face à un absorbeur cylindrique, la surface exposée au soleil est donc toujours la même. Ce phénomène permet d'affirmer qu'il n'existe pas de variation du rayonnement solaire à la surface d'un capteur sous vide quel que soit l'angle d'incidence du soleil sur le capteur.

Cette affirmation est confirmée par la relation mathématique $R = \cos(\theta) = \cos(0) = 1$.

En fait cette valeur est fautive car à partir d'une incidence solaire de 80° les tubes se font de l'ombre entre eux. La valeur de R corrigée est de 95% environ en fonction de l'écartement des tubes sous vide et de leur diamètre.

b) Effet de l'angle d'incidence du soleil sur la puissance du rayonnement disponible au contact de l'absorbeur solaire.

Pour les mêmes raisons que nous avons évoqué plus haut, nous pouvons aussi déterminer que le capteur sous vide n'est pas influencé par l'angle d'incidence du soleil.

c) Compilation des résultats.

En appliquant de la même façon la loi horaire sur un capteur sous vide incliné à 45°, on détermine que le rayonnement réel disponible à la surface de ce capteur est de 95%.

Ce résultat signifie que la surface du capteur solaire reçoit 95% de l'énergie solaire disponible au cours d'une année. Attention cette fraction de 95% ne correspond pas à l'énergie restituée par le capteur mais à l'énergie disponible à la surface de celui-ci. Pour calculer le rendement de ce capteur on multiplie cette valeur par le coefficient optique du capteur.

Pour mémoire le coefficient optique d'un capteur sous vide varie de 50% à 75% avec une moyenne de 65%

On obtient donc une valeur comprise entre 48% et 71% pour le meilleur des capteurs sous vide avec une moyenne de 62%.

3) Conclusion

La comparaison de l'énergie captée par les 2 types de capteur donne un avantage considérable aux capteurs sous vide. L'écart se situe en moyenne à 23% (62-39).

Attention, ce résultat tient compte de l'ensemble de la surface occupée par les capteurs, à l'exception de la surface occupée par le collecteur du capteur sous vide et du cadre du capteur plan.

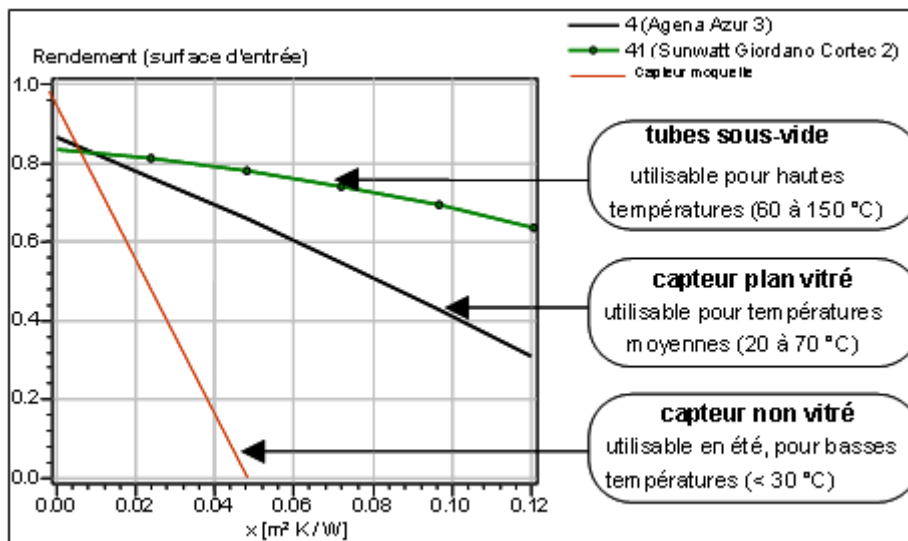
D) Influence des variations du delta de températures sur le rendement des capteurs solaires.

Le delta de température est la seconde variable de l'équation du rendement d'un capteur solaire. Elle correspond à la différence de température entre la température du capteur solaire et la température du milieu extérieur. D'une manière générale plus la valeur du deltaT augmente plus les pertes thermiques du capteur sont majorées. Les pertes thermiques du capteur se soustraient à l'énergie captée et diminuent ainsi le rendement du capteur. Ces pertes thermiques se mesurent en $W/m^2.K$. Il existe 2 types de pertes thermiques, celles par conduction (a_1) et celles par convection (a_2). Plus les valeurs sont hautes plus le capteur est sensible au deltaT. Le capteur sous vide étant isolé par le vide les pertes thermiques sont inférieures.

Pour le capteur plan, la valeur de a_1 varie de 3,8 à 4,8 avec une moyenne de 4,2, la valeur de a_2 de 0,005 à 0,015 et une moyenne à 0,01.

Pour le capteur sous vide, la valeur de a_1 varie de 1 à 2,5 avec une moyenne à 1,7, la valeur de a_2 0,004 à 0,007.

A partir des données moyennes de a_1 et a_2 , nous pouvons tracer une courbe en fonction du deltaT.



Pour le capteur plan : (ligne noire) on constate que jusqu'à un deltaT de 30° les pertes thermiques sont négligeables et n'influent que peu sur le rendement. Au delà la courbe s'infléchit nettement et pour un delta de 80°C le capteur perd la moitié de l'énergie qu'il capte. La température de stagnation du capteur correspond à la valeur du delta de température pour laquelle les pertes thermiques du capteur sont égales à la valeur de l'énergie captée elle se situe aux alentours des 150°C.

Pour le capteur sous vide : (ligne verte) on constate que jusqu'à un deltaT de 80° les pertes thermiques sont négligeables. Au delà le rendement du capteur diminue de façon linéaire. Le capteur perdra la moitié de son énergie captée par perte thermique pour une température de 160°C. La température de stagnation de ce type de capteurs se situe aux alentours des 220°C.

Compilation des résultats : A nouveau le capteur sous vide est significativement supérieur au capteur plan pour des deltas de températures supérieur à 30°C. Le principal intérêt de cette différence se situe lorsque que le deltaT est important. Cela implique que pour des applications comme la fabrication de l'ECS ou la production de chaleur par température extérieure négative le capteur sous vide est plus efficace. Par contre le capteur plan ayant une température de stagnation inférieure à la température de dégradation du glycol, il garde l'avantage de préserver l'installation en cas de surchauffe. Le capteur sous vide est susceptible d'endommager le fonctionnement de l'installation s'il se met en stagnation.

E) Conclusion générale

Nous l'avons vu dans l'équation de rendement d'un capteur solaire, les 2 variables de l'équation sont très nettement en faveur du capteur sous vide.

Quand est'il du rendement global annuel ?

Si l'on compare le rendement à surface d'absorbeur équivalente (surface noire du capteur) alors le rendement global théorique du capteur sous vide se situe au delà de 30% de rendement supplémentaire.

Cette comparaison, qui sert souvent d'argument publicitaire n'a pas de sens car elle ne reflète pas le rendement réel de la surface active du capteur en milieu réel. De même qu'il ne viendrait à l'idée de personne de comparer 2 microprocesseurs en mesurant leurs tailles ou celles de leurs emballages, il est faux de comparer entre elles les surfaces hors tout (totales) des capteurs, en considérant de manière mathématique que le cadre du capteur plan ou le

collecteur du capteur sous vide participe au rendement global du capteur.

Pour être objectif il faut donc comparer entre elles les surfaces actives (ou surfaces d'entrée) de chaque capteur. Plus clairement il s'agit des surfaces de captage participant au rendement du capteur. Pour le capteur plan la surface d'entrée est égale à la surface d'ouverture, pour le capteur sous vide elle correspond à l'addition de la surface noire visible et de la surface visible des réflecteurs.

Cette considération indispensable nivelle la différence de rendement entre les 2 technologies. La différence moyenne de rendement théorique se situe aux alentours des 11%. (Avec une variation de 8 à 22 % suivant la qualité des capteurs).

Lorsque l'on compile les tests en milieu réel de rendement de millier de capteurs fait par des organismes indépendants. La différence moyenne se situe à 15 %. Cette différence importante de 4% en moyenne entre le rendement théorique et le rendement en conditions réelles doit s'expliquer par les difficultés de modélisations de captage du rayonnement diffus et réfléchi qui n'est pas prise en compte dans la formule de rendement solaire (Un chapitre sera bientôt consacré au rayonnement diffus car son captage pourrait être une des solutions d'avenir pour le solaire thermique).

Pour confirmer ces résultats, vous pourrez par exemple trouver nombre de test de capteurs par le laboratoire Suisse SPF qui compare en conditions réelles en différents points terrestres, le rendement des capteurs par rapport à leurs surface d'entrée.

(<http://www.solarenergy.ch/index.php?id=111&L=7>)

Ces 11 % ou 15 % (suivant que l'on prenne le rendement théorique ou le rendement en conditions réelles) de différence entre les 2 technologies ne sont en définitive en apparences pas si importantes et ne permettent pas de trancher de manière définitives entre les 2 technologies.

Pourtant, cette différence devient plus significative lorsque l'on prend en considération les détails du rendement moyen.

Lorsque le soleil se situe dans un axe +15/-15° par rapport à la perpendiculaire au capteur, le capteur plan domine son concurrent. En effet sa surface d'ouverture presque complète et son indice optique en général meilleur font la différence. Dès que cette limite est franchie le capteur sous vide lui passe devant pour le reste de la journée. Cet axe +15/-15° correspond à une période de 2 heures par jour.

Autre constatation le rendement estival des capteurs plans est en moyenne meilleur que celui des capteurs sous vide. L'effet d'une température extérieure haute couplée à une majoration du rayonnement direct par rapport au rayonnement diffus permet à ce capteur d'exprimer tout son potentiel.

Lorsque les deltas de températures sont importants. Par exemple en hiver par températures nulles ou négatives, la demande en eau chaude sanitaire ou en chauffage impose la plupart du temps delta de 50° et plus. Comme nous l'avons vu plus haut le rendement des capteurs plans s'effondre à ces températures. Le capteur sous vide sera donc beaucoup plus doué.

En conclusion, malgré une différence de rendement de 11 à 15 %, le capteur plan garde un très bon rendement par fort rayonnement direct dans un axe étroit et par faible delta de température, le capteur sous vide possède un rendement plus linéaire tout au long de l'année.

Ces données paraissent importantes car elles reflètent l'« effet sous vide » à savoir que dans une installation classique à plus forte demande de chauffage hivernal, le capteur sous vide sera optimisé.

Chapitre 2 : les enjeux commerciaux et les critères subjectifs en présence.

L'histoire montre souvent que pour qu'un produit nouveau sur le marché prenne le pas sur une technologie en place, il doit vaincre les enjeux commerciaux. Ce n'est pas par hasard si le monde géographique du solaire thermique est scindé en 2. L'hémisphère sud est le domaine du capteur sous vide, l'hémisphère nord celle du capteur plan. Les fabricants des deux camps sont répartis de la même façon. Cet état paradoxal reflète bien que la domination d'une technologie est régi avant tout par les enjeux commerciaux. Beaucoup de concepts techniques sont restés dans les cartons car ils ne pouvaient pas entrer sur un terrain verrouillé par des intérêts déjà en place.

Actuellement sur le marché mondial la part des capteurs sous vide représente 51%, celle des capteurs plan 30% le reste est représenté par les capteurs à air et les capteurs non vitrés (Essentiellement en Amérique du nord).

Dans le cas qui nous intéresse, les 2 technologies sont en places dans leur marché respectif. L'ouverture facilitée au marché asiatique et en particulier à la chine, qui est l'inventeur et le fabricant exclusif de tube sous vide mondial à quelques % prêt, a permis l'émergence du tube sous vide sur le marché mondial. Cela remonte maintenant à 6 ans. Le marché Allemand fut littéralement arrosé par cette technologie à tel point qu'en quelques années, le capteur sous vide à pris 30% du marché. Bien sûr les constructeurs Allemands ont réagi en conséquence puisqu'ils fabriquent tous des capteurs sous vides d'importation chinoise, il est donc probable que cette progression fulgurante se pérennise et même s'accélére dans les années à venir. Aux états unis 40% du marché face au capteur plan est déjà pris par les capteurs sous vide bien que le leader du marché soit le capteur non vitré. La France est le plus résistant des pays Européen puisque le capteur sous vide ne représente que 5% du marché et seulement 0,15% des capteurs en place. Cette progression rapide est corroborée par le pourcentage sans cesse croissant de demande de certification qui concerne les capteurs sous vide.

Ce constat amène à la conclusion subjective que la bataille est probablement déjà gagnée par le capteur sous vide en Europe comme aux Etats unis. Le nombre croissant de constructeurs de capteurs plans qui mettent à leur catalogue des capteurs sous vide promet une libération du marché commercial en faveur du capteur sous vide. La France résiste bizarrement, la domination commerciale de grosses marques Françaises restant fidèles aux capteurs plans peut être

une des causes.

Nous laissons à chacun le soin de faire la conclusion qu'il veut à cette modification brutale du marché, mais un tel changement, qui bouleverse un marché bien verrouillé jusqu'à lors, a probablement son origine dans les perspectives à venir du thermique.

Avec l'arrivée de l'écologie comme dictat du siècle à venir, les capteurs solaires thermiques vont avoir un rôle probablement majeur à jouer. Leurs rendements impressionnant par rapport aux panneaux photovoltaïques leur donnent un avantage qui ne sera probablement jamais rattrapé. Pourtant l'orientation du marché actuel penchant très sensiblement du côté photovoltaïque, le marché du thermique doit réagir et inventer de nouvelles solutions plus performantes. L'enjeu est simple, les maisons basses consommations deviendront la norme et devront être susceptibles d'être chauffées entièrement au solaire et à un bon prix. Ce marché là est énorme puisque dans quelques années plus aucune maison ne sera construite sans capteur solaire.

Autre événement marquant des enjeux à venir : l'arrivée imminente des climatisations solaires qui vont être amenées à remplacer une à une les climatisations existantes.

Cette modification du marché pourrait être en rapport avec ces nouveaux objectifs car le capteur sous vide semble être une solution désignée.

Chapitre 3 : Perspectives d'évolutions technologiques des 2 capteurs.

Le capteur plan :

- présente l'énorme désavantage de sa planéité. Le mettre sur un axe rotatif suivant la courbe du soleil serait la réponse la plus appropriée. Cette solution semble difficile et chère à mettre en œuvre. Vient ensuite le problème de l'ombre portée d'un capteur qui imposerait un écartement trop important entre chaque capteur. La prise au vent serait aussi une donnée à prendre en compte. Cette solution est donc difficilement envisageable tant du point de vue technique que du point de vue coût de fabrication. A noter par contre qu'une étude montre que si un capteur plan avait simplement un axe de rotation sur 2 angles fixes de -15° et $+15^\circ$ autour de l'axe sud, il aurait alors un rendement annuel supérieur aux capteurs sous vide dans les deltas de températures faibles. Cette solution est beaucoup plus envisageable car les ombres portées seraient plus faibles, la prise au vent modérée et le système de commande de désaxation simpliste.
- L'autre possibilité d'évolution est la mise sous vide d'un capteur plan. Cette évolution technique fût souvent envisagée. La mise sous vide d'une surface vitrée de cette taille (équivalent 1tonne/m²) nécessiterait la modification de l'épaisseur du verre ou la mise en place de supports intermédiaires pour maintenir la vitre. Cependant ces 2 techniques viendraient altérer le rendement du capteur par modification de la surface d'absorption. Les pertes de rendement par conduction auraient aussi du mal à être largement modifiées car les ponts thermique d'un capteur plan sont une fatalité de conception. D'autre part en admettant que ces problèmes soient résolus, les températures de stagnation atteintes seraient alors probablement très hautes et très difficile à gérer. Un constructeur turc s'y est essayé. La surface vitrée était maintenue par de fins cylindres de verre très serrés transfixiant le capteur d'avant en arrière. Le pseudo vide était fait par l'installateur par une simple pompe manuelle. Nous n'avons pas réussi à retrouver la trace de ce capteur.



Capteur plan sous vide
(avec écarteur)

Le capteur sous vide :

- Il pourrait majorer sa surface d'absorption et diminuer son indice de réflexion par augmentation du diamètre des tubes. Des tubes de 100 mm de diamètre sortent déjà des usines chinoises avec un gain annoncé de 5% du coefficient optique. Bien évidemment cette augmentation a pour conséquence d'augmenter l'ombre portée d'un tube sur l'autre. Il semble que cette limite de 100 mm soit le bon compromis.
- Dans la perspective d'un développement important sur des maisons à basses consommations avec pour objectif d'apporter une réponse énergétique quasi complète, il est important que le tube sous vide sache exploiter son isolation presque parfaite pour tirer du milieu extérieur de très faibles températures (de l'ordre de 25°). Cette possibilité est actuellement bridée par le système à caloduc. Le caloduc permet de récupérer la chaleur sur les parois des tubes sous vide pour l'amener jusqu'au circuit primaire. Ce dernier n'entre en fonction qu'à 25°C et la plupart du temps à 30°C . D'autre part le caloduc suppose entre 4 à 6 échanges par conduction de chaleur entre la source lumineuse et le stockage thermique. Ces multiples échanges ont pour conséquence d'augmenter les fuites thermiques mais aussi l'inertie du tube. Ce système à caloducs doit donc être amélioré voir éliminé. Lorsque l'on pousse en profondeur l'étude de l'ensemble des produits existants sur le marché, il est frappant de constater que les systèmes à thermosiphon à base de tubes sous vide à circulation directe d'eau sont les systèmes les plus performants de très loin. Les systèmes à thermosiphon sont des monoblocs comportant des tubes sous vide directement enfichés dans la cuve de stockage. L'eau de la cuve est la même que celle qui se situe dans les tubes. Ce rendement hors norme est probablement la conséquence d'un échange direct et sans aucune inertie entre la surface absorbante et l'eau de stockage. La moindre calorie absorbée est transmise directement à l'eau. Cette voie doit être explorée. Ce n'est pas sans difficulté car des problèmes de gel, d'entartrage, de corrosion, de pression se posent et doivent être résolus. Si de tels systèmes étaient utilisés dans un schéma classique avec un ballon de stockage à l'abri du froid, les

perspectives de soutirer de l'eau chaude avec un simple rayonnement diffus seraient sans doute réalisables. Elles permettraient de chauffer en hiver par des journées peu clémentes.

- Et enfin les très hautes températures ne doivent plus être envisagées avec angoisse car elles peuvent avoir des applications multiples. Si elles ne sont pas exploitées, elles doivent être éliminées par des absorbeurs de meilleures qualités. Certains absorbeurs avec une surcouche en titane résistent à 600°C. Cette température paraît suffisante pour garantir la pérennité du capteur même en cas de stagnation prolongée. Mais ces hautes températures doivent connaître à l'avenir des applications telles que la climatisation, la cogénération solaire (transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique), la cuisson ect... Toutes ces voies sont déjà explorées et des réponses existent. Cependant elles restent souvent envisagées dans des applications industrielles ou de grandes envergures. Il est donc indispensable de les rendre accessibles au particuliers pour majorer leurs potentiels d'expansion.

En conclusion le solaire thermique vient de passer par une phase difficile ou il fut considéré comme réservé aux écologistes fortunés. Le coût de l'installation pouvait être en effet difficilement rentabilisé. Les aides incitatives offertes par l'état ont permis de faire de la France le second parc solaire Européen. De son côté le photovoltaïque est devenu un investissement spéculatif majeur pour des raisons qui restent obscures si l'on s'en tient à des considérations de rendement. Bien sûr dans un futur proche l'état ne pourra plus assumer de telles dépenses pour favoriser les énergies renouvelables. Il est probable que le photovoltaïque retrouve alors sa place initiale. Le thermique, débarrassé de cette concurrence déloyale, aura alors pour défi de devenir le seul produit rentable écologiquement et économiquement. Pour relever le défi il doit trouver d'autres applications que le simple chauffage de l'eau. Ces applications telles que la climatisation, la cogénération solaire (transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique), la cuisson semblent n'être réalisables que par les capteurs sous vide.

Références chiffrées :

Rhone Alpe Energie Environnement : raee.org

Institut national de l'énergie solaire : ines-solaire.com

SPF (Solartechnik Prufun Forschung) : solarenergy.ch

Syndicat des énergies renouvelables : enr.frect....