



solarcombi+

Description et représentation visuelle des marchés les plus prometteurs

Edité par Juan Rodriguez, Roberto Fedrizzi

Version v5.0

EURAC
research

Traduction par Daniel Mugnier



Bolzano, 30.09.2009



Table des matières

1	Introduction.....	5
2	Méthodologie	6
2.1	Index de bâtiments et de charges.....	6
2.1.1	HDD (Degrés Jours Chauffage)	8
2.1.2	CDD (Degrés Jours Climatisation)	9
2.1.3	Demandes en Climatisation et Chauffage obtenues par la Simulation de bâtiment.....	9
2.2	Paramètres d'ensoleillement	10
2.2.1	Ensoleillement critique	12
2.2.2	Ensoleillement utile.....	13
3	Résultats	15
3.1	Marché des capteurs solaires thermiques.....	15
3.2	Prix de l'énergie	17
3.3	Charges en Chauffage et Climatisation.....	19
3.4	Ensoleillement utile pour le chauffage d'ambiance (40°C)	19
3.5	Ensoleillement utile pour la préparation d'ECS (60°C).....	21
3.6	Machines à sorption valorisant l'ensoleillement utile.....	23
3.6.1	Machines à Adsorption (70°C - Saison de climatisation)	24
3.6.2	Machines à Absorption (90°C - Saison de climatisation)	25
4	Conclusions	27
5	Références	28



Liste des Figures

Figure 1 - Conditions de confort optimales sur un diagramme psychrométrique.	7
Figure 2 - Conditions ambiante sélectionnées dans le projet Solar Combi+.	7
Figure 3 - Degrés Jours en Chauffage en Europe	8
Figure 4 - Degrés Jours Climatisation en Europe	9
Figure 5 - Ensoleillement total sur l'horizontal	10
Figure 6 - Ensoleillement total sur surface inclinée en saison de chauffage (8 mois). ..	11
Figure 7 - Ensoleillement total sur surface inclinée en saison de climatisation (4 mois).11	
Figure 8 - Capteur plan: $k_0 = 0.823$, $k_1 = 3.02 \text{ W/m}^2\text{K}$	13
Figure 9 - Capteur à tubes sous vide: $k_0 = 0.601$, $k_1 = 0.767 \text{ W/m}^2\text{K}$	13
Figure 10 - Marché solaire thermique Europe. Surface capteurs installés cumulés 2008.15	
Figure 11 - Marché solaire thermique en Europe. Installations en 2004	16
Figure 12 - Marché solaire thermique en Europe. Installations en 2008	16
Figure 13 - Prix du Gaz en Europe (source : Eurostat).....	18
Figure 14 - Prix de l'Electricité en Europe (source : Eurostat).....	18
Figure 15 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 40°C	20
Figure 16 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs à tubes sous vide à 40°C	20
Figure 17 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 60°C	22
Figure 18 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs à tubes sous vide à 60°C	22
Figure 19 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 60°C	23
Figure 20 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs à tubes sous vide à 60°C	23
Figure 21 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 70°C	24
Figure 22 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs sous vide à 70°C.....	25
Figure 23 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 90°C	26
Figure 24 Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs sous vide à 90°C.....	26



Liste des Tables

Tableau 1 - Charges des bâtiments simulés [kWh/m ² /an]	9
Table 2-Ensoleillements sur l'horizontal, incliné à 40° en chauffage et climatisation ..	11
Table 3 Installation de capteurs solaires thermiques en Europe - Source ESTIF/AEE-Intec	17
Table 4 - Valeurs HDD et CDD pour les villes étudiées dans le projet.....	19
Table 5 -Ensoleillement utile [kWh/m ² /an] à 40°C pour le chauffage (8 mois)	20
Table 6 -Ensoleillement utile [kWh/m ² /an] à 60°C pour la production ECS	21
Table 7- Relation entre énergie collectée avec capteurs plans (FP) et sous vide (ET) ..	22
Table 8 -Ensoleillement utile [kWh/m ² /an] pour la climatisation (4 mois)	24
Table 9 -Ensoleillement utile [kWh/m ² /an] pour la climatisation (4 mois)	25

1 Introduction

L'objet de ce document est l'identification des marchés les plus prometteurs en Europe pour les installations solaires combinées plus, sur la base du marché de capteurs solaires thermiques et de données météo.

L'idée principale du travail est la création de cartes qui, suivant une démarche géographique, permet une évaluation aisée des lieux adaptées pour ce type d'application. Les données du marché européen des capteurs solaires thermiques a été étudié dans un premier temps dans l'analyse, afin d'individualiser les marchés qui sont les plus sensibles à l'exploitation de l'énergie solaire pour des applications thermiques (production d'eau chaude sanitaire et chauffage).

Ensuite, le prix des énergies ont été analysés pour identifier les pays dans lesquels les consommateurs sont les plus sensibles aux consommations énergétiques.

Alors, les données météo ont été étudiées afin d'évaluer le montant maximum d'énergie solaire qui peut être obtenue pour une technologie de capteurs solaires donnée (capteurs plans ou sous vide ont été considérés) à différentes températures, en fonction des différents systèmes de distribution installés dans les bâtiments. En même temps, la demande en chauffage et climatisation des bâtiments en Europe a été évaluée. En comparant la demande et la disponibilité en énergie, les marchés les plus prometteurs ont été définis.

2 Méthodologie

Les données concernant les capteurs solaires thermiques pour la préparation des cartes ont été tirées du document de l'ESTIF [0] "Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2007", laquelle information a été élaborée à partir du travail d'AEE-Intec, sur la base du marché solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage. Les données ont été utilisées sans modification.

Pour l'élaboration des données météo, la création d'un fichier Excel avec une macro Visual Basic a été nécessaire. Les données horaires utilisées ont été écrites en format TM2 (la plupart d'entre elles viennent de la base de données Meteonorm[®] 6), et créées directement à partir de séries climatiques de 608 stations météo. Il doit être souligné qu'aucun des fichiers de données n'a été interpolé d'autres stations. Sur la base d'un fichier macro obtenu de la page web du National Renewable Energy Laboratory (USA) [<http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/tmy2>], les données de 608 lieux ont été chargées dans un fichier Excel et exploitées. Quelques paramètres peuvent être directement tirés du fichier original, à savoir:

- Nom de la ville
- Pays
- Latitude
- Longitude
- Altitude
- Ensoleillement direct normal
- Ensoleillement horizontal diffus
- Température ambiante sèche

Et quelques autres informations, comme les HDD (Degrés Jours Chauffage), CDD (Degrés Jours Climatisation), Ensoleillement critique, Ensoleillement utile, ont été calculés. Ces paramètres, définis dans le chapitre suivant, ont été calculés au moyen de données et entrées ultérieurement introduites par l'utilisateur (type et rendement des capteurs solaires, températures utiles, etc.). Toutes les informations obtenues ont été représentées sur des cartes européennes au moyen d'outils gratuits de type GIS.

2.1 Index de bâtiments et de charges

Le diagramme psychrométrique de la Figure 1 délimite en trapèzes les conditions de vie acceptables pour les saisons hivernales et estivales. Comme il peut être vu, une humidité de 50%, températures de 21°C en saison de chauffage (trapèze bleu), et 25°C en saison de climatisation (rose) assure la qualité intérieure. En déplaçant le point rouge sur la gauche sur la courbe d'humidité relative à 50%, le montant de l'énergie que le bâtiment perd en période hivernale vers l'environnement est plus faible. Le contraire arrive en période estivale avec le point bleu. Afin de définir les paramètres proportionnels aux charges du

bâtiment, il a été décidé d'évaluer en tant que conditions internes, 21°C en hiver et 26°C en été (voir Figure 2).

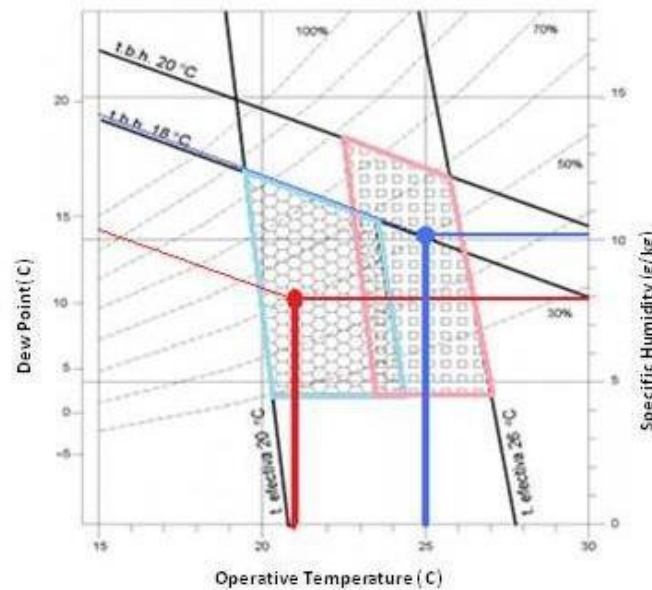


Figure 1 - Conditions de confort optimales sur un diagramme psychrométrique.

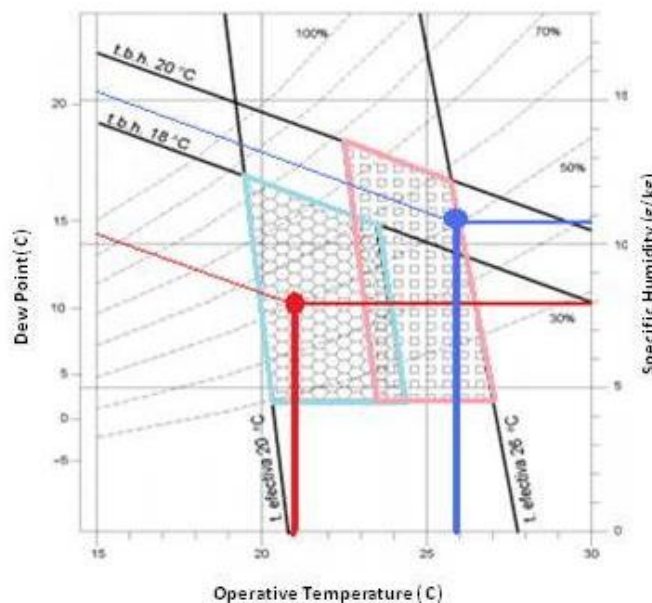


Figure 2 - Conditions ambiante sélectionnées dans le projet Solar Combi+.

Les deux paramètres (Degrés Jours Chauffage et Degrés Jours Climatisation) servent de première évaluation de la demande d'énergie d'un bâtiment, basé seulement sur les températures extérieures. Ces deux paramètres comparent les

températures extérieures avec celles intérieures qui assurent en permanence des conditions parfaitement acceptables dans le bâtiment tout au long de l'année (calculé pour une humidité relative de 50%). Alors que le paramètre hivernal (HDD) est une bonne image des besoins en chauffage du bâtiment, le facteur estival (CDD) un facteur de doute car il ne prend pas en compte le niveau d'humidité (chaleur latente) et les gains solaires, ce qui dans certains cas représente l'essentiel des contributions. Cependant, cela peut être utilisé comme une première approximation.

2.1.1 HDD (Degrés Jours Chauffage)

Ce paramètre est un index quantitatif conçu pour refléter la demande énergétique nécessaire pour chauffer le bâtiment. Il est dérivé des observations de température journalières et calculé comme la somme sur l'année de la différence en degrés (°C) entre la température de base qui définit la température ambiante dans le bâtiment (typiquement 21°C est la température où les pertes avec l'environnement sont compensées) et la température extérieure sèche.

$$HDD = \sum_{h=1}^{8760} \frac{(21 - T_{amb,h})}{24} \approx \sum_{d=1}^{365} (21 - T_{amb,d})$$

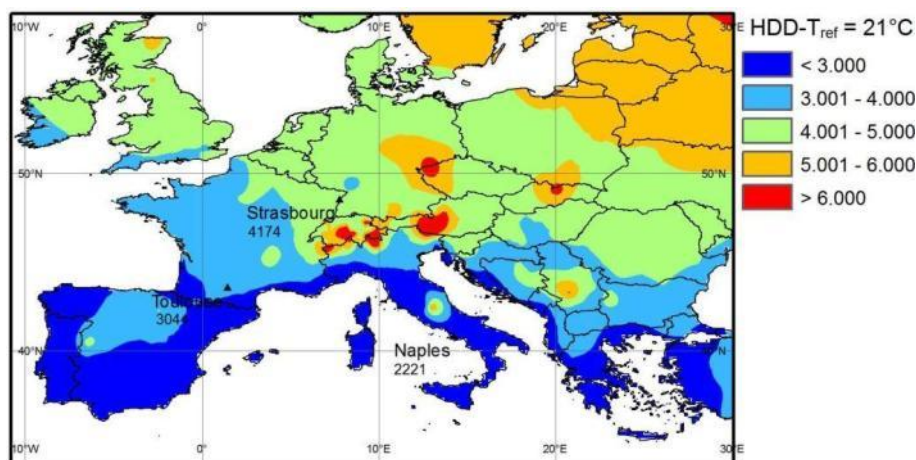


Figure 3 - Degrés Jours en Chauffage en Europe

Dans le cas de SC+, il peut être vu comment pour une division de l'Europe en 5 zones, les villes étudiées appartiennent aux 3 zones les plus chaudes. (Naples 2221, Toulouse 3040, Strasbourg 4174). Les 2 autres zones qui correspondent à des valeurs d'HDD de plus de 5 000 ne vont pas être étudiées, car comme le montre les figures suivantes, il n'y aura pas assez de besoins de climatisation pour être intéressant pour les systèmes SC+.

La comparaison des 3 villes montre une augmentation de CDD de 36% entre Naples et Toulouse et 88% entre Naples et Strasbourg.

2.1.2 CDD (Degrés Jours Climatisation)

Le paramètre Degrés Jours Climatisation (CDD) est défini dans une voie similaire pour évaluer les gains obtenus par le bâtiment à cause des températures extérieures (température de référence prise à 26°C).

$$CDD = \sum_{h=1}^{8760} \frac{(T_{amb,h} - 26)}{24} \approx \sum_{d=1}^{365} (T_{amb,d} - 26)$$

A nouveau, comme il est montré dans la figure 4, les valeurs correspondantes pour CDD sont hautement différentes entre les villes choisies. (70 pour Naples, 26 pour Toulouse et 9 pour Strasbourg). Comparant les valeurs de Naples, Toulouse et Strasbourg sont respectivement 63% et 87% plus faibles.

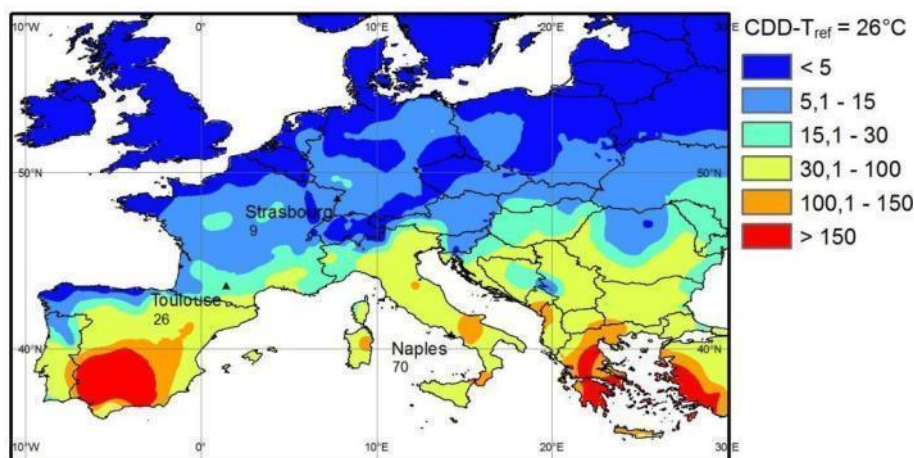


Figure 4 - Degrés Jours Climatisation en Europe

2.1.3 Demandes en Climatisation et Chauffage obtenues par la Simulation de bâtiment.

Les charges totales de climatisation et chauffage des bâtiments simulés dans le programme SC+ sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 - Charges des bâtiments simulés [kWh/m²/an]

kWh/m²/an	Bureaux		Maison traditionnelle			Maison Basse Consommation		
	Chauff.	Clim.	Chauff.	Clim.	ECS	Chauff.	Clim.	ECS
Strasbourg	69,74	34,19						
Toulouse	34,13	50,28	46,05	5,69	12,66	24,58	6,12	12,66
Naples	9,22	80,75	21,11	18,45	11,43	9,37	17,45	11,43

En comparant Toulouse avec Naples, il est possible de remarquer que la gamme de charge en chauffage se situe entre environ 9 et 46 kWh/m²/an. La gamme de charge en climatisation est entre 6 et 20 kWh/m²/an pour les bâtiments résidentiels, alors que des valeurs beaucoup plus élevées sont constatées pour des applications de bureaux (50-80 kWh/m²/an).

Si Naples est comparé à Strasbourg (seulement l'application Bureaux a été simulée dans ce cas), la charge chauffage est 7 fois plus élevée à Strasbourg, alors que la charge en climatisation est seulement 3 fois plus élevée à Naples.

2.2 Paramètres d'ensoleillement

L'ensoleillement total sur une surface horizontale a été calculé d'abord à partir de l'ensoleillement direct normal et diffus des fichiers météo.

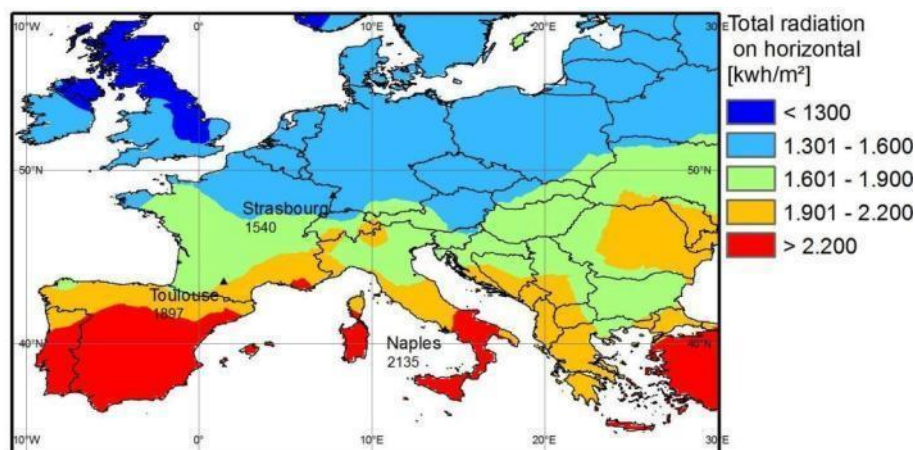


Figure 5 - Ensoleillement total sur l'horizontal

Une délimitation de ces données a été nécessaire pour évoluer l'énergie adéquate sur une surface inclinée orientée au Sud. Pour des considérations de comparaison, L'angle d'inclinaison des capteurs solaires a été choisi à 40° pour tous les pays européens même si les valeurs optimales varient selon les latitudes. De plus, 2 cartes différentes ont été créées, une pour la saison de chauffage et une pour la saison de climatisation (saison de climatisation du 15 mai au 15 septembre, saison de chauffage le restant de l'année).

Les deux dernières figures représentent la quantité maximum d'énergie qui peut être captée par le soleil, indépendamment du type de capteur solaire et de la température nécessaire dans les procédés, donc ces graphiques correspondent aux limites hautes en termes d'énergie solaire potentiellement captée. Il est intéressant de noter dans la table 2 que l'énergie totale qui peut être collectée durant les 8 mois de chauffage et dans les 4 mois de climatisation est environ la même pour les 3 villes.

Afin de produire des figures représentatives, deux paramètres supplémentaires ont été introduits afin de prendre en compte la température ambiante et les températures de sortie des capteurs solaires : ensoleillement critique et utile.

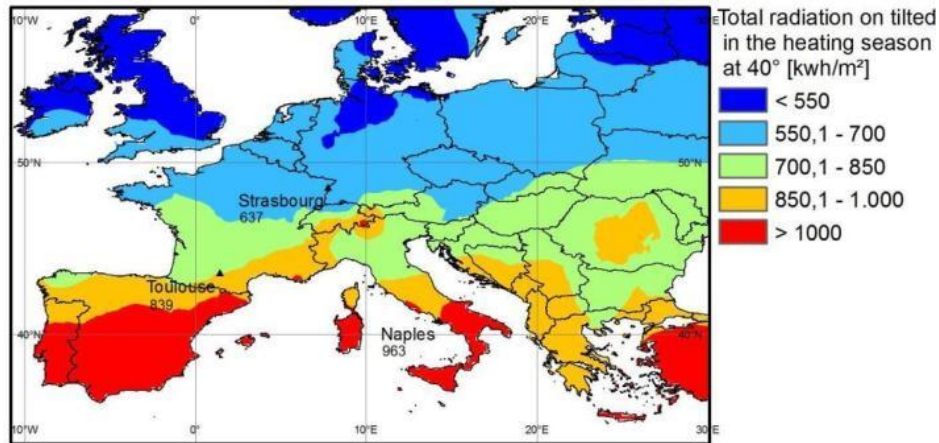


Figure 6 - Ensoleillement total sur surface inclinée en saison de chauffage (8 mois).

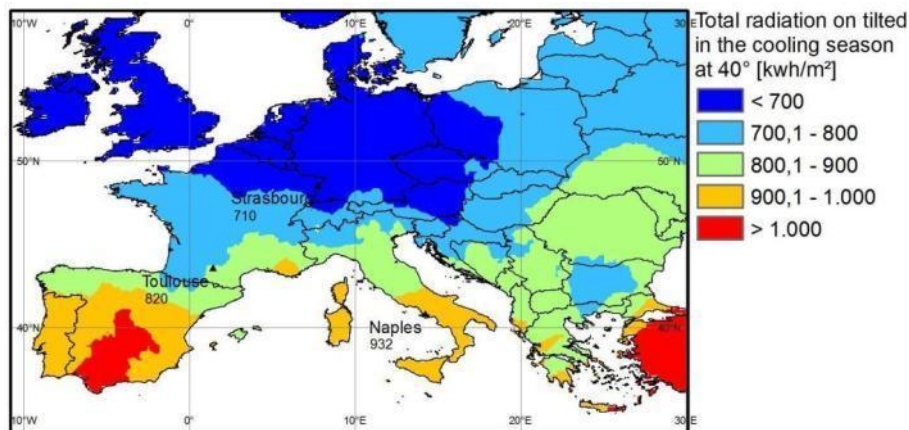


Figure 7 - Ensoleillement total sur surface inclinée en saison de climatisation (4 mois).

Table 2-Ensoleillements sur l'horizontal, incliné à 40° en chauffage et climatisation

	Ensoleillement Total Horizontal	Ensoleillement Saison Chauffage inclinaison 40°, Sud (8 mois)	Ensoleillement Saison Climatisation, 40°, au Sud (4 mois)
Strasbourg	1540	637	710
Toulouse	1897	839	820
Naples	2135	963	932

2.2.1 Ensoleillement critique

Un capteur solaire thermique est défini par son rendement qui évalue ses performances en termes de capacité de captation solaire diminuée par les pertes dans l'environnement:

$$\eta = IAM \times k_0 - k_1 * \frac{(T_{avg} - T_{amb})}{G_{\perp}} - k_2 \frac{(T_{avg} - T_{amb})^2}{G_{\perp}}$$

- k_0 = Efficacité angulaire optique
- k_1 = Coefficient de pertes linéiques
- k_2 = Coefficient de pertes quadratiques (pas utilisé dans ce cas, en raison de ses effets secondaires)
- T_{avg} = Température moyenne dans le capteur
- T_{amb} = Température ambiante
- IAM = Modificateur d'angle d'incidence, qui évalue en pourcentage le montant de l'énergie qui arrive sur le capteur solaire dépendant de 2 angles (transversal et longitudinal) que le soleil forme durant la journée avec le capteur incliné. $IAM = IAM_T \times IAM_L$

L'ensoleillement critique est défini par le niveau d'ensoleillement qui crée l'équilibre entre les pertes d'un capteur solaire et l'énergie captée pour une température prédéterminée. En développant l'équation suivante pour une efficacité de 0 et sans prendre en compte les coefficients de pertes quadratique, l'ensoleillement obtenu est représenté par :

$$I_{Critical}^{temp,coll} = \frac{k_1}{IAM \times k_0} * (T_{process} - T_{amb})$$

Comme il peut être vu, pour définir l'ensoleillement critique, il doit être défini au préalable : le type de capteur, les angles IAM (longitudinal et transversal) et les températures nécessaires pour le process considérés (température en sortie de capteurs solaire dans une première approche).

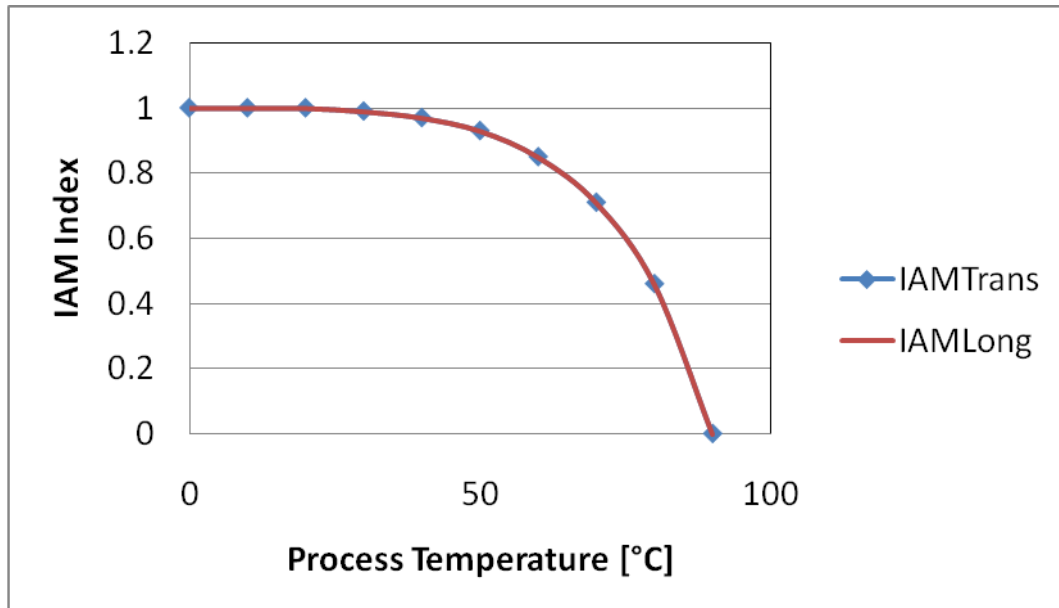


Figure 8 - Capteur plan: $k_0 = 0.823$, $k_1 = 3.02 \text{ W/m}^2\text{K}$

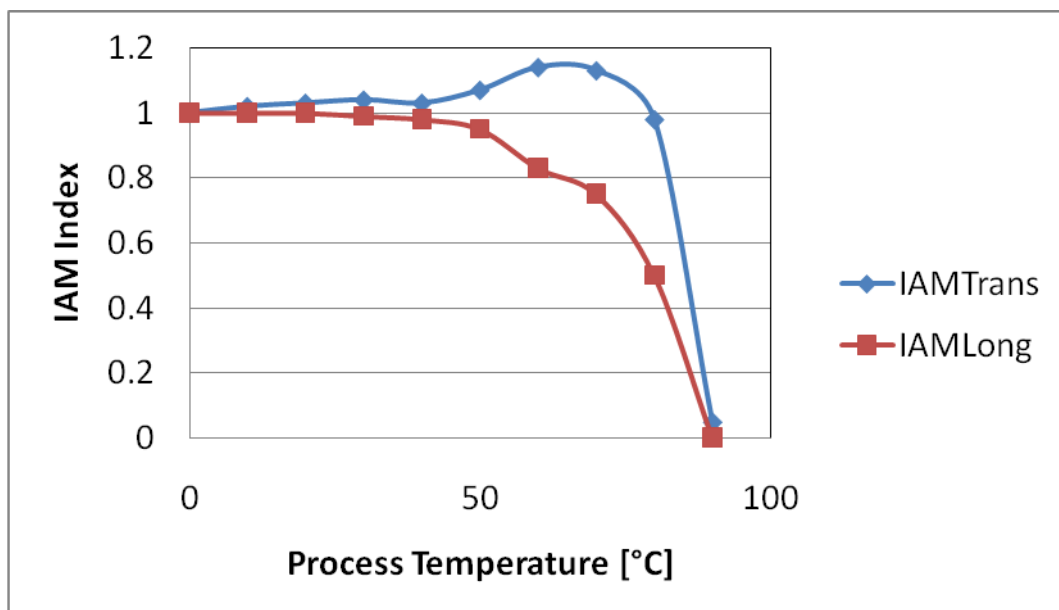


Figure 9 - Capteur à tubes sous vide: $k_0 = 0.601$, $k_1 = 0.767 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.2.2 Ensoleillement utile

Il est défini par la différence entre l'ensoleillement total reçu par le capteur solaire et son ensoleillement critique. Ceci représente la quantité d'énergie pour un capteur donné et les conditions climatiques (ensoleillement et température ambiante) qui peut être utilisée pour chauffer le fluide thermique jusqu'à une température donnée :

$$I_{Useful}^{temp, coll} = I_{total} - I_{Critical}^{temp, coll}$$

A travers ce projet, les températures des procédés considérées étaient dépendantes de la technologie des groupes frigorifiques à sorption utilisés pour la production d'eau glacée, en terme de besoins en eau chaude sanitaire et chauffage. Par conséquent, les températures considérées pour le calcul de l'ensoleillement critique ont été :

- 40°C pour le chauffage à travers l'alimentation directe de planchers radiants ou ventilo-convecteurs.
- 60°C pour la production d'eau chaude sanitaire toute l'année.
- 70°C pour les groupes à adsorption (période estivale).
- 90°C pour les groupes à absorption (période estivale).

Il doit être rappelé que les résultats se réfèrent à la quantité maximale d'énergie collectée à certaines températures ambiantes et de process ; par conséquent, dans les cas des groupes à sorption, la température évaluée est le minimum qui peut faire fonctionner le système. De plus, les paramètres caractéristiques des capteurs solaires (k_0 et k_1) sont pris comme constants pour les calculs, ce qui est atteignable seulement si leur température d'entrée est également considérée comme constante. Ceci est possible seulement si la demande et l'ensoleillement utile coïncide toujours, ce qui n'est pas le cas. Par conséquent, le modèle utilisé introduit quelques simplifications qui se traduisent parfois par des valeurs surévaluées, quand elles sont comparées avec des énergies conventionnelles pour le chauffage, la climatisation et la production d'eau chaude sanitaire. Cependant, le modèle est bien adapté pour l'objectif de l'analyse des marchés les plus prometteurs, puisqu'il permet une comparaison des régions Européennes en termes d'énergie solaire à différentes périodes de l'année.

3 Résultats

3.1 Marché des capteurs solaires thermiques

La Figure 10 montre le marché européen du solaire thermique en terme de surface de capteurs solaires vendus sur l'année entière 2008. Comme il peut être remarqué, le marché largement le plus important est l'Allemagne avec environ 11 Mm² installés; la Grèce, l'Autriche, l'Italie, la France et l'Espagne suivent avec environ 3.9, 3.2, 1.6, 1.6 et 1.4 Mm² vendus. Si la surface de capteurs par habitant est observée, l'Autriche, la Grèce et l'Allemagne à nouveau ont les valeurs les plus importantes (388, 344 et 135 m²/1000 habitants respectivement).

Par conséquent, si le statu quo est confirmé, les trois derniers pays semblent offrir les meilleures possibilités pour l'entrée des technologies solaire de chauffage et climatisation sur le marché. D'autres pays comme Chypre et Malte font apparaître des valeurs remarquables de surface de capteurs solaires par habitant (873 et 75 m²/1000 habitants respectivement); cependant, ils ne peuvent pas être considérés comme des marchés prometteurs en tant que tel, en raison de leur taille limitée. Les autres pays cités (Italie, Espagne et France) suivent de loin.

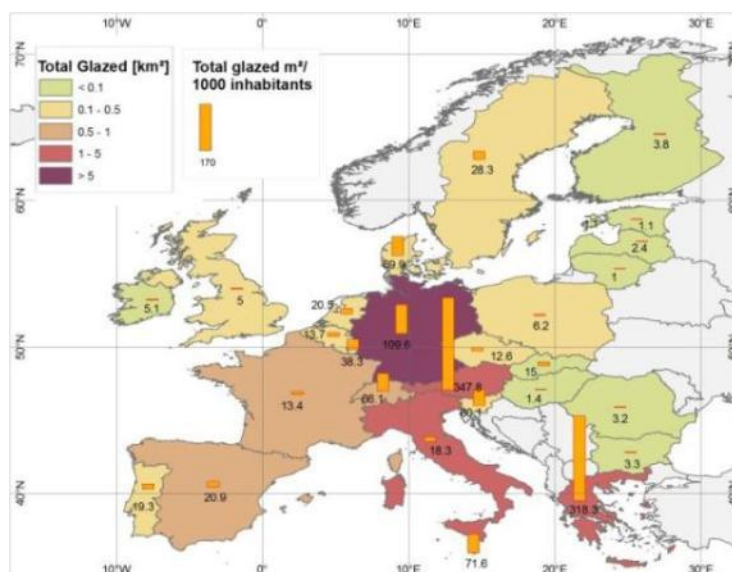


Figure 10 - Marché solaire thermique Europe. Surface capteurs installés cumulés 2008.

Si une approche de type "croissance" est utilisée pour identifier les marchés prometteurs, les installations de capteurs solaires des quatre dernières années peuvent être considérées. La croissance du marché durant cette période montre clairement que par ailleurs d'autres pays peuvent être pris en compte : parmi ceux du Sud avec un bon potentiel pour la valorisation de l'énergie solaire, Slovénie, Portugal, et encore France, Espagne et Italie montrent des augmentations surprenantes de leurs marchés solaires thermiques : +789%,

+760%, +646%, +382% et +260% respectivement (voir Figure 11, Figure 12). Les trois marchés les plus grands (Allemagne, Autriche et Grèce) augmentent à des vitesses un peu plus lentes, bien qu'encore +34% soit observé en Grèce, +90% en Autriche et +180% en Allemagne.

Par conséquent, tous les pays mentionnés peuvent être considérés plus ou moins comme adaptés pour des applications solaires thermiques et prometteurs pour des installations solaires de type SC+.

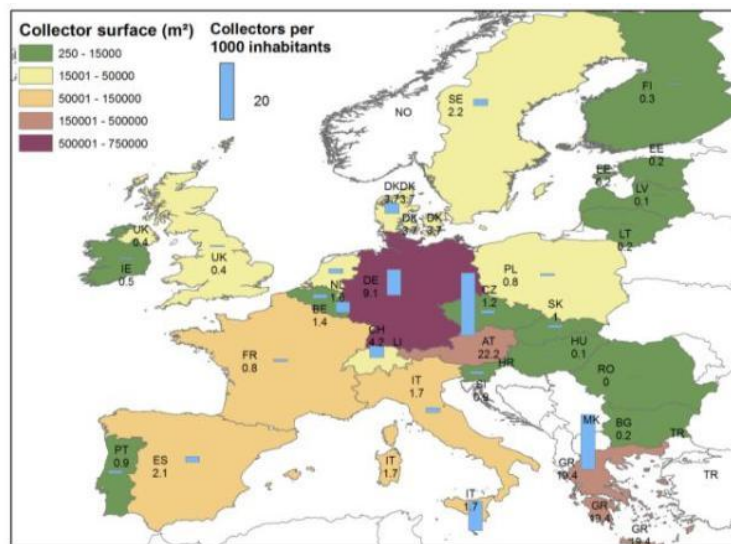


Figure 11 - Marché solaire thermique en Europe. Installations en 2004

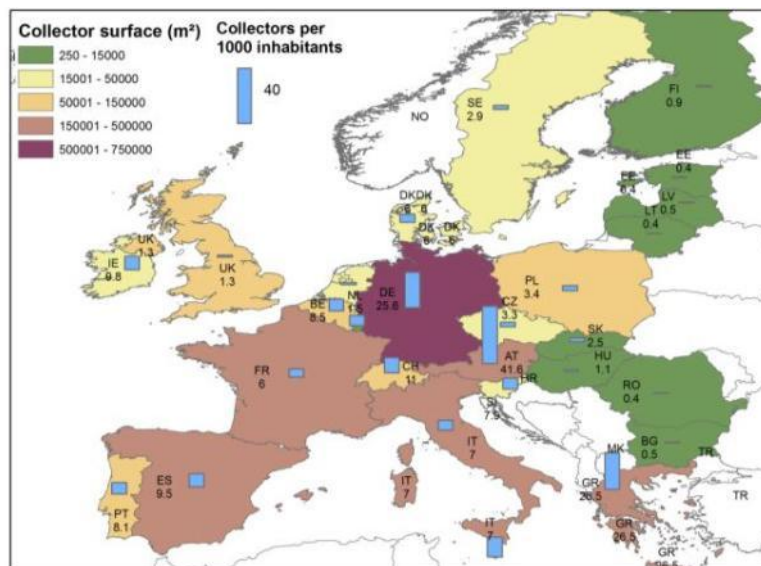


Figure 12 - Marché solaire thermique en Europe. Installations en 2008

Table 3 Installation de capteurs solaires thermiques en Europe - Source ESTIF/AEE-Intec

	m ²				m ² /1000 habitants				
	2004	2006	2008	Cumul. en 2008	2004	2006	2008	Cumul. en 2008	Croissance 04-08
AT	182594	292669	347703	3240330	22.2	35.3	41.6	387.8	187%
BE	14700	35636	91000	268947	1.4	3.4	8.5	25.0	607%
BG	1800	2200	4000	31600	0.2	0.3	0.5	4.2	250%
CH	31160	51863	85000	593980	4.2	6.9	11.0	77.1	261%
CY	30000	60000	68000	693200	40.0	77.1	85.6	873.1	214%
CZ	12250	22030	35000	165100	1.2	2.1	3.3	15.8	275%
DE	750000	1500000	2100000	1109400 0	9.1	18.2	25.6	135.3	281%
DK	20000	25300	33000	418280	3.7	4.6	6.0	75.9	162%
EE	250	300	500	1970	0.2	0.2	0.4	1.5	200%
ES	90000	175000	434000	1411166	2.1	3.9	9.5	30.8	452%
FI	1630	3200	4800	25293	0.3	0.6	0.9	4.7	300%
FR	52000	220000	388000	1624100	0.8	3.5	6.0	25.2	750%
GR	215000	240000	298000	3868200	19.4	21.5	26.5	343.6	136%
HU	1500	1000	11000	25250	0.1	0.1	1.1	2.5	1100%
IE	2000	5000	43610	74400	0.5	1.2	9.8	16.7	1960%
IT	97738	186000	421000	1606230	1.7	3.1	7.0	26.7	411%
LT	500	600	840	4290	0.2	0.3	0.4	1.9	200%
LU	1700	2500	3600	22500	3.7	5.3	7.3	45.6	197%
LV	500	1200	1800	7150	0.1	0.4	0.5	2.1	500%
MT	4215	4500	6000	35360	10.5	11.0	14.5	85.5	138%
NL	26300	14685	25000	363341	1.6	0.9	1.5	22.0	93%
PL	28900	41400	129632	365676	0.8	1.1	3.4	9.6	425%
PT	10000	20000	86000	318950	0.9	1.9	8.1	30.0	900%
RO	400	400	8000	94300	0.0	0.0	0.4	4.4	n.a.
SE	20058	28539	26813	289207	2.2	3.1	2.9	31.2	131%
SI	1800	6900	16000	137300	0.9	3.4	7.9	67.6	877%
SK	5500	8500	13500	95250	1.0	1.6	2.5	17.6	250%
UK	25000	54000	81000	385920	0.4	0.9	1.3	6.3	325%

3.2 Prix de l'énergie

Les figures 13 et 14 montrent le prix du gaz et de l'électricité en Europe. Les consommateurs sont plus sensibles à leur consommations d'énergie, et de ce fait peut-être plus sensible à l'efficacité énergétique, dans les pays où les prix de l'énergie aussi bien électrique que de gaz sont élevés. Selon ces cartes, ces pays

(au sud) sont l'Allemagne, l'Autriche, les Portugal, le République Tchèque, la Slovaquie, l'Espagne, l'Italie, et la France.

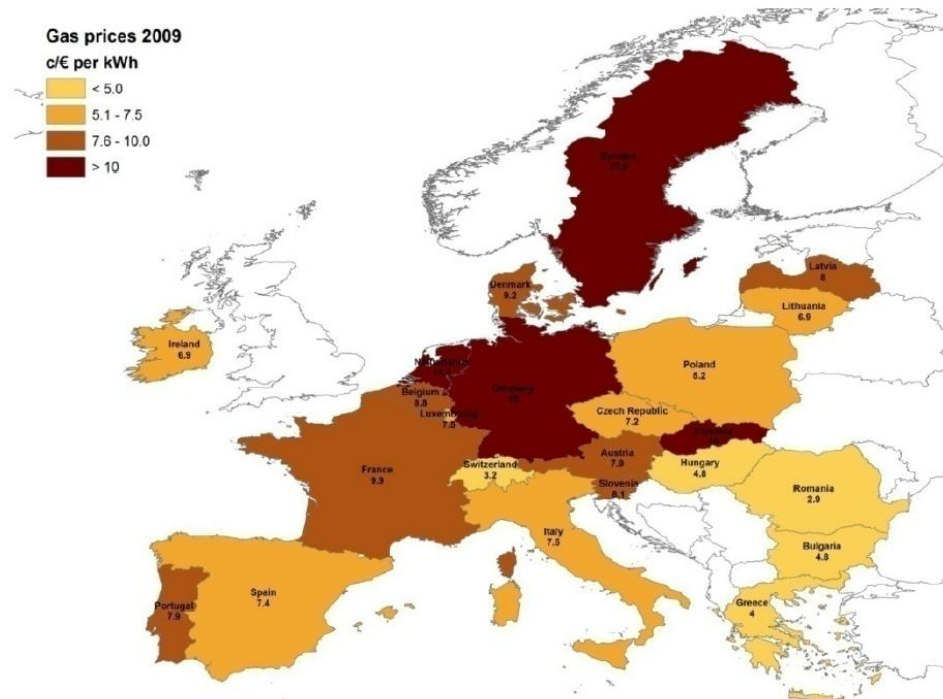


Figure 13 - Prix du Gaz en Europe (source : Eurostat)

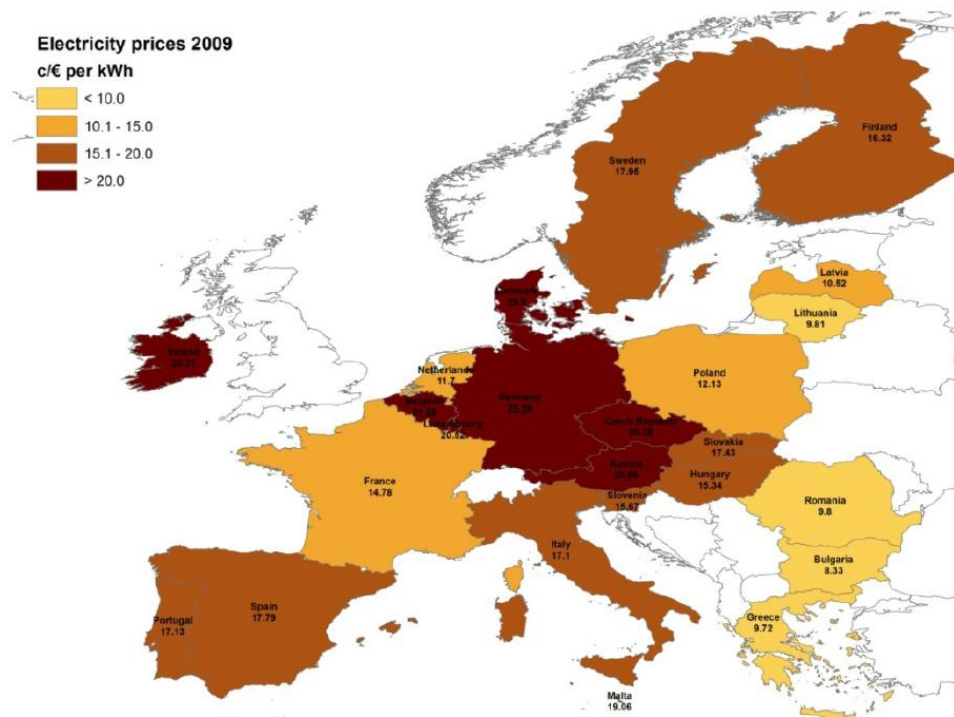


Figure 14 - Prix de l'Electricité en Europe (source : Eurostat)

Description et représentation visuelle des marchés les plus prometteurs

3.3 Charges en Chauffage et Climatisation

Dans la carte HDD présentée (Figure 3), il peut être vu comment changent les HDD à travers l'Europe : les valeurs augmentent (la charge énergétique en chauffage augmente proportionnellement) d'environ 2 000°HDD en Europe du Sud à plus de 5 000°HDD dans les pays du Nord (comparer aussi les données relatives aux 3 villes étudiées dans le projet, Table 4). En comparant la carte suivante avec celle en Figure 4 (CDD), Il peut être remarqué que le panel de données est bien plus rapproché; ceci est dû au fait que seuls quatre mois sont considérés à la place de huit et à des différences de température moyennes plus faibles entre l'entrée et la sortie en température qui peuvent être atteintes en été. De plus, les charges latentes et radiatives ne sont pas considérées dans la définition des CDD. Dans tous les cas, les charges en climatisation sont dans un ordre de variabilité plus faible que les charges en chauffage dans le pire des cas en climatisation (Naples). Néanmoins, les valeurs devraient varier facilement d'un facteur 8 en se déplaçant du Sud vers le Nord de l'Europe (Table 4).

Table 4 - Valeurs HDD et CDD pour les villes étudiées dans le projet.

	HDD (21°C)	CDD (26°C)
Strasbourg	4174	9
Toulouse	3044	26
Naples	2221	70

Sur la base de ces derniers chiffres, Naples et Toulouse vont être mieux adaptés aux systèmes solaires combinés en raison des charges élevées à la fois en chauffage et en climatisation, alors que les charges de Strasbourg vont coller principalement aux besoins en chauffage.

3.4 Ensoleillement utile pour le chauffage d'ambiance (40°C)

En observant l'énergie utile à la sortie des capteurs solaires, les températures de process les plus basses - utile pour des applications de chauffage à travers des planchers chauffants - sont analysées. Il peut être vu que, quand les températures de fluides de 40°C sont considérées pendant la période de chauffage, des quantités considérables d'énergie peuvent être valorisées à la fois dans les régions du Sud et du Nord (voir Table 5, Figure 15 et Figure 16). Lors de l'examen sur les Figure 15 et Figure 16, concernant respectivement les capteurs solaires plans et à tubes sous vide, la gamme de valeurs se situe entre environ 300 kWh/m²/an et 900 kWh/m²/an. Si les trois villes sont considérées, les valeurs d'ensoleillement utile varient entre 400 et 700 kWh/m²/an dans le cas de capteurs solaires plans et entre 540 et 860 kWh/m²/an dans le cas de capteurs à tubes sous vide.

Table 5 -Ensoleillement utile [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$] à 40°C pour le chauffage (8 mois)

	FP- Chauffage	ET- Chauffage	Ecart FP/ET
Strasbourg	397	537	73.92%
Toulouse	568	735	77.28%
Naples	690	861	80.13%

L'ensoleillement utile pour des capteurs solaires à tubes sous vide à Strasbourg est proche de celui pour les capteurs plans à Toulouse et l'ensoleillement utile à Toulouse dépasse celui à Naples. Comme attendu, le rendement des capteurs sous vide est meilleur dans les pays du Nord de l'Europe : la relation entre l'énergie obtenue par des capteurs plans et sous vide est présentée dans la dernière colonne de la Table 5 qui montre des valeurs entre 74 et 80%. Par conséquent, afin de couvrir une part acceptable de la demande dans les pays du Nord, la technologie la plus efficace pourrait être nécessaire. Cependant, le choix est conditionné par la place disponible et des aspects économiques en plus des problèmes techniques.

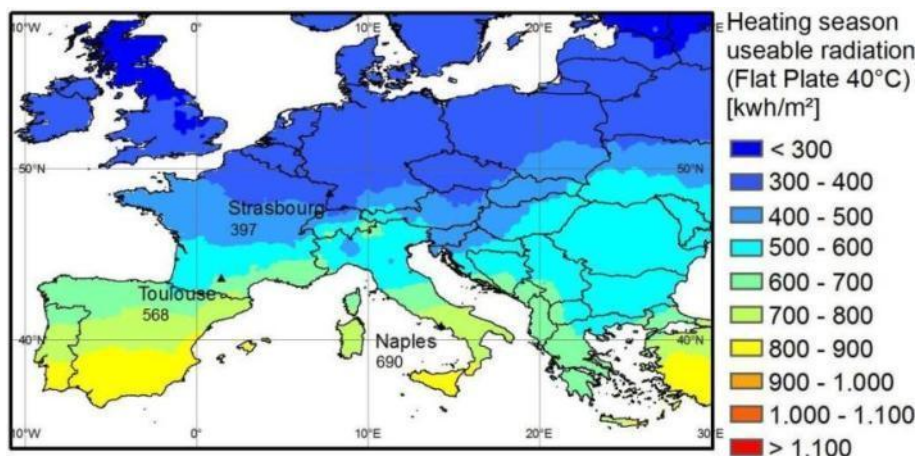


Figure 15 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 40°C

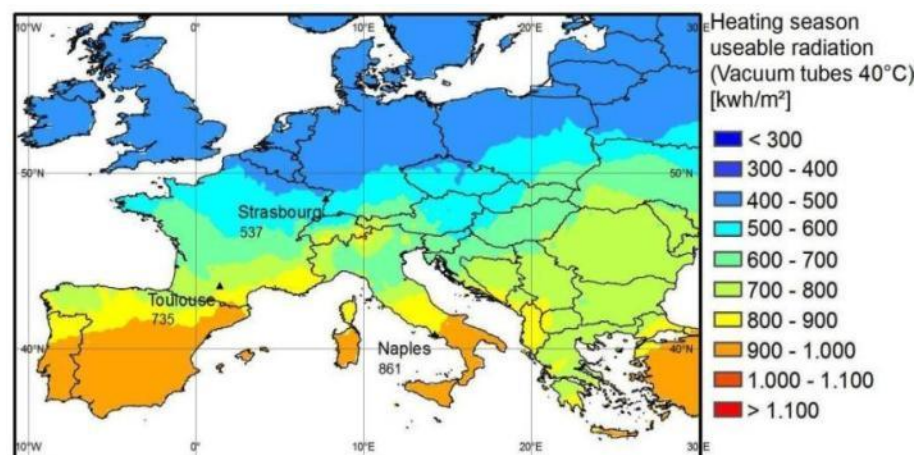


Figure 16 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs à tubes sous vide à 40°C

Description et représentation visuelle des marchés les plus prometteurs

3.5 Ensoleillement utile pour la préparation d'ECS (60°C)

Des quantités comparables d'énergie peuvent être obtenues durant la saison estivale et le restant de l'année (à nouveau, il doit être rappelé que la saison d'été est moitié moins longue que la saison hivernale), si de l'eau chaude à 60°C est considérée.

Dans les Figure 17 et Figure 18 (saison de chauffage), les valeurs sont situées à nouveau entre environ 300 kWh/m²/an et 900 kWh/m²/an. Si les trois villes sont considérées, les valeurs d'ensoleillement utiles varient entre 300 et 550 kWh/m²/an dans le cas de capteurs plans et entre 500 et 800 kWh/m²/an dans le cas de capteurs sous vide. Durant la saison de climatisation (Figure 19 et Figure 20), l'ensoleillement utile atteint pour les trois villes des valeurs entre 450 et 650 kWh/m²/an dans le cas de capteurs plans et entre 600 et 850 kWh/m²/an dans le cas de capteurs sous vide. Des résultats remarquablement bons sont observés sur le coin droit en partie haute des cartes ; cependant, ceci est dû à la faible quantité de données enregistrées dans ces endroits qui produisent des mélanges d'interpolation.

En raison de températures plus élevées nécessaires quand la production d'ECS est considérée, les capteurs sous vide augmentent les avantages vus dans le chapitre précédent vers une moyenne de 28% pour la saison de climatisation et 36% en période hivernale (voir Table 6 et Table 7). Ces différences peuvent être expliquées par les relations entre l'ensoleillement et les températures extérieures, responsables des pertes thermiques. Des différences de températures plus sévères sont rencontrées en moyenne en période hivernale, entre le capteur solaire et l'environnement.

Table 6 -Ensoleillement utile [kWh/m²/an] à 60°C pour la production ECS

	FP-Saison climatisation	ET-Saison climatisation	FP-Saison chauffage	Saison chauffage
Strasbourg	438	624	302	490
Toulouse	530	734	445	678
Naples	632	855	552	802

Par ailleurs, il peut être calculé une relation parmi les trois villes pour une demande déterminée en ECS (la température d'eau froide change de quelques degrés le long de l'année selon les villes, mais la demande totale d'énergie pour chauffer l'ECS est obtenue pour les trois lieux selon les différences d'énergie). Du point de vue de la production d'ECS, les marchés les plus prometteurs correspondent à Naples, en raison des résultats 20% supérieurs en comparaison avec Toulouse et environ 50% avec Strasbourg. Le choix entre capteurs plans et sous vide dépend à nouveau des prix des capteurs pour une demande donnée.

Table 7- Relation entre énergie collectée avec capteurs plans (FP) et sous vide (ET)

	Relation FP/ET Saison climatisation	Relation FP/ET Saison chauffage
Strasbourg	70.20%	61.63%
Toulouse	72.21%	65.63%
Naples	73.91%	68.82%

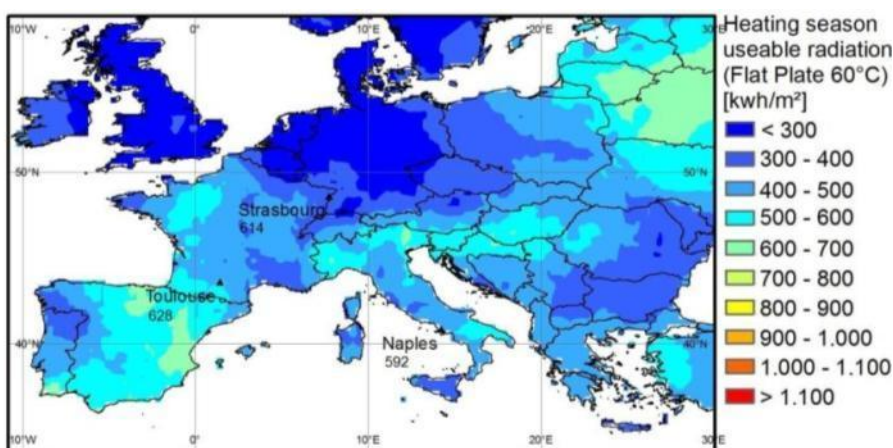


Figure 17 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 60°C

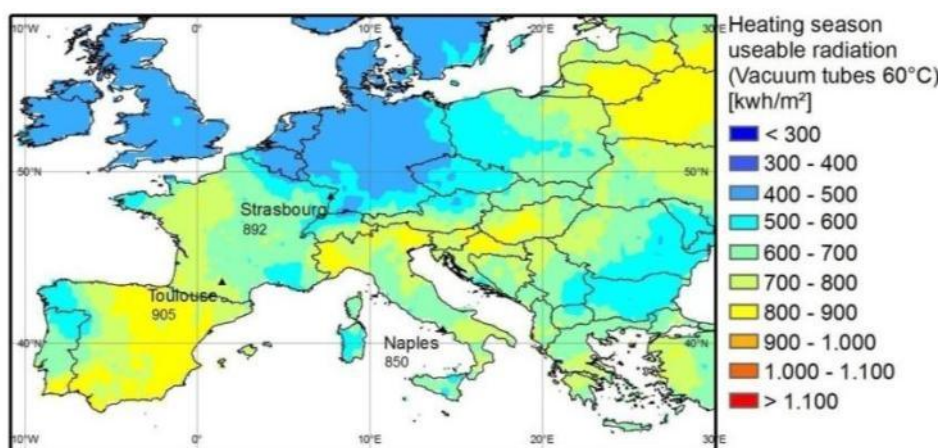


Figure 18 - Saison de chauffage (8 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs à tubes sous vide à 60°C

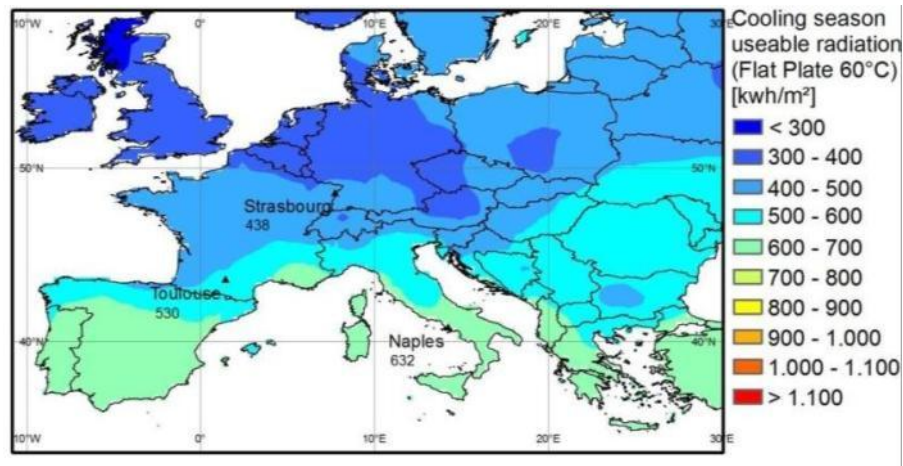


Figure 19 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 60°C

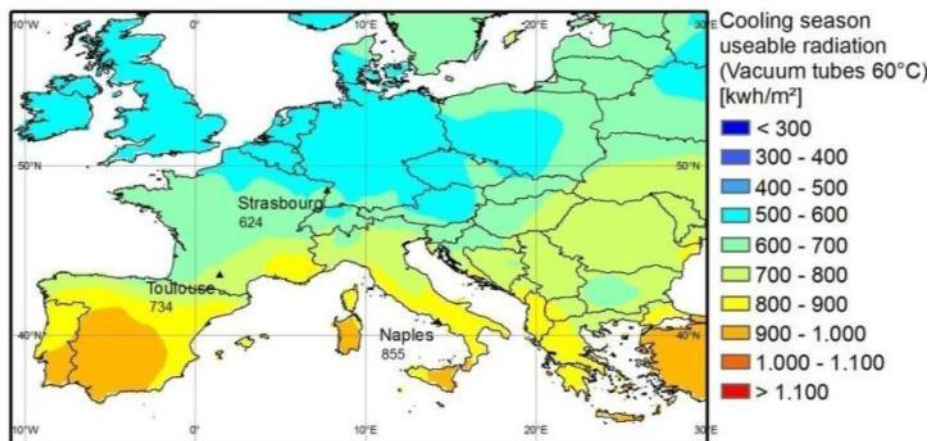


Figure 20 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs à tubes sous vide à 60°C

3.6 Machines à sorption valorisant l'ensoleillement utile

Afin de définir les marchés les plus prometteurs, la définition de la demande pour le bâtiment est nécessaire : la baisse de l'ensoleillement disponible dans les pays du Nord de l'Europe pourrait être contrebalancée par une baisse des besoins en climatisation équivalente ou même supérieure. Les charges en climatisation pour Strasbourg et Toulouse sont 60% et 40% plus faibles que celles de Naples (cas d'un bâtiment de bureaux). Pour les applications domestiques, 70% et 65% en moins d'énergie nécessaire à Toulouse est obtenu en comparaison avec Naples.

3.6.1 Machines à Adsorption (70°C – Saison de climatisation)

Si l'énergie disponible est examinée à une température utile pour l'alimentation d'une machine à adsorption (70°C), dans les Figure 21 et Figure 22, la gamme de valeurs à nouveau entre environ 300 kWh/m²/an et 850 kWh/m²/an. Si les trois villes sont considérées, les valeurs de l'ensoleillement utile varient entre 400 et 600 kWh/m²/an dans le cas de capteurs plans et 600 et 850 kWh/m²/an dans le cas de capteurs à tubes sous vide.

En prenant Naples à nouveau comme référence, la réduction de l'ensoleillement utile est de l'ordre de 18% et 33% à Toulouse et Strasbourg respectivement quand les capteurs plans sont considérés et de l'ordre de 15 à 28% à Toulouse et Strasbourg respectivement quand des capteurs sous vide sont considérés.

De cette analyse, il ressort qu'une couverture plus facile des besoins en climatisation peut être obtenue (pour un bâtiment et une surface de capteurs solaires donnée) dans les pays du Nord de l'Europe. Cependant, il doit être considéré que dès lors que la demande en climatisation diminue, les aspects économiques de l'investissement pour la climatisation augmentent vers des valeurs inacceptables. Le refroidissement par des mesures passives constitue dès lors une alternative crédible pour des charges en climatisation très faibles. Des Tables 7 et Table 8 (Saison de climatisation), il ressort clairement autrement que le rendement de captation solaire des capteurs à tubes sous vide devient de plus en plus significatif au fur et à mesure que les niveaux de température augmentent.

Table 8 -Ensoleillement utile [kWh/m²/an] pour la climatisation (4 mois)

	FP-70°C	ET-70°C	Relation FP/ET 70°C
Strasbourg	390	604	64.57%
Toulouse	478	714	66.95%
Naples	577	834	69.18%

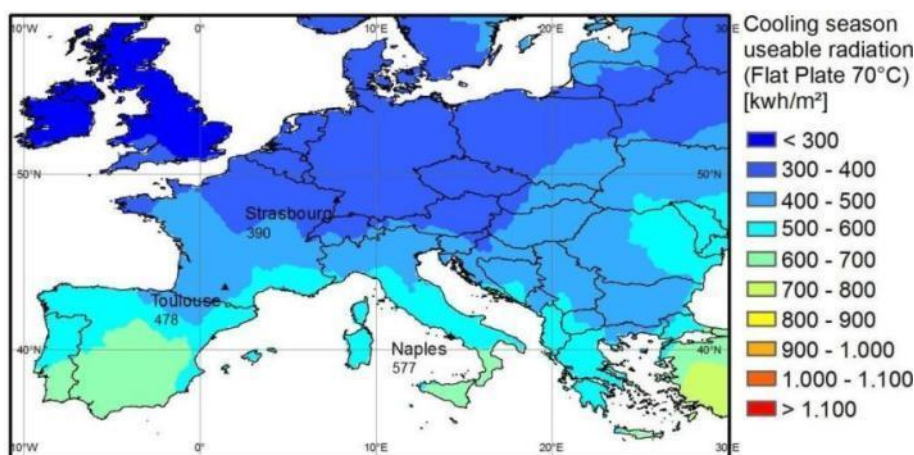


Figure 21 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 70°C

Description et représentation visuelle des marchés les plus prometteurs

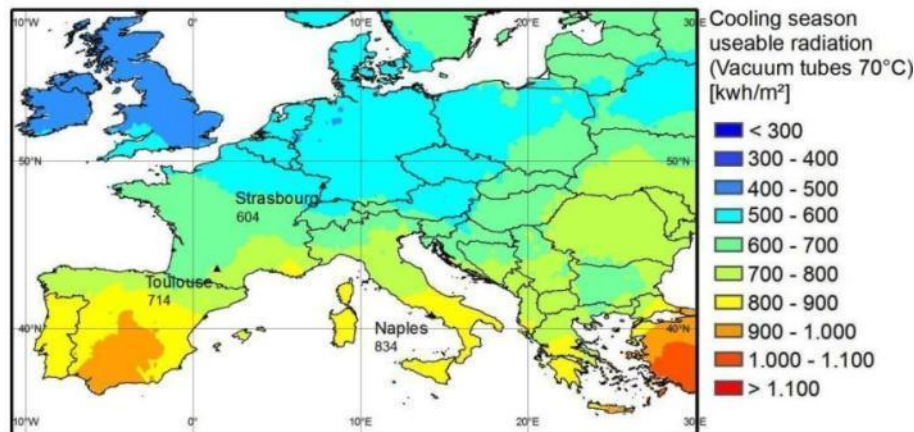


Figure 22 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs sous vide à 70 °C

3.6.2 Machines à Absorption (90°C – Saison de climatisation)

Les commentaires effectués dans le paragraphe précédent concernent l'énergie utile disponible à 90 °C. Dans les Figure 23, Figure 24 et Figure 22, la gamme de valeurs est à nouveau entre environ 300 kWh/m²/an et 800 kWh/m²/an. Les valeurs d'ensoleillement utiles pour les trois villes varient entre 300 et 500 kWh/m²/an dans le cas de capteurs plans et entre 550 et 800 kWh/m²/an dans le cas de capteurs sous vide.

Table 7 (saison Climatisation) avec Table 8 et Table 9, il est à remarquer une fois encore que l'efficacité de l'énergie collectée des capteurs à tube sous vide est bien plus pertinente que celle des capteurs plans à partir du moment où les températures nécessaires augmentent et le lieu d'implantation migre vers le Nord de l'Europe. D'autant que l'efficacité double avec des capteurs sous vide quand des températures élevées sont considérées.

La réduction de l'ensoleillement utile de Naples à Toulouse et à Strasbourg est comparable avec celle montrée dans le précédent paragraphe : 20% et 36% à Toulouse et Strasbourg respectivement quand des capteurs plans sont utilisés, et 16% et 29% quand des capteurs sous vide sont considérés.

Table 9 -Ensoleillement utile [kWh/m²/an] pour la climatisation (4 mois)

	FP-90 °C	ET-90 °C	Relation FP/ET 90°C
Strasbourg	306	565	54.16%
Toulouse	383	674	56.82%
Naples	474	793	59.77%

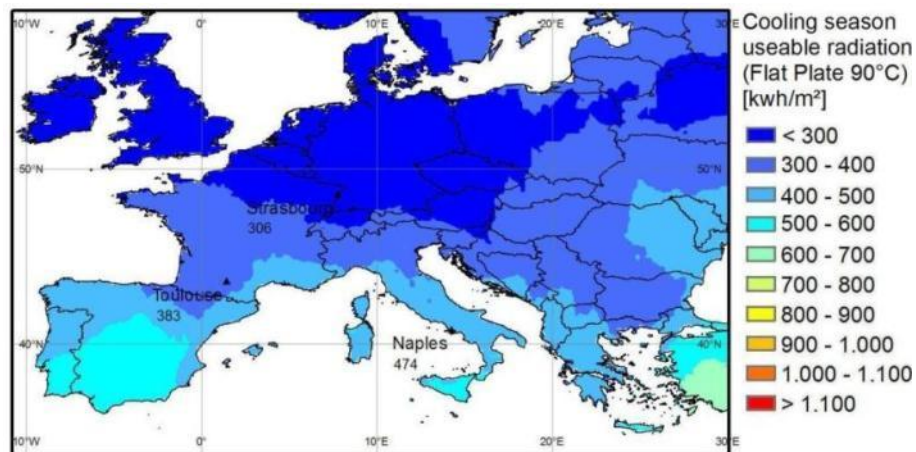


Figure 23 - Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs plans à 90 °C

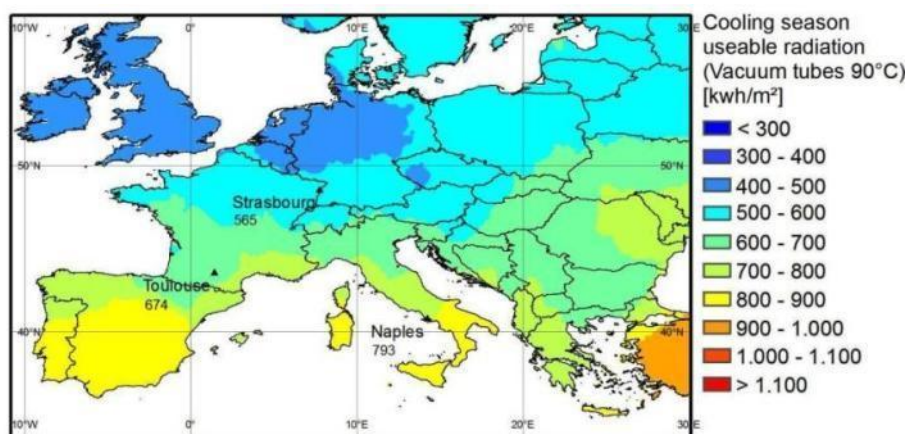


Figure 24 Saison de climatisation (4 mois) ensoleillement utilisable pour des capteurs sous vide à 90 °C

4 Conclusions

La localisation physique du système installé fixe la quantité d'énergie solaire fournie et dans une certaine mesure les besoins en ECS, chauffage et climatisation. La combinaison de l'énergie utile possiblement récupérée et les charges globales détermine les climats les plus prometteurs pour l'installation d'une application de type système solaire combiné plus.

Tous les lieux explorés sont adaptés sous l'angle des besoins en chauffage et le taux de couverture potentiel des besoins à travers une fraction élevée de l'énergie solaire, en raison des températures basses nécessaires (40°C ont été considérés en terme de niveau de température en chauffage). Les pays du Sud de l'Europe sont logiquement plus adaptés pour des applications en climatisation en raison d'ensoleillement significativement supérieurs qui est disponible alors que le refroidissement passif pourrait être une solution plus adéquate pour couvrir les besoins des pays du Nord de l'Europe. Cependant, les besoins en climatisation sont également beaucoup plus élevés aussi dans les pays du Sud, à la fois durant les journées et les nuits.

Les technologies utilisées pour la climatisation (machines à ab-/adsorption) et pour la collecte de l'énergie solaire doit être considéré aussi : dès que les niveaux de température nécessaires sont plus élevés et les lieux se déplacent vers le Nord de l'Europe, des capteurs solaires plus efficaces doivent être adoptés. Les économies supplémentaires obtenues avec les capteurs sous vide devraient toujours être comparés avec les surcoûts par rapport au système initial. Les charges saisonnières sont importantes par ailleurs, i.e les charges en climatisation peuvent être proportionnellement plus basses que celles hivernales et l'augmentation de l'énergie valorisée en raison de capteurs plus onéreux n'est pas très significative.

En conséquence, bien que le retour sur investissement est réduit quand des charges en chauffage, climatisation et production d'ECS sont rencontrées, un marché "très prometteur" ne peut pas être défini à travers les charges analysées car la sélection d'un lieu intéressant est très dépendant de la technologie utilisée (à la fois pour le chauffage et la climatisation et pour la construction du bâtiment). La technologie et les aspects économiques de l'application spécifique doivent être évalués.

D'un point de vue social, seulement quelques pays semblent davantage prometteurs que les autres, car la pénétration des technologies solaires pour la production d'ECS et le chauffage - et donc la prise de conscience de la population sur ces technologies - est plus élevée.

5 Références

ESTIF, “Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2007”, Bruxelles, June 2007.

ESTIF, “Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2008”, Bruxelles, May 2009.

Henning, H.M., “Solar Assisted Air Conditioning in Buildings - A Handbook for Planners”, 2003.

Duffie, J., “Solar Engineering of Thermal Process”, 2006.