

Le marché solaire thermique en Tunisie

Situation actuelle et perspectives



Octobre 2013

Christopher Gross

Projet « Promotion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en Tunisie »
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Contenu

Liste des abréviations	3
1 Introduction	4
2 Description de la technologie	5
3 Le marché international	8
4 Le marché solaire thermique en Tunisie.....	13
4.1 Instruments du soutien actuels.....	13
4.1.1 Le programme PROSOL.....	13
4.2 Développement jusqu'à présent - Capacité et type des installations résidentiels	14
4.3 La situation de l'offre du marché CES	16
4.3.1 Entreprises actives dans le secteur.....	16
4.3.2 Les produits	18
4.3.3 Les coûts d'investissement	19
4.3.4 La rentabilité pour les investisseurs.....	20
5 Résumé et recommandations.....	25
Références	30
Annexe.....	31

A vertical blue bar on the left side of the page, featuring white decorative patterns including a stylized archway and a sun-like symbol.

Liste des abréviations

ANME	Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie
CES	Chauffe-eau solaire
DT	Dinar tunisien
kWh	Kilowatt heure
MI	Ministère de l'Industrie
STEG	Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz

1 Introduction

Les fondations du marché solaire thermique date depuis les années quatre-vingts. Par petits étapes et par le développement énorme suivant l'initiation du programme PROSOL, la Tunisie a gagné un rôle de pionnier dans le domaine du solaire thermique. Ayant réussi d'installer plus que 40 m² par 1000 habitants, la Tunisie est de loin le leader parmi les pays en Afrique du Nord.

Cette étude donne un aperçu sur la structure du marché international et présente les développements récents sur le marché tunisien. L'étude met un accent particulier sur le développement de la capacité installée, la structure du marché, les types des systèmes existants et les entreprises et produits dominants. Finalement, l'étude évalue la rentabilité pour les investisseurs, notamment les ménages résidentiels.

Les résultats de l'étude montre que le marché solaire thermique dans sa façon actuelle est caractérisé par des structures non durables. En conséquence, il existe le grand risque que l'énergie solaire thermique dans son ensemble gagnerait une mauvaise réputation auprès du grand public, ce qui nuirait également à tous les fournisseurs. L'étude développe des recommandations afin de continuer le développement du marché solaire thermique tunisien d'une manière durable.

2 Description de la technologie

Pour les systèmes solaires thermiques, le rayonnement du soleil est exploité pour produire directement de la chaleur. Avec une installation de chauffe-eau solaire (CES), cette chaleur est utilisée pour chauffer l'eau sanitaire dans des bâtiments individuels ou collectif. Avec un grand système solaire thermique on peut même chauffer l'eau des grandes piscines ou chauffer des bâtiments.

En général, les systèmes solaire thermiques peuvent être distingués par deux caractéristiques principales : les systèmes actifs et passifs, et les systèmes directs (boucle ouverte) ou indirects (boucle fermée) [1]. Il existe donc plusieurs configurations possibles où les capteurs différents peuvent être utilisés avec n'importe quel type de système. C'est plutôt le réservoir de stockage, le système de commande, et l'architecture globale qui définissent la conception. Les systèmes d'eau chaude sanitaire individuels sont généralement des systèmes relativement petits avec un capteur solaire d'une taille comprise entre 3 m² et 6 m² et avec un ballon de stockage entre 150 litres et 300 litres. Les systèmes peuvent être conçus pour couvrir 70 pour cent de la demande de l'eau chaude sanitaire, en fonction de la taille des capteurs, le stockage et le climat [1]. En combinaison avec un système d'appoint auxiliaire, la couverture totale des besoins en eau chaude sanitaire est possible.

Systèmes de circulation forcée (actif) et thermosiphon (passif)

Les systèmes thermosiphon (passif), communs dans les climats hors gel, comptent sur le fait que les liquides échauffés sont plus légers que les liquides froids afin de faire circuler le fluide caloporteur entre le capteur et le stockage de chaleur. Cela évite la nécessité de pompage et les coûts associés, mais signifie que le stockage de chaleur doit être placé au-dessus du capteur, ce qui limite sa taille en raison de son poids.

Systèmes de circulation forcée (actif) permettent la séparation du capteur et du stockage de la chaleur, de sorte que le stockage peut être placé à l'intérieur de l'habitation. Ils sont plus compliqués car ils nécessitent des pompes et un système de commande pour optimiser le fonctionnement. Les systèmes solaires thermiques dans les bâtiments peuvent être utilisés soit pour la production d'eau chaude sanitaire ou pour une combinaison d'eau chaude sanitaire et le chauffage de l'espace [2].

Généralement, les systèmes actifs sont plus chers, mais plus efficaces que les systèmes passifs. Cependant, les systèmes thermosiphon sont plus robustes et fiables, nécessitant moins d'entretien en raison de l'absence d'une pompe et d'un contrôleur. Néanmoins, ils sont sujets au gel et à la surchauffe et sont plus adaptés à des climats modérés [1].

Dans le secteur résidentiel en Tunisie ils existent seulement des systèmes thermosiphon, uniquement utilisés pour le chauffage de l'eau sanitaire.

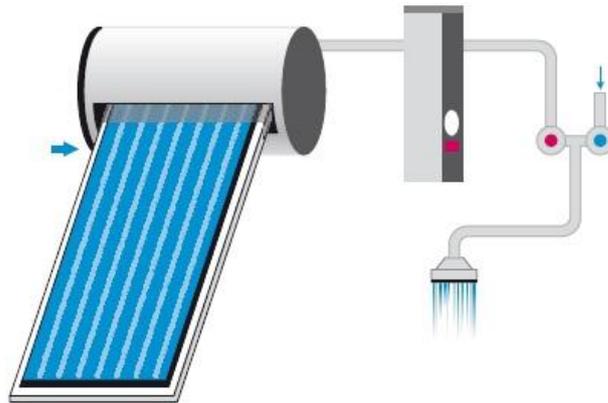


Figure 1: Système thermosiphon [2]

Systemes directs (boucle ouverte) et indirects (boucle fermée)

Dans les systèmes directs, l'eau sanitaire circule directement dans les capteurs et dans le réservoir de stockage et est puis utilisé comme eau domestique. Les systèmes indirects font circuler un fluide de transfert de chaleur dans les capteurs, puis utilisent un échangeur de chaleur pour transférer la chaleur à l'eau domestique. Cela rend les systèmes indirects plus complexes et comme ça plus chers. Des avantages se présentent comme la protection contre le gel et la surchauffe.

Systemes d'appoint aux systèmes de chauffe-eau solaires

Pendant les périodes où le rayonnement solaire n'est pas fort, les chauffe-eau solaires sont incapables de chauffer l'eau à des températures suffisamment élevées. En conséquence, comme le rayonnement est variable, alors que la consommation d'eau chaude sanitaire est généralement assumée comme constante, l'apport utile du système solaire diffère aussi selon les mois de l'année. La moyenne annuelle de cet apport, exprimé en pourcentage, est définie comme la fraction solaire (cf. Figure 2).

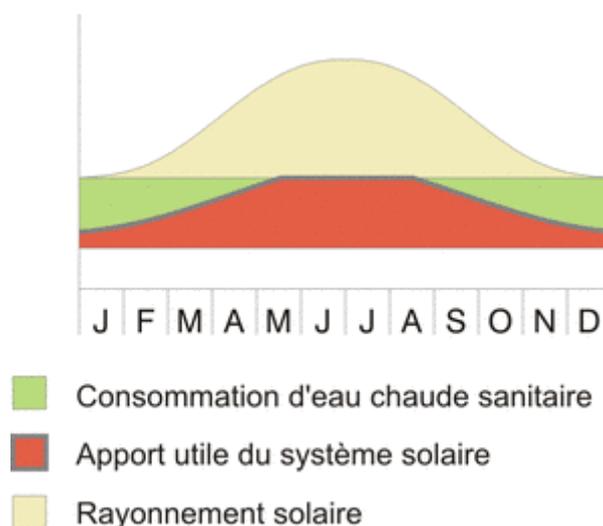


Figure 2: Disponibilité de l'énergie solaire et besoins d'eau chaude sanitaire [3]

Lorsque la demande d'eau chaude est supérieure à l'offre chauffée par le soleil, un système d'appoint auxiliaire devient indispensable. Ces systèmes de secours peuvent être directement installés dans le réservoir de stockage ou indirectement par un échangeur de chaleur supplémentaire. La chaleur de secours peut être basée sur une source de gaz, mazout, bois ou sur une résistance électrique. En Tunisie, l'élément de secours est un appoint électrique qui est installé dans le ballon de stockage d'un système à couplage direct (cf. Figure 3).



Figure 3: Système d'appoint électrique, utilisé pour les CES en Tunisie

Les systèmes CES les plus performants couvrent 40 à 80 pourcent de la charge de chauffage de l'eau chaude domestique. Cependant, pour couvrir les 100 pourcent, il faudrait des systèmes surdimensionnés (capteurs et stockage). Le coût additionnel est généralement injustifiable et le surdimensionnement augmente le risque de surchauffe, ce qui pourrait endommager les capteurs [1]. Normalement, les CES sont dimensionnés pour couvrir entièrement la basse saison en demande d'eau chaude (été).

En général, les bâtiments ayant des consommations importantes (grandes quantités d'eau chaude) et plus ou moins constantes sont plus appropriés pour des installations efficaces (dépendant de la capacité de couvrir la demande). Comme ça, les applications solaires les plus intéressantes économiquement se retrouvent parmi les établissements comme par exemple les piscines et les établissements d'accueil social comme les hôpitaux, grands hôtels, immeubles de plus de 15 logements ou des cantines. Même si la conception et l'intégration d'une installation collective est plus délicate que celle d'un chauffe-eau solaire résidentiel, la productivité de l'installation est généralement meilleure [3].

3 Le marché international

Pour le solaire thermique, un certain nombre de différentes technologies ont été développés. D'une manière générale, une comparaison des marchés dans les pays différents est difficile en raison de la vaste gamme de systèmes utilisés pour différents climats et des différentes structures de la demande.

Cependant, en 2011, les technologies solaires thermiques ont produit un total de 195 TWh – ce qui correspond à plus de 20,8 millions tonnes équivalent pétrole (tep) et une économie annuelle de 63,9 millions tonnes d'émissions de CO₂. À la fin de l'année 2011, la capacité totale installée est évalué à être 235 GW_{th}, ce qui correspond à 280 millions m². Cette capacité totale se répartit entre 90,3 % pour les capteurs plans et des capteurs à tubes sous vide, 9,1 % des capteurs non vitrés et 0,7% des capteurs d'air.

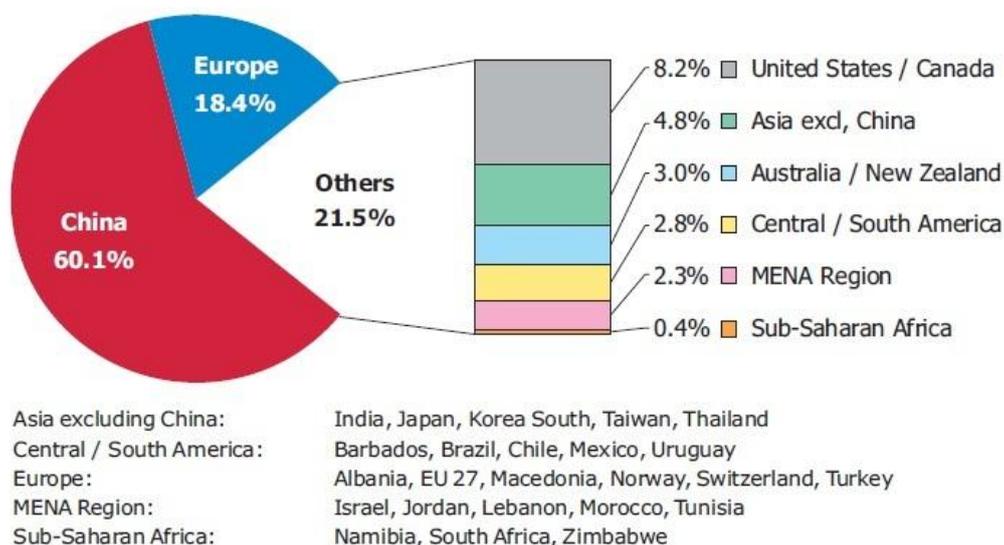


Figure 4: Répartition de la capacité totale installée en service (vitrée et non vitrée et capteurs à air) par région économique à la fin de l'année 2010 [4]

Les nouvelles installations ont augmenté de 14 pourcent par rapport à 2010 avec la Chine comme un moteur de marché principal et leader absolu en termes de superficie cumulée installée suivie par la Turquie, l'Allemagne, le Brésil et l'Inde. La Chine et l'Europe représentent 92 % du marché mondial pour toutes les nouvelles installations en 2011 [4].

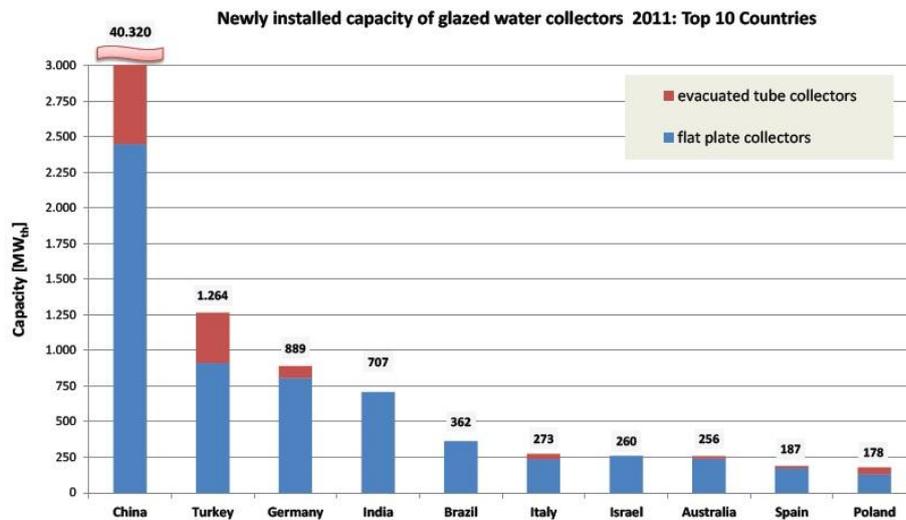


Figure 5: La capacité totale des nouvelles installations des capteurs plans et des capteurs à tubes sous vide dans les 10 pays principaux en 2011 [5]

Pour la région MENA, au total, le marché CES s'élevé à environ 20 millions de m² de capteurs installés. Il est dominé par la Turquie qui a réussi d'installer 10 millions m² (parts de marché : 52 %). Le marché suivant est Israël, qui représente 25 % de parts de marché. Un indicateur souvent utilisé pour la pénétration des CES est la surface de capteurs installés par habitant qui est la plus élevée en Israël, suivi des Territoires Palestiniens, la Jordanie, la Turquie, le Liban et la Tunisie [1].

Globalement, environ trois quarts de tous les systèmes solaires thermiques installés sont des systèmes thermosiphons. Le reste représente des systèmes actifs qui sont dépendant des pompes pour leur fonctionnement. En 2010, 90 % des nouveaux systèmes installés ont été des systèmes à thermosiphon, la plupart d'eux installés en Chine où presque tous les systèmes sont équipés de tubes sous vide. Les autres régions représentatives pour le déploiement des systèmes thermosiphons sont principalement les régions avec des climats chauds comme l'Afrique, l'Amérique Latine, le Sud de l'Europe et la région MENA. Dans ces régions, les systèmes de thermosiphon sont plus souvent équipés de capteurs plats [1].

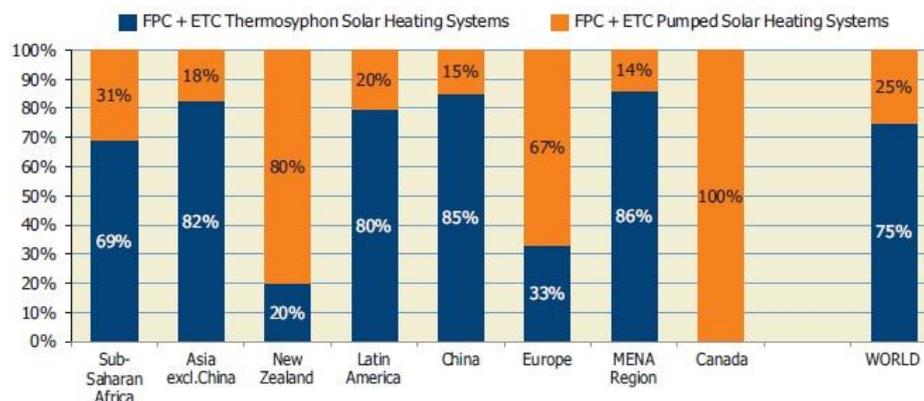


Figure 6: Répartition par type de système pour la capacité totale installée de collecteur d'eau en service à la fin de l'année 2010 [4]

Contrairement au photovoltaïque, l'industrie solaire thermique internationale est encore très fragmentée, avec seulement très peu des acteurs majeurs. Uniquement une société sur quatre produit plus de 50 000 m² par an (35 MWth) [1]. La Chine est le leader mondial de la fabrication des systèmes solaire thermiques. Les plus grandes entreprises chinoises comprennent Himin, Linuo, Sunrain et Sangle [1].

En Europe, le deuxième marché le plus grande, les principaux fabricants sont Alanod, Almeco-TINOX, Bosch, Bluetec, GREENoneTEC, le groupe Ritter, et Solvis. Les principaux fournisseurs de systèmes européens qui sont de plus en plus orienté à exporter aux marchés des pays émergents tels que l'Inde et le Brésil sont GREENoneTEC, Vissman, Schüco, thermosolaire, Solvis, Ritter Solar, Wolf, KingspanSolar, Vaillant, KBB Kollektorbau, Riello Group, EZINC, et Bosch Thermotechnik [1].

Dans l'édition d'avril 2013, le magazine Sun&Wind Energy présente une enquête sur le marché solaire thermique qui était réalisée parmi 42 fabricateurs internationaux de systèmes thermosiphons, dont la plupart des fabricateurs d'origine européenne. Les pays arabes sont représentés avec 5 entreprises (y inclus une entreprise tunisienne). Un nombre élevé d'entreprises dans l'enquête a identifié les pays arabes comme leur zone de vente la plus importante. Marchés traditionnellement forts pour les chauffe-eau solaires comme Israël, la Turquie et de Chypre n'ont pas été mentionnés souvent. Aussi la Grèce est seulement importante pour quelques fabricants. Selon Sun&Wind Energy « En particulier, la région arabe a fortement augmenté en importance. Maroc, les Emirats arabes unis, le Liban, la Tunisie, l'Arabie saoudite et la Jordanie sont parmi les marchés les plus fréquemment mentionnés » [6].

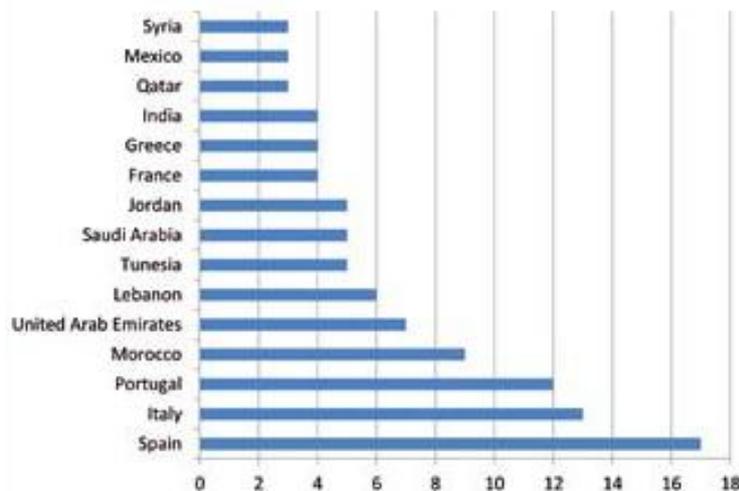


Figure 7: Les marchés prometteurs pour 42 entreprises d'enquête de Sun&Wind Energy 2013 [6]

Les coûts

Les coûts d'investissement dépendent largement de la qualité du système et de la performance désirée (fraction solaire envisagée). En plus, les coûts varient selon les conditions climatiques et les niveaux de complexité du système, ainsi que d'autres facteurs tels que le coût de la main d'œuvre. Par exemple, un système thermosiphon pour un ménage normal composé d'un collecteur de 2,4 m² et de 150 litres de réservoir coûte 700 euros en Grèce, mais 150 euros en Chine (sans aide gouvernementale). En Europe centrale, un système actif (avec pompe) de 4 à 6 m² avec stockage à l'intérieur de 300 litres, entièrement protégé contre le gel, coûte environ 4 500 euros [1]. Comme la production d'eau chaude solaire domestique en Europe coûte encore cher (de 85 à 190 euros par MWh de chaleur) et normalement ne peut pas être considérée économique par rapport au gaz naturel, en Chine, à Chypre, en Israël et en Turquie, les chauffe-eau solaires à faible coût sont déjà une alternative économique pour les ménages [1].

Pour les petites applications domestiques, les coûts d'installation peuvent être aussi élevés que 50% des coûts globaux d'investissement, en particulier dans les pays avec des salaires élevés et à cause du manque de concurrence sur le marché. Cela signifie que le chauffe-eau solaire souvent ne peut pas bénéficier des économies d'échelle observées avec d'autres technologies des énergies renouvelables ou cet effet affecte les coûts globaux (la production et l'installation) plus. Globalement, les coûts d'investissement pour un système d'eau chaude sanitaire peuvent varier par un facteur de près de 10, à partir de USD 250/kW_{th} jusqu'à USD 2 400/kW_{th} [2]. En raison des divergences de coûts d'investissement, les coûts de chauffage solaire varient également en fonction de la technologie et des conditions du marché local. Figure 8 illustre les coûts de chaleur solaire selon le type de technologie et par région.

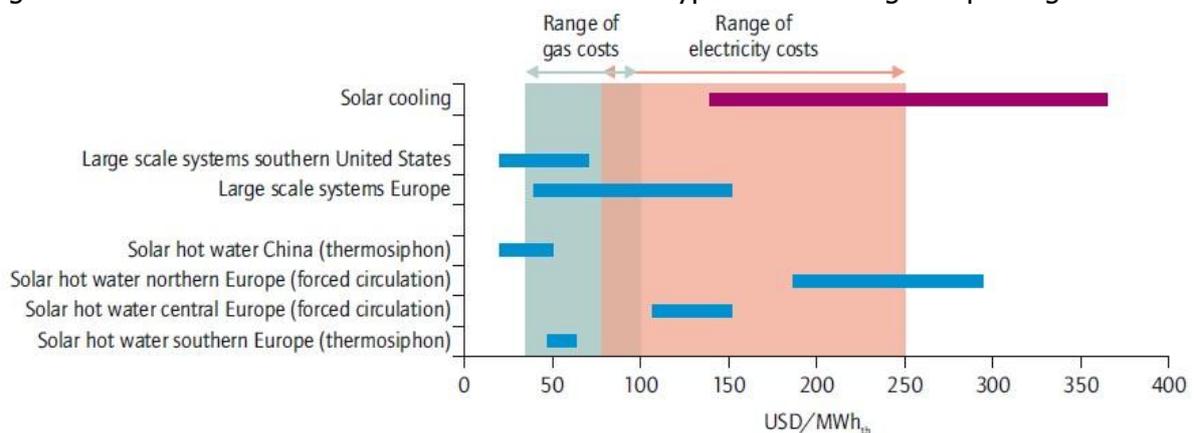


Figure 8: Coûts de chaleur solaire selon le type de technologie et par région [2]

Une baisse des coûts des technologies des énergies renouvelables pose un défi considérable aux fabricants des systèmes thermosiphon. En suivant l'enquête de Sun&Wind Energy, des réductions de prix sont difficiles à réaliser avec les produits existants. La plupart des entreprises prévoient des prix stables pour le moyen-terme. Pour 2013, un certain nombre d'entreprises attend même des augmentations au lieu des réductions (cf. Figure 9).

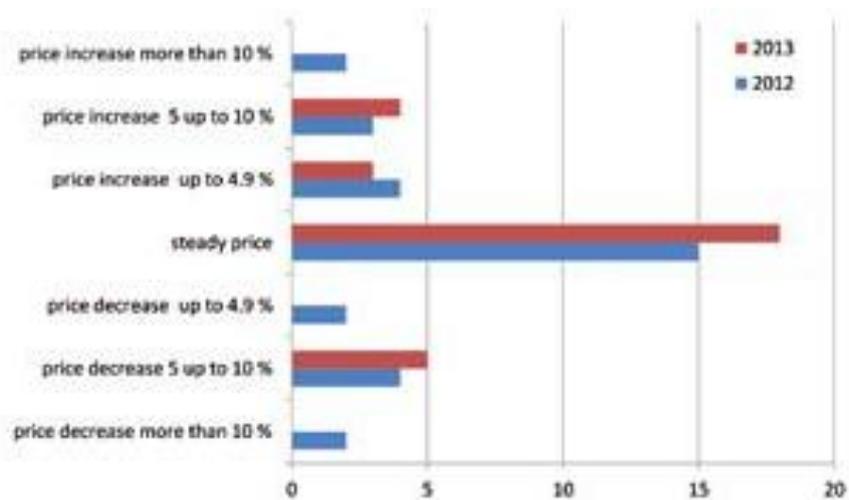


Figure 9: Développement des prix pour les systèmes thermosiphon selon l'enquête de Sun&Wind Energy [6]

4 Le marché solaire thermique en Tunisie

4.1 Instruments du soutien actuels

4.1.1 Le programme PROSOL

En 2005, l'Etat tunisien a mis en place le programme PROSOL Résidentiel afin de promouvoir le développement du solaire thermique dans le secteur résidentiel. Le mécanisme représente un financement innovant basé sur une combinaison de subvention d'investissement et de crédit ; plus concrètement avec les incitations suivantes:

- Une subvention du Fonds National de la Maîtrise de l'Énergie (FNME) représentant 200 DT du coût initial pour un système CES de 150-200 litres¹ et 400 DT pour le CES 300-500 litres²;
- Un crédit bonifié à un taux de TMM+1,2 (soit environ 5%) d'une durée de 5 ans, pouvant atteindre 1150 DT pour toutes les installations de n'importe quelle taille, remboursable par la facture STEG. Ce crédit est accordé dans le cadre d'une ligne de crédit mise à disposition à la STEG par une banque privée choisie par voie de concurrence (Attijari Bank). La Société Tunisienne d'Électricité et du Gaz (STEG) assure de son côté le recouvrement des créances au profit de la banque ainsi que la garantie des paiements en déconnectant le client en cas de défaut de paiement.

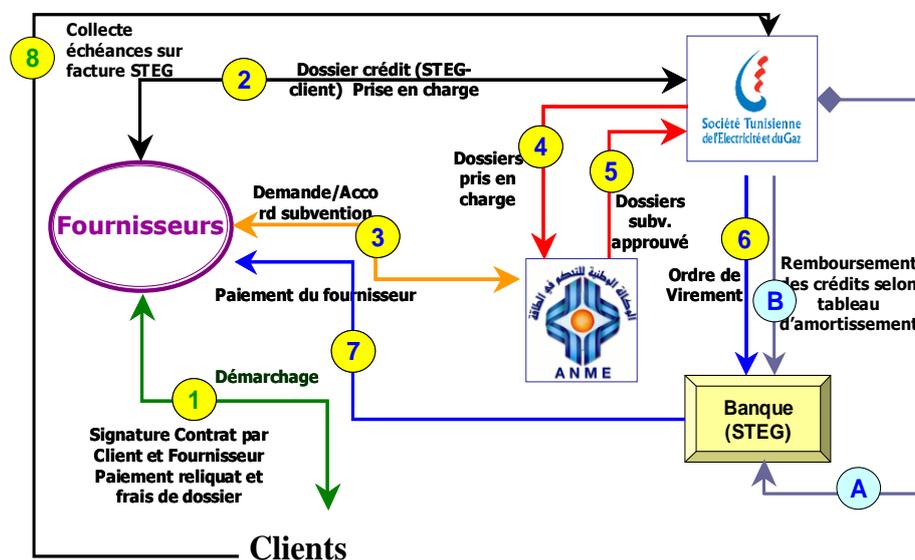


Figure 10: Schéma d'implantation du projet PROSOL [7]

¹ Le système doit fournir au minimum 900 kWh/an et la surface installée doit être comprise entre 1-3 m²

² Le système doit fournir au minimum 2000 kWh/an et la surface installée doit être strictement supérieure à 3m²

La réussite du « PROSOL Résidentiel » a été la base pour la mise en place d'un deuxième mécanisme visant la diffusion à grande échelle des CES dans le secteur tertiaire. Les hôtels, les hôpitaux, les piscines municipales, les hammams et les foyers universitaires représentent une cible privilégiée du programme « PROSOL Tertiaire ». Cependant, jusqu'à présent, un vrai scale-up de ce marché n'a pas eu lieu, c'est aussi la raison pour laquelle cette étude se concentre plutôt sur le marché résidentiel.

4.2 Développement jusqu'à présent - Capacité et type des installations résidentielles

Le fait que la Tunisie fait face à une croissance significative de la demande en énergie primaire et le fait que l'état perd beaucoup d'argent à payer des subventions pour des énergies fossiles rend les programmes de soutien des énergies renouvelables très rentables pour la société tunisienne. L'avantage de développer le marché résidentiel solaire thermique est que les ménages privés ont la possibilité de contribuer financièrement à une transition énergétique à long-terme. Toute la puissance installée sur le marché résidentiel serait financée exclusivement par l'investissement privé des ménages et des petites et moyennes entreprises. Dédié à des clients résidentiels, la mise en place du programme PROSOL en 2005 a mobilisé des investissements pour développer environ de 490.000 m² des systèmes thermosiphon jusqu'à fin de l'année 2012. Le tableau suivant montre l'histoire succès.

Tableau 1: Développement des réalisations du programme PROSOL depuis son début en 2005, [7]

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
m² installé par an	22 291	34 354	59 754	75 302	75 203	78 376	69 820	72 753
Cumulé	22 291	56 645	116 399	191 700	266 904	345 279	415 100	487 853

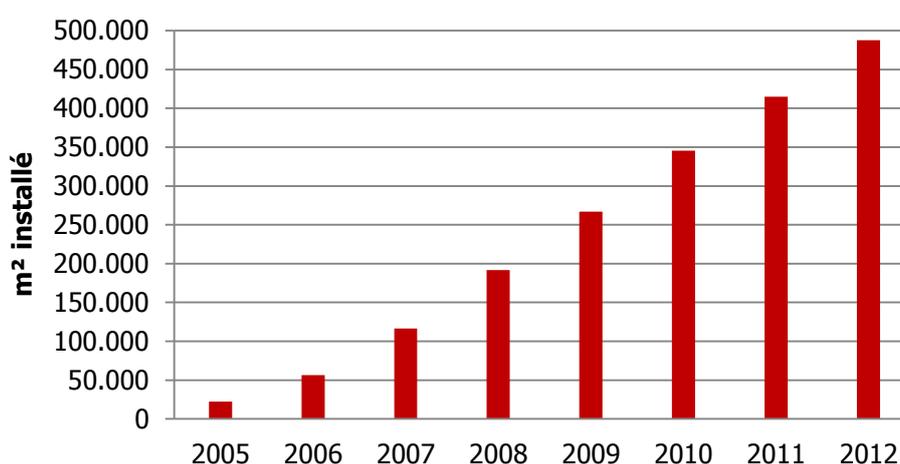


Figure 11: Développement de la capacité solaire thermique installée, [7]

Le marché solaire thermique a prospéré fortement jusqu'à 2008, mais depuis il est resté plus ou moins stable à un niveau supérieur à 70.000 m² installé par an. L'année de la révolution, 2011, a vu une chute et jusqu'à présent le marché n'a pas encore atteint le niveau de 2010 où les installations ont atteint les 80.000 m². En ce moment, le niveau de marché est de l'ordre de 73.000 m² installé par an (chiffres de 2012). En ce qui concerne le soutien de

l'état, l'Agence National pour la Maitrise de l'Energie (ANME) a payé environ 7.000.000 Dinar des subventions comme aide financière directe. Les moyens viennent du Fonds National pour la Maitrise de l'Energie (FNME).

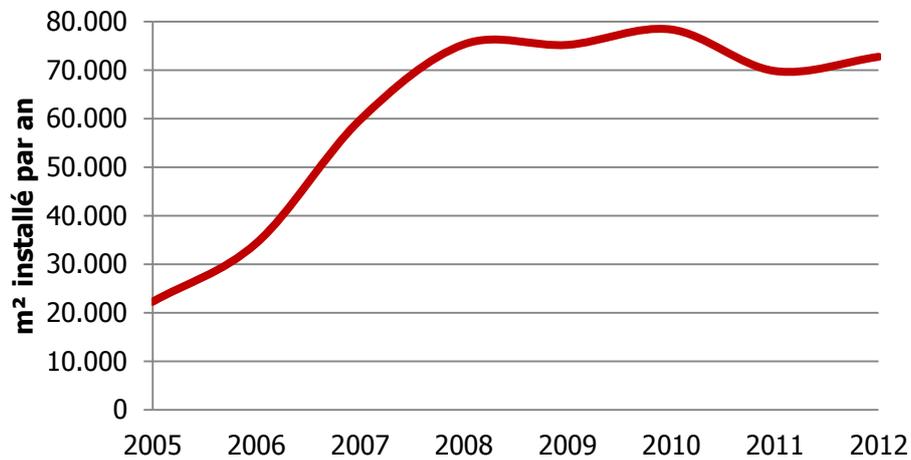


Figure 12: Développement de m² ajoutée par an à travers de PROSOL, [7]

En 2012, la plupart des installations étaient les systèmes d'une taille de 200 litres (1-3 m²), qui ensemble représentent 75 pourcent de tous les systèmes installés. Dans ce marché, la plupart des clients demande un crédit à travers du schéma de financement de la STEG. Le marché des systèmes de 300 litres (plus que 3m²) représente 25 pourcent du marché total. Dans ce segment, environ 50 pourcent des clients demandent un crédit. Le marché des systèmes avec des capacités supérieures à 300 litres est encore très petit. En 2012, seulement 11 installations ont été réalisées. En considérant le marché total, 77 pourcent des clients financent leur système avec un crédit de la STEG.

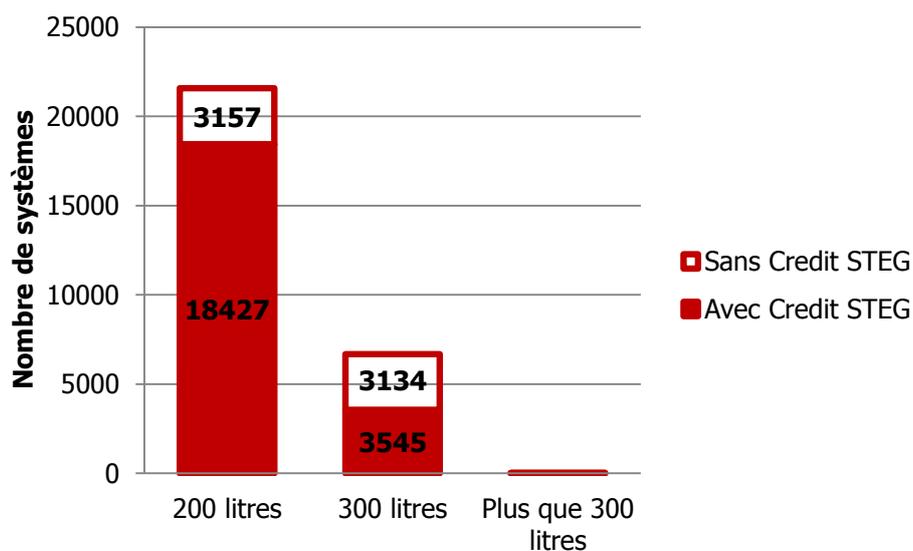


Figure 13: Répartition des CES installés en 2012 par taille et par schéma de financement, [7]

En 2012, le marché s'est concentré aux régions côtières et était surtout orienté vers les grandes villes. La plupart des systèmes ont été installés à Sfax et à Tunis. Ensemble, ces deux villes représentent 30 pourcent du marché en 2012. Il est à noter qu'il reste beaucoup de potentiel inexploité dans les régions intérieures de la Tunisie. Concernant le Sud avec les villes Gabes, Tataouine et Tozeur, on trouve seulement très peu des installations sur place – même si les conditions du rayonnement solaire sont beaucoup plus favorables par rapport au Nord.

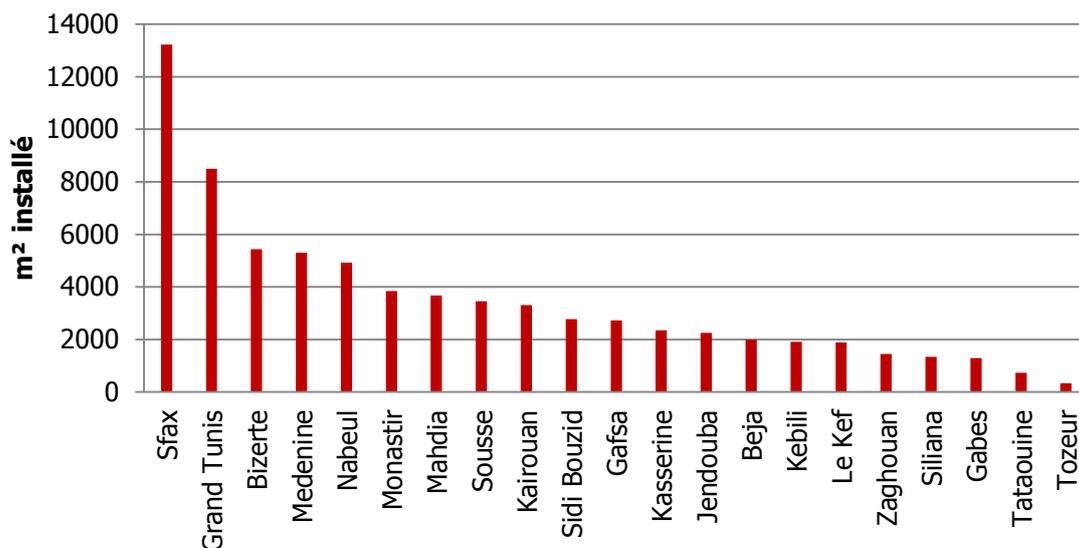


Figure 14: Capacité installée en 2012 par gouvernorat [7]

4.3 La situation de l'offre du marché CES

4.3.1 Entreprises actives dans le secteur

Fin 2012, 27 des entreprises étaient actifs dans l'installation des systèmes solaire thermiques. En total, 28.274 systèmes thermosiphons ont été vendus en 2012. Le marché est dominé par trois entreprises qui ensemble couvrent 70 pourcent du marché, notamment Soften, BSI et Sines qui sont en même temps les fabricants de leurs produits³. Les installateurs qui suivent sont Fayzer et SkyEnergy.

³BSI et Sines fabriquent seulement les ballons en Tunisie et importent les capteurs.

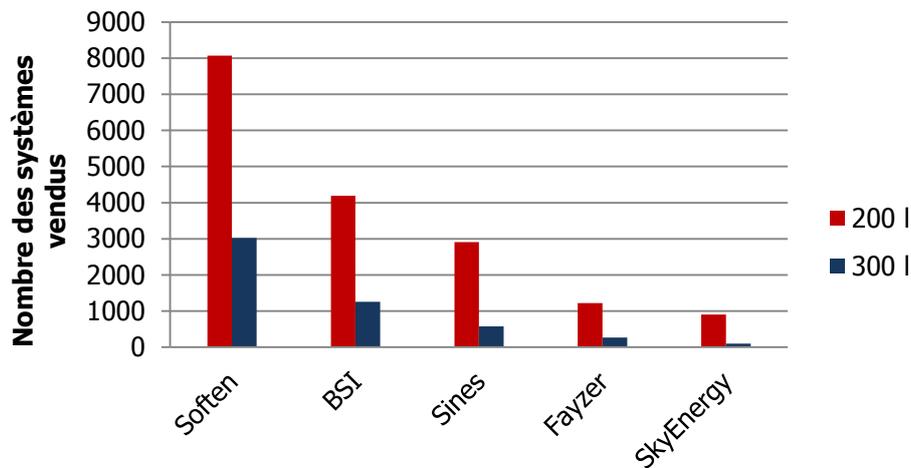


Figure 15: Les entreprises dominantes (Nombre des systèmes vendus en 2012) [7]

Plus détaillé, lorsqu'on regarde le marché des systèmes de 200 l qui représente une partie de 75 pourcent du marché solaire thermique total, on constate la même domination des trois grands installateurs Soften (part de 37 pourcent), BSI (part de 19 pourcent) et Sines (part de 14 pourcent). Ensemble ils couvrent 70 pourcent du marché 200 litres.

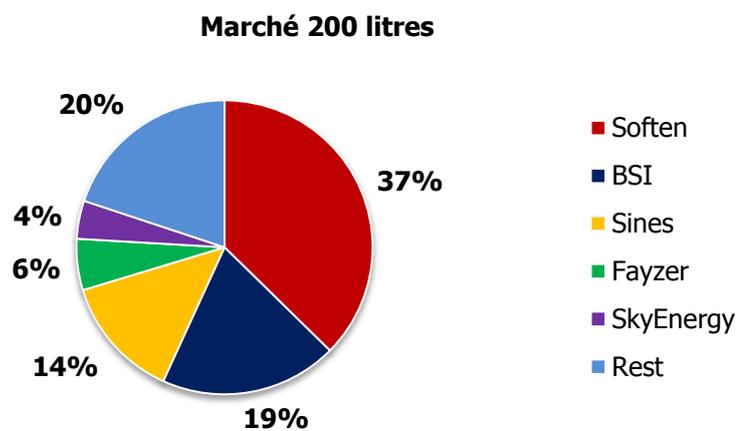


Figure 16: Répartition par part de marché des entreprises actifs en 2012 (Marché 200l), [7]

Le marché des systèmes de 300 litres montre une image presque pareille mais se diffère des parts de marché des entreprises sur le 4ieme et 5ieme place, occupé par Energie et Sier.

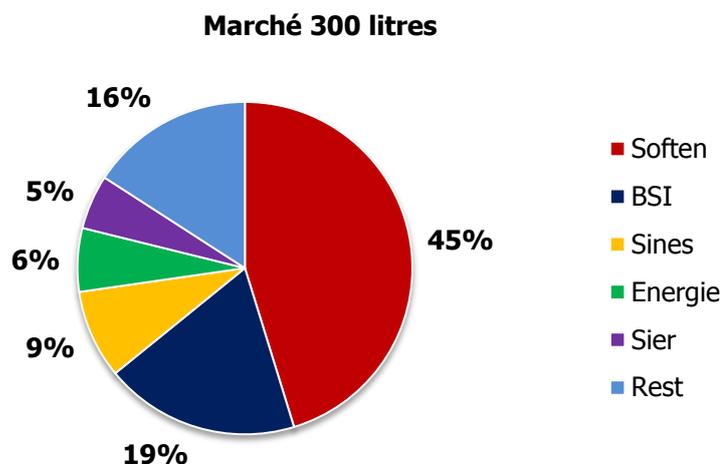


Figure 17: Répartition par part de marché des entreprises actives en 2012 (Marché 300L), [7]

4.3.2 Les produits

Comme le marché est largement dominé par Soften, BSI, Sines, et dans une proportion plus faible par Fayzer, les 5 produits vendus le plus sur le marché CES tunisien également ont leur origine de ces entreprises. Les 5 kits solaires thermiques les plus vendus sur le marché en 2012 sont présentés sur la liste suivante.

Tableau 2: Les produits vendus le plus sur le marché CES tunisien en 2012 [7]

Fournisseur	Nom du produit	Volume [litres]	Productivité capteur [kWh]	Systèmes vendus
Soften	KSH 201 SUPRA	187	1216-1450 ⁴	8072
BSI	TAKA BIOME 200 TD	200	1064	3074
Soften	KSH 302 SUPRA	282	2181-2568 ⁵	3023
Sines	DUROTHERM-GOLD200	195	973	2758
Fayzer	FAYZER 200	200	1027	1217

Avec 8072 systèmes vendus en 2012, le système KSH 201 SUPRA de Soften est de loin le plus populaire sur le marché. Aussi le KSH 302 SUPRA est populaire, qui est en même temps le seul système de la taille 300 litres entre les TOP 5. Plus d'information sur les produits peut être accédée sur les sites web des fournisseurs qui sont présentés sur le tableau suivant.

⁴ Selon le choix du capteur.

⁵ Selon le choix du capteur.

Tableau 3: Sites Web des leaders du marché

Fournisseur	Site Web
Soften	www.soften.com.tn
BSI	www.biome-solar.com
Sines	www.sines.com.tn
Fayzer	www.fayzer.com

Une liste qui présente tous les systèmes installés en 2012 peut être accédée dans l'annexe de l'étude.

4.3.3 Les coûts d'investissement

Dans le marché de 200 litres, la majorité des fournisseurs vendent leur système pour un prix de l'ordre 1350-1400 DT par système. Ce montant correspond à la somme du montant du crédit maximal de la STEG de 1150 DT et la subvention de 200 DT de l'ANME. De cette façon, en vendant un régime de financement « Zéro Millimes », le client ne doit pas supporter aucun coût d'investissement initial. Cela signifie « seulement » des remboursements de prêts d'environ 50 DT chaque 2ème mois sur 5 ans.

Des fournisseurs, qui pourraient aussi offrir des systèmes moins chers, ont également intérêt à offrir un prix de 1350 DT afin de bénéficier le plus du mécanisme PROSOL. Pour les clients, il existe un manque de clarté sur les prix réels de l'achat d'un CES, prenant en compte la subvention, le coût du matériel, les frais d'installation et les frais d'intérêt sur le crédit. Comme ça, d'une façon indirecte, l'Etat fixe les prix artificiellement pour les systèmes CES en Tunisie.

Depuis plusieurs années, le régime de financement n'a pas été ajusté. La dernière adaptation est environ 5 ans en arrière. Ainsi, pour que le système soit efficace au maximum, l'Etat doit effectivement avoir une connaissance sur les coûts réels de production des systèmes CES et doit régulièrement ajuster le mécanisme de financement en fonction de l'évolution de ces coûts. Dans sa conception actuelle, PROSOL mène à un prix artificiel sans base de coûts fixes étudiée. En plus le facteur de qualité en termes de l'incitation du mécanisme financier est laissé complètement de côté.

En raison de la stratégie de vente « Zéro-Millimes » le client n'a pas un aperçu sur le marché, et en raison de la nature « gratis » il ne s'identifie pas avec le produit. Cela peut signifier que seulement quelques clients vraiment comparent des produits différents avant l'achat. En outre, certains installateurs vendent leurs produits comme « Produits avec un garantie d'Etat », ce qui promeut l'idée d'un produit standardisé encore plus. En conséquence, une compétition des fournisseurs sur la base des prix n'a pas lieu.

Le marché de 300 litres montre une image similaire, bien que généralement le crédit maximal ne soit pas suffisant pour assurer un financement complet. Cela explique pourquoi seulement 50 pour cent des clients prennent un prêt dans ce marché (cf. Figure 13). En général, les systèmes sont vendus pour un prix de 1750 DT ce qui signifie un autofinancement obligatoire du client de 200 DT.

Les revendications actuelles de l'industrie tunisienne visent à une augmentation du maximum du crédit offert par la STEG, de sorte qu'une stratégie de vente « Zéro Millimes » sera aussi

possible pour des ventes des systèmes de 300 litres. Cependant, une augmentation constante de crédit n'est pas souhaitable car cela pourrait également augmenter les prix de vente des systèmes de 200 litres. Il est opportun, par conséquent, d'établir un propre régime de crédit pour le marché de 300 litres.

4.3.4 La rentabilité pour les investisseurs

Afin de développer un marché résidentiel à long-terme, il faut évaluer la rentabilité pour les investisseurs, notamment celle des ménages qui pourraient être intéressés à investir dans un système CES. Ce chapitre va essayer de donner une idée sur la performance économique des systèmes installés dans le cadre PROSOL en Tunisie.

Les coûts de la fourniture en chaleur à partir de capteurs solaires dépendent fortement :

- du rendement énergétique du capteur, qui est une fonction de la ressource solaire disponible à un endroit particulier et de l'efficacité du système de chauffe-eau
- du prix d'achat du système et des coûts d'installation
- de la fraction solaire, qui indique la proportion de la charge totale de l'eau chaude fournie par les capteurs solaires thermiques (moyenne mesurée pour toute l'année) [8], [1]

Ce chapitre met l'accent sur le dernier point, la fraction solaire. En général il faut toujours comparer des systèmes CES avec une chaudière conventionnelle à base d'un carburant fossile. En Tunisie il existe deux sources des carburants qui sont utilisés pour le chauffage de l'eau, notamment le GPL, fourni par AGIL Gaz (bouteilles GPL), et le gaz naturel, fourni par la STEG (réseau de gaz).

Avec une formule simple on peut estimer les coûts de chaleur variables en millimes/kWh d'un système conventionnel :

Système conventionnel (Gaz STEG & Gaz GPL)

$$\text{Coûts de chaleur variables} \left[\frac{\text{Mill}}{\text{kWh}} \right] = \frac{1 \text{ kWh}}{\eta_{\text{chaudière}} [\%]} \cdot \text{Prix du carburant} \left[\frac{\text{Mill}}{\text{kWh}} \right]$$

Avec les deux cas des carburants, les coûts variables de chaleur se différencient à cause d'une tarification différente par kWh.

Tableau 4: Prix des carburants utilisés pour le chauffage de l'eau en 2011 [9]

Carburant	Prix de vente à la consommation [DT/tep]	Prix [Millimes/kWh]
Gaz GPL domestique	515	44,3
Gaz naturel STEG	305	26,2

Avec un rendement d'une chaudière de 80 pourcent, on arrive à des coûts variables de chaleur de 55 millimes/kWh pour un système GPL et de 33 millimes/kWh pour un système à base de gaz naturel. À cause d'un manque des données, ces calculs sont basés sur des prix des carburants en 2011.

Pour les systèmes CES, une grande partie de la chaleur est fournie par le solaire gratuitement. Comme ça, juste la différence, lorsque la chaleur solaire n'est pas suffisante pour cou-

vrir le besoin, doit être fournie par un système auxiliaire. En Tunisie, les systèmes CES normalement sont équipés avec un appoint électrique qui fournit cette différence. Comme pour les systèmes conventionnels, les clients sont donc obligés à payer un prix en millimes/kWh pour faire fonctionner l’appoint. En conséquence, la formule change comme suivant.

Système CES (avec appoint électrique)

$$\text{Coûts de chaleur var.} \left[\frac{\text{Mill}}{\text{kWh}} \right] = \left[\frac{1 \text{ kWh} - (1 \text{ kWh} \cdot \text{fraction solaire} [\%])}{\eta_{\text{appoint électr.}}} \right] \cdot \text{Prix d'électricité} \left[\frac{\text{Mill}}{\text{kWh}} \right]$$

Il devient évident que la fraction solaire a un grande influence sur les coûts de chaleur variables. D’un point de vue technique on trouve, selon les conditions de rayonnement, la dimension du système et le rendement du capteur, les systèmes qui fonctionne avec une fraction solaire de 60 pourcent jusqu’à 90 pourcent. Approvisionner plus de 90 pourcent normalement résulte dans une surproduction pendant l’été qui rend les systèmes inefficaces.

La deuxième variable qui a un grand effet sur les coûts variables des systèmes CES équipés avec un appoint électrique est le prix d’électricité qui diffère selon la structure de la consommation du client. En Tunisie, les clients qui consomment moins que 300 kWh par mois sont obligés à payer 150 millimes/kWh, lesquels qui consomment plus sont obligés à payer une partie de leur besoin avec une tarification de 260 millimes/kWh. En conséquence, les coûts de chaleur variables, ajoutés par le système d’appoint électrique, dépendent de la tarification d’électricité du client. Pour les deux cas de tarification, les deux prochaines figures comparent les coûts variables de chaleur des systèmes conventionnels avec des coûts d’un système CES en considérant des fractions solaires différents⁶.

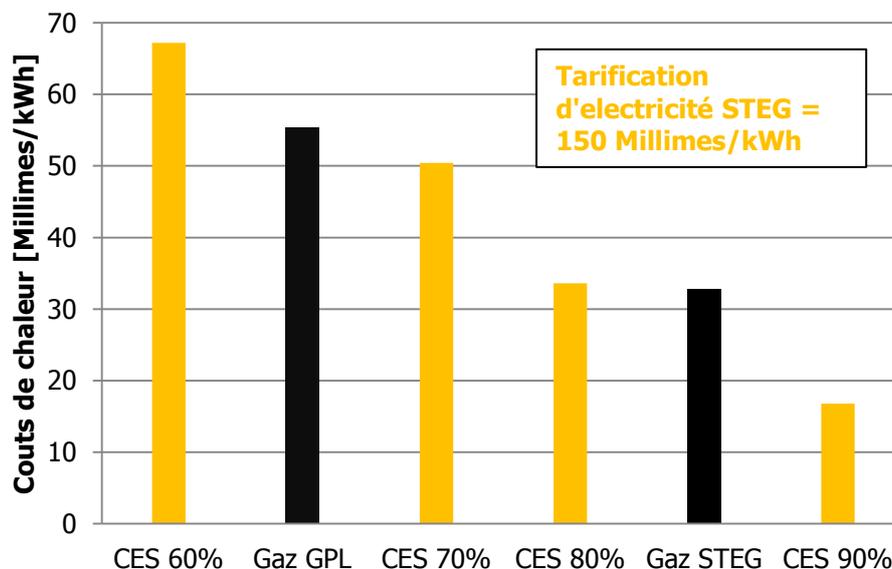


Figure 18: Coûts variables de chaleur pour les systèmes CES et conventionnels (tarif d’électricité = 150 millimes/kWh)

⁶ CES 60% correspond à une fraction solaire de 60 %. Ça signifie que 40 % de la chaleur sont fourni à travers l’appoint électrique.

En considérant le tarif d'électricité de 150 millimes/kWh, les systèmes avec une fraction solaire plus large que 70 % deviennent intéressants par rapport à des systèmes à base de GPL. Lorsqu'on regarde le cas pour le gaz naturel, fourni par la STEG, seulement les systèmes optimisés au maximum, avec une fraction solaire plus de 80 %, sont capable de produire la chaleur à des coûts compétitifs. L'importance de la fraction solaire, mais surtout l'effet de la tarification d'électricité est encore souligné dans la figure suivant.

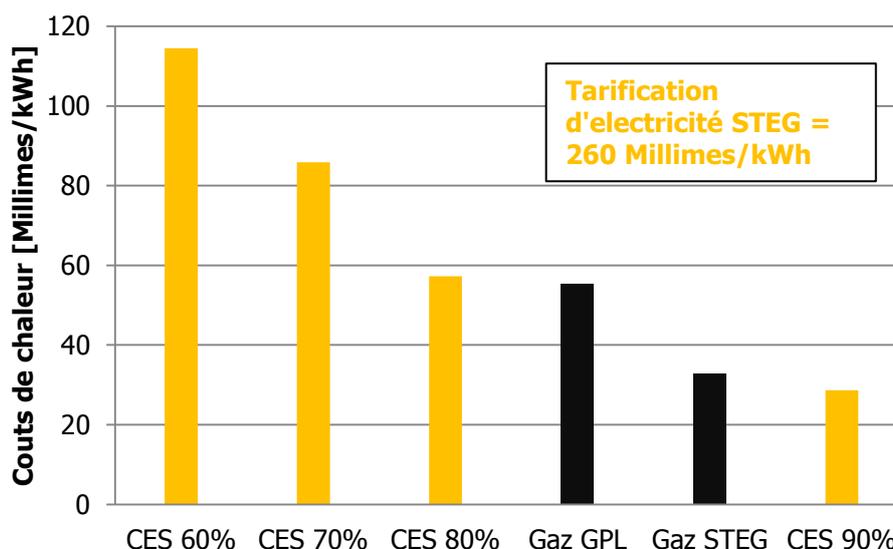


Figure 19: Coûts variables de chaleur pour les systèmes CES et conventionnels (tarif d'électricité = 260 millimes/kWh)

Avec la tarification de 260 millimes/kWh, seulement des systèmes CES dimensionnés pour couvrir 90 % de la chaleur par le solaire sont capable d'être moins chers en terme des coûts variables par rapport à des systèmes conventionnels. Le fait que normalement ces systèmes représentent plutôt un cas idéal rend les CES non rentable pour cette tarification d'électricité. Pour résumé, généralement les coûts de chaleur dépendent largement de la fraction solaire, un fait qui peut être adressé techniquement avec des systèmes efficaces, dimensionnés en correspondance avec la demande. Cependant, en Tunisie, tous les efforts sur la côté technique sont compensés à cause de la différence du prix extrêmement large entre le gaz et l'électricité. Cet effet est lié à la politique de la tarification et surtout au régime des subventions d'état pour les énergies fossiles. Lorsqu'on regarde le cas pour 2011, le GPL est subventionné à 190 pourcent du prix de vente, le gaz naturel à 118 pourcent et l'électricité à 63 pourcent.

Tableau 5: Prix des produits énergétiques et subventions (2011), [9]

Source d'énergie	Prix de vente à la consommation [Millimes/kWh]	Subvention [en % de prix de vente]
Gaz GPL domestique	44,3	190 %
Gaz naturel STEG	32,8	118 %
Electricité	130	63 %

En 2009 la STEG a réalisé une enquête sur la demande d'énergie de ses clients. Un chapitre traite la demande des appareils chauffe-eau. Un extrait agrégé est montré dans tableau 6. On voit que la consommation moyenne varie selon le système de chauffage à partir de 607 kWh pour les CES jusqu'à 1557 kWh pour les systèmes GPL. Une comparaison des coûts variables en utilisant des prix des carburants de tableau 4 et un prix d'électricité de 150 millimes/kWh montre des coûts les moins chers pour les ménages équipés avec le gaz naturel et les plus chers pour les ménages équipés avec un système d'électricité. Les CES présentent des coûts variables moyennes de 91 DT en 2009, ce qui est le double par rapport au gaz STEG.

Tableau 6: Extrait de la structure des applications de chauffage et consommation moyenne par ménage en Tunisie [10]

Energie	Nombre de ménages	Consommation moyenne par ménage [kWh/an]	Coûts variables de la chaleur par an [DT]
GPL	763230	1557	69
Gaz STEG	211127	1369	45
Electricité	75332	900	135
CES	83262	607	91

On voit que par rapport à des ménages équipés avec un chauffage électrique, les CES consomment seulement 30 pourcent moins d'électricité. Cela pourrait indiquer que la fraction solaire moyenne n'est pas trop grande en Tunisie, avec un dimensionnement de seulement 30 pourcent partie solaire. D'un côté technique cela peut être lié à la qualité des systèmes (matériel et/ou installation) ou à un mauvais dimensionnement des systèmes. Aujourd'hui, le marché tunisien principalement donne la prime à vendre les systèmes d'une taille de 200 litres (cf. Chapitre 4.3.3). Cette structure risque que le dimensionnement plutôt dépende de la taille du système offert par des installateurs (p.ex. 200 litres), contrairement à la demande réelle du client.

Une autre explication possible est le comportement des utilisateurs et la performance du système de régulation de l'appoint électrique. Les calculs faits avant pour les coûts variables ont toujours assumés une régulation d'appoint idéale, ça veut dire que juste la différence en chaleur nécessaire est ajoutée par le système d'appoint en cas de besoin. Cependant, si le système continue à chauffer lorsque la température est en train de baisser en absence d'une demande pour l'eau chaude, il est possible que la fraction solaire baisse fortement. En conséquence, la fraction électrique augmente, ce qui rend la rentabilité très faible. Des solutions se présentent par un système de régulation intelligente et par un comportement responsable des utilisateurs (seulement connecter l'appoint électrique en cas de besoin d'eau chaude ; utilisation d'une minuterie).

Finalement il faut dire que les chiffres du tableau 6 ne donnent pas une idée sur la structure de la demande. Comme ça il faut faire attention de ne pas sur-interpréter. Cependant ils provoquent des soucis concernant la performance actuels des CES installés en Tunisie. Pour l'avenir il serait intéressant de surveiller la performance des systèmes représentatifs déjà installés dans le cadre des mesures sur place.



Toutes les comparaisons et évaluations de coûts dans ce chapitre n'ont pas mis l'accent sur le temps de retour économique, généralement défini comme la durée de remboursement des coûts d'investissement grâce aux économies du système CES. Cependant, l'évaluation des coûts variables de chaleur montre que juste quelques systèmes sont capables d'économiser d'argent par rapport aux systèmes GPL (cf. Figure 18), notamment les systèmes avec une fraction solaire plus large que 70 pourcent. A partir de ce seuil, on économise 5 millimes/kWh avec le CES-70% système et 19 millimes/kWh avec le CES-80% système. Avec une consommation de 4000 kWh⁷ par an, cela donne des économies de 20 DT (CES-70%), respectivement 76 DT (CES-80%) par an. En considérant 1150 DT comme coûts initiaux, le temps de retour statique est de l'ordre de 75,5 ans en assumant une fraction solaire de 70% et 15 ans en assumant une fraction solaire de 80 %.

Pour être encore plus juste, il faut comparer les coûts initiaux du système CES avec les coûts d'investissements d'un nouveau système GPL pour après calculer les coûts unitaires moyens actualisés de chaleur pour une durée de p.ex. 20 ans et comme ça tenir en compte les coûts d'investissements et les coûts variables, en incluant également les frais de maintenance des deux systèmes de chauffage d'eau.

Enfin, on voit qu'en ce moment, la rentabilité économique des CES pour les clients résidentiels en Tunisie est très faible, et pour la plupart des cas inexistant. Cependant, remplacer un système GPL avec un système CES offre plus de confort et de l'indépendance de l'approvisionnement des bouteilles GPL, un fait qui est important surtout pour les ménages dans les régions rurales de la Tunisie.

⁷ = Consommation représentative d'un ménage avec 4 personnes (cf. Annexe)

5 Résumé et recommandations

À la fin de l'année 2011, la capacité mondiale solaire thermique est évaluée à 235 GWth, ce qui correspond à 280 millions m². Les pays promouvant les chauffe-eau solaires sur le marché international à grande échelle sont la Chine, la Turquie, l'Allemagne, le Brésil et l'Inde. Dans la région MENA, au total, le marché CES s'élève à environ 20 millions de m² de capteurs installés. En considérant la surface de capteurs installés par habitant, les marchés leaders de la région sont Israël, des Territoires Palestiniens, la Jordanie, la Turquie, le Liban et la Tunisie. L'industrie solaire thermique prévoit encore des très bonnes perspectives pour accélérer le développement de la technologie dans la région. Globalement, environ trois quarts de tous les systèmes solaires thermiques installés sont des systèmes thermosiphons. Les coûts d'investissement pour un système d'eau chaude sanitaire peuvent varier par un facteur de près de 10, à partir de USD 250/kWth jusqu'à USD 2 400/kWth.

Le marché tunisien est encore très concentré sur la promotion des chauffe-eau solaire dans le segment résidentiel. La mise en place du programme PROSOL en 2005 a mobilisé des investissements pour développer environ de 490.000 m² des systèmes thermosiphon jusqu'au fin de l'année 2012. En ce moment, le niveau du marché est de l'ordre de 73.000 m² installé par an. Le fait que le taux de déploiement est constant depuis 2008 pose la question si ce taux marque la ligne de saturation du marché.

Lorsqu'il concerne le soutien de l'état, l'Agence National pour la Maitrise de l'Energie (ANME) a payé environ 7.000.000 Dinar des subventions comme aide financière directe.

En 2012 la plupart des installations étaient les systèmes d'une taille de 200 litres (1-3 m²), qui ensemble représentent 75 pourcent de tous les systèmes installés. Le marché des systèmes de 300 litres (plus que 3 m²) représente 25 pourcent du marché total. Le marché des systèmes avec des capacités supérieurs de 300 litres est encore très petit. Environ 80 pourcent des clients financent leur système avec un crédit de la STEG.

Le marché se concentre dans les régions côtières et s'oriente surtout envers les grandes villes. La plupart des systèmes se trouve à Sfax et à Tunis. Beaucoup de potentiel inexploité reste dans les régions intérieures de la Tunisie. Concernant le Sud avec les villes Gabes, Taouine et Tozeur, on y trouve seulement très peu des installations sur place.

Fin 2012, 27 des entreprises étaient actifs dans la commercialisation des systèmes solaire thermiques. En total 28.274 systèmes thermosiphons ont été vendus en 2012. Le marché est dominé par trois entreprises qui ensemble couvrent 70 pourcent du marché.

L'analyse des coûts d'investissement dans le marché des systèmes de 200 litres attire l'attention sur le fait que les offres des installateurs s'orientent fortement au système de soutien de l'Etat. Comme ça, d'une façon indirecte, l'Etat fixe les prix artificiellement pour les systèmes CES en Tunisie. Depuis plusieurs années, le régime de financement n'a pas été ajusté. La dernière adaptation est d'environ 5 ans en arrière. Ainsi, pour que le système soit efficace au maximum, l'Etat doit effectivement avoir une connaissance sur les coûts réels de production des systèmes CES et doit régulièrement ajuster le mécanisme de financement.



En conséquence, l'analyse indique qu'il existe un manque de clarté sur les coûts réels des systèmes et ainsi sur les profits réels des fournisseurs des produits. Dans sa conception actuelle, PROSOL mène à un prix artificiel sans base de coûts fixes étudiée. En plus le facteur de qualité est laissé complètement de côté.

Du point de vue technique, la Tunisie peut bénéficier des fractions solaires relativement élevées en raison des niveaux élevés de l'énergie solaire et de petites quantités d'eau chaude nécessaires, ce qui se traduit par une baisse d'utilisation du système et des périodes de récupération des coûts. Cependant l'analyse de la rentabilité pour les investisseurs résidentiels montre qu'en ce moment, la rentabilité économique des CES par rapport à des systèmes conventionnels est très faible, et pour la plupart des cas inexistant. Cela est lié à la politique de tarification et au régime de subventions de l'état pour les énergies fossiles utilisés soit pour un chauffage conventionnel à base de gaz, soit pour le système d'appoint intégré dans un CES. En Tunisie, même avec des systèmes CES très efficaces, tous les économies énergétiques ne peuvent pas être transféré dans des économies économiques et puis sont compensés à cause de la différence du prix extrêmement large entre le gaz et l'électricité.

Pour un développement durable du marché CES dans le futur, l'étude a développé 8 recommandations comme suivant :

1. Jusqu'à présent l'engagement des entreprises est limité à la région Tunis et des régions côtières qui se reflète dans une absence des installations dans les régions intérieures de la Tunisie. En conséquence, il reste beaucoup de potentiel inexploité qui offre des opportunités pour les entreprises dans le futur. Néanmoins, il faut prendre en considération une densité de population et des ressources financières des ménages plus faibles. Également l'état doit prendre en compte les besoins et difficultés financiers spécifiques existants dans les régions défavorisés.
2. Depuis plusieurs années, le régime de soutien d'Etat n'était plus ajusté. Avec le système de soutien en place, d'une façon indirecte, l'Etat fixe les prix artificiellement pour les systèmes CES en Tunisie (au moins pour les systèmes de 200 litres). Ce prix unique n'est pas basé sur des analyses détaillé des coûts réelles de la production. Des fournisseurs, qui pourraient aussi offrir des systèmes moins chers, ont également intérêt à offrir un prix de 1350 DT afin de bénéficier le plus du mécanisme PROSOL. Le progrès récent de la technologie CES n'est pas suivi et comme ça n'est pas intégré dans l'adoption du programme. Pour les clients, il existe un manque de clarté sur les prix réels de l'achat d'un CES, prenant en compte la subvention, le coût du matériel, les frais d'installation et les frais d'intérêt sur le crédit. En plus le facteur de qualité en termes de l'incitation du mécanisme financier est laissé complètement de côté. Le passé a montré que la stratégie de vente à « Zéro-Millimes » est extrêmement efficace pour booster le déploiement des CES en Tunisie. Si l'Etat veut garder ce mécanisme, il faut effectivement avoir une connaissance sur les coûts réels de production des systèmes CES et le mécanisme de financement doit suivre l'évolution de ces

coûts. Il est aussi souhaitable d'intégrer des incitations pour soutenir les ventes sous le plafond des crédits octroyés.

Ce processus pourrait être accompagné avec des mesures de sensibilisation et de la transparence pour que les clients soient capables de comparer le montant des taux de remboursements des crédits différents (dépendant des coûts d'investissement d'un système). Il est assumé que des mesures de soutien de la transparence du marché vont résulter dans plus de compétition entre les fournisseurs. Comme ça, le client final peut comparer des prix réels et est capable d'évaluer le marché soi-même. L'établissement d'un système d'information et de sensibilisation par des agences nationales ou d'autres institutions comme la chambre syndicale des énergies renouvelables pourrait contribuer à la transparence du marché. Un site web qui suit le développement des produits en ligne, directement connecté à un système de monitoring, serait souhaitable pour une actualité et visibilité plus grande.

3. Aujourd'hui le marché tunisien principalement donne la prime à vendre les systèmes d'une taille de 200 litres (cf. Chapitre 4.3.3). Cette structure risque que le dimensionnement plutôt dépende de la taille du système offert par les fournisseurs (p.ex. 200 litres), contrairement à la demande réelle du client. Des institutions comme la chambre syndicale des énergies renouvelables pourraient introduire ou élargir des standards du dimensionnement des systèmes CES en Tunisie pour que les fournisseurs soient obligés à faire des calculs de dimensionnement dans une façon transparent pour le client.

4. Il est recommandé de quantifier la qualité et la performance technique et économique des systèmes CES sur le marché (p.ex. ktep économisé, la fraction solaire réalisable par région, coûts de chaleur etc.)⁸.

Pour commencer il serait possible de lancer une étude indépendant qui passe des tests représentatifs sur les 5 modèles CES vendus le plus sur le marché (cf. 4.3.2). Après il fallait comparer les résultats avec la performance économique des systèmes conventionnels typiques du marché tunisien. Le but serait de trouver des arguments commerciaux pour le déploiement de cette technologie en Tunisie.

Les calculs de l'étude indiquent que jusqu'à présent juste l'Etat profite du programme PROSOL en économisant les subventions pour le gaz naturel ou le GPL. Il est recommandé d'accompagner les tests techniques avec des analyses économiques représentatifs qui montrent une rentabilité claire pour le client final. Si cette rentabilité attractive ne peut pas démontrée, il faut réviser le programme du soutien actuel pour qu'il soit plus avantageux pour les clients finals.

⁸ Les rendements énergétiques des chauffe-eau solaires peuvent être comparés en testant les systèmes en conformité avec EN 12976. Les instituts de tests peuvent déterminer le taux de couverture solaire pour production d'eau chaude pour différents endroits et les taux de consommation d'eau.

5. La politique de la tarification et le régime des subventions d'état en place favorisent le gaz par rapport à l'électricité. En conséquence il serait souhaitable d'étudier d'autres systèmes d'appoint auxiliaires qui ne sont pas basé sur l'électricité. S'il existe des autres solutions techniques d'appoint à base de gaz, l'état pourrait soutenir l'introduction de cette technologie.
6. Il est recommandé d'étudier le comportement des utilisateurs et la performance du système de régulation de l'appoint électrique. Chapitre 4.3.4 indique que quelques systèmes d'appoint fonctionnent indépendant de la demande et puis consomment plus d'énergie électrique que nécessaire. Des solutions se présentent par un système de régulation intelligent et par un comportement responsable des utilisateurs (seulement connecter l'appoint électrique en cas de besoin d'eau chaude ; utilisation d'une minuterie). L'établissement d'un système d'information et de sensibilisation (cf. 2.) et une consultation adéquate des installateurs pourrait agir contre ces problèmes.
7. Une option pour augmenter la rentabilité des CES serait d'introduire un tarif d'électricité bonifié et uniquement applicable pour l'utilisation de l'appoint électrique intégré dans les systèmes CES en Tunisie. L'effet serait la compensation de la différence entre le prix du gaz et de l'électricité (cf. chapitre 4.3.4). Comme ça, l'état partage les économies en subventions avec le client final et est capable de soutenir la technologie avec un instrument adéquat qui est encore avantageux pour lui. Afin de réaliser cette option, les fournisseurs pourraient installer des compteurs d'électricité séparés (agrée par la STEG) pour la consommation d'électricité de l'appoint électrique.
À long-terme l'Etat suit le but d'éliminer tous les subventions sur les énergies fossiles. Le fait que ce processus est connecté avec beaucoup de contraintes sociales (lié à l'augmentation des coûts de vie), rende cette option beaucoup plus facile à implémenter. Cependant cette option doit être planifié et considéré comme une option court-terme, accompagnant l'élimination progressive des subventions énergétique en Tunisie.
8. Les applications solaires les plus intéressantes économiquement se retrouvent parmi les établissements qui consomment beaucoup d'eau chaude sanitaire comme par exemple les piscines et les établissements d'accueil social comme les hôpitaux, grands hôtels, immeubles de plus de 15 logements ou des cantines. Jusqu'à présent le marché se concentre presque exclusivement sur le segment résidentiel.
Pour le futur il reste beaucoup de potentiel inexploité dans les segments de marché tertiaire et industriel qui offrent des opportunités pour les entreprises. L'Etat tunisien a remarqué ce potentiel et est en train d'établir des systèmes de soutien. Il est recommandé de suivre ces actions et de prendre en compte les expériences du développement du marché résidentiel.

Les résultats de l'étude montrent que le marché solaire thermique dans sa façon actuelle est caractérisé par des structures non durables. En conséquence il existe le grand risque que

A vertical blue bar on the left side of the page contains white decorative elements, including a stylized archway, a sun-like symbol, and various geometric patterns.

l'énergie solaire thermique dans son ensemble gagnerait une mauvaise réputation auprès du grand public, ce qui nuirait également à tous les fournisseurs. Il y a déjà eu des expériences similaires dans le passé, par exemple en France. Là, la qualité de la plupart des systèmes installés dans les années 1980 était si mauvaise que l'industrie a eu besoin des décennies à éliminer sa mauvaise réputation.

Références

- [1] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Analyse de la chaîne de valeur des technologies relatives à l'énergie solaire en Tunisie, 2013
- [2] International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap – Solar Heating and Cooling, 2012
- [3] Energie+, version 7, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique), réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Énergie et du Bâtiment Durable, disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be>, 2012
- [4] Solar Heating and Cooling Programme (SHC), Annual Report 2012, 2012
- [5] Solar Heating and Cooling Programme (SHC), Solar Heat Worldwide – Markets and Contribution to the Energy Supply 2010, 2012
- [6] Solar&Wind Energy, Article "Less Europe and more Arabia", 2013
- [7] Agence National pour la Maitrise de l'Énergie (ANME), Monitoring interne, 2013
- [8] Oelz, Samantha, Fostering Solar Water Heating – Policy Experiences and Lessons Learnt from South Africa and Tunisia, 2011
- [9] L'Union Européenne – Projet Paving the Way pour le Plan Solaire Méditerranéen, Politique énergétique durable - Feuille de Route Tunisie (Draft), 2013
- [10] Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz, 6ème Enquête auprès des clients résidentiels de la STEG, 2009

Annexe

Consommation représentative d'un ménage de 4 personnes

- Consommation d'eau chaude par personne : 50 litres par jour = 350 litres par semaine
- Consommation d'eau chaude du ménage par an : $4 \times 350 \times 50$ (2 semaines congé) = 70000 litres par an = 70 m^3 par an
- Température entrée = 12°C (SONEDE) ; Température de puisage = 60°C

$$E_{\text{Besoin de l'eau chaude}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] = \text{Consommation} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{an}} \right] \cdot 1,163 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \cdot (T_{\text{puisage}} - T_{\text{entrée}}) = 3908 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right]$$

Nombre des CES installés par modèle en 2012

	1 BEJA	10 LE KEF	11 MAHDIA	12 MEDENINE	13 MONASTIR	14 NABEUL	15 SFAK	16 SIDJ BOUZID	17 SILIANA	18 SOUSSE	19 TATAOUNE	20 TOZEUR	21 ZAGHOUAN	3 GABES	4 GAFSA	5 GRAND TUNIS	6 JENDOUBA	7 KAROUAN	8 KASSERINE	9 KEBILI	Total	productivité Total	productivité Total	
101 KSH201	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1232	2464	
102 KSH201H	16	2	269	217	503	92	1305	461	6	512	18	17	0	19	39	90	56	1	468	3	3	4097	1216	498195
103 KSH302H	8	0	71	52	218	102	986	16	3	177	2	14	0	6	17	2	65	0	55	0	1	1795	2484	445878
104 KSH503H	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	9	3904	35136
105 KSH201HE	3	226	34	203	2	69	231	9	53	24	46	0	2	51	53	0	5	11	348	18	1388	1354	187935	
106 KSH302HE	1	20	23	48	4	10	135	5	7	5	9	0	0	23	4	2	3	1	24	12	336	2181	732816	
107 KSH503HE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3395	3395	
108 KSH201SH	224	17	0	0	0	557	0	1	55	43	0	386	0	225	4	121	816	134	0	2	0	2585	1450	374825
109 KSH302SH	36	6	0	1	0	251	1	0	15	5	0	129	1	35	2	34	342	32	1	1	0	892	2568	229065
1201 TS/C2/H2	16	0	39	43	36	6	54	12	1	16	0	14	0	0	43	12	0	8	18	0	318	1190	378420	
1202 TS/C4/H3	3	0	13	7	4	0	28	2	1	5	1	1	0	0	6	1	0	0	0	0	72	2420	174240	
1203 TS/C2/V2	6	0	10	33	0	3	13	5	0	8	0	0	0	0	18	3	0	5	9	0	113	1190	134470	
1204 TS/C4/V3	7	0	13	23	4	5	39	2	0	5	0	0	0	0	9	4	0	0	0	0	111	2420	268620	
1402 WEL-MH20H	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	1500	7500	
1403 WEL-MH24H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	2064	8256	
1601 CHAFFOTEAX	0	0	0	1	1	3	0	3	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	12	1118	13416	
1602 CHAFFOTEAX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1112	1112	
1604 CHAFFOTEAX	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	8	932	7456	
1605 CHAFFOTEAX	2	0	0	0	3	1	1	4	1	0	0	0	0	0	7	0	3	0	0	0	22	1025	22550	
1606 CHAFFOTEAX	0	0	0	1	2	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0	10	2159	21590	
1607 ZELIOS	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	14	1200	16800	
1608 ZELIOS	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	8	2000	16000	
1801 TAKA 200Cu	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1234	3702	
1803 TAKA 200AL	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	7	962	6734	
1804 TAKA 300AL	4	3	23	15	15	10	62	0	5	15	14	21	1	2	4	3	45	12	12	6	3	275	2069	568975
1806 Taka 300 TI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2765	2765	
1809 TAKA BIOME	182	107	294	5	76	162	56	30	20	231	2	306	1	114	2	13	548	483	289	151	2	3074	1064	327073
1810 TAKA BIOME	89	9	88	4	85	64	75	2	10	72	6	110	0	17	1	0	168	55	27	10	3	895	2257	202001
1811 TAKA BIOME	2	20	16	167	0	7	258	123	104	1	43	0	3	0	9	32	4	5	1	236	72	1103	1051	115925
1812 TAKA BIOME	0	1	0	8	0	0	36	5	4	2	6	2	1	0	4	0	1	0	0	2	15	87	2245	195315
1905	11	90	6	72	46	28	0	47	60	29	14	36	16	13	35	108	70	13	35	59	116	904	1256	113542

	1 BEJA	10 LE KEF	11 MAHDIA	12 MEDENINE	13 MONASTIR	14 NABEUL	15 SFAX	16 SIDJ BOUZID	17 SILANA	18 SOUSSE	19 TATAOUINE	2 BIZERTE	20 TOZEUR	21 ZAGHOUAN	3 GABES	4 GAFSA	5 GRAND TUNIS	6 JENDOUBA	7 KAIROUAN	8 KASSERINE	9 KEBILI	Total	productifs	productifs Total
1906	3	1	6	7	17	12	0	1	5	3	2	2	2	1	3	1	10	0	4	0	14	94	3372	316968
201 MEGASUN	2	9	7	43	2	1	1	1	1	1	2	5	0	2	2	0	2	16	0	1	1	99	1620	160380
202 MEGASUN	3	0	7	20	6	7	9	0	1	1	4	4	0	3	2	0	3	4	0	0	1	75	2249	168675
203 SUNSET 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	1100	2200
205 DUROTHERM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1240	1240
207 DUROTHERM	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1250	1250
208 DUROTHERM	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2390	4780
209 DUROTHERM-	55	158	83	341	122	78	176	265	88	22	38	337	14	28	149	66	214	99	157	76	192	2758	973	268353
210 DUROTHERM-	10	8	11	106	33	23	38	10	13	2	6	45	4	0	40	2	37	1	8	4	57	458	2035	932030
2101 Ws 200 SOLEIL	0	0	49	9	52	0	209	10	0	3	0	0	0	0	15	230	0	0	124	0	0	701	1294	907094
2102 Ws 200 SOLEIL	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	7	1174	8218	
2103 Ws 300 SOLEIL	0	0	3	2	7	0	43	1	0	1	0	0	0	0	2	21	0	2	0	0	82	2484	203688	
213 SOLAR23 300L	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	2123	8492	
214 SOLAR23 200 L	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	1203	8421	
215 DUROSOL 200	0	2	0	9	2	0	2	2	1	0	0	2	1	0	8	1	0	0	0	3	12	45	1289	58005
216 DUROSOL 300	0	0	1	15	0	0	1	0	0	0	0	7	0	0	1	1	1	0	0	0	9	36	2258	81288
2201 SPECTRA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	1088	6528
2202 SPECTRA	0	0	1	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2006	16048
2401 S200	1	0	6	135	9	0	48	12	0	3	2	0	0	0	27	0	0	0	10	24	0	277	966	267582
2402 S300	0	0	1	32	4	0	8	5	0	0	2	0	2	0	5	0	0	2	0	1	62	1843	114266	
2403 SOL 400	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2409	2409	
2702 EPC MARK3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1017	1017
2703 EPC Mark3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2043	2043	
3001 FAYZER 200	6	45	99	210	62	87	172	80	41	64	0	14	18	9	37	35	57	33	44	37	67	1217	1027	124985
3002 FAYZER 300	1	6	13	28	17	22	80	3	9	9	0	0	1	4	8	1	23	7	8	0	25	265	2118	561270
301 SIER 200 L	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	920	920
302 SIER 300 L	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1990	1990	
305 BSE 200L/LAL	0	2	11	76	2	22	61	50	0	13	1	92	22	13	2	65	36	0	44	0	23	535	924	494340
306 BSE 300L/LAL	1	0	13	30	3	54	97	3	0	9	0	15	1	7	6	37	40	0	6	1	28	351	2071	726921
307 BSH 200L/LAL	0	0	3	7	0	1	20	16	2	1	0	7	3	38	0	98	7	0	1	12	32	248	902	223696
309 BSH 300L SOL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2024	2024
3101 HE200/1/SX	0	51	0	23	0	2	2	0	27	2	0	0	0	6	0	0	15	0	0	1	0	129	941	121389
3102 HE280 /2/S	0	1	0	6	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	15	2068	31020
3202 Wunder CLS	0	1	0	6	0	1	0	0	3	0	0	13	0	0	3	0	9	13	0	0	0	49	992	48608
3203 Wunder CLS	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	3	0	0	0	0	13	2102	27326



	1 BEJA	10 LE KEF	11 MAHDIA	12 MEDENINE	13 MONASTIR	14 NABEUL	15 SFAX	16 SIDI BOUZID	17 SILIANA	18 SOUSSE	19 TATAOUNE	2 BIZERTE	20 TOZEUR	21 ZAGHOUAN	3 GABES	4 GAFSA	5 GRAND TUNIS	6 JENDOUBA	7 KAROUAN	8 KASSERINE	9 KEBILI	Total	productivite	productivite Total
3501 TU 200 LT	22	11	34	23	4	40	6	6	7	24	55	65	21	58	3	3	287	21	87	20	21	818	1236	101104
3502 TU 300 LT	28	1	92	5	15	41	53	1	3	4	6	9	5	11	0	3	129	0	7	0	0	413	2454	101350
3601 Aktion sonne	0	0	3	17	0	0	26	0	0	0	0	0	2	0	0	8	0	0	1	0	0	57	1091	62187
3602 Aktion sonne	0	0	8	5	0	0	44	0	0	0	2	0	4	0	0	24	0	0	4	0	0	91	935	85085
3603 SONNE	0	0	3	1	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	20	2233	44660
3604 SONNE	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1136	10224
3605 SONNE	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2245	13470
3701 GTC 58H	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	14	1768	24752
3801 FREE 200	0	0	0	2	0	0	0	47	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	1	2	66	1231	81246
3802 FREE 300	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2264	6792
3901 FOCUS SOLAR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1016	1016
3905 FOCUS SOLAR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1124	1124
3906 FOCUS SOLAR	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2333	4666
3907 FOCUS SOLAR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1283	1283
408 MV-300 O	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2102	4204
409 HW-200F	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1266	13926
410 HW-300F	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1974	11844
411 HW 200 O	1	0	6	7	2	0	81	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	926	98156	
412 HW 300 O	0	0	1	1	1	1	35	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	41	2048	83968	
413 SI-200 O	0	0	1	5	0	1	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	935	20570	
414 SI-300 O	0	0	0	1	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2120	31800	
415 SI-200 F	0	0	1	4	6	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	47	1071	50337	
416 SI-300 F	0	0	0	1	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	2191	41629	
4601 AFIQUE SOLAR	1	0	0	5	0	10	2	11	3	3	0	319	0	1	0	1	84	0	10	0	450	1054	474300	
4602 AFRIQUE	1	0	1	0	0	6	5	0	0	0	0	112	0	0	0	0	29	0	0	0	154	2232	343728	
4701 PNT 206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	1	0	0	0	0	0	0	0	24	1026	24624	
4702 PNT 414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2217	15519	
4801 SOLARBIO	3	37	0	5	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	17	2	3	0	8	1	80	1200	96000	
4802 SOLARBIO	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2200	2200	
4901 ATS 200	1	0	0	0	20	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	27	1098	29646	
4902 ATS 300	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2314	20826	
5001 GES TP 200	2	0	0	14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	948	16116	
507 Aquasolar 200	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1031	2062	
508 Aquasolar 300	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2036	8144	
513 NOBEL SOLAR	0	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	1016	14224	

	1 BEJA	10 LE KEF	11 MAHDIA	12 MEDENINE	13 MONASTIR	14 NABEUL	15 SFAX	16 SIDI BOUZID	17 SILIANA	18 SOUSSE	19 TATAOUNE	2 BIZERTE	20 TOZEUR	21 ZAGHOUAN	3 GABES	4 GAFSA	5 GRAND TUNIS	6 JENDOUBA	7 KAROUAN	8 KASSERINE	9 KEBILI	Total	productivite	productivite Total
514 NOBEL SOLAR	0	0	0	0	3	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2041	18369
Total	755	837	1365	2108	1410	1793	4656	1272	555	1341	288	2127	138	614	505	1155	3175	942	1447	1060	731	2827	1255412	

Source : ANME – PROSOL système de suivi