

ROYAUME DU MAROC



MINISTRE DE L'HABITAT ET DE LA POLITIQUE DE LA VILLE
DIRECTION DE LA QUALITE ET DES AFFAIRES TECHNIQUES

GUIDE

CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET REALISATION DES INSTALLATIONS SOLAIRES DANS LES LOGEMENTS COLLECTIFS



INTEGRATION DES CHAUFFE-EAU SOLAIRES DANS LE BATIMENT COLLECTIF

EDITION 2017

MINISTERE DE L'HABITAT ET DE LA POLITIQUE DE LA VILLE

DIRECTION DE LA QUALITE ET DES AFFAIRES TECHNIQUES

Tél : 05 37 57 75 51 – 05 37 57 75 52

Fax : 05 37 57 75 77

www.mhpn.gov.ma

SOMMAIRE

PREFACE.....	4
INTRODUCTION	5
1. APPROCHE GENERALE.....	6
1.1 UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE DANS LES BATIMENTS RESIDENTIELS.....	6
1.2 ELEMENTS À PRENDRE EN CONSIDERATION	8
2. LES CONFIGURATIONS TYPES	10
3. DIMENSIONNEMENT ET CALCUL.....	14
3.1 CALCUL ENERGETIQUE D'UNE INSTALLATION SOLAIRE.....	14
3.2 CRITERES DE CHOIX DE LA SURFACE DE CAPTEURS SOLAIRES	17
4. MATERIELS ET APPLICATIONS.....	22
4.1 TRAVAUX EN COUVERTURE	22
4.1.1 <i>Espace en toiture</i>	22
4.1.2 <i>Capteurs solaires</i>	24
4.1.3 <i>Mise en œuvre des capteurs solaires en toiture</i>	25
4.1.4 <i>Raccordement hydraulique des capteurs solaires</i>	27
4.2 EQUIPEMENTS A L'INTERIEUR DES LOGEMENTS.....	33
4.3 AUTRES COMPOSANTS DE L'INSTALLATION	36
4.3.1 <i>Local technique</i>	36
4.3.2 <i>Systèmes de régulation</i>	36
4.3.3 <i>Réservation pour le passage des tuyaux</i>	38
5. ASPECTS ECONOMIQUES	40
CONCLUSION	42
GLOSSAIRE	44
INDICE DES FIGURES	45

PREFACE

Dans le cadre de la stratégie énergétique nationale visant la réalisation d'une économie d'énergie primaire d'environ 12% à l'horizon 2020 et 15% à l'horizon 2030, un plan d'efficacité énergétique a été mis en place couvrant tous les secteurs, et plus particulièrement le secteur du bâtiment qui présente un gisement important d'économie d'énergie.

A cet égard, le Ministère de l'Habitat et de la Politique de la Ville a entrepris un ensemble d'actions afin d'optimiser la consommation énergétique et à promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables à l'échelle de l'habitat et de la ville. Dans ce sens, la Direction de la Qualité et des Affaires Techniques a mené une étude sur l'intégration des chauffe-eau solaires (CES) dans le bâtiment collectif.

En effet, le recours à l'énergie solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire est l'un des enjeux majeurs de la transition vers des bâtiments performants sur le plan énergétique. Aujourd'hui, l'utilisation de cette source d'énergie dans le bâtiment est impérative pour faire face aux fluctuations des prix pétroliers, à l'incertitude pesant sur les approvisionnements énergétiques, et aux défis liés aux changements climatiques ;

Au Maroc, 750 000 m² de capteurs solaires thermiques ont été installés jusqu'à 2015, mais malgré cette forte expansion, les résultats restent très modestes en prenant en considération les conditions climatiques favorables du pays présentant une irradiation globale annuelle se situant dans la plupart des régions entre 1 800 et 2 000 kWh/m².an

Ainsi, l'étude sur l'intégration des chauffe-eau solaires (CES) dans le bâtiment collectif a permis d'estimer les besoins en eau chaude sanitaire, d'identifier les mesures techniques et économiques et de proposer des mesures de mise en œuvre adaptées au contexte marocain afin de promouvoir l'installation des chauffe eau solaires dans le bâtiment collectif au Maroc.

Ce guide technique qui a été élaboré dans le cadre de cette étude, est un référentiel simple pour la conception et la réalisation d'installations solaires de production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments collectifs au Maroc.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux et celles qui ont contribué à l'élaboration de ce document à savoir les consultants des bureaux d'études NOVEC et TECSOL ainsi que les cadres de la Direction de la Qualité et des Affaires Techniques.

Mme Majida EL OUARDIRHI
Directrice de la Qualité et des Affaires Techniques
Ministère de l'Habitat et de la Politique de la Ville

INTRODUCTION

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire est une option simple pour réduire la consommation d'énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

Au Maroc, l'énergie solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire a encore une pénétration très discrète, très en dessous de l'énorme potentiel lié à l'ensoleillement disponible sur l'ensemble du territoire.

Le faible nombre d'installations solaires dans les bâtiments est dû en partie aux prix des énergies conventionnelles (GPL et électricité) fortement subventionnées, ce qui neutralise les avantages qu'offre l'option solaire du point de vue de la réduction de la facture énergétique des ménages.

D'autre part, il existe une méconnaissance des opportunités qu'offre l'énergie solaire, tant par la population en général que par les acteurs du secteur de la construction.

Cependant, l'énergie solaire constitue une option inéluctable pour la réduction de la dépendance aux sources énergétiques fossiles et pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans le secteur résidentiel, la production d'eau chaude sanitaire peut représenter un pourcentage significatif de la consommation énergétique annuelle. Plusieurs études estiment que dans des bâtiments de logements collectifs situés en climat Méditerranéen, la production d'eau chaude sanitaire peut représenter près de 25% de la facture énergétique des logements.

Au Maroc, le programme PROMASOL a permis de développer durant les dernières années, une certaine activité dans le secteur solaire, centrée principalement sur l'installation d'équipements de production d'eau chaude sanitaire dans des logements individuels. L'incorporation de l'énergie solaire dans des bâtiments collectifs reste encore à explorer et représente un grand potentiel pour le développement du secteur.

Ce guide, élaboré dans le cadre de l'étude sur l'intégration des chauffe-eau solaires dans le bâtiment collectif initiée par le Ministère de l'Habitat et de la Politique de la Ville, s'adresse principalement aux prescripteurs et aux professionnels du secteur de la construction. Il doit servir de référence pour la conception et la réalisation d'installations solaires de production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments collectifs. Il se base sur des critères simples et fiables ayant fait leurs preuves dans de nombreux pays voisins.

1. APPROCHE GENERALE

1.1 UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE DANS LES BATIMENTS RESIDENTIELS

Le Maroc dispose d'un bon ensoleillement. L'irradiation globale annuelle se situe dans la plupart des régions entre 1 800 et 2 000 kWh/m².an. Elle est un peu plus faible, environ 1 700 kWh/m².an dans certaines zones côtières et plus élevée, soit environ 2100 kWh/m².an, dans le sud.

Cet important potentiel énergétique peut être exploité pour chauffer l'eau à des fins sanitaires dans le secteur résidentiel et peut être à l'origine d'économies substantielles au niveau de la consommation de gaz ou d'électricité. Dans d'autres pays possédant moins d'ensoleillement disponibles, tels que l'Espagne, la Grèce, l'Allemagne ou l'Autriche, l'utilisation de l'énergie solaire est très répandue. A titre d'exemple, l'Allemagne, à elle seule, a installé plus d'un million de mètres carrés en 2013. En Espagne, le marché annuel est d'environ 250 000 mètres carrés de capteurs solaires, principalement dans le secteur résidentiel.

Malgré les économies d'énergie potentielles incontestables dues à la mise en place d'installations solaires dans les bâtiments au Maroc, de nombreux obstacles ont empêché jusqu'ici une mise en œuvre généralisée.

Les principales difficultés sont liées :

- au montant élevé de l'investissement initial
- au faible coût de l'énergie pour les usagers, en particulier pour le gaz largement subventionné dans le secteur résidentiel,
- aux contraintes d'espace pour l'emplacement des composants de l'installation solaire et, parfois, son impact visuel,
- à la compatibilité de l'installation solaire avec des équipements existants de production d'eau chaude dans certains bâtiments,
- aux difficultés dans la prise de décision entre les différents copropriétaires de la même résidence,
- aux doutes existants sur les problèmes potentiels découlant de l'utilisation et de la gestion d'une installation solaire, en particulier en ce qui concerne la répartition des charges de fonctionnement,
- au manque d'information et de sensibilisation des utilisateurs et des professionnels du secteur de la construction en général.

Ces obstacles semblent difficiles à surmonter notamment dans les bâtiments existants. Les mesures fondées sur des incitations financières pour l'installation de systèmes solaires, par exemple, peuvent permettre de réduire le coût de l'installation, mais ne résolvent pas les problèmes de manque d'espace.

Par contre, dans le cas d'une construction neuve, certains des problèmes mentionnés précédemment disparaissent ou sont correctement maîtrisés grâce à la mise en œuvre correcte de l'installation solaire au moment de la conception du bâtiment. En effet, dans le cas d'un bâtiment neuf, la prise de décision est simplifiée, puisque le nombre d'acteurs impliqués est faible (développeur, architecte, constructeur). L'espace nécessaire pour l'emplacement de l'équipement peut être prévu lors de la phase de conception du bâtiment. Enfin, le surcoût est moins important que dans le cas des bâtiments existants, car le coût d'installation, qui est intégré dans le coût global de la construction, peut être optimisé.

Par conséquent, pour généraliser l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur résidentiel, il semble plus pertinent de concentrer les efforts au niveau des bâtiments neufs ou de ceux qui font l'objet d'une rénovation lourde plutôt que s'attaquer au parc existant.

Certains pays comme l'Espagne ont rendu obligatoire l'incorporation d'installations solaires pour la production d'eau chaude sanitaire dans toutes les nouvelles constructions. Cette action a entraîné une forte augmentation de l'utilisation de cette ressource gratuite et renouvelable et cela s'est traduit par le développement constant du marché espagnol de l'énergie solaire thermique depuis 2007.

La manière la plus efficace pour accroître l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur résidentiel serait de généraliser ce type d'installation dans les constructions neuves, en obligeant la prise en compte de cette technologie dès la phase de conception.

1.2 ELEMENTS À PRENDRE EN CONSIDERATION

Comme il sera traité plus en détail dans les prochains paragraphes, il faut rappeler que de nombreux éléments sont à prendre en compte dans la conception et la mise en œuvre d'une installation solaire dans un immeuble de logements. Les principaux sont repris ci-dessous :

- **les besoins en eau chaude sanitaire.** Dans le cas de bâtiments neufs, la consommation d'eau chaude doit obligatoirement être estimée à partir du nombre de logements et du nombre d'occupants dans chacun d'eux. Une estimation correcte des besoins est essentielle à la bonne conception de l'installation
- **Objectifs de couverture solaire recherchés.** Les installations de production d'eau chaude solaire, couvrent en moyenne entre 40 et 60% des besoins annuels. Durant les mois d'été, avec un rayonnement solaire plus important et une température légèrement plus élevée de l'eau froide, les installations peuvent facilement couvrir entre 70 et 80% des besoins.
- **Conception de l'installation solaire.** La configuration décrite dans ce guide est une installation solaire collective avec stockage individualisé dans chaque logement. Il existe d'autres schémas possibles pour la production d'eau chaude, mais ceux-ci sont moins bien adaptés aux particularités des bâtiments de logements collectifs.
- **Les données météorologiques.** Le rayonnement solaire disponible dans la localité où se situe le projet et, dans une moindre mesure, la température moyenne extérieure et la température du réseau d'eau froide influent sur la performance énergétique de l'installation. Ces valeurs doivent être disponibles au moins sur une base mensuelle.
- **Disponibilité de l'espace en toiture.** Ce point doit être évalué pour chaque projet sur la base des plans de construction. La surface de capteurs dépendra du nombre d'étages du bâtiment, de l'orientation et de la forme du toit, ainsi que de la présence éventuelle d'obstacles et d'ombres générées par les bâtiments voisins. En règle générale, il est possible d'installer la surface de capteurs optimale sur la plupart des bâtiments neufs.
- **Caractéristiques des matériels.** Il est évident que le choix des matériels fait partie de la conception de l'installation. Les caractéristiques particulières des capteurs solaires influent grandement la performance énergétique annuelle attendue de l'installation.

- **Energie d'appoint.** En général, le choix est limité dans les bâtiments résidentiels à l'option électrique (résistance immergée) ou au gaz pour les chauffe-eau instantanés.

En conclusion, les facteurs à prendre en compte pour une bonne conception de l'installation solaire sont multiples. Pour cette raison, il est essentiel de faire intervenir un concepteur spécialisé qui dispose de toutes les informations pertinentes relatives au bâtiment et à son usage.

La conception simplifiée obtenue par extrapolation des caractéristiques d'autres bâtiments ne permet pas d'obtenir des résultats satisfaisants.

Pour la conception d'un système solaire, de nombreux facteurs doivent être pris en compte, ce qui implique la participation d'un concepteur possédant une connaissance suffisante.

La conception de l'installation solaire doit débuter durant la phase de conception du bâtiment, en collaboration avec l'architecte et/ ou promoteur. Cela permet de trouver des solutions optimales pour la mise en œuvre des composants du système

2. LES CONFIGURATIONS TYPES

La production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments résidentiels au Maroc est effectuée majoritairement par un dispositif individuel au gaz ou à l'électricité à l'intérieur de chaque logement. Les installations centralisées possédant un appoint collectif, comme on peut en rencontrer dans les hôtels, les hôpitaux et les centres sportifs, sont pratiquement inexistantes dans les logements collectifs.

Dans ce contexte où l'utilisation des systèmes centralisés n'est pas fréquente, il semble raisonnable de privilégier une configuration qui respecte les principes de l'utilisation maximale de l'énergie solaire tout en conservant la fiabilité opérationnelle. La solution retenue consiste donc en une installation centralisée de production d'eau chaude et une individualisation de la source d'appoint.

Dans le cas de bâtiments possédant un petit nombre de logements, l'utilisation de l'énergie solaire peut être réalisée avec des équipements individuels préfabriqués (chauffe-eau solaires individuels, CESI). Ce type de système se compose d'un ou deux capteurs solaires, d'un ballon de stockage situé en partie haute et d'une canalisation. L'écoulement du fluide entre les panneaux solaires et le ballon de stockage est réalisé par thermosiphon ou à l'aide d'une pompe sans thermostat de régulation. Ce type de système est robuste, peu sensible aux pannes d'équipement et donc performant si l'installation est bien réalisée et si ses composants sont de qualité, en particulier le ballon de stockage.

Chaque équipement individuel doit être raccordé à un tuyau d'alimentation d'eau froide du logement, après le compteur individuel, et le système d'appoint du logement (Figure 1).

En utilisant les systèmes de type CESI, il faut tenir compte du volume d'eau chaude contenue dans la canalisation provenant du ballon de stockage solaire situé en toiture, le système d'appoint étant situé dans le logement. Puisque c'est un système sans circuit de recirculation, le refroidissement de l'eau dans le tuyau de raccordement peut pénaliser considérablement l'utilisation de l'énergie solaire, en particulier lorsque la consommation d'eau chaude des logements est très discontinue. A titre indicatif, il peut être considéré que l'utilisation de systèmes individuels préfabriqués (thermosiphon) est possible seulement si la distance entre le ballon de stockage et le système d'appoint est inférieure à 15 m. Dans la pratique, son utilisation doit être limitée à des installations dans des bâtiments d'au plus 2 étages de logements.

D'autre part, l'impact esthétique de l'équipement de stockage sur le toit du bâtiment est aussi parfois une limitation à l'utilisation répandue de ces solutions.

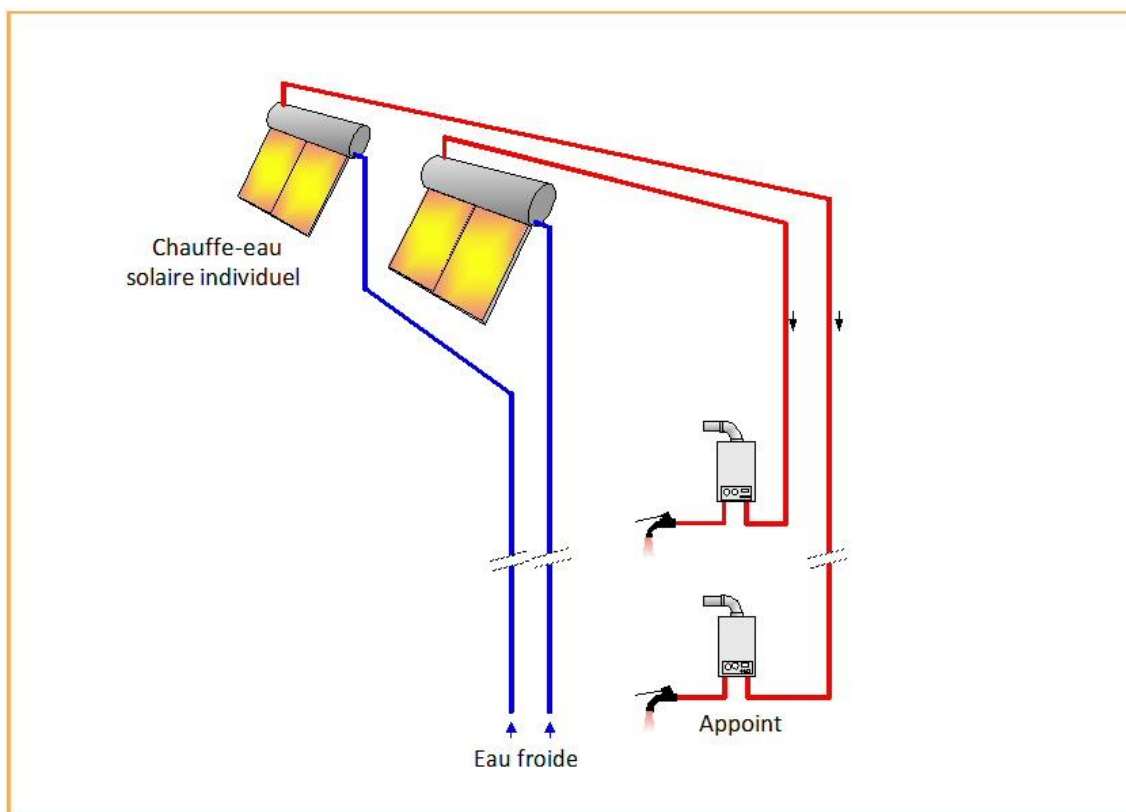


Figure 1. Installation solaire individuelle avec des équipements préfabriqués (CESI).
Source : Tecsol

Dans certains cas, l'utilisation de l'équipement individuel préfabriqué fonctionnant par thermosiphon représente un choix robuste et fiable pour l'eau chaude sanitaire dans les bâtiments où l'équipement puisse s'installer près du système d'appoint, de sorte que la longueur des tuyaux de raccordement soit très courte (inférieure à 15 m).

Pour les bâtiments avec plus de deux étages, l'option la plus raisonnable est l'utilisation de systèmes solaires collectifs avec stockage individualisé connu sous le nom de CESC (chauffe-eau solaires collectifs individualisés).

Une installation solaire d'eau chaude sanitaire de type CESC est essentiellement composée des éléments suivants (figures 2 et 3) :

- Un ensemble de capteurs solaires qui transforment le rayonnement solaire en énergie thermique

- Un circuit hydraulique solaire qui relie les capteurs les uns aux autres et qui distribue l'énergie dans les différents logements du bâtiment.
- Des ballons de stockage solaires situés dans les différents logements
- Un système d'appoint (électrique ou gaz) qui apporte l'énergie nécessaire pour garantir à tout moment les besoins en eau chaude du logement, notamment durant les périodes de faible ensoleillement.
- Un dispositif de régulation, de mesure et de contrôle de l'installation

Le fonctionnement de ce type d'installation est simple. Pendant les heures d'ensoleillement, le circuit primaire des capteurs solaires voit sa température augmenter et transfère la chaleur collectée vers les ballons de stockage individuels de chaque logement grâce à un échangeur de chaleur de type serpentin situé à l'intérieur des réservoirs. L'écoulement du fluide dans le circuit solaire est réalisé sous pression par une pompe et un système de commande en fonction de la capacité de chauffage disponible à tout moment. Le fonctionnement de la régulation est décrit plus en détail dans les paragraphes suivants.

Lorsqu'il y a des consommations d'eau chaude dans le logement, l'eau froide est introduite par le fond du ballon et on l'extrait préchauffée, par le haut.

Le système d'appoint peut être constitué de chauffe-eau ou de chaudières instantanés individuels fonctionnant au gaz et raccordées en série avec la sortie du ballon solaire (figure 2). Les ballons peuvent également être équipés dans leur partie supérieure d'un thermoplongeur électrique (figure 3).

Le CESCO semble la solution la plus appropriée pour exploiter l'énergie solaire dans les logements collectifs au Maroc, surtout quand il s'agit de bâtiments neufs. Ce guide, par conséquent, va se concentrer sur ce type de configuration.

Compte tenu du type d'installations de production d'eau chaude dans les immeubles résidentiels existants, il est proposé d'opter pour des régimes avec récupération d'énergie solaire collective et stockage individuel et parmi eux, ne retenir que les variantes les plus simples du point de vue de la mise en œuvre et de la maintenance des systèmes.

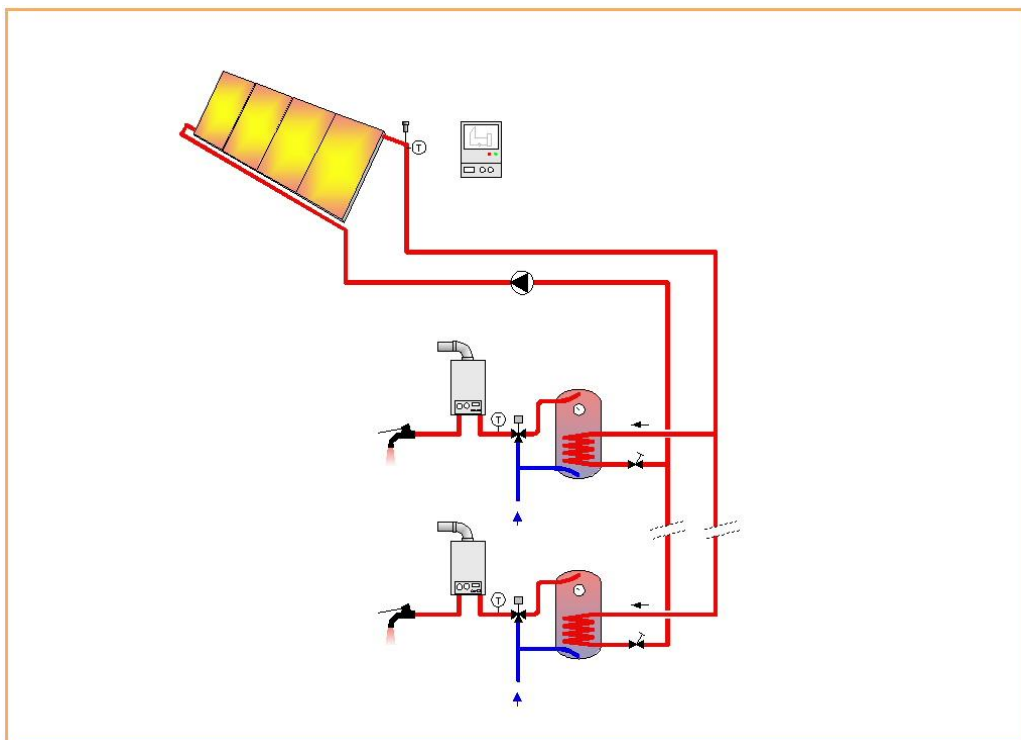


Figure 2. Installation solaire avec accumulation distribuée (CESCI) et appoint individuel instantané avec chaudière ou réchauffeur au gaz.
Source : Tecsol

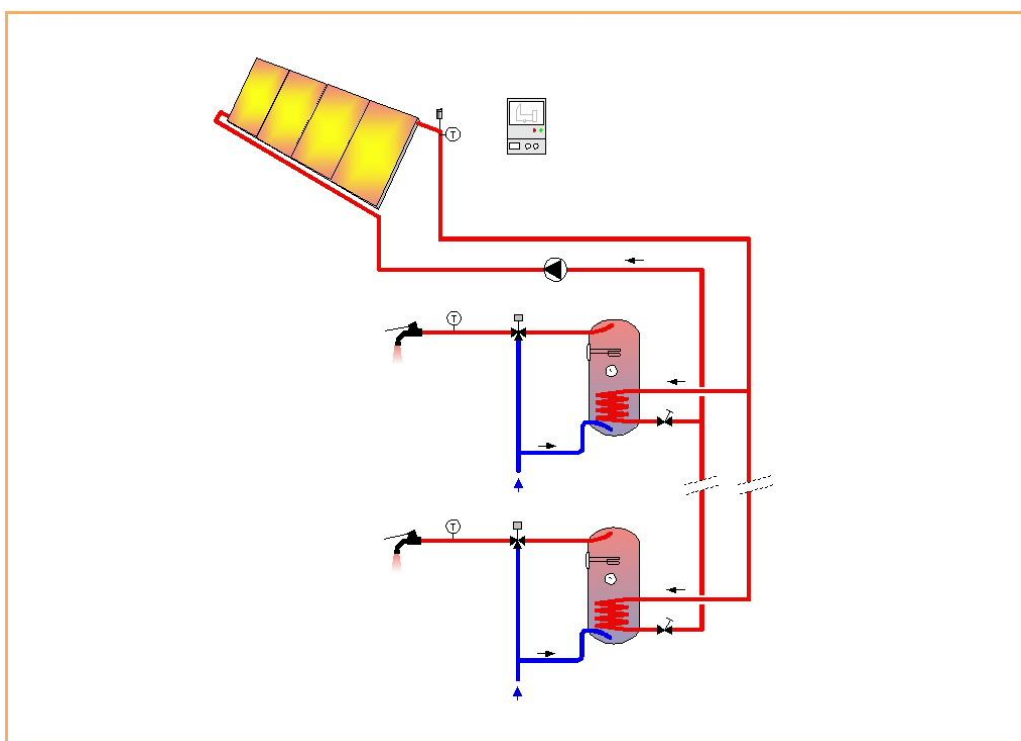


Figure 3. Installation solaire avec accumulation distribuée et appoint individuel électrique dans le même ballon solaire.
Source : Tecsol

3. DIMENSIONNEMENT ET CALCUL

3.1 CALCUL ENERGETIQUE D'UNE INSTALLATION SOLAIRE

La conception d'une installation solaire implique en premier lieu la détermination de la surface de capteurs en fonction du volume et du profil de consommation d'eau chaude. En simplifiant le problème, il s'agit de déterminer combien de capteurs d'une certaine marque et d'un certain type sont nécessaires pour atteindre la production énergétique cible pour un bâtiment donné.

Pour procéder à ce choix, il est nécessaire de disposer d'une méthode de calcul qui permette d'estimer la quantité d'énergie qu'une installation solaire est en mesure de produire tout au long de l'année. Le choix de la méthode de calcul utilisée peut avoir une influence sur le résultat final.

Les méthodes de calcul peuvent se présenter sous la forme d'une "boite noire" dans laquelle on introduit toute une série de données caractérisant l'installation solaire. Le logiciel restitue en sortie le niveau de production solaire estimée, en kWh/an et/ou le taux de couverture solaire, c'est-à-dire la part des besoins assuré par l'installation solaire, en %.

Le nombre de données à entrer et les équations utilisées dans la méthode de calcul proprement dite sont les critères qui caractérisent chaque méthode. L'utilisation d'un nombre réduit de paramètres d'entrée simplifie le calcul, à l'inverse introduit une limitation quant aux possibilités de caractériser l'installation de façon détaillée.

Il existe de nombreuses méthodes de calcul plus ou moins utilisées par les bureaux d'étude en énergie solaire. Dans la plupart des cas, il est possible d'utiliser pour commencer des méthodes de calcul simplifiées, qui permettent d'obtenir la performance énergétique attendue. Ces méthodes simplifiées ont été développées par des corrélations statistiques obtenues à partir des environnements complexes et permettent d'effectuer un calcul rapide mais suffisamment précis pour des équipements standards. Le premier logiciel élaboré est la méthode F-Chart à la fin des années 70 par l'Université du Wisconsin.

Parmi les méthodes de calcul simplifiées, on trouve la « *Méthode mensuelle d'évaluation des performances thermiques des installations solaires de production d'eau chaude sanitaire* » (cahier du CSTB n° 2847) qui a été développée en France, il y a une vingtaine d'années, par le *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) avec l'appui de l'*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie* (ADEME).

La méthode SOLO a été portée sur plusieurs applications informatiques d'utilisation facile. Le calcul en ligne est disponible gratuitement sur le site de Tecsol (tecsol.fr) et permet d'accéder aux données météo d'un grand nombre de pays. Cette application a été développée avec le soutien de l'ADEME il y a une dizaine d'années.

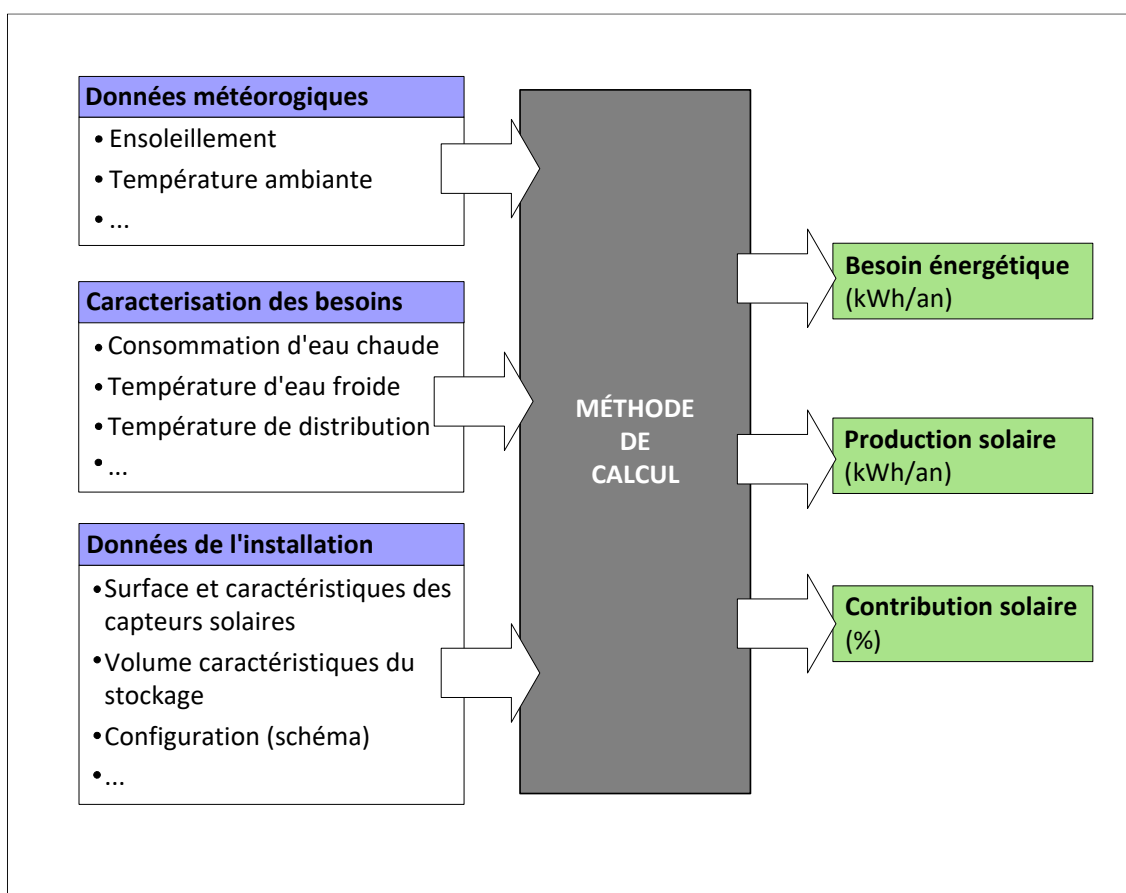


Figure 4. Schéma de principe d'une méthode de calcul simplifiée
Source : Tecsol

Version pour impression

Casablanca, Latitude: 33°34

Donnees meteo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T° exterieure	13	13	14	16	18	20	22	23	22	19	16	13
T° eau froide	15	15	16	17	18	19	20	20	20	18	17	15

T° eau froide : Methode ESM2

Installation

Capteurs		Stockage	
Surface	70 m2	Situation	Interieur (18 °C)
CS/11.SU JACQUES GIORDANO INDUSTRIES (35 x 2 m²)		Temperature ECS	60 °C
Inclinaison	30 °/Horiz	Volume de stockage	5000 Litres
Orientation	0°/Sud	Cste de refroidissement	0,0533Wh/jour.l.°C
(°)Coefficient B	0,759	Type d'installation	Circulation forcee, echangeur separe
(°)Coefficient K	4,2W/m2.°C		

	Irradiation capteurs (Wh/m2.jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	3812	8109	3670	118,4	45,3	5000
Fevrier	4597	7325	3974	141,9	54,3	5000
Mars	5406	7929	5108	164,8	64,4	5000
Avril	5985	7499	5396	179,9	72,0	5000
Mai	6046	7569	5634	181,8	74,4	5000
Juin	6100	7150	5466	182,2	76,4	5000
Juillet	6337	7208	5738	185,1	79,6	5000
Aout	6290	7208	5716	184,4	79,3	5000
Septembre	6002	6976	5309	177,0	76,1	5000
Octobre	5019	7569	4794	154,6	63,3	5000
Novembre	4170	7499	3859	128,6	51,5	5000
Decembre	3364	8109	3289	106,1	40,6	5000

Taux couverture solaire	64,3	%	Apport solaire annuel	57956	kWh/an
Besoin annuel	90151	kWh/an	Productivite annuelle	828	kWh/m2.an

calcul realise sur www.tecsol.fr

Figure 5. Tableau de résultats du calcul en ligne avec la méthode SOLO
Source : Tecsol

Des méthodes simplifiées de calcul des installations solaires comme celle de f-Chart ou Solo permettent l'estimation de la production mensuelle d'énergie d'une installation solaire avec un nombre limité de données d'entrée. Les résultats obtenus sont suffisamment fiables pour concevoir de nouvelles installations dans les bâtiments neufs.

3.2 CRITERES DE CHOIX DE LA SURFACE DE CAPTEURS SOLAIRES

En général, le fonctionnement d'une installation solaire se caractérise par deux critères qui sont la « production solaire » c'est-à-dire la production énergétique de l'installation (en kWh/an) et le « taux de couverture solaire » (en %), qui est défini comme le rapport de la production solaire par rapport au besoin énergétique du poste d'eau chaude.

Dans le cas où la consommation d'eau chaude est constante tout au long de l'année, un taux de couverture annuel de 60% conduit à un taux de couverture les mois d'été qui sera proche de 80% voire plus.

Il faut prendre en compte le fait qu'au fur et à mesure que le taux de couverture augmente, la température du fluide dans le capteur augmente également. Toutes choses étant égales par ailleurs, cela diminue le rendement du capteur. De plus, un taux de couverture élevé signifie que la température dans les ballons atteindra souvent la température maximale, provoquant l'arrêt de l'installation. Cela explique la non-linéarité du taux de couverture solaire avec la surface de capteur mise en œuvre comme cela est représenté sur la figure 6 ci-dessous.

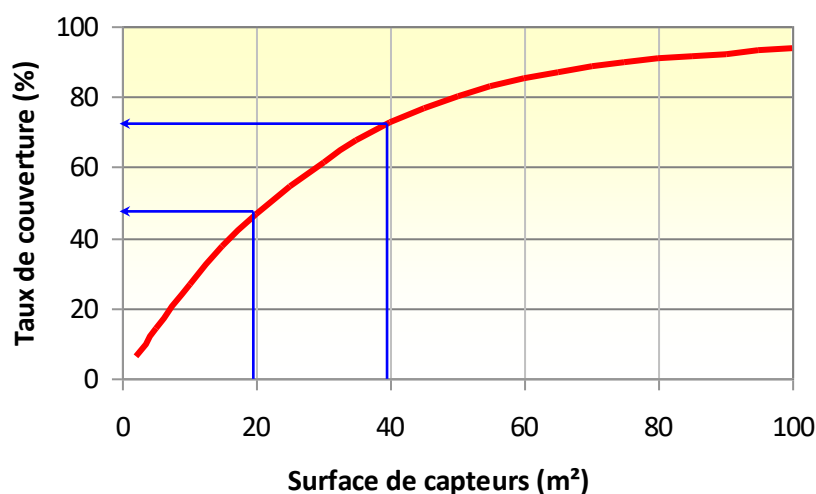


Figure 6. Exemple de l'évolution du taux de couverture en fonction de la surface de capteur
Source : Tecsol

Dans ce graphique on montre clairement que les taux de couverture annuels obtenus pour une installation solaire de production d'eau chaude donnée ne sont pas proportionnels à la surface de capteurs. Dans l'exemple, avec une surface de capteurs de 20 m², l'installation couvre environ 47% des besoins énergétiques. Si la surface de capteur double, soit 40 m², le taux de couverture ne double pas et atteint seulement 73%.

Une autre approche, montre que la productivité solaire, c'est-à-dire la « récolte » d'un mètre carré de capteur (en kWh/m² · an), diminue avec la surface mise en œuvre (figure 7 ci-dessous), et donc avec le taux de couverture solaire. Une installation avec une faible surface de captation, donnera un taux de couverture bas, mais la productivité par mètre carré de capteur sera élevée.

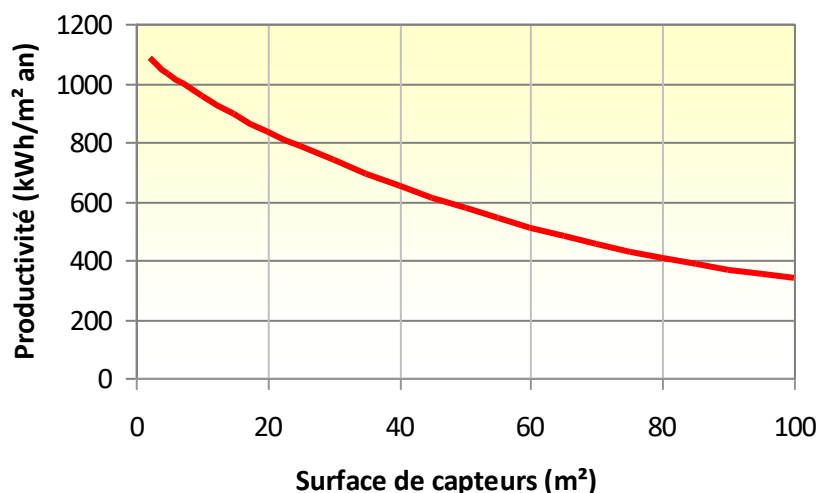


Figure 7. Exemple de l'évolution de la productivité annuelle de l'installation solaire en fonction de la surface de capteur
Source : Tecsol

Il est très important, au moment du choix de la surface, de prendre en considération cette relation entre la surface de capteur, la productivité de ceux-ci et le taux de couverture solaire. Ces paramètres sont liés entre eux et déterminent la rentabilité du projet, que celle-ci soit économique (temps de retour de l'investissement) ou environnementale (réduction des émissions de CO₂ par rapport à l'investissement).

Dans la majorité des cas, le dimensionnement d'une installation donnée, conduit à déterminer l'objectif énergétique recherché. Pour la production d'eau chaude en logements collectifs et avec le climat du Maroc, il est considéré comme raisonnable de fixer un taux de couverture annuel entre 40 et 60%.

Pour un bâtiment déterminé, la représentation graphique ci-dessous, montre dans la partie supérieure, pour une surface de capteurs de 12 m², les besoins énergétiques (rouge), la production solaire (bleue) et en pointillés le taux de couverture pour une surface. La partie inférieure du schéma donne les mêmes paramètres pour une surface de 22 m². On constate que le taux de couverture est de 60% en été avec 12 m² de capteurs. Ce chiffre dépasse 90% avec 22 m² pour les mêmes mois. Dans ce dernier cas il existe un très réel risque de surchauffe des capteurs.

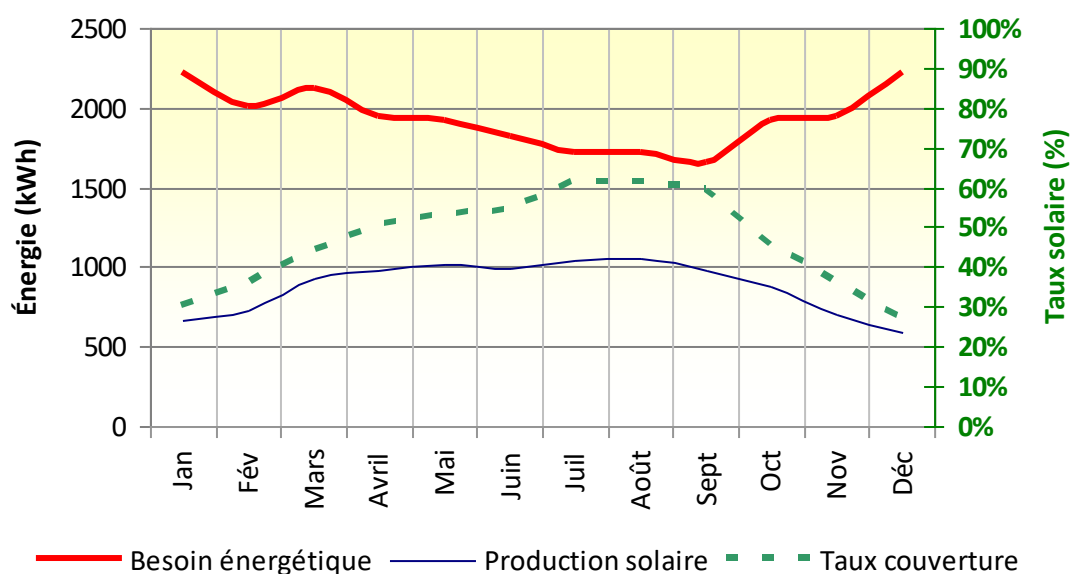


Figure 8. Bilan énergétique théorique d'une installation pour un bâtiment de référence avec des surfaces de capteurs solaires de 12 m². Données climatiques de Casablanca
Source : Tecsol

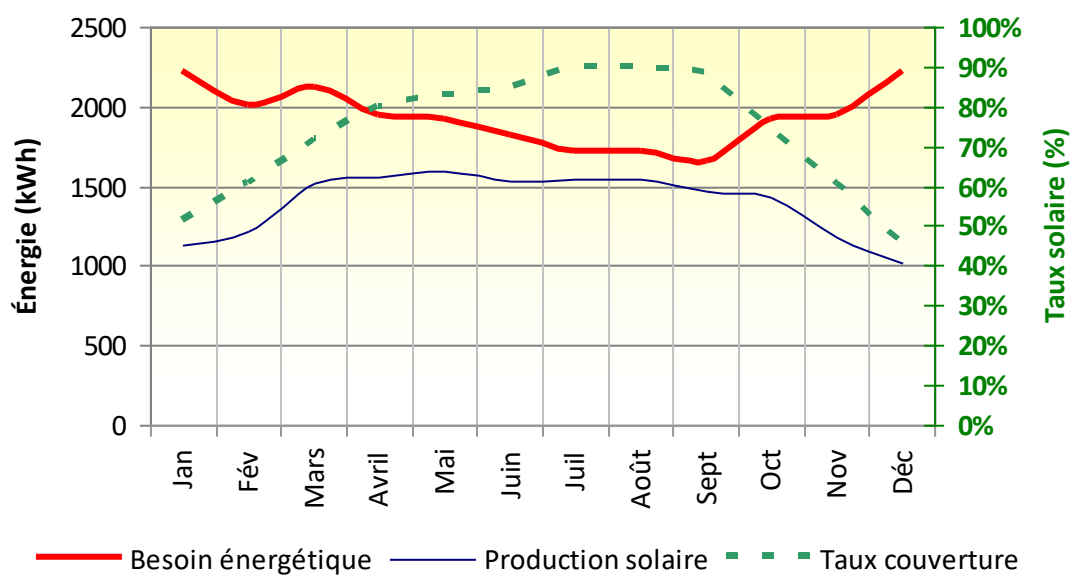


Figure 9. Bilan énergétique théorique d'une installation pour le même bâtiment de référence avec des surfaces de capteurs solaires de 22 m². Données climatiques de Casablanca
Source : Tecsol

En pratique, la taille du système solaire (surface des capteurs) adaptée pour un bâtiment particulier peut être obtenue en suivant les étapes ci-dessous :

- **Calcul des besoins énergétiques.** L'estimation des besoins d'eau chaude sanitaire doit être effectuée avec soin, car cette donnée est un facteur essentiel dans la conception de l'installation. Sans possibilité de procéder à des mesures, il est recommandé de retenir un volume d'eau chaude de 30 à 40 litres par jour et par personne à une température de 40°C. Cela correspond à un volume de 100 à 140 litres par jour et par logement. Dans tous les cas, pour déterminer la consommation journalière moyenne d'eau chaude sanitaire il faudra prendre en compte les particularités du bâtiment (taille des logements, nombre prévu de personne par logement...).

Par ailleurs, il peut être convenable d'affecter les consommations mensuelles d'un coefficient saisonnier, pour tenir compte d'une moindre consommation d'eau chaude pendant les mois d'été, à cause de l'absence de certains habitants pendant une période de vacances. De plus la température de consigne de l'eau chaude est plus faible en été, ce qui revient à consommer moins d'eau à la température nominale de consigne.

Sur le tableau ci-dessous, sont reproduits, à titre d'exemple, des coefficients correctifs.

Mois	Janv.	Fév	Mas	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Coef.	1,15	1,1	1,05	1,1	1,03	1,02	0,91	0,77	0,92	0,95	1,03	1,07

Tableau 1. Exemple de tableau de coefficients correcteurs mensuels de la consommation moyenne d'eau chaude sanitaire pour des bâtiments de logements.

Source : Méthode ESIM (France)

- **Choix de la performance énergétique souhaitée.** L'objectif énergétique visé conditionne logiquement la surface des capteurs. Comme il a été déjà indiqué, la plupart des installations solaires collectives de production d'eau chaude sanitaire sont conçues de telle façon que le solaire couvre entre 40 et 60 % des besoins d'eau chaude annuels.
- **Choix de la configuration hydraulique de l'installation.** En général, les bâtiments résidentiels vont opter pour une configuration avec récupération d'énergie solaire et du stockage et appoint individuels (type CESC), comme indiqué dans le chapitre 3 (figures 2 et 3).
- **Choix des données climatiques de l'emplacement du bâtiment,** sur une base mensuelle. Normalement, les données climatiques sont incluses dans le logiciel qui met en oeuvre le procédé de calcul. Certains programmes permettent de mettre à jour les données météorologiques, l'ajout de nouvelles stations météorologiques.

- Choix des caractéristiques des matériels utilisés, notamment les capteurs solaires (coefficients d'efficacité énergétique, surface) et le stockage solaire. Comme dans le cas de données météorologiques, les caractéristiques d'un grand nombre de capteurs solaires peuvent être mises en oeuvre dans la base de données du procédé de calcul.
- Réaliser un calcul de l'énergie à partir de la méthode de calcul choisie. La méthode la plus courante consiste à utiliser un type simplifié sur une base mensuelle, comme mentionné dans le point précédent.
- Comparer les résultats avec les objectifs fixés en matière de production d'énergie. Dans le cas où la contribution solaire annuelle totale n'est pas suffisante, il faut répéter le calcul en augmentant ou diminuant la surface des capteurs. Il convient de vérifier que lors des mois de fort ensoleillement ou de faible consommation, le taux de couverture moyen mensuel théorique reste inférieur à 80 ou 90 %.
- Vérifier la capacité d'intégration des capteurs en toiture. Parfois, il peut y avoir des ajustements nécessaires à faire ce qui peut entraîner une variation du nombre de capteurs pouvant être réellement intégrés en toiture. Dans ce cas, un nouveau calcul de l'énergie doit être effectué à partir du nombre réel de capteurs.

Le processus de conception est, donc, de type itératif, en réalisant différents calculs afin d'ajuster les caractéristiques des différents composants aux objectifs énergétiques fixés tout en tenant compte des limites imposés par l'espace disponible en toiture.

4. MATERIELS ET APPLICATIONS

La mise en place d'une installation solaire implique l'utilisation d'une partie de la surface du bâtiment pour y installer les différents composants qui la constitue. Il est en particulier nécessaire de prévoir :

- Un espace en toiture pour la mise en place des capteurs solaires.
- A l'intérieur des logements, une surface pour l'installation de ballons de stockage solaires individuels.
- A l'intérieur du bâtiment, un local technique pour l'emplacement des composants hydrauliques du circuit primaire solaire et pour le passage des tuyaux de raccordement des capteurs vers les ballons de stockage.

4.1 TRAVAUX EN COUVERTURE

4.1.1 Espace en toiture

Dans quelques cas, la surface disponible en toiture peut conditionner le calcul de l'installation. Il n'est pas possible d'établir des critères généraux qui permettent de calculer la surface de toiture minimale. De nombreux paramètres influent, tels que les besoins d'eau chaude, l'objectif visé de couverture de ces besoins, la nature et la géométrie de la toiture, la présence d'obstacles pouvant générer des ombres, l'orientation du bâtiment...

L'orientation du bâtiment, la géométrie de sa toiture et la présence d'obstacles sur celle-ci ou des particularités architecturales (patios intérieurs, cheminées de ventilation, skydomes) peuvent gêner l'implantation des capteurs solaires. Dans l'exemple de la figure 10 on montre la toiture de deux bâtiments qui ont la même surface de plancher et les mêmes éléments de couverture, mais différentes orientations. Comme on peut le constater, sur le bâtiment de gauche, mieux orienté, il est possible d'installer deux fois plus de capteurs que sur le bâtiment de droite.

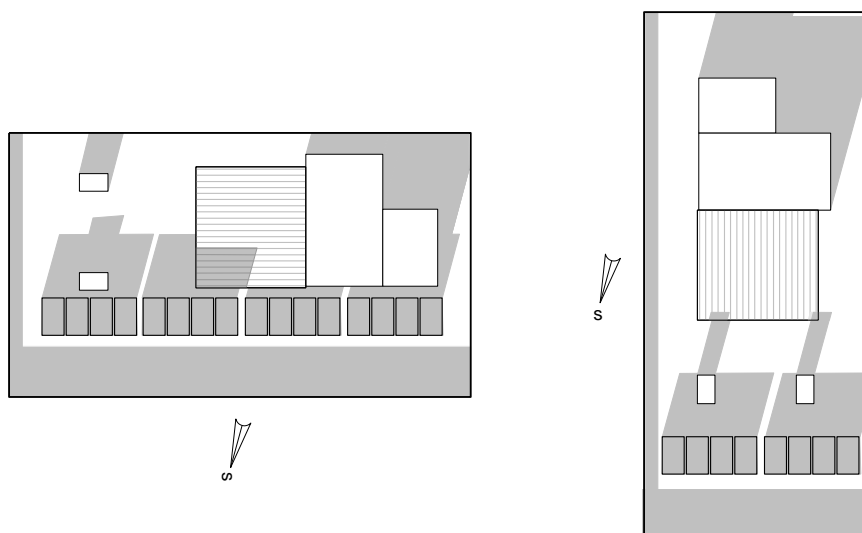


Figure 10. *Influence de l'orientation et la géométrie de la toiture sur la surface disponible pour l'installation des capteurs solaires.*

Pour deux toitures d'une même surface, les possibilités d'implantation de capteurs solaires sont plus grandes si l'axe du bâtiment est orienté Est-Ouest

Source : Tecsol

La surface disponible, la forme de la toiture, l'orientation du bâtiment et les éléments présents en toiture peuvent avoir une influence sur le nombre de capteurs à installer. Pour les bâtiments neufs, les difficultés d'installation liées à l'implantation de capteurs solaires sont en général fortement réduites car celle-ci est prévue lors de la conception du bâtiment.

4.1.2 Capteurs solaires

Le marché propose une large variété de capteurs notamment des capteurs de type plan, avec ou sans traitement sélectifs et des capteurs à tubes sous vide.

Le choix d'un modèle de capteur solaire pour un projet concret dépend de plusieurs facteurs. En premier lieu le type d'application, puis la répartition des besoins tout au long de l'année, la température de consigne, le prix, les garanties offertes ou les conditions d'implantation des capteurs sur le bâtiment (intégration esthétique, orientation et inclinaison possibles, espaces disponibles).

En tout cas, le capteur solaire plan est, de loin, celui le plus couramment utilisé pour produire de l'eau chaude dans les climats tempérés (figure 11).

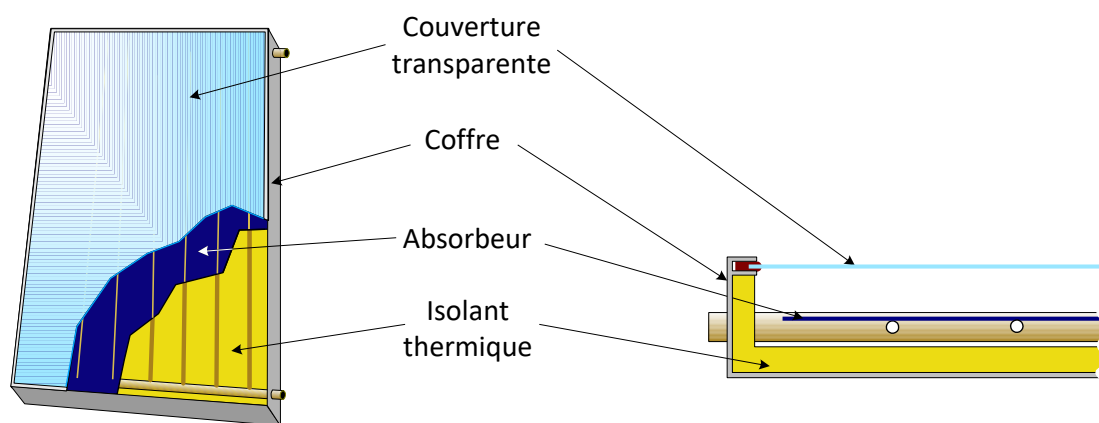


Figure 11. Schéma écorché et en coupe du capteur solaire plan
Source : Tecsol

Il est constitué d'un coffre isolant protégeant l'arrière du capteur et permettant la fixation de la couverture transparente. Celle-ci est constituée d'une feuille de verre trempé, qui en cas de bris se décompose en de très nombreux morceaux sans dangers pour les utilisateurs.

L'absorbeur est l'élément sensible du capteur, il est constitué d'une feuille de métal bon conducteur de la chaleur (cuivre ou aluminium) fixé sur un réseau de tubes dans lequel circule le fluide (eau ou fluide antigel) qui évacuera hors du capteur l'énergie qu'il aura capté. L'absorbeur est de couleur sombre (bleu foncé ou noir) afin de capter la plus grande partie du rayonnement solaire visible.

Les absorbeurs qui équipent les capteurs les plus simples sont constitués de tôles peintes en noir. Mais le plus souvent l'absorbeur est dit « sélectif » c'est-à-dire que son revêtement est constitué d'une substance, déposée soit par électrolyse, soit sous vide, présentant des caractéristiques thermo-optiques favorables. Ce revêtement possède un

très bon coefficient d'absorption du rayonnement solaire, tandis qu'il émet une faible quantité de rayonnement infrarouge. Ce qui n'est pas le cas de la peinture noire, par exemple, qui émet huit à dix fois plus de rayonnement infrarouge qu'un revêtement sélectif.

Les capteurs plans qui ont un absorbeur avec traitement sélectif offrent de meilleures performances que les capteurs simples. Il doit être vérifié dans chaque cas si la productivité accrue des capteurs sélectifs compense son prix plus élevé. Le capteur solaire retenu devra disposer de certifications reconnues et avoir fait l'objet d'essais incontestables. Il est recommandé de prescrire des capteurs solaires bénéficiant d'une reconnaissance internationale et d'un équivalent disponible dans le pays.

Dans les conditions climatiques du Maroc et avec les niveaux de températures requis pour la production d'eau chaude sanitaire, les capteurs solaires de type plan constituent la meilleure option. Il faudra évaluer dans chaque cas si le modèle choisi doit comporter ou non un traitement sélectif de l'absorbeur.

4.1.3 Mise en œuvre des capteurs solaires en toiture

Les capteurs solaires se trouvent en règle générale sur la toiture du bâtiment qui est inclinée ou plate.

Le plus souvent, la surface d'une toiture terrasse d'un bâtiment est suffisante pour l'installation des capteurs. Comme cela a été indiqué précédemment, on peut rencontrer des difficultés lorsque cette toiture présente des éléments tels que ascenseurs, ventilation, cheminées ou antennes car ces derniers peuvent réduire significativement la surface disponible.

Les fabricants de capteurs fournissent généralement les structures de support et leurs accessoires de fixation, très souvent en aluminium ou en acier galvanisé. L'ancrage des capteurs sur le bâtiment doit être réalisé de sorte qu'il résiste aux surcharges de vent et de neige le cas échéant. Dans tous les cas, les supports ou contrepoids doivent être testés et ils ne doivent pas être un obstacle aux opérations de maintenance ni de réparation ou rénovation de la toiture.

Une solution fréquente consiste à fixer les structures de support sur des dalles béton situées au-dessus de la couche d'étanchéité (figure 12, droite). Selon le type de support, les dalles béton peuvent être remplacées par des longrines. Là encore, les dimensions de ces éléments doivent être telles qu'ils résistent aux charges de vents.

Une autre solution, spécialement indiquée dans le cas des constructions neuves consiste à prévoir des supports ancrés dans la couverture avant l'imperméabilisation. Elle présente l'avantage de laisser libre accès au système d'étanchéité pour la maintenance ou la rénovation future (figure 12, gauche).

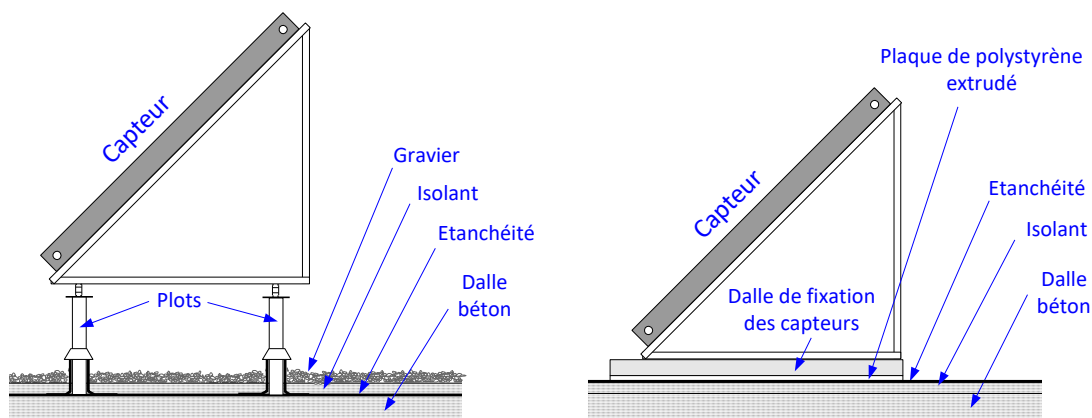


Figure 12. Exemples de fixation des capteurs solaires sur une toiture plate.

Source : Tecsol

Le choix de l'installation des capteurs solaires sur la toiture doit se faire pour que la production d'énergie tout au long de l'année soit la plus importante possible.

Il faudra également éviter d'implanter les capteurs dans des zones ombragées dues à d'autres bâtiments ou à la présence d'obstacles à proximité.

De manière générale, le choix du système de supportage, de fixation et de raccordement hydraulique, devra se faire sur la base des éléments suivants :

- Pour éviter les infiltrations, on devra assurer la continuité de l'étanchéité de la couverture ;
- Le système de fixation ne devra être un obstacle à l'évacuation de l'eau de pluie vers les points de drainage ;
- Tous les composants de la structure doivent être résistants aux intempéries et à la corrosion ;
- La structure de supportage et son système de fixation doivent permettre les dilatations des matériels, sans produire de contraintes mécaniques sur les capteurs eux-mêmes ou sur les canalisations ;
- Les points de fixation devront pouvoir supporter les charges de vent, notamment quand la pression de ce dernier s'exerce à l'arrière du capteur ;
- L'assemblage de la structure de supportage, la fixation des capteurs à cette dernière et les connexions hydrauliques doivent être réalisées conformément aux

prescriptions du fabricant et en faisant en sorte de ne pas produire d'efforts mécaniques sur les différents composants ;

- Un chemin d'accès pour les opérations de maintenance devra être prévu en évitant les canalisations, qui devront être protégées.

4.1.4 Raccordement hydraulique des capteurs solaires

En pratique les capteurs ne sont jamais installés de façon isolée, mais sont hydrauliquement reliés en batteries pour former un ensemble de captage d'une surface déterminée par le calcul. Cette connexion peut être effectuée en série ou en parallèle (figures 13 et 14).

Pour les installations de production d'eau chaude sanitaire, le plus fréquent est la formation de batteries de plusieurs capteurs reliés entre eux en parallèle par des collecteurs horizontaux grâce à des accessoires hydrauliques fournis par le fabricant. Toutefois la configuration interne de certains capteurs peut conduire à un raccordement en série (figure 13, droite).

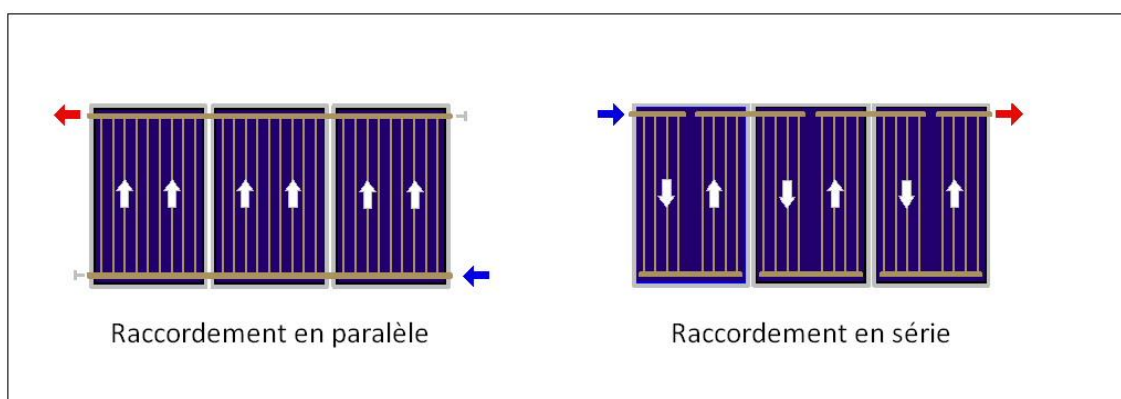


Figure 13. Connexion en série ou en parallèle des capteurs solaires au sein d'un même groupe
Source : Tecsol

Le rendement énergétique d'un capteur diminue lorsque sa température moyenne augmente. Hors, le raccordement en série de nombreux capteurs peut conduire à des températures élevées et par là même à une diminution du rendement de l'installation solaire.

Le nombre de capteurs qui peut être reliés en parallèle au sein d'un même groupe dépend de ses caractéristiques constructives. Cette information doit être donnée par chaque fabricant. Pour la majorité des modèles, il est déconseillé de raccorder plus de 6 à 8 capteurs au sein d'un même groupe. Si on dépasse ce nombre, il est possible que le débit ne soit pas distribué de façon homogène dans tous les capteurs ce qui pénaliserait la productivité énergétique de l'ensemble.

De plus, le raccordement des collecteurs horizontaux d'un trop grand nombre de capteurs, pourrait entrainer des problèmes de dilatations et en conséquence des efforts sur les joints et les canalisations.

En règle générale, les batteries de capteurs peuvent être reliées entre elles en série ou en parallèle, cette dernière option étant la plus fréquente.

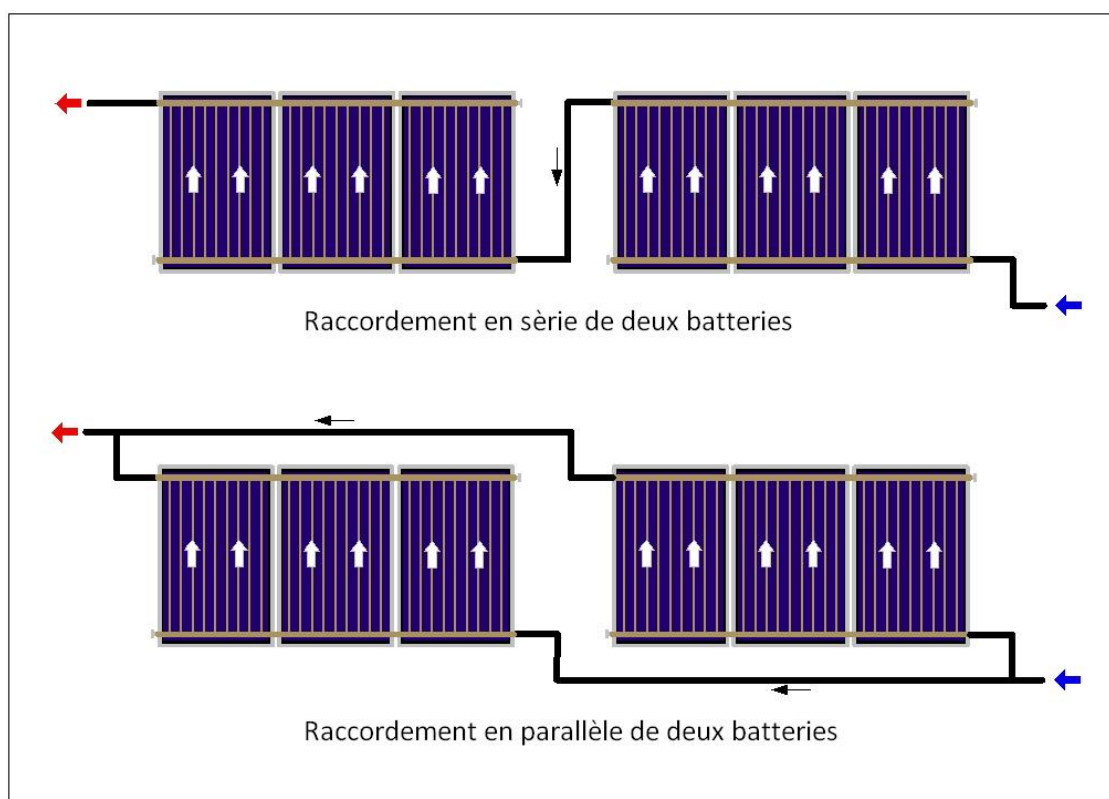


Figure 14. Connexion en série et en parallèle des capteurs solaires
Source : Tecsol



Figure 15. *Capteurs solaires installés sur un bâtiment de logements.*
Source : Tecsol

Le choix et la mise en œuvre des accessoires hydrauliques, doivent prendre en compte les conditions de fonctionnement auxquelles l'installation peut être soumise. Les purgeurs et vannes d'arrêt doivent pouvoir supporter des températures maximales ou de stagnation du capteur. Par exemple les purgeurs automatiques qui ne supportent pas des températures supérieures à 120 °C devront être protégés par la mise en place d'une vanne $\frac{1}{4}$ de tour et cette vanne, normalement fermée, ne devra en aucun cas être ouverte en période de stagnation.

Il faut également s'assurer que le circuit de raccordement des différentes batteries de capteurs soit correctement équilibré, c'est-à-dire que le débit qui circule dans chaque branche de l'installation soit proportionnel à la surface de capteur (figure 16).

Un débit de circulation trop faible a pour conséquence d'augmenter la température de fonctionnement ce qui diminue le rendement des capteurs et donc la performance énergétique de l'installation. Le débit dans chaque partie de l'installation doit permettre de respecter les recommandations du fabricant de capteur solaire qui dans la majeure partie des cas se situe aux alentours de 50 litres/h·m² de capteur.

Afin d'équilibrer le circuit capteur, il existe deux grandes méthodes. La première consiste à faire en sorte que les longueurs des canalisations soient équivalentes (figure 16.2) ou que les pertes de charges soient équivalentes en utilisant une boucle dite de *Tickelman*. Cependant, ce type de solutions ne compensent pas les éventuelles pertes de charge

ponctuelles qu'il peut y avoir dans les raccordements des différentes batteries de capteurs et peuvent entraîner d'importants déséquilibres hydrauliques.

C'est pour cela que l'on privilégiera, la pose de vannes d'équilibrage (figures 16.3 et 17). Il s'agit d'une manière efficace d'assurer une répartition optimale du débit entre les différentes batteries. Ces vannes permettent de mesurer le débit dans chaque tronçon et de l'adapter à la valeur souhaitée, en créant une perte de charge ponctuelle et contrôlée. L'équilibrage obtenu avec ce type de matériel est suffisant pour garantir un débit optimum dans l'ensemble des batteries.

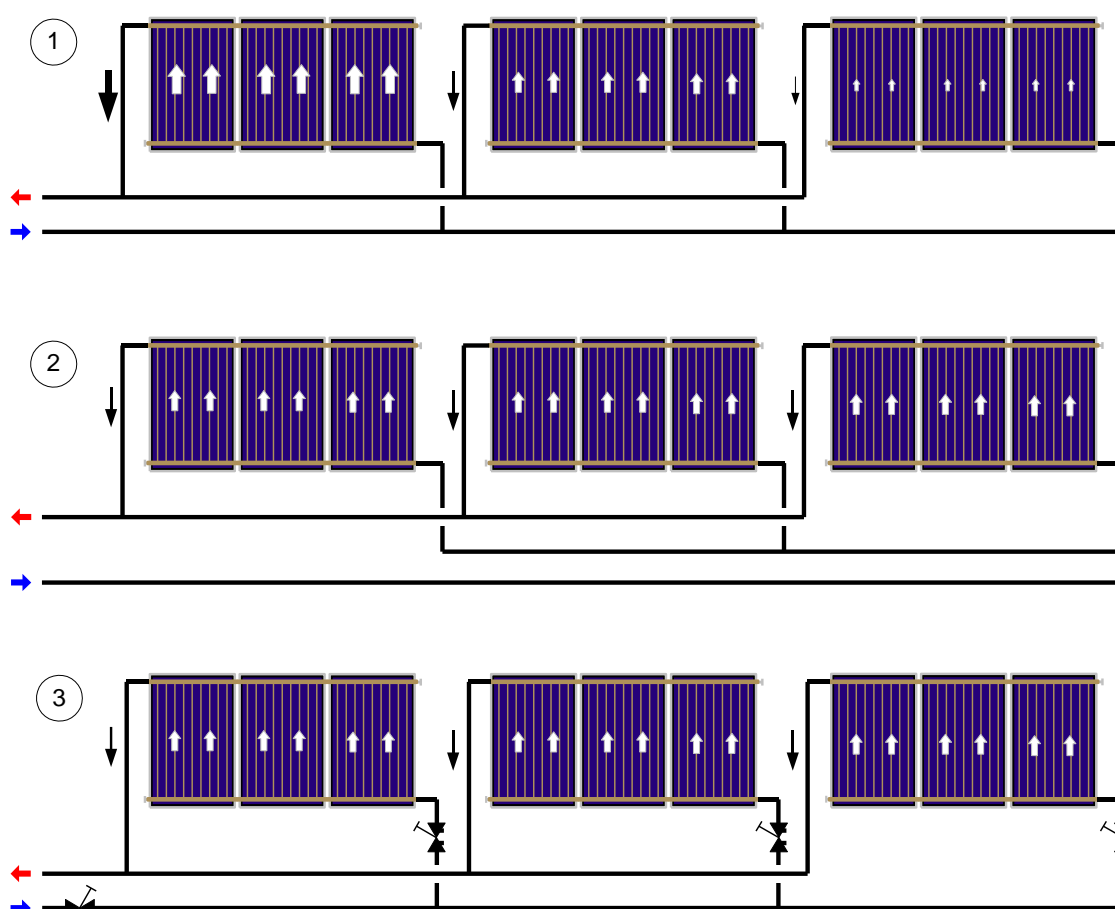


Figure 16. Raccordement de plusieurs batteries de capteurs solaires.

Dans le cas (1), il existe un risque de déséquilibre du débit. La batterie de gauche sera plus irriguée que celle du milieu, la batterie de droite étant la moins irriguée. Le cas (2) est la solution dite de la boucle de « Tickelman », elle permet théoriquement d'équilibrer l'installation mais nécessite la mise en œuvre d'une canalisation plus longue et dont le diamètre est plus élevé. Cette disposition est parfois utilisée mais a tendance à disparaître avec l'avènement des vannes d'équilibrage (3) qui est la solution à privilégier.

Source : Tecsol



Figure 17. *Vanne d'équilibrage*

Source : Tecsol

Les capteurs solaires sont réunis en batteries et leur nombre ne doit pas excéder 6 à 8 capteurs par groupe. Le raccordement dans chaque batterie s'effectue en parallèle. Le débit peut être réglé autour de 50 litres/h/m² de capteur, à moins que le fabricant ne recommande une valeur différente. Pour assurer une répartition correcte du débit dans chaque batterie, il est recommandé de mettre en place des vannes de réglages pour permettre l'équilibrage hydraulique de l'ensemble du circuit.

Afin de réduire les pertes dans les canalisations, la longueur du circuit primaire doit être le plus réduit possible, mais cela dépend souvent de considérations architecturales (distance entre la toiture et le local technique).

Les canalisations du circuit solaire sont réalisées de préférence en cuivre d'un diamètre suffisant pour permettre une vitesse du fluide inférieure à 1 m/s. Les canalisations doivent être isolées avec un matériau supportant les températures élevées qui peuvent être atteintes dans le circuit primaire. On utilise en général des coquilles en laine minérale ou gaine mousse élastomère. L'épaisseur de l'isolant doit être au minimum de 20 à 30 mm. La partie extérieure des canalisations devra être protégée d'une couverture étanche généralement réalisée en feuille d'aluminium d'une épaisseur minimale de 0,6 mm.

Le calepinage des capteurs sur la toiture devra être effectuée de manière ordonnée et autant que possible de façon parallèle aux axes principaux du bâtiment. Il est possible de maintenir un bon niveau de prestation avec une certaine souplesse quant à l'orientation des capteurs. Ainsi, il est possible d'admettre une variation de $\pm 45^\circ$, par rapport au Sud

sans dégradation sensible des performances de l'installation solaire. L'inclinaison, quant à elle, doit se situer entre 30 et 45° par rapport à l'horizontale, tout en sachant que les critères d'intégration architecturale seront prioritaires.

L'implantation des capteurs sur la toiture devra être réalisée de telle sorte qu'ils ne soient pas affectés par les ombres qui peuvent exister et cela quelle que soit la période de l'année. En cas de présence d'ombres partielles, elles devront être évaluées et prises en compte dans le calcul énergétique de l'installation.

Dans la pratique, lorsqu'il s'agit d'obstacles proches et de hauteur constante, on peut considérer que l'effet sur la production énergétique est faible si la distance qui sépare l'obstacle des capteurs est supérieure à une valeur qui peut être calculée selon la formule suivante :

$$d > h / \tan \alpha$$

Ou bien

$$d > k \cdot h$$

où

$$k = 1 / \tan \alpha$$

h est la hauteur relative de l'obstacle mesurée depuis le bord inférieur du capteur solaire

α est l'angle de la hauteur solaire à midi solaire du solstice d'hiver

La valeur de α dépend de la latitude du lieu. Dans le tableau suivant, sont données les valeurs α et du coefficient k pour les latitudes du territoire marocain.

Lat. °	36	35	34	33	32	31	30	28	26	24
α °	31	32	33	34	35	36	37	39	41	43
$k=1/(\tan \alpha)$	1,69	1,63	1,57	1,51	1,45	1,40	1,35	1,25	1,17	1,09

Tableau 2. Coefficient k pour le calcul de la distance de séparation d'un obstacle.

Source : Tecsol

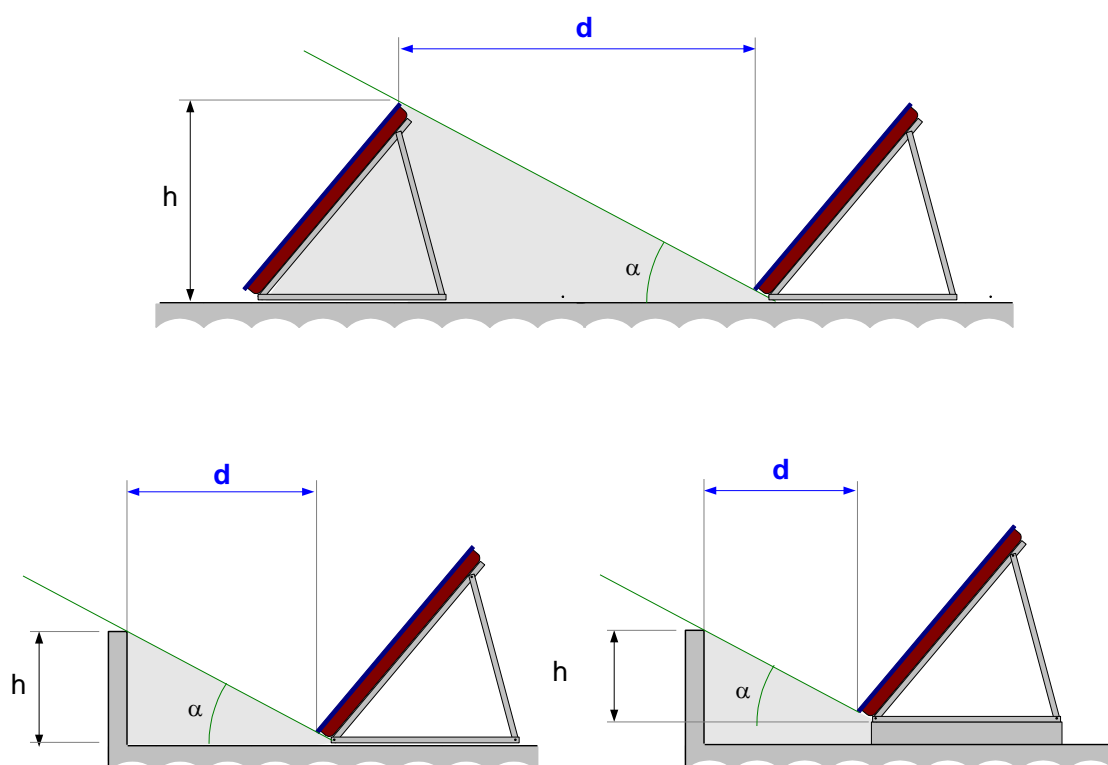


Figure 18. Calcul des distances minimales entre les éléments pour éviter des ombres significatifs
Source : Tecsol

La zone de la toiture équipée de capteurs solaires doit être en permanence accessible pour les opérations de maintenance. L'installation d'un portail métallique fermant à clés peut être une bonne solution

Chaque fois que cela est possible, il faut éviter que l'accès au logement soit fait exclusivement par des trappes et des échelles, car cela représente une difficulté supplémentaire pour le personnel en charge de l'entretien équipé d'outils ou d'équipement de remplacement.

4.2 EQUIPEMENTS A L'INTERIEUR DES LOGEMENTS

Les ballons de stockage situés dans les logements ont généralement une capacité de l'ordre de 80 à 200 litres (en fonction des besoins quotidiens d'eau chaude). Leur diamètre extérieur est approximativement de 45 à 65 cm et leur hauteur varie entre 90 et 130 cm. Dans la majorité des cas, les ballons de stockage sont installés dans des placards ou dans des buanderies.

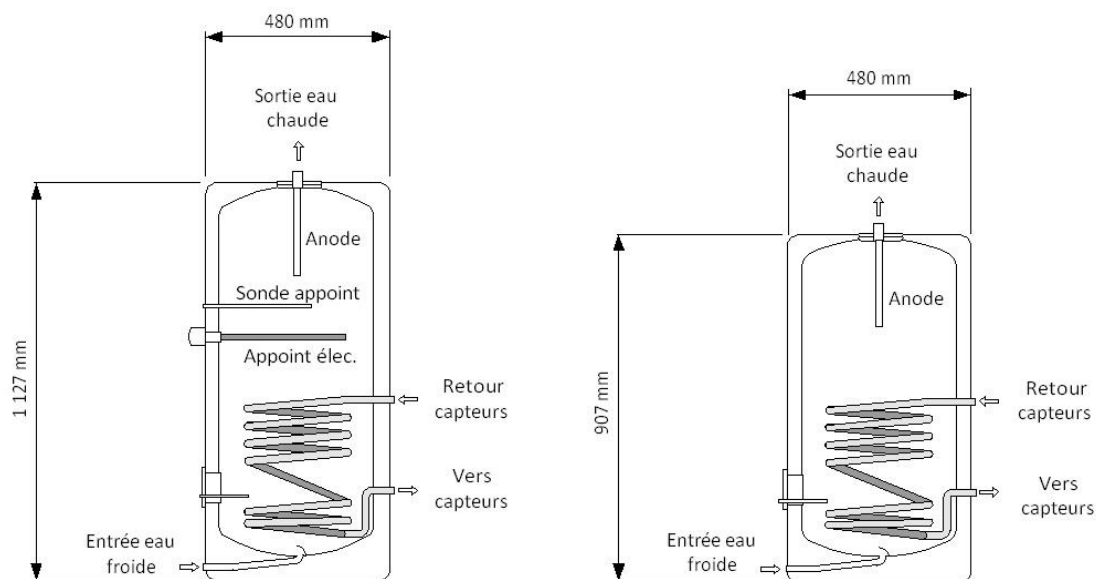


Figure 19. Exemple de dimensions d'un seul ballon de stockage avec résistance électrique de 110 litres (à gauche) et un autre de 80 litres.

Source : Tecsol

Le ballon solaire devra pouvoir supporter des températures supérieures à 85°C de manière permanente. On utilise régulièrement l'acier noir émaillé à 850°C ou l'acier inoxydable. L'épaisseur de l'isolant de ce type de ballons (le plus souvent de la mousse de polyuréthane injectée) est de l'ordre de 30 à 50 mm.

L'installation des ballons de stockage doit toujours être réalisée en pensant aux opérations de maintenance futures, de telle sorte que tous les composants soient facilement accessibles (vannes, purgeurs, anodes de protection cathodique, résistance électriques...). Il est également nécessaire que les réservoirs disposent d'un système de vérification externe relatif à l'état de l'anode sans pour autant qu'il soit nécessaire de vider le réservoir.

En cas d'utilisation de l'électricité comme énergie d'appoint, la résistance électrique et la sonde du thermostat de régulation doivent être situés au-dessus de l'échangeur noyé pour éviter de chauffer avec l'appoint le volume solaire. Le volume d'appoint devra être suffisant pour maintenir un volume suffisant d'eau chaude à la température de consommation (au-dessus de la résistance électrique) capable de satisfaire la demande d'eau chaude du logement pendant des périodes prolongées sans ensoleillement. Pendant les périodes où la température de l'eau du stockage solaire est suffisante, le dispositif d'appoint (résistance électrique, chaudière ou préparateur d'eau chaude) devront rester à l'arrêt.

Si l'énergie d'appoint est assurée par une chaudière ou un préparateur instantané à gaz, celui-ci doit être situé à proximité du stockage et raccordé à la sortie de celui-ci. La

puissance du dispositif d'appoint au gaz doit pouvoir être modulé en fonction de la température d'entrée et il doit supporter les températures élevées qui peuvent être atteinte dans le ballon solaire.

A la sortie du ballon solaire il est nécessaire d'installer une vanne thermostatique qui permettra de limiter la température dans le circuit de distribution.

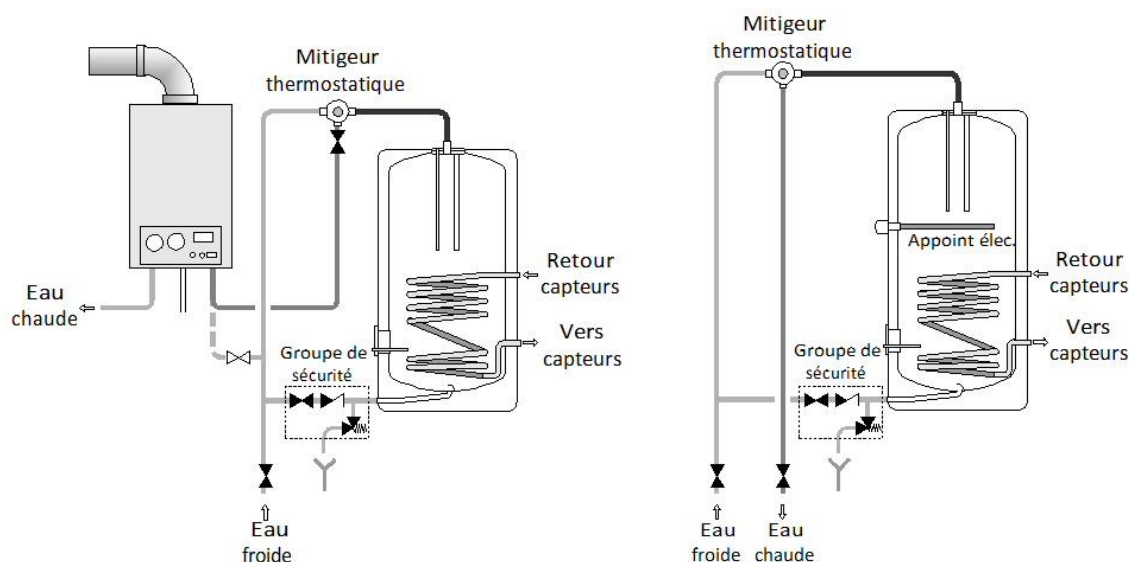


Figure 20. Schéma de raccordement des ballons solaires individuels avec appoint gaz ou appoint électrique intégré
Source : Tecsol

Le stockage solaire est effectué par des ballons individuels, de 80 à 200 litres, avec échangeur de chaleur noyé, qui peuvent être installés dans des armoires ou dans la buanderie.

Dans le cas où l'appoint d'énergie est réalisé avec des résistances électriques, il est impératif qu'elles soient situées au-dessus de l'échangeur de chaleur.

4.3 AUTRES COMPOSANTS DE L'INSTALLATION

4.3.1 Local technique

En plus du champ de capteurs solaires et des ballons de stockage individuels, le circuit hydraulique nécessite d'autres composants qui doivent être situés à l'intérieur du bâtiment dans un local technique situé de préférence à proximité des capteurs solaires.

Parmi ces composants, on retrouve :

- une pompe de circulation, dimensionnée pour le débit nominal et la température de fonctionnement requise.
- un ensemble d'éléments de sécurité, constitué d'au moins une soupape de sécurité et un vase d'expansion dont le volume est suffisant pour recueillir le volume de fluide présent dans le circuit.
- Un système de régulation différentielle, dont les caractéristiques de performance sont détaillées dans le point suivant, ainsi qu'un tableau de protection électrique.
- Des vannes et des instruments de mesure (thermomètres, manomètres, etc.).

Il est très important de disposer d'un système qui permet d'évaluer les performances réelles de l'installation solaire, en quantifiant la production d'énergie fournie. Les fonctions de mesure et de supervision peuvent être dissociées (un régulateur différentiel et un compteur d'énergie) mais il est souvent plus économique de réunir ces deux fonctions dans un même appareil. Dans ce cas, il faut prévoir l'installation de composants additionnels (compteurs volumétriques, sondes de température, contacts ouverts/fermés de commande des pompes ou des résistances électriques, etc...).

4.3.2 Systèmes de régulation

Le système de régulation a pour objet de mettre en service le circulateur afin d'optimiser le captage d'énergie. À cet effet, on dispose sur le circuit des capteurs de température dont l'analyse par le régulateur permettra d'actionner la pompe et, dans certains cas, d'autres composants électriques.

Le principe de base de la régulation solaire consiste en la mise en fonctionnement la pompe de circulation en fonction de la différence de températures entre les capteurs et la partie plus froide du circuit solaire (figure 21). À cet effet, il suffit de disposer de deux sondes de température situées, d'une part, dans un capteur solaire (TSC pour Température de Sortie du Capteur) et, d'autre part, dans la canalisation de retour du circuit (TRS pour Température de Retour Solaire). Le régulateur compare en permanence les deux sondes de températures et lorsque la température du capteur (TSC) est supérieure de quelques degrés à la température du circuit (TRS), alimente la pompe de

circulation du circuit solaire. A l'inverse lorsque la TSC et TRS deviennent pratiquement identiques le régulateur arrête la pompe de circulation (figure 21).

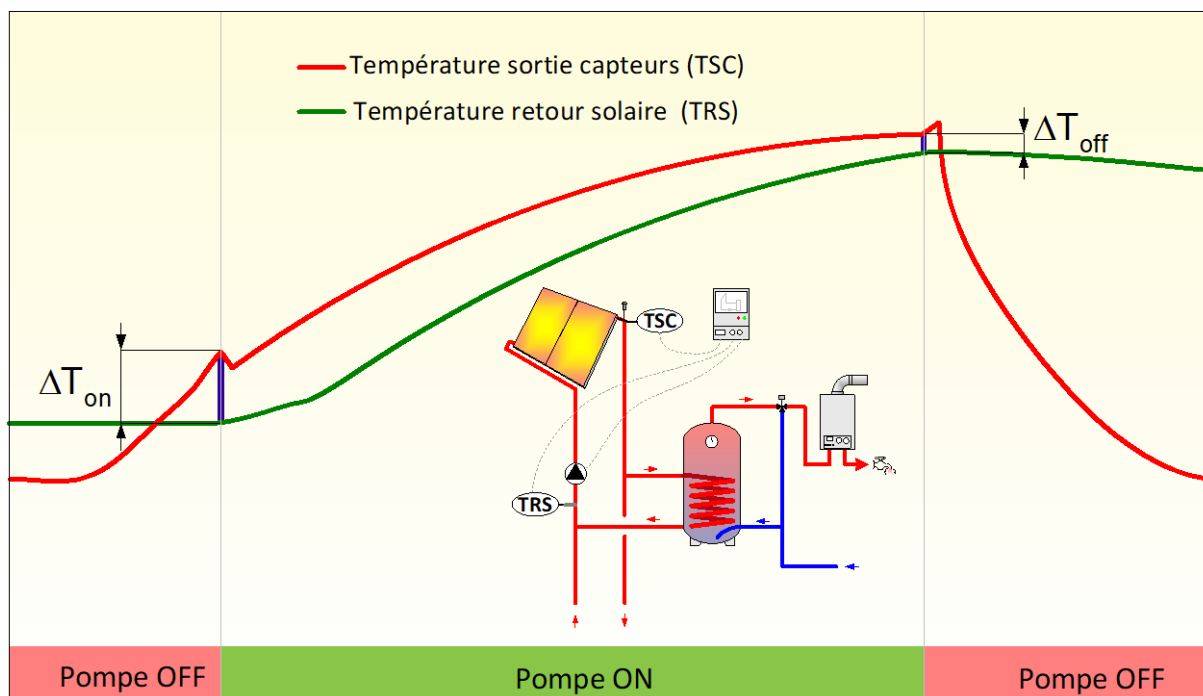


Figure 21. Schéma de fonctionnement d'une régulation différentielle.
Source : Tecsol

Il est important que la sonde de température TSC soit correctement installée dans le collecteur supérieur du capteur et à proximité immédiate de celui-ci. Il ne faut pas que la sonde soit trop éloignée du capteur solaire, car dans ce cas la mise en marche de l'installation solaire le matin serait retardée. Une mauvaise position de la sonde de température des capteurs est une cause récurrente de mauvais fonctionnement des installations solaires.

Le lancement de la pompe de circulation est réalisé par une régulation différentielle, normalement située dans les installations du local technique. Il est important de veiller à ce que les capteurs de température sont installés correctement.

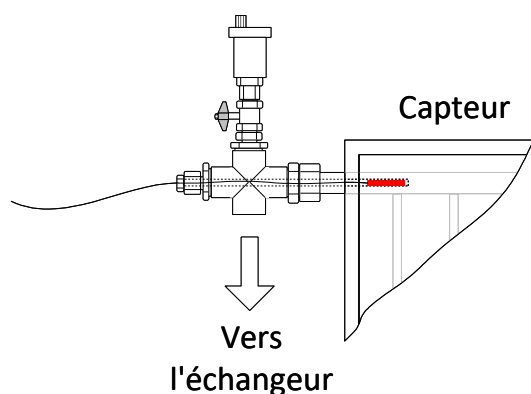


Figure 22. Position de la sonde de température dans les capteurs solaires (TSC).
Source : Tecsol

A partir du fonctionnement de base d'une régulation différentielle, on peut concevoir de multiples variantes, en fonction du schéma de principe qui a été retenu.

En outre, la régulation peut comporter des fonctions supplémentaires, telles que la limitation de la température dans le circuit, le pilotage d'un composant auxiliaire ou encore l'activation d'une protection antigel pour des installations situées dans des régions où ce risque existe.

Il est également nécessaire de disposer d'un système qui permet d'évaluer les performances réelles de l'installation solaire, en quantifiant la production d'énergie fournie. Les fonctions de mesure et de supervision peuvent être dissociées (un régulateur différentiel et un compteur d'énergie) mais il est souvent plus économique de réunir ces deux fonctions dans un même appareil. Dans ce cas, il faut prévoir l'installation de composants additionnels (compteurs volumétriques, sondes de température, contacts ouverts/fermés de commande des pompes ou des résistances électriques, etc...).

4.3.3 Réserve pour le passage des tuyaux

Il est nécessaire de prévoir un espace suffisant pour l'installation de tuyaux verticaux qui permettent de connecter les capteurs solaires avec les ballons de stockage.

Pour des logements individuels, l'espace requis est réduit, étant donné que dans la plupart des cas il faut prévoir deux tuyaux isolés avec un diamètre extérieur (y compris l'isolant) de 8 à 12 cm de diamètre.

Les sections horizontales peuvent être positionnées dans les plafonds des logements. Par contre il est important de positionner les tuyaux du circuit primaire dans les parties communes du bâtiment.

5. ASPECTS ECONOMIQUES

Les installations solaires collectives dans les bâtiments résidentiels sont pratiquement inexistantes au Maroc, ce qui rend impossible l'obtention d'informations fiables issues des réalisations concrètes.

En règle générale, les éléments les plus importants dans le coût unitaire d'une installation solaire (de type CESCO) sont les capteurs solaires et les ballons de stockage individuels. Le montant de l'investissement initial, exprimé en DH / logement, dépend principalement du coût de ces deux matériels, qui représentent ensemble plus de 50% du montant total de la réalisation. La taille de l'immeuble, et le coût des autres composants du système sont beaucoup moins déterminants dans le prix final.

Selon les estimations, le prix d'une installation standard avec une configuration CESCO pourrait varier entre 8 000 et 11 000 DH / logement, en fonction des équipements choisis et hors système d'appoint. Ce prix moyen a été déterminé en fonction des hypothèses suivantes :

- Le champ de capteur se compose de capteurs solaires plans montés sur cadre en aluminium fixé sur une structure. La surface de capteurs est estimée à 1 m² par logement
- Le stockage solaire se fait à l'aide d'un ballon vertical dans chaque logement, d'une capacité unitaire de 80 litres possédant une isolation en mousse de polyuréthane injectée, avec échangeur de chaleur noyé de type serpentin,
- La connexion des tuyaux entre les capteurs solaires et les ballons de stockage se fait à l'aide de tubes de cuivre isolés,
- La circulation du fluide se fait à l'aide d'une pompe de circulation et d'autres composants du circuit hydraulique
- Le système de régulation est basé sur un thermostat différentiel

Pour estimer le surcoût, d'une installation solaire dans un immeuble résidentiel, nous nous sommes basés sur les prix moyens constatés à savoir 250 000 DH pour un logement de type économique (60-65 m² et 4000 DH / m²) et 480 000 DH pour un logement de standing moyen (80 m² et 6500 DH / m²) et 1 million de DH pour une maison de haut standing (100 m² et 10 000 DH / m²). A partir de ces données, l'installation solaire représente un coût supplémentaire compris entre 3 et 5% pour le logement de type économique et de 1 à moins de 2% pour tous les autres cas.

L'estimation moyenne du surcoût d'une installation solaire collective a été estimée à entre 8000 et 11 000 DH / logement. Ce montant représente un surcoût par rapport à l'ensemble du bâtiment compris entre 3 et 5% pour le logement de type économique et moins de 2% pour un logement de moyen ou de haut standing.

CONCLUSION

Les conditions climatiques du Maroc sont particulièrement favorables pour profiter de l'énergie solaire. Les régions où se trouve la plupart de la population du pays ont un rayonnement solaire supérieur à 1800 kWh/m² par année, ressource plus que suffisante pour couvrir une partie importante des besoins en eau chaude sanitaire du secteur résidentiel.

L'abondance de cette ressource énergétique renouvelable, autochtone et exempte d'émissions polluantes permettra à cette option de jouer un rôle primordial à l'avenir, caractérisée par le besoin de réduire la dépendance énergétique du pays et les émissions de CO₂.

A court terme, mettre en place certaines initiatives réglementaires concrètes au sujet de l'environnement peut faciliter une généralisation rapide de cette solution, et plus particulièrement dans le cas des nouveaux bâtiments.

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire dans le secteur résidentiel collectif au Maroc, n'en est qu'à ses débuts, et le nombre de réalisations est encore très réduit.

Ce guide technique a pour objectif d'établir les critères de base pour la conception et l'exécution d'installations solaires dans des habitations collectives.

Les recommandations contenues dans le document ont été choisies pour généraliser l'utilisation de l'énergie solaire au sein du secteur résidentiel collectif, en partant de bases visant à faciliter une croissance solide et stable du secteur, en faisant plus particulièrement attention à :

- L'utilisation de matériaux adaptés au contexte local
- La simplicité de la conception
- La facilité d'utilisation et de maintenance
- L'optimisation de coût/bénéfice
- La durabilité dans le temps des installations

Le schéma hydraulique recommandé, avec apport solaire collectif et appoint individuel (CESCI) s'adapte convenablement aux critères indiqués. Il est également considéré comme la configuration optimale pour établir une base stable de développement de la technologie solaire dans le pays.

En ce qui concerne le calcul de la superficie d'apport solaire nécessaire, le guide détaille certaines recommandations techniques et propose une procédure de calcul simple et gratuite, permettant de réaliser une estimation suffisamment fiable de la production énergétique prévue.

L'installation des capteurs sur la toiture ne représente pas un problème important dans la plupart des immeubles d'habitations, et plus particulièrement si les espaces correspondants sont prévus pendant la phase de conception. Même s'il est indispensable d'effectuer un calcul pour chaque cas, la surface de captation solaire peut être d'environ 1 m² par logement pour couvrir près de 60% des besoins annuels dérivés de la production d'eau chaude sanitaire.

Au niveau économique, la réalisation d'une installation solaire dans des bâtiments neufs ne représente pas un surcoût significatif, et permet de garantir une réduction de la facture énergétique et des émissions de CO₂ pendant toute la vie de l'installation.

GLOSSAIRE

Besoin énergétique : Quantité d'énergie nécessaire pour chauffer le volume d'eau chaude consommée dans le bâtiment

Capteur solaire thermique : Dispositif permettant de capter le rayonnement solaire et de le transformer en chaleur, pour chauffer l'eau sanitaire ou alimenter un système de chauffage.

Circuit primaire solaire : Ensemble de tuyaux et autres composants hydrauliques qui relient les capteurs solaires à l'échangeur de chaleur

Échangeur de chaleur : Équipement permettant à un liquide chaud de céder sa chaleur à un fluide plus froid.

Énergie d'appoint : Énergie nécessaire pour compléter la production solaire ou la relayer en cas d'ensoleillement insuffisant ou nul (ce peut être le gaz, le fioul, l'électricité ou le bois).

Équilibrage (d'un réseau hydraulique): Opération de réglage permettant de réaliser une répartition optimale de la distribution des débits d'eau ou de fluide antigel en intervenant sur les organes d'équilibrage du réseau.

Irradiation globale annuelle : Quantité d'énergie solaire incidente sur une unité de surface horizontale pendant un temps fixé (kWh / m² an)

Production solaire annuelle : Quantité d'énergie fournie par une installation solaire pendant une année (kWh / an)

Productivité solaire : Quantité d'énergie fournie par une installation solaire pendant une année par unité de surface installée (kWh/m² · an). Formule de calcul: Productivité solaire = production solaire annuelle / surface de capteurs solaires

Taux de couverture solaire : Pourcentage d'énergie solaire qui couvre les besoins de chauffage d'eau chaude sanitaire ou/et de chauffage des locaux. Le taux de couverture solaire se définit donc comme la part des besoins annuels en énergie couverts par l'énergie solaire. Formule de calcul: Couverture Solaire = production Solaire / Besoins.

Température de stagnation d'un capteur solaire : Température intérieure à laquelle le capteur atteint son équilibre thermique, sans extraction de chaleur. La température de stagnation se détermine généralement avec des conditions constantes de 1000 W/m² d'irradiation solaire incidente et une température ambiante de 30 °C.

Thermosiphon : Circulation naturelle d'un liquide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température.

INDICE DES FIGURES

Figure 1. Installation solaire individuelle avec des équipements préfabriqués (CESI).....	11
Figure 2. Installation solaire avec accumulation distribuée (CESCI) et appoint individuel instantané avec chaudière ou réchauffeur au gaz.	13
Figure 3. Installation solaire avec accumulation distribuée et appoint individuel électrique dans le même ballon solaire.	13
Figure 4. Schéma de principe d'une méthode de calcul simplifiée	15
Figure 5. Tableau de résultats du calcul en ligne avec la méthode SOLO	16
Figure 6. Exemple de l'évolution du taux de couverture en fonction de la surface de capteur	17
Figure 7. Exemple de l'évolution de la productivité annuelle de l'installation solaire en fonction de la surface de capteur	18
Figure 8. Bilan énergétique théorique d'une installation pour un bâtiment de référence avec des surfaces de capteurs solaires de 12 m ² . Données climatiques de Casablanca	19
Figure 9. Bilan énergétique théorique d'une installation pour le même bâtiment de référence avec des surfaces de capteurs solaires de 22 m ² . Données climatiques de Casablanca	19
Figure 10. Influence de l'orientation et la géométrie de la toiture sur la surface disponible pour l'installation des capteurs solaires.	23
Figure 11. Schéma écorché et en coupe du capteur solaire plan	24
Figure 12. Exemples de fixation des capteurs solaires sur une toiture plate.	26
Figure 13. Connexion en série ou en parallèle des capteurs solaires au sein d'un même groupe	27
Figure 14. Connexion en série et en parallèle des capteurs solaires	28
Figure 15. Capteurs solaires installés sur un bâtiment de logements.	29
Figure 16. Raccordement de plusieurs batteries de capteurs solaires.	30
Figure 17. Vanne d'équilibrage.....	31
Figure 18. Calcul des distances minimales entre les éléments pour éviter des ombrages significatifs	33
Figure 19. Exemple de dimensions d'un seul ballon de stockage avec résistance électrique de 110 litres (à gauche) et un autre de 80 litres.....	34
Figure 20. Schéma de raccordement des ballons solaires individuels avec appoint gaz ou appoint électrique intégré.....	35
Figure 21. Schéma de fonctionnement d'une régulation différentielle.....	37
Figure 22. Position de la sonde de température dans les capteurs solaires (TSC).	38



MINISTERE DE L'HABITAT ET DE LA POLITIQUE DE LA VILLE

DIRECTION DE LA QUALITE ET DES AFFAIRES TECHNIQUES

Tél : 05 37 57 75 51 – 05 37 57 75 52

Fax : 05 37 57 75 77

www.mhpn.gov.ma