

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE HADJ LAKHDAR BATNA

Faculté de technologie
Département de Génie Industriel



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Génie Industriel

Par

BOUAKAZ Amina

Ingénieur en génie industriel

Thème

**Etude du potentiel d'énergie solaire thermique utilisé pour la
production de l'eau chaude dans l'industrie agro-alimentaire**

Directeur de mémoire : Dr Ch.HAMOUDA

JURY

Soutenu le : 30/05/2012 devant le jury composé de :

<i>Dr. L.H.MOUSS</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Présidente du jury</i>
<i>Dr. Ch. HAMOUDA</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>Dr. A.MALEK</i>	<i>Directeur de Recherche</i>	<i>CDER-Alger</i>	<i>Examineur</i>
<i>Dr. H. SMADI</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Examineur</i>
<i>Dr. L. MESSAOUDI</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Examineur</i>

Année universitaire 2011-2012

Dédicace

Je dédie ce travail:

A mon père, à ma mère, pour leur tendresse, leurs conseils, leurs sacrifices, leur présence à mes côtés et leur soutien, auxquels je dois ce que je suis. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon éternelle reconnaissance et de ma profonde affection.

A mes frères et mes sœurs.

A toute ma famille.

A mes amies et mes collègues.

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il m'a donné durant ces années d'étude.

Je tiens à remercier Dr. Ch.HAMOUDA pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations son aide et sa disponibilité durant la réalisation de ce mémoire.

Je suis très reconnaissante au Dr. L. H. Mouss qui a accepté de présider le jury de soutenance, je tiens aussi à remercier Dr.H.Smadi, Dr.A.Malek et Dr.L.Messaoudi d'avoir accepté de rapporter ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mr.Bahmani.Y, Mr.Benzouai.M, Mr.Boutaghriout.B.et Mr.Ghouari .A

Mes profondes gratitude s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants du département de Génie Industriel, sans pour autant oublier tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin afin d'achever ce mémoire.

Sommaire

Abréviations

Listes des figures

1 Introduction	01
1.1. Evolution de l'approvisionnement mondiale en énergie primaire.....	01
1.2. La consommation finale mondiale par secteur d'activité.....	02
1.3. Les émissions de CO2 au niveau mondial.....	03
1.3.1. Par forme d'énergie.....	03
1.3.2. Par region.....	03
1.4 La demande énergétique à l'horizon 2035 dans le monde.....	04
1.5. La demande énergétique à l'horizon 2030 en Algérie.....	04
1.6. Développement accéléré des énergies renouvelables.....	05
2 Analyse de la consommation nationale d'énergie	07
2.1 Bilan national d'énergie.....	07
2.2 La consommation nationale finale par secteur d'activité.....	08
2.2.1 La consommation nationale finale du secteur de l'industrie et BTP.....	08
2.2.2. Consommation du secteur de l'industrie manufacturière par secteur d'activité...	09
2.2.3. Consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire par forme d'énergie...	10
2.3 Evolution de la consommation nationale en électricité et en gaz naturel.....	11
2.4 Le programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz et de besoins en moyens de production d'électricité.....	12
2.4.1. Le programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz.....	12
2.4.2. Programme indicatif des besoins en moyens de production d'électricité.....	13
2.5 Système énergétique national et l'importance du gaz naturel.....	14
3 Systèmes de production d'eau chaude	15
3.1. Les chaudières.....	15
3.1.1. Principe de fonctionnement d'une chaudière.....	15
3.1.2. Type des chaudières.....	16
3.2. Production de l'eau chaude par les systèmes solaires.....	17
3.2.1. Les fonctions d'un système solaire thermique.....	18

3.2.2. Les capteurs solaires.....	18
3.2.2.1. Les types des capteurs solaire thermique.....	19
3.2.2.2. Calcul du rendement d'un capteur solaire plan.....	21
3.2.2.3. Les échangeurs de chaleur.....	22
3.3. La capacité du solaire thermique en opération au niveau mondial.....	25
3.3.1. Développement du marché solaire thermique mondial.....	25
3.3.2. Répartition de la capacité installée par type de capteurs.....	26
3.4. Potentiel du solaire thermique dans les processus industriels.....	26
3.4.1. Le solaire thermique dans les applications industrielles.....	26
3.4.2. La demande de la chaleur industrielle.....	27
3.4.3. Le niveau de température des différents processus des secteurs industriel.....	27
4 Résultats des tests expérimentaux et discussions	29
4.1. Description du banc d'essai.....	29
4.2. Principe de fonctionnement de l'installation et méthode de contrôle.....	29
4.3. Résultats des tests expérimentaux.....	31
4.3.1. Test expérimental pour une journée claire ($T_{s-ech} \geq 55^{\circ}C$).....	31
4.3.2. Test expérimental pour une journée perturbée ($T_{s-ech} \geq 55^{\circ}C$).....	32
4.3.3. Test expérimental pour une journée nuageuse ($T_{s-ech} \geq 55^{\circ}C$).....	32
4.3.4. Identification des paramètres météorologiques influant sur la production journalière de l'installation.....	34
4.3.5. Test expérimental pour une journée claire avec un blocage de la pompe ($T_{s-ech} \geq 55^{\circ}C$).....	35
4.4. Analyse des capacités de production d'eau chaude par l'installation.....	36
4.4.1. Les quantités maximales d'eau chaude produites.....	36
4.4.2. Les quantités spécifiques maximales d'eau chaude produites.....	37
4.4.3. Les quantités d'eau chaude produites par mois.....	38
4.4.4. Influence des paramètres météorologique sur la quantité d'eau chaude produite pour un seuil de température constant, $T=55^{\circ}C$	39
4.4.5. Evaluation des quantités moyennes d'eau chaude produites au cours des tests.....	40
4.5. Les performances du CES développé par la SEES.....	41

4.6. Performances journalières d'un chauffe eau solaire.....	41
4.7. Optimisation d'un système solaire de production d'eau chaude.....	42
5 Potentiel de substitution du gaz naturel par les systèmes thermique solaire dans l'industrie de transformation du lait.....	43
5.1 La consommation du gaz naturel dans l'industrie et le BTP.....	43
5.2 Audits énergétiques.....	43
5.3. Analyse de la consommation d'énergie électrique et gazière au niveau de la laiterie d'Aurès Batna.....	44
5.3.1. Description des étapes de fabrication du lait pasteurisé conditionné	44
5.3.2 La production annuelle du lait à la laiterie de Batna.....	46
5.3.3 La Consommation d'électricité et du gaz naturel.....	46
5.3.4 La consommation spécifique d'électricité et du gaz naturel et son totale	46
5.4 Les coûts d'électricité et du gaz naturel.....	48
5.4.1 La facturation de la fourniture de l'électricité.....	48
5.4.2 La facturation de la fourniture du gaz.....	49
5.4.3. Les coûts d'électricité et du gaz naturel.....	49
5.4.4. Les coûts spécifiques d'électricité et du gaz naturel.....	50
5.5. Analyse comparative au niveau des quatre laiteries	51
5.5.1 La production annuelle moyenne des quatre laiteries	51
5.5.2 La consommation annuelle moyenne dans les quatre laiteries.....	51
5.5.3 Les coûts annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries.....	52
5.5.4 Les coûts spécifiques annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries.....	52
5.6 Résultats de l'analyse des audits énergétiques.....	53
6. Conclusion	54
7. Références bibliographiques.....	55
Annexes	

Abréviations

<i>1 Introduction</i>	
MTEP	Million de Tonne Equivalent de Pétrole
PIB	Produit Intérieur Brut
MT	Million de Tonnes
<i>2 Analyse de la consommation nationale d'énergie</i>	
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
ISMME	Industrie de Sidérurgie, Métallurgie, Mécanique et Electricité
<i>3 Systèmes de production d'eau chaude</i>	
ASHRAE	American Society of Heating ,Refrigerating and Air conditioning Engigeers
<i>4 Résultats des tests expérimentaux et discussions</i>	
CTP	Coefficient de Température Positif
CTN	Coefficient de Température Négatif
CDER	Centre de développement des Energies renouvelables
5 Potentiel de substitution du gaz naturel par les systèmes thermique solaire dans l'industrie de transformation du lait	
Cons	Consommation
MI	Million de Litres
Cons spéc	Consommation spécifique
Ct	Coût
Ct spéc	Coût spécifique
<i>Annexe 2 Analyse des audits énergétiques</i>	
E.Act	Energie Active
E.Réa	Energie Réactive
HPL	Heures Pleines
HPT	Heures Pointe
HHPT	Heures Hors Pointe
HC	Heures Creuses
P	Production
CG	Consommation du Gaz naturel
CE	Consommation d'Electricité
CT	Consommation Totale (Electricité et Gaz naturel)
CTS	Consommation Totale Spécifique
CEa	Consommation d'Eau
CtE	Coût d'Electricité
CtG	Coût du Gaz naturel
CtT	Coût Totale (Electricité et Gaz naturel)
EActAM	Energie Active Annuelle Moyenne
ERéaAM	Energie Réactive Annuelle Moyenne
PAM	Production Annuelle Moyenne
CGAM	Consommation du Gaz naturel Annuelle Moyenne
CTAM	Consommation Totale (Electricité et Gaz naturel) Annuelle Moyenne
CSGAM	Consommation Spécifique du Gaz naturel Annuelle Moyenne
CSEAM	Consommation Spécifique d'Electricité Annuelle Moyenne
CEaAM	Consommation Spécifique d'Eau Annuelle Moyenne
CtAME	Coût Annuelle Moyenne d'Electricité
CtAMG	Coût Annuelle Moyenne du Gaz naturel
CtTAM	Coût Totale Annuelle Moyenne
CtSAM	Coût Spécifique Annuelle Moyenne

Liste des figures

<i>1 Introduction</i>		Page
Fig.1.1	Evolution de l'approvisionnement mondial total en énergie primaire, répartie par types de combustible, durant la période 1973 – 2009	01
Fig.1.2	Répartition par secteur d'activité de la consommation finale estimée à 6998 MTEP et de celle du secteur de l'industrie par forme d'énergie estimée à 1987 MTEP en 2009	02
Fig.1.3	Répartition, par source d'énergie, des émissions de CO ₂ estimées en 2009 au niveau mondial à 28999 million de tonnes	03
Fig.1.4	Evolution de la demande, durant la période 1998-2018, des clients industriels des filiales de distribution de la SONELGAZ, selon les trois scénarios	05
Fig.1.5	La capacité totale en exploitation et l'énergie produite par les différentes formes d'énergies renouvelables en 2010	06
<i>2 Analyse de la consommation nationale d'énergie</i>		
Fig.2.1	Synthèse des flux énergétiques de la production nationale pour l'année 2010 répartie en énergie disponible, approvisionnement interne et consommation finale	07
Fig.2.2	Répartition par forme d'énergie de la part de la consommation du secteur de l'industrie et BTP, évaluée en 2010 à 8.019 MTEP	08
Fig.2.3	Répartition, par branches d'activité, de la consommation du secteur de l'industrie et BTP, évaluée en 2010 à 8.019 MTEP	09
Fig.2.4	Part de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière (évaluée en 2010 à 0.671 MTEP) par secteur	10
Fig.2.5	Part de la consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire (évaluée en 2010 à 0.171 MTEP) par forme d'énergie	10
Fig.2.6	Evolution de la consommation nationale d'électricité (TWh)	11
Fig.2.7	Evolution de la consommation nationale de gaz naturel (milliards de m ³)	11
Fig.2.8	Evolution de la demande de gaz naturel à l'horizon 2019 selon les trois scénarios	12
Fig.2.9	Historique et prévision de la demande de l'électricité, production en GWh et puissance maximale atteinte en MW, à l'horizon 2019 selon les deux scénarios, fort et moyen	13
Fig.2.10	Système énergétique national constitué du réseau de distribution de gaz naturel et celui interconnecté de l'électricité	14
<i>3 Systèmes de production d'eau chaude</i>		
Fig.3.1	Fonctionnement d'une chaudière	15
Fig.3.2	Chaudière à condensation	16
Fig.3.3	Schéma d'un chauffe-eau solaire	17
Fig.3.4	Représentation fonctionnelle	18
Fig.3.5	Vue en coupe d'un capteur plan sans vitrage	19
Fig.3.6	Vue en coupe d'un capteur solaire à tubes sous vide	20
Fig.3.7	Vue en coupe d'un capteur plan avec vitrage	20
Fig.3.8	Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés	21
Fig.3.9	Représentation graphique du rendement thermique d'après l'ASHRAE	22
Fig.3.10	Echangeur à serpentin	23
Fig.3.11	Vue d'un échangeur à plaques	23
Fig.3.12	Principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaques	24
Fig.3.13	Répartition du marché mondial des installations solaire thermique en	25

	2009	
Fig.3.14	Répartition de la capacité installée par type de capteurs en 2009	26
Fig.3.15	Part de demande de la chaleur industrielle par niveau de la température	27
4 Résultats des tests expérimentaux et discussions		
Fig.4.1	Schémas descriptif du banc d'essai-test réalisé à l'Université de Batna	30
Fig.4.2	Vue du banc d'essai –test réalisé à l'université de Batna	30
Fig.4.3	Relevé journalier du 17/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur ($T_{abs.}$), de sortie du capteur(T_{s-cap}), de retour au capteur(T_{r-cap}), et de la sortie de l'échangeur(T_{s-ech})	31
Fig.4.4	Relevé journalier du 17/10/2011 de la température ambiante sur le site d'implantation du système de production solaire d'eau chaude à l'université de Batna	32
Fig.4.5	Relevé journalier du 15/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur($T_{abs.}$), de sortie du capteur(T_{s-cap}), de retour au capteur (T_{r-cap}), et de la sortie de l'échangeur(T_{s-ech})	33
Fig.4.6	Relevé journalier du 16/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur($T_{abs.}$), de sortie du capteur(T_{s-cap}), de retour au capteur (T_{r-cap}), et de la sortie de l'échangeur(T_{s-ech})	33
Fig.4.7	Rayonnement solaire incident pour la journée du 18/09/2011	34
Fig.4.8	Rayonnement solaire incident pour la journée du 15/09/2011	34
Fig.4.9	Vitesse du vent pour la journée du 18/09/2011	34
Fig.4.10	Vitesse du vent pour la journée du 15/09/2011	34
Fig.4.11	Relevé journalier du 12/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur($T_{abs.}$), de sortie du capteur (T_{s-cap}), de retour au capteur (T_{r-cap}), et de la sortie de l'échangeur(T_{s-ech})	35
Fig.4.12	Les quantités maximales d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour les différentes températures fixées	36
Fig.4.13	Les quantités spécifiques d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour les différentes températures fixées	37
Fig.4.14	Les quantités maximales d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour les différentes températures fixées par mois	38
Fig.4.15	Les quantités maximales d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour une température de 55°C	39
Fig.4.16	Les quantités moyennes d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire moyenne incidente pendant la période des tests	40
5 Potentiel de substitution du gaz naturel par les systèmes thermique solaire dans l'industrie de transformation du lait		
Fig.5.1	Audits réalisés par secteur d'activité sur la période 1999-2006	41
Fig.5.2	Diagramme de fabrication du lait pasteurisé conditionné	43
Fig.5.3	La production annuelle en million de litres à la laiterie Aurès de Batna	44
Fig.5.4	La consommation d'électricité et du gaz naturel durant la période 1999-2002	45
Fig.5.5	La consommation spécifique en kWh/litre, d'électricité et du gaz naturel ainsi que la somme des deux vecteurs pour la période 1999-2002	45
Fig.5.6	Les coûts d'électricité et du gaz naturel	48
Fig.5.7	Les coûts spécifiques d'électricité et du gaz naturel	48
Fig.5.8	La consommation annuelle moyenne d'électricité dans les laiteries	49
Fig.5.9	Les coûts annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries	50
Fig.5.10	Les coûts spécifiques annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des	51

	laiteries	
<i>Annexes 1 Instruments et mesures des paramètres</i>		
Fig.A1.1	Schéma de la chaîne de mesure	1/9
Fig.A1.2	L'unité d'acquisition des données (DT50)	2/9
Fig.A1.3	Architecture du système d'acquisition des données	2/9
Fig.A1.4	Schéma fonctionnel d'une thermistance	3/9
Fig.A1.5	Capteur de température de type CTN	4/9
Fig.A1.6	Capteur de température de type CTP	4/9
Fig.A1.7	Le débitmètre électromagnétique utilisé	5/9
Fig.A1.8	Principe de fonctionnement du débitmètre électromagnétique	5/9
Fig.A1.9	Le compteur volumétrique	6/9
Fig.A1.10	Electrovanne	6/9
Fig.A1.11	Vue de la station météorologique MWS9	7/9
Fig.A1.12	Interface d'affichage des données de la station	8/9
Fig.A1.13	Pyranomètre CM11	8/9
Fig.A1.14	Vue de l'intégrateur solaire	9/9
<i>Annexes 2 Analyse des audits énergétiques</i>		
Fig.A3.1	Répartition de la consommation annuelle d'électricité et du gaz pour l'année 1999	5/17
Fig.A3.2	Répartition de la consommation annuelle d'électricité	6/17
Fig.A3.3	Répartition de la consommation annuelle du gaz naturel	7/17
Fig.A3.4	Consommation annuelle moyenne d'électricité dans les Minoteries/Semouleries	8/17
Fig.A3.5	La consommation annuelle moyenne d'énergie active et réactive dans les Minoteries/Semouleries	8/17
<i>Annexes 3 Rayonnement solaire</i>		
Fig.A5.1	Bilan radiatif terrestre	2/6
Fig.A5.2	Irradiation directe journalière reçue sur un plan normal au mois de Juillet	2/6
Fig.A5.3	Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	3/6
Fig.A5.4	Les quantités d'énergie solaire incidente pendant une semaine des tests du mois d'Avril	5/6
Fig.A5.5	Les quantités d'énergie solaire incidente pendant une semaine des tests du mois de Mai	5/6
Fig.A5.6	Les quantités d'énergie solaire incidente pendant une semaine des tests du mois d'Octobre	6/6
Fig.A5.7	Les quantités moyennes d'énergie solaire incidente pendant la période des tests	6/6

Chapitre 1

Introduction

1 Introduction

1.1 Evolution de l'approvisionnement mondiale en énergie primaire

La crise de pétrole de 1973 a été le début d'un long processus de prise de conscience aussi bien des scientifiques que des responsables politiques quant aux limites des ressources naturelles, à répondre aux besoins toujours croissant de la population mondiale. Ce processus est axé prioritairement sur la préservation de l'environnement et la consommation prudente des ressources naturelles non renouvelable. La poursuite de la croissance économique entraînera, certainement, au cours du XXI^e une augmentation de la consommation des ressources énergétiques.

En effet, l'étude faite par l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) [1.1], montre que de 1973 à 2009 l'approvisionnement total en énergie primaire par combustible du monde entier a augmenté de 98.8 %, pour atteindre 12150 MTEP (**Fig. 1.1**), ce qui équivalent à un taux de croissance moyen de 2.7 % par an. Cette étude montre également que les trois vecteurs énergétiques important qui sont : le pétrole, charbon et le gaz naturel, représentent 80.9% de cet approvisionnement.

La production mondiale du pétrole brut, bien qu'elle ait connue une augmentation appréciable, de 2869 million de tonnes en 1973 à 3973 million de tonnes en 2010, nous observons, cependant, que sa part dan l'approvisionnement mondiale a baissé de 46% à 33%. Quant à la production mondiale du gaz naturel en 2010 elle atteint 3282 milliards de mètres cube (mmc) soit une croissance de l'ordre de 168% par rapport à 1973 (1226 milliards de mètres cube). Contrairement à la production du pétrole, le gaz naturel a vu sa part du marché croitre de 16% en 1973 à 20.9% en 2009.

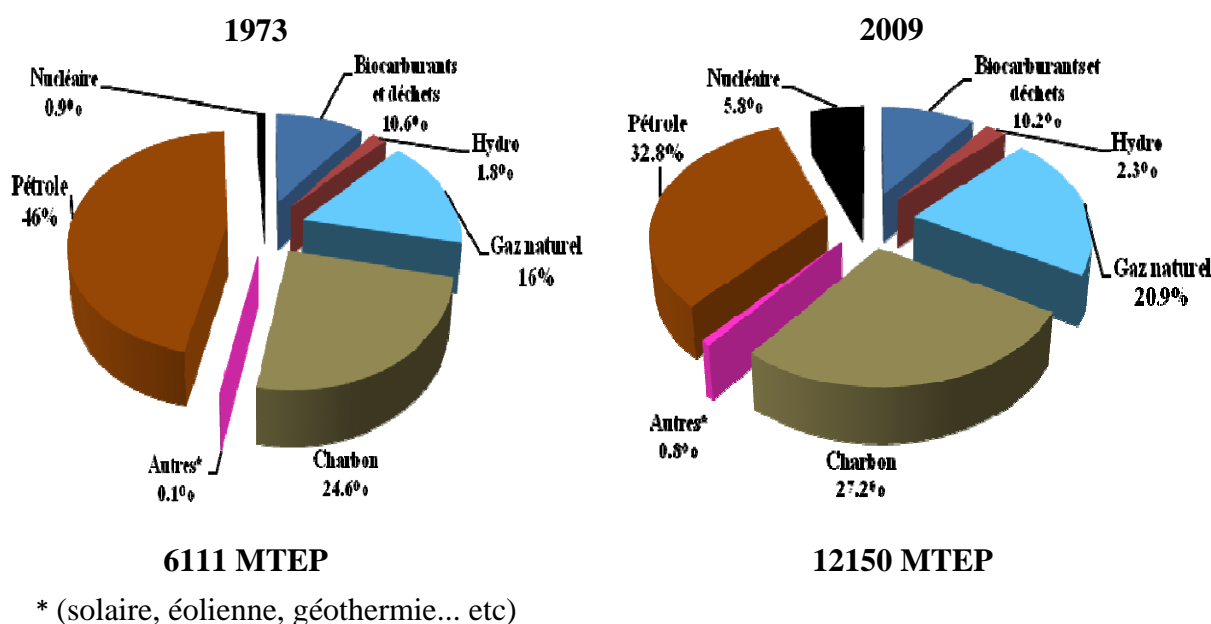
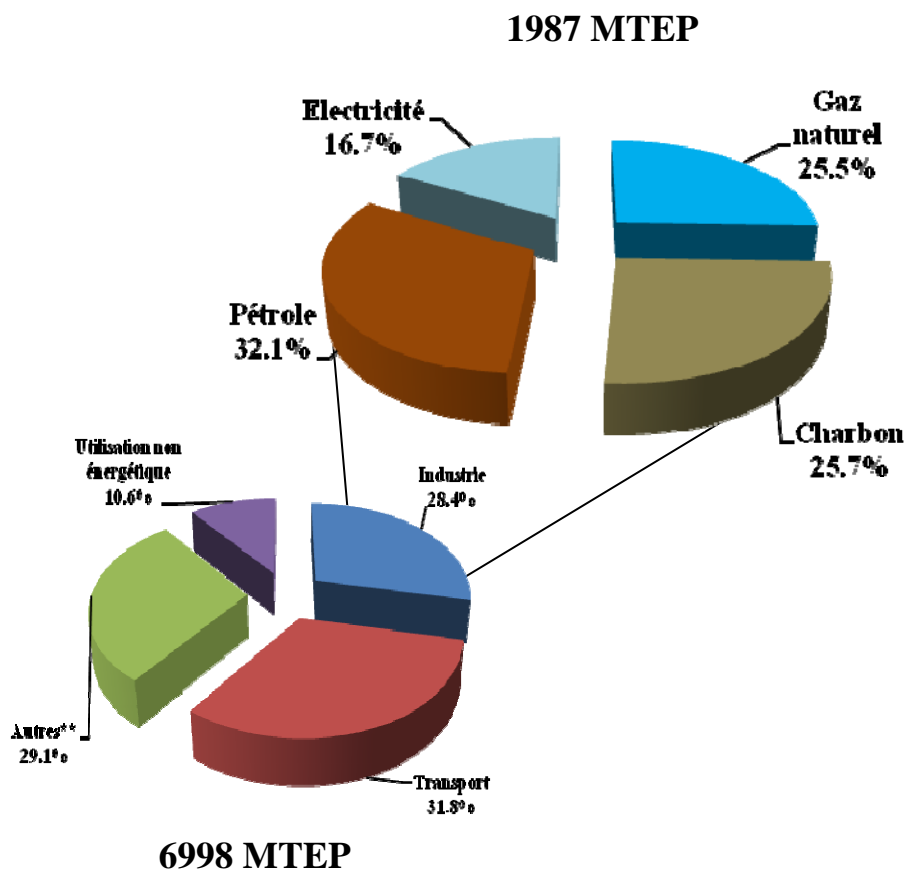


Fig.1.1: Evolution de l'approvisionnement mondial total en énergie primaire, répartie par types de combustible, durant la période 1973 – 2009

1.2 La consommation finale mondiale par secteur d'activité

Les différents produits énergétiques sont utilisés dans plusieurs secteurs d'activités de l'économie. La consommation finale mondiale par secteur d'activité (Fig.1.2) à connu en 2009 une croissance de l'ordre de 75.8% par rapport à 1973, pour atteindre un chiffre de 6998 MTEP. La répartition, relativement équilibrée, entre les trois grands secteurs utilisateurs, montre que le secteur des transports avec 31.8% est le gros consommateur, suivi de celui des services, habitat et autres 29.1% et de celui de l'industrie avec 28.4%. L'utilisation non énergétique représente seulement 10.6%.

La consommation du secteur de l'industrie est passée de 1402.5 MTEP en 1973 à 1987 MTEP en 2009 enregistrant ainsi une augmentation de 41.7%. La répartition par produit énergétique de cette consommation, fait ressortir la prédominance de trois produits énergétiques : le pétrole, avec une part de 32,1% suivi du charbon avec 25.7% et du gaz naturel également avec 25.5% de la consommation totale. La part de l'électricité avec 16.7% est relativement faible. Le gaz naturel, en raison de ses qualités de vecteur énergétique propre, moins polluant.



** (agriculture, commerciale et services public)

Fig.1.2 Répartition par secteur d'activité de la consommation finale estimée à 6998 MTEP et de celle du secteur de l'industrie par forme d'énergie estimée à 1987 MTEP en 2009

1.3 Les émissions de CO₂ au niveau mondial

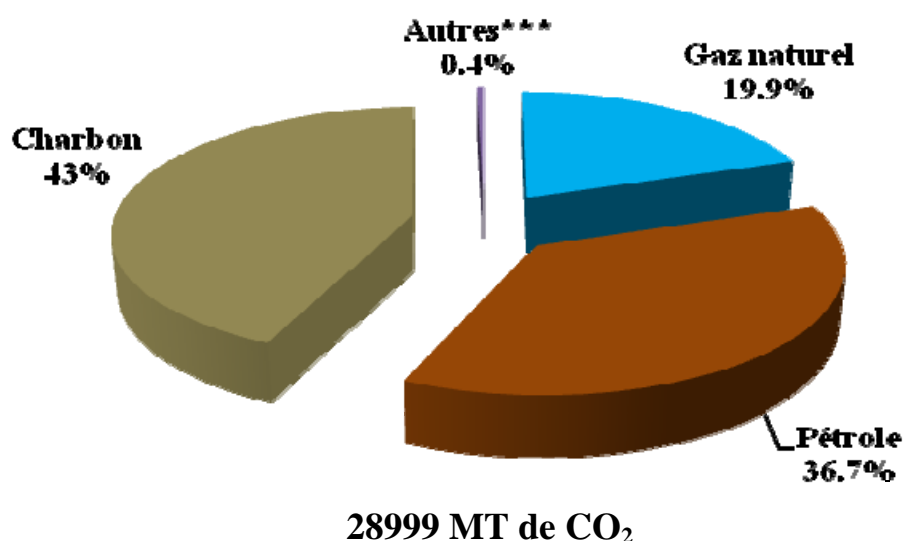
1.3.1 Par forme d'énergie

Les émissions mondiales de CO₂ par forme d'énergie ont enregistré une augmentation importante de 85.6%, passant de 15624 million de tonnes en 1973 à 28999 Million de tonnes en 2009. Cela s'explique par l'augmentation de la consommation finale mondiale. La répartition des émissions montre que celles-ci ont engendrées majoritairement par le charbon (43%) le pétrole (36.7%) et le gaz naturel avec 19.9% (**Fig. 1.3**).

1.3.2 Par région

Les émissions mondiales de CO₂ par région ont enregistré une augmentation significative en 2009 par rapport à 1973. En 1973, les émissions mondiales de CO₂ étaient de 15624 millions de tonnes, dont 66.1% en provenance des pays de l'OCDE. En 2009 les émissions restent dominées par les pays de l'OCDE avec 41.5%, mais les émissions engendrées par la Chine et l'Asie ont connue une croissance respectivement de 681.4%, et de 574.4%; cela s'explique par l'industrialisation massive dans ces pays.

Lorsque les émissions de la Chine de CO₂ sont rapportées au PIB en parité de pouvoir d'achat, sa position se situe tout de même au dessus de la moyenne mondiale, atteignant 0.55kg de CO₂ par unité de PIB. Néanmoins, si l'on rapporte ces mêmes émissions au nombre d'habitants, elles diminuent à 5.14 tonnes de CO₂ par habitant, se situant bien en deçà de la moyenne de l'OCDE (9.83 tonnes de CO₂ par habitant).



***(déchets industriels et déchets municipaux non-renouvelables)

Fig.1.3 Répartition, par source d'énergie, des émissions de CO₂ estimées en 2009 au niveau mondial à 28999 million de tonnes

1.4 La demande énergétique à l'horizon 2035 dans le monde

Deux scénarios sont envisagés et modélisés :

- ✓ Scénario « **Politiques actuelles** », il est fondé sur le maintien des politiques énergétiques actuelles et le non-respect des engagements pris pour améliorer l'efficacité énergétique des sociétés, pour réduire l'utilisation d'énergies fossiles fortement émettrices du gaz à effet de serre.
- ✓ **Scénario 450**, il propose des trajectoires énergétiques cohérentes pour limiter le réchauffement climatique à 2°C en moyenne, ce qui suppose de parvenir à limiter la concentration du gaz à effet de serre dans l'atmosphère à 450 ppm d'équivalent CO₂.

Selon le scénario actuel la demande énergétique mondiale devrait donc connaître une progression forte de 48.5%, passant de 12150 MTEP en 2009 à 18048 MTEP en 2035. Si le « scénario 450 » se réalise la demande énergétique mondiale devrait donc connaître une réduction de 22.8% en 2035 par rapport à 2009.

Selon les simulations présentées par l'AIE seule l'adoption du « scénario 450 » est susceptible de permettre d'atteindre l'objectif de limitation du réchauffement climatique moyen à 2°C. Ce scénario impose d'adopter une politique ambitieuse de réduction des émissions du gaz à effet de serre et de la mettre en œuvre rigoureusement dès maintenant.

1.5 La demande énergétique à l'horizon 2030 en Algérie

Selon toujours le rapport de l'AIE, l'approvisionnement total en énergie primaire de l'Algérie en 2009 est de 39.76 MTEP, soit 5.9% de l'approvisionnement africain. Sachant que la population algérienne à la fin de 2009 est estimée à 35 million d'habitant, l'approvisionnement d'un habitant algérien est de 1.14 TEP, se situe bien au dessus de la moyenne africaine (0.67 TEP par habitant), mais inférieure à la moyenne mondiale estimée à 1.8 TEP par habitant.

Pour l'Algérie, les émissions de CO₂ ont atteint 92.52 MT en 2009, soit 10% des émissions de l'Afrique. Lorsque ces émissions sont rapportées au PIB en parité du pouvoir d'achat, sa position se situe tout de même au dessus de la moyenne africaine, atteignant 0.41 kg de CO₂ par unité de PIB. Si l'on rapporte ces mêmes émissions au nombre d'habitants, elles sont de 2.65 tonnes de CO₂ par habitant, se situant bien au dessus de la moyenne africaine (0.92 tonnes de CO₂ par habitant).

En 2010, la production nationale en énergie électrique était de 45.6 TWh, avec un taux de croissance de 7,2 %/an, en l'an 2030 les besoins de l'Algérie seraient de l'ordre de 160 TWh. Cette production d'électricité est basée à ce jour sur la transformation du gaz naturel, soit par des procédés de centrales à vapeur ou des centrales thermiques à gaz.

Dans le secteur industriel, le gaz naturel est utilisé pour la production de la chaleur. La consommation de ce secteur durant la période 1998 – 2010 est passée de 1.4 à 2.6 Gm³ [1.2].

Pour la période 2010-2020 (**Fig.1.4**), il est prévu une forte consommation selon les trois scénarios :

a/ scénario faible, correspondant à une augmentation annuelle moyenne de 5.1%, le niveau de consommation prévu est 4.3 Gm³.

b/ scénario moyen, correspondant à une augmentation annuelle moyenne de 6.5%, le niveau de consommation prévu est 4.9 Gm³

c/ scénario fort, correspondant à une augmentation annuelle moyenne de 8.1%, le niveau de consommation prévu est 5.7 Gm³

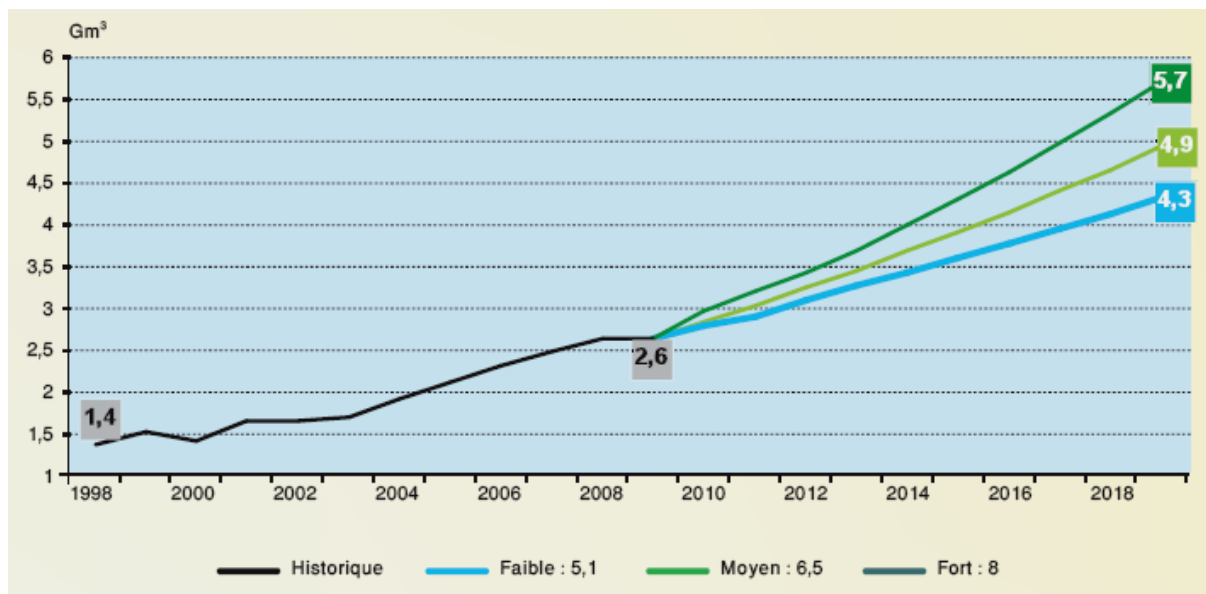


Fig. 1.4 Evolution de la demande, durant la période 1998-2018, des clients industriels des filiales de distribution de la SONELGAZ, selon les trois scénarios [1.2].

La stratégie mise en place par le gouvernement prévoit de couvrir 40 % de ces besoins en énergies renouvelables. Les prévisions pour les capacités à installer sont de 12.000 MW pour les besoins du marché national et 10.000 MW pour l'exportation. En systèmes solaire thermique, le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets d'ici 2020, d'une capacité totale de 1200 MW. Durant la période 2021-2030, des centrales solaires thermiques avec stockage de 500 MW par an devraient être réalisées jusqu'en 2023, puis de 600 MW par an jusqu'en 2030 [1.2].

1.6 Développement accéléré des énergies renouvelables

D'après l'analyse de l'étude faite par l'IEA sur l'approvisionnement, La consommation, les émissions de CO₂ et les perspectives d'approvisionnement en 2035, on constate que le développement et l'expansion industrielle, ainsi que l'augmentation rapide de la population entraînent un accroissement important de la demande énergétique. Cette demande conduit à l'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), d'une part et au réchauffement, par les émissions du gaz à effet de serre, de l'atmosphère d'autre part. La réduction des énergies fossiles ainsi que la réduction des émissions de GES passent alors inévitablement par une l'utilisation des énergies renouvelables.

La comparaison du solaire thermique avec d'autres filières énergétiques [1.3], fait ressortir que la chaleur thermique solaire avec 196 GWth, occupe la première place en puissance installée, en second lieu avec 194 GWel, l'énergie éolienne et avec 38 GWel l'énergie photovoltaïque. Concernant l'énergie produite la prédominance de l'énergie éolienne avec 417 TWel suivie par la chaleur thermique solaire avec 162 TWth, et 129.6 TWel des énergies photovoltaïque et la géométrie (**Fig.1.5**)

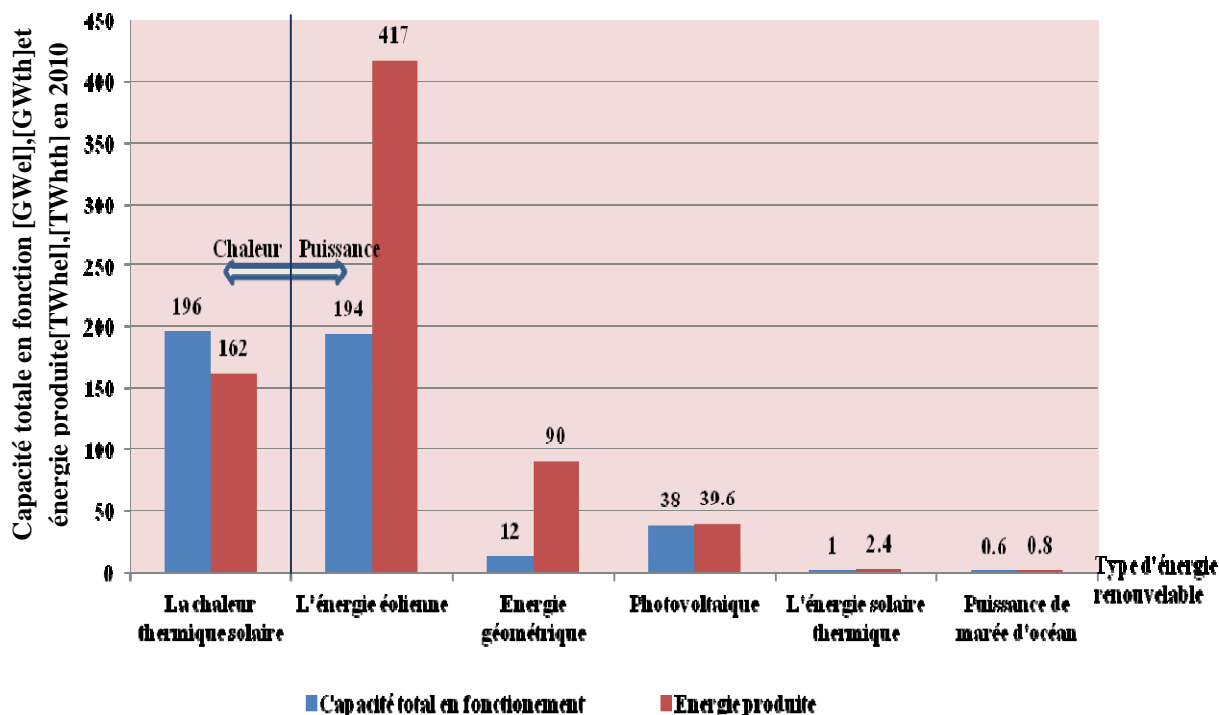


Fig.1.5 La capacité totale en exploitation et l'énergie produite par les différentes formes d'énergies renouvelables en 2010 [1.3].

L'énergie solaire thermique est aujourd'hui une des sources d'énergies renouvelables qui offre des perspectives des plus prometteuses. Les domaines d'applications sont variés et les technologies utilisées sont maîtrisables. Pour ces raisons et surtout celle concernant la nouvelle stratégie nationale en matière d'approvisionnement énergétique, mon choix a été porté sur une évaluation du potentiel solaire thermique pour une éventuelle application dans le secteur industriel. Le travail que je présente dans ce mémoire porte essentiellement sur:

- l'analyse de la consommation nationale d'énergie, en faisant ressortir les vecteurs énergétiques stratégiques comme le gaz naturel et leurs utilisations dans les différents segments de l'industrie nationale.
- l'étude des systèmes de production d'eau chaude, aussi bien classiques que ceux utilisant l'énergie solaire, en présentant leurs caractéristiques et leurs domaines d'utilisation,
- et enfin le test d'un système à base des capteurs plans pour la production d'eau chaud, avec régulation forcée. Les mesures ont été relevées pour différentes périodes de l'année. L'objectif est d'estimer le volume d'eau chauffé pour un seuil de température. Les résultats de ces tests seront validés par l'analyse des audits menés dans le secteur agroalimentaire.

Chapitre 2

Analyse de la consommation nationale d'énergie

2. Analyse de la consommation nationale d'énergie

2.1 Bilan national d'énergie

Le bilan de la consommation nationale de l'année 2010 [2.1], montre que l'énergie primaire disponible est de 164.778 MTEP. De ce bilan global, il ressort que 74 %, soit 120.109 MTEP de l'énergie disponible sont destinés à l'exportation et que 26 %, soit 43.362 MTEP seulement, sont destinés aux approvisionnements internes. La consommation nationale d'énergie est la somme de la consommation finale (31.649 MTEP), des industries non-énergétiques (2.185 MTEP), des industries énergétiques (6.234 MTEP) et des pertes de transport et distribution (3.293 MTEP). Cette consommation est pratiquement identique au niveau enregistré en 2009, soit à 43.362 MTEP (**Fig.2.1**).

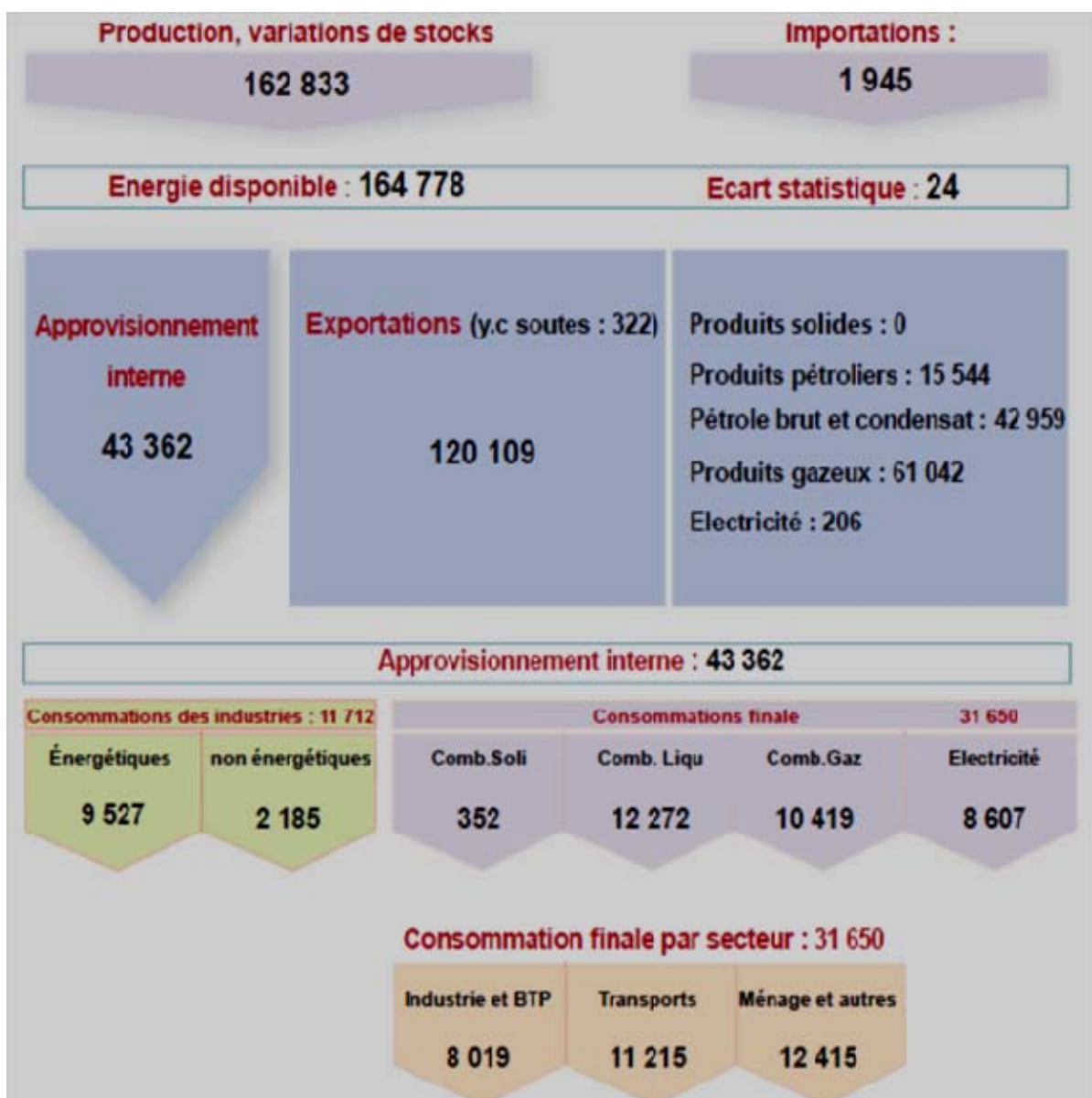


Fig.2.1 Synthèse des flux énergétiques de la production nationale pour l'année 2010 répartie en énergie disponible, approvisionnement interne et consommation finale [2.1]

2.2 La consommation nationale finale par secteur d'activité

La répartition par secteur d'activité (**Fig.2.2**), montre que celui des ménages et autres, consomme 40 % de la consommation finale, le reste est réparti entre le secteur des transports 35 % et le secteur de l'industrie et le BTP avec 25 %. Dans ce groupe de consommation, le secteur des ménages et autres a connu une baisse de 1,9 % passant de 12.653 MTEP en 2009 à 12.415 MTEP en 2010. Celui des transports a connu une croissance de 3,2 % pour atteindre 11.215MTEP en 2010. Enfin, le secteur de l'industrie et du BTP a atteint 8.019 MTEP en 2010 contre 7.382 MTEP en 2009.

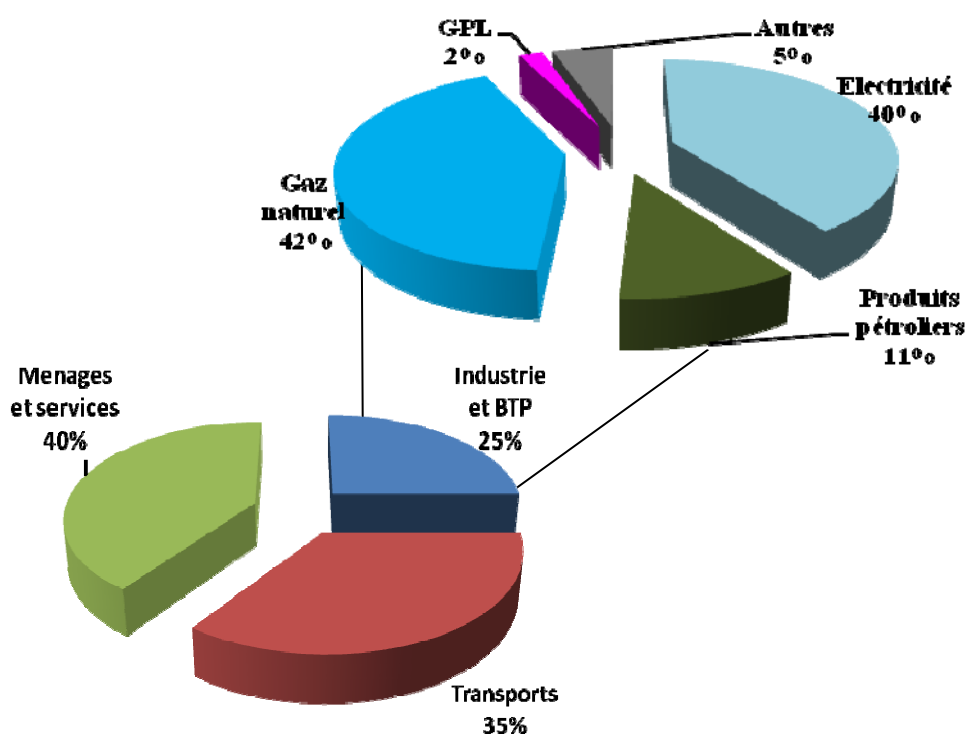


Fig.2.2 Répartition par forme d'énergie de la part de la consommation du secteur de l'industrie et BTP, évaluée en 2010 à 8.019 MTEP

2.2.1 La consommation nationale finale du secteur de l'industrie et BTP

La répartition par branches d'activités (**Fig.2.3**) de la consommation finale, montre que celui des matériaux de construction, consomme 40 %, suivi par le secteur des autres industries avec 24.5%. Le secteur de l'ISMME est en troisième position avec 13%, suivi de celui des BTP avec 9.8% et celui des industries manufacturières avec 8.4%. Le secteur de la chimie vient en dernière position avec 4.3%. Dans ce groupe de consommation, le secteur des matériaux de construction a connu une augmentation de 8.6 % passant de 2.864 MTEP en 2009 à 3.204 MTEP en 2010. Celui des autres industries a connu une baisse de 57.8 % pour atteindre 1.964 MTEP en 2010. Le secteur de l'ISMME a connu une augmentation de 1 % passant de 1.030 MTEP en 2009 à 1.040 MTEP en 2010. Le secteur du BTP a connu une augmentation de 24.7% passant de 0.635MTEP en 2009 à 0.792 MTEP en 2010. Le secteur de l'industrie manufacturière à connu une baisse de 16.3% passant de 0.801MTEP en 2009 à 0.671 MTEP

en 2010. Enfin, le secteur de chimie a atteint 0.292 MTEP en 2009 contre 0.348 MTEP en 2010.

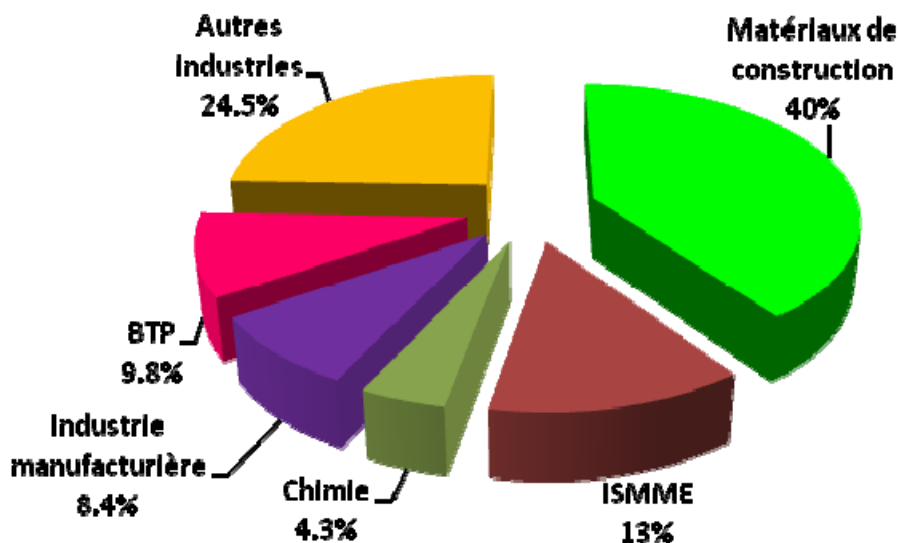


Fig.2.3 Répartition, par branches d'activité, de la consommation du secteur de l'industrie et BTP, évaluée en 2010 à 8.019 MTEP

La répartition par produit énergétique (Fig.2.2) de la consommation du secteur de l'industrie et BTP fait ressortir la prédominance de deux produits énergétiques: **le gaz naturel (42%) et l'électricité (40%), totalisant 82% de la consommation totale**, suivi par les produits pétrolier avec 11%, autres (bois, gaz sidérurgique) avec 5% et le GPL avec 2%. La consommation du gaz naturel a connu une augmentation de 34.6% passant de 2.471MTEP en 2009 à 3.327MTEP en 2010. La consommation d'électricité est passée de 2.850 en 2009 à 3.266 MTEP en 2010, soit une croissance de 14.6%. Les produits pétroliers ont enregistré une baisse de 47.9% passant de 1.659 MTEP en 2009 à 0.864MTEP en 2010. La consommation des autres (bois, gaz sidérurgique) a connue une baisse de 7.9% passant de 0.038MTEP en 2009 à 0.035MTEP en 2010. Pour le GPL la consommation à connu une augmentation de 5.4% passant de 0.148MTEP en 2009 à 0.156 MTEP en 2010.

2.2.2. Consommation du secteur de l'industrie manufacturière par secteur d'activité

La répartition de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière par secteur fait ressortir la prédominance du secteur de l'industrie agro alimentaire avec 70% suivi par les industries de textile, cuire, habillement et verreries avec 15% et 14.5% successivement (Fig.2.4). Dans ce groupe de consommation, le secteur de l'agro-alimentaire a connu une baisse de 16.2 % passant de 0.801 MTEP en 2009 à 0.671 MTEP en 2010. Celui des industries de textile, cuire, habillement atteint 0.103 MTEP en 2010. Le secteur de verreries à connu une baisse de 3.9 % passant de 0.101 MTEP en 2009 à 0.097 MTEP en 2010.

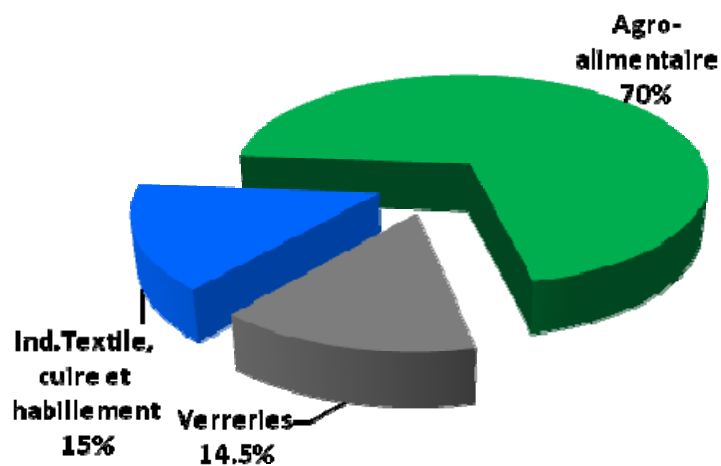


Fig.2.4 Part de la consommation du secteur de l'industrie manufacturière (évaluée en 2010 à 0.671 MTEP) par secteur

2.2.3. Consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire par forme d'énergie

La répartition par produit énergétique de la consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire fait ressortir la prédominance des produits énergétiques : l'électricité avec 65.2% et le gaz naturel avec 34.8% (Fig.2.5). La consommation d'électricité a atteint 0.307 MTEP en 2010 alors que le gaz naturel atteint 0.164 MTEP.

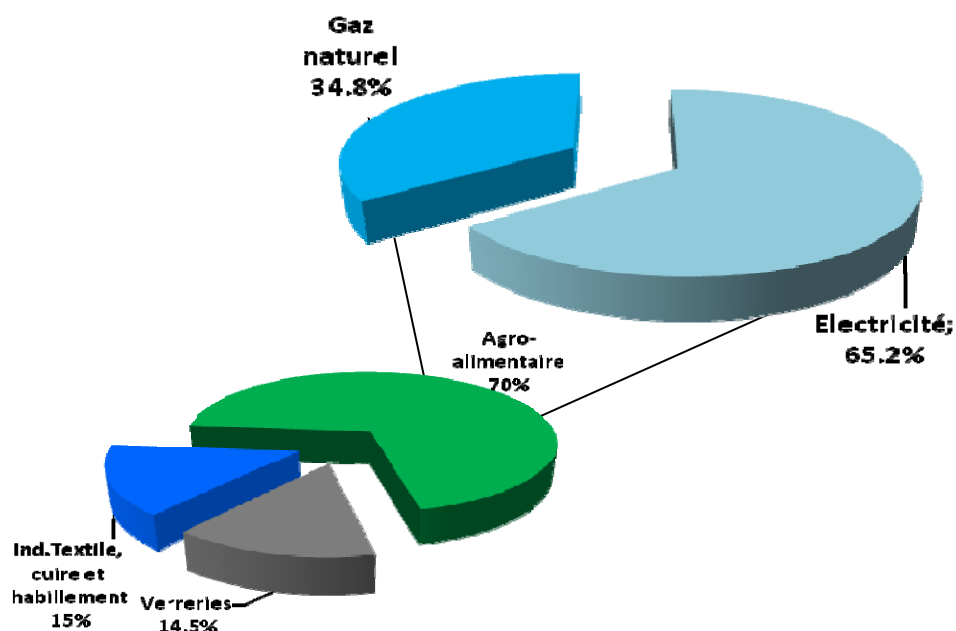


Fig.2.5 Part de la consommation du secteur de l'industrie agro-alimentaire (évaluée en 2010 à 0.471 MTEP) par forme d'énergie

2.3 Evolution de la consommation nationale en électricité et en gaz naturel

La consommation nationale d'électricité devrait passer de près de 43 TWh en 2009 à 83 TWh en 2020 et à 150 TWh en 2030 soit une croissance de plus de 6%/an sur toute la période (Fig.2.6)[2.2]. La consommation nationale de gaz naturel, devrait passer de 27 milliards de m^3 en 2009, à 54 milliards de m^3 et 102 milliards de m^3 , respectivement, en 2020 et 2030 (Fig.2.7). Cette évolution de la demande aussi bien en électricité qu'en gaz naturel, nécessitera à l'avenir un effort considérable en investissement pour la prospection et l'exploitation de nouveaux gisements de Gaz naturel.

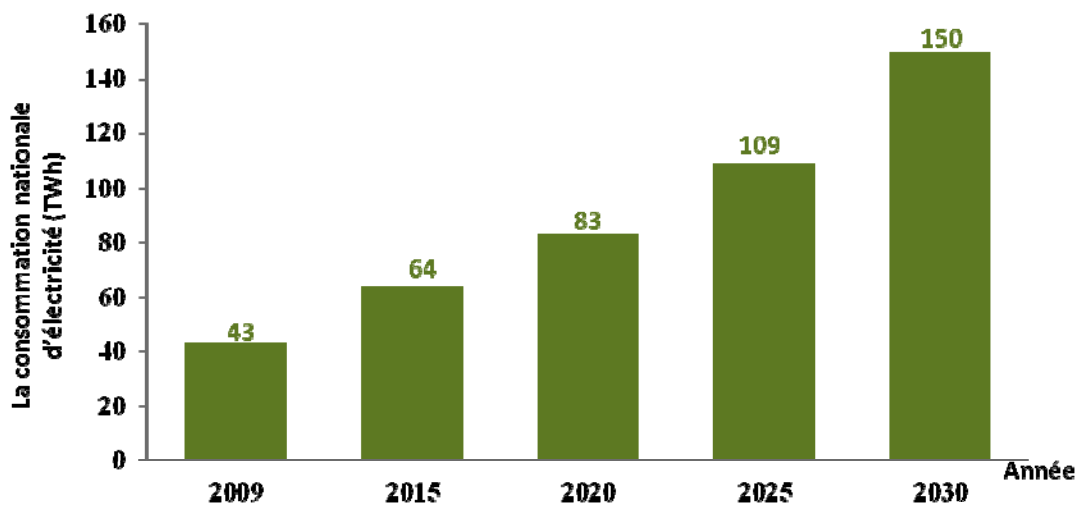


Fig.2.6 Evolution de la consommation nationale d'électricité (TWh)

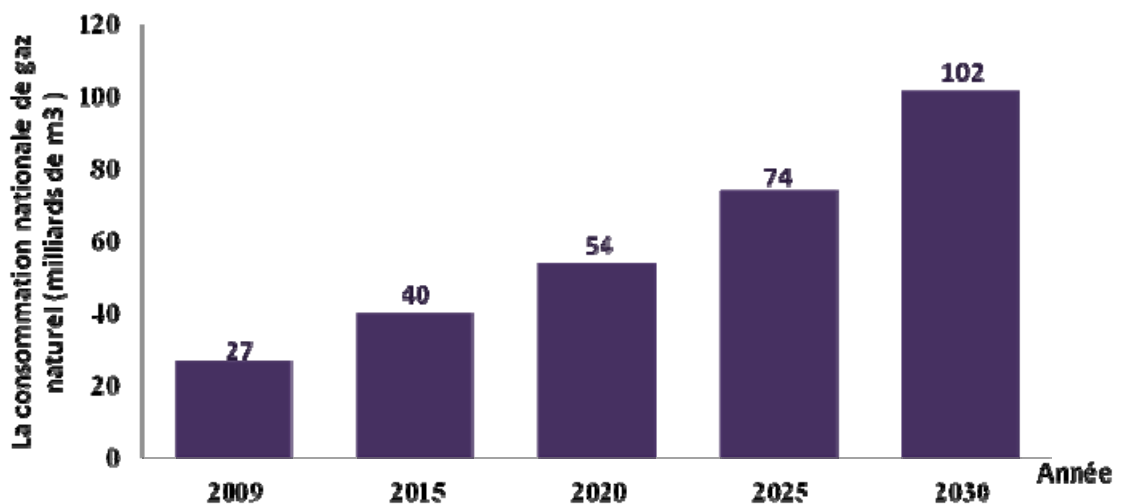


Fig.2.7 Evolution de la consommation nationale de gaz naturel (milliards de m^3)

2.4 Le programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz et de besoins en moyens de production d'électricité

La Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG) a établi un programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz pour la période 2010-2019 et le programme indicatif de besoins en moyens de production d'électricité pour la même période [2.3]. Le programme indicatif comprend la demande nationale de l'année 2010 et sa répartition par type d'utilisation et par zone géographique. Il donne la prévision de la demande en gaz sur les dix prochaines années des différents clients alimentés par le Gestionnaire du Réseau de Transport du Gaz (GRTG), ou directement par les gazoducs de Sonatrach et par zone géographique.

2.4.1 Le programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz

Pour la période 2010-2019, trois tendances d'évolution de la demande future en gaz naturel, selon trois scénarios (Fig.2.8) :

Le scénario faible avec un rythme de croissance annuel moyen de 4,3%, correspondant à une demande en gaz de 42 milliards de m^3 en 2019.

Le scénario moyen, selon une progression de 5% par an en moyenne, passant de 27,5 milliards de m^3 en 2009 à 45,2 milliards de m^3 en 2019.

Le scénario fort, qui prévoit un haut niveau de développement socio-économique avec l'intégration de plusieurs projets industriels, fait apparaître une demande globale de 55,3 milliards de m^3 en 2019, soit une croissance annuelle moyenne de 7,1%.

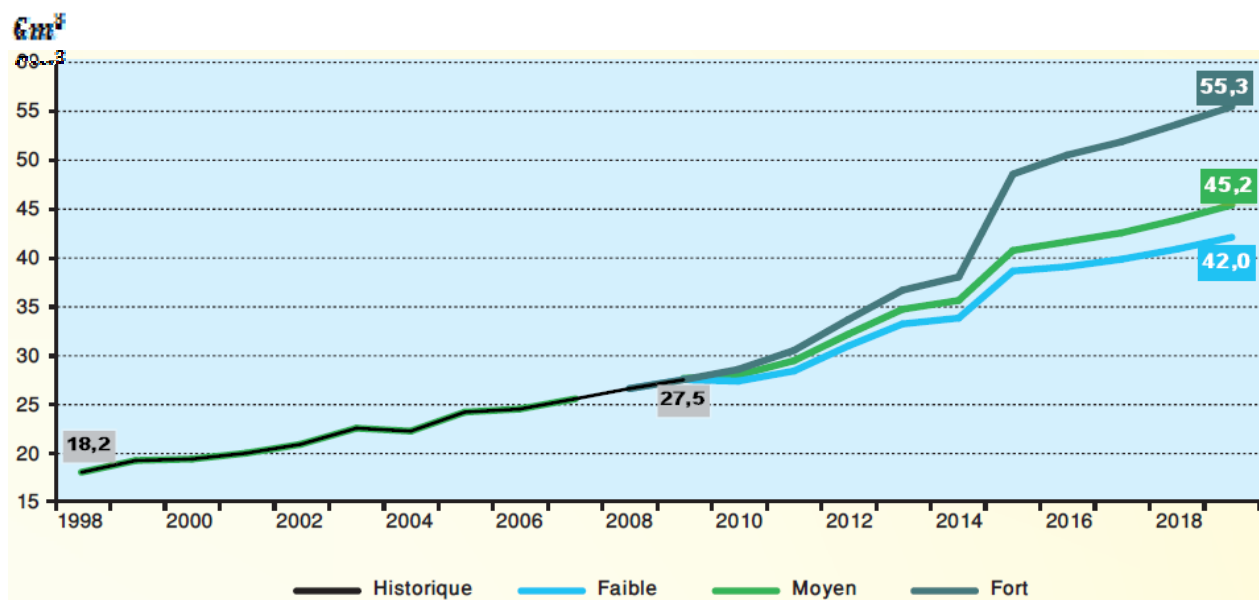


Fig.2.8 Evolution de la demande de gaz naturel à l'horizon 2019 selon les trois scénarios

Selon le scénario moyen, la demande cumulée en gaz sur la période 2010-2019 atteindra 373 milliards de m^3 . La répartition par type d'utilisation prévoit une part de 41% pour les clients

industriels (CI), 37% pour les centrales électriques (CE) et 22% pour les distributions publiques (DP). La répartition par région de la demande cumulée sur la période 2010-2019 fait ressortir une consommation de 38% pour la région Ouest, 30% pour l'Est, 21% pour le Centre et 6% pour le Sud.

2.4.2 Programme indicatif des besoins en moyens de production d'électricité

La demande électrique a atteint 33,8 TWh en 2009, en croissance de 3,8% par rapport à 2008. Durant la période 2000 - 2009, la croissance moyenne enregistrée a été de 5,6% par an.

En 2009, la production d'électricité a atteint 42.8 TWh, en hausse de 7% par rapport à 2008, la répartition de la production électrique par filière est comme suit : centrales turbines à gaz (46%) ; centrales à turbines vapeur (28%) ; centrales à cycles combinés 24% ; Diesel et hydraulique (2%) [1.2].

Du programme indicatif de besoins en moyens de production d'électricité pour la période 2010-2019 (**Fig.2.9**), il ressort que pour faire face à l'évolution de la demande, les besoins en moyens de production d'électricité sont de 2940 MW (soit 735 MW/an sur la période 2016-2019) selon le scénario moyen et 6500 MW (soit 930 MW par an sur la période 2013-2019) selon le scénario fort.

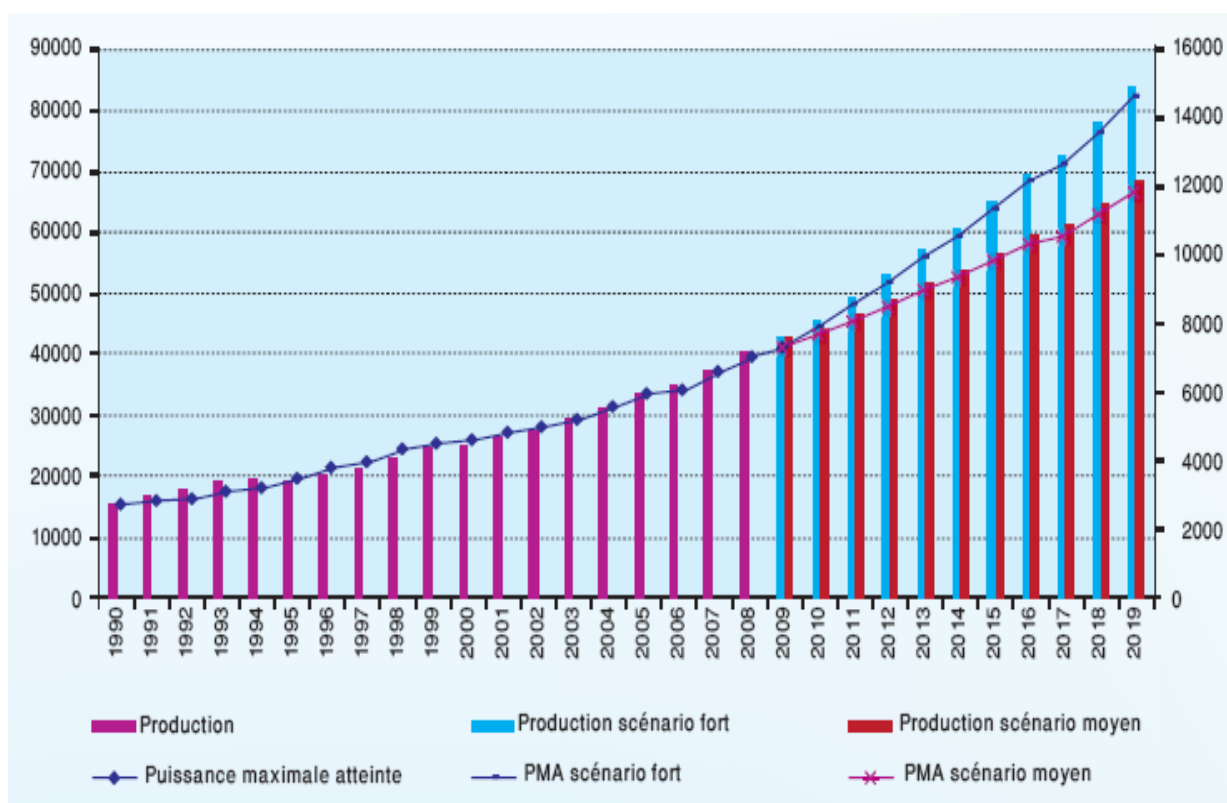


Fig.2.9 Historique et prévision de la demande de l'électricité, production en GWh et puissance maximale atteinte en MW, à l'horizon 2019 selon les deux scénarios, fort et moyen

2.5 Système énergétique national et l'importance du gaz naturel

Si on élargit la vue à l'ensemble de notre système énergétique (**Fig.2.10**) on constate qu'en réalité on ne distribue que du gaz dont une partie sous forme naturelle et l'autre transformée en électricité [2.4].

Le réseau *principal* est celui constitué des canalisations de distribution du gaz naturel aussi bien aux abonnés de basses pressions (habitat et autres) qu'aux abonnés de hautes pressions qui sont les industriels et les producteurs d'électricité.

Le réseau *secondaire* est celui de transport et de distribution de l'électricité, produite grâce à la transformation du gaz naturel dans les centrales électrique. L'électricité produite est transportée puis distribuée à l'aide du réseau interconnecté.

Ainsi l'énergie consommée dans tous les secteurs est produite à base de gaz naturel à hauteur de 98%, le reste 2% étant couvert par les systèmes hydrauliques (en voie d'extinction) et les groupes diésels exploités dans les centrales électriques du Sud algérien. Le gaz naturel étant un produit hautement stratégique, non renouvelable, sa consommation doit être mesurée, sa préservation doit répondre à des impératifs de solidarité avec les générations futures.

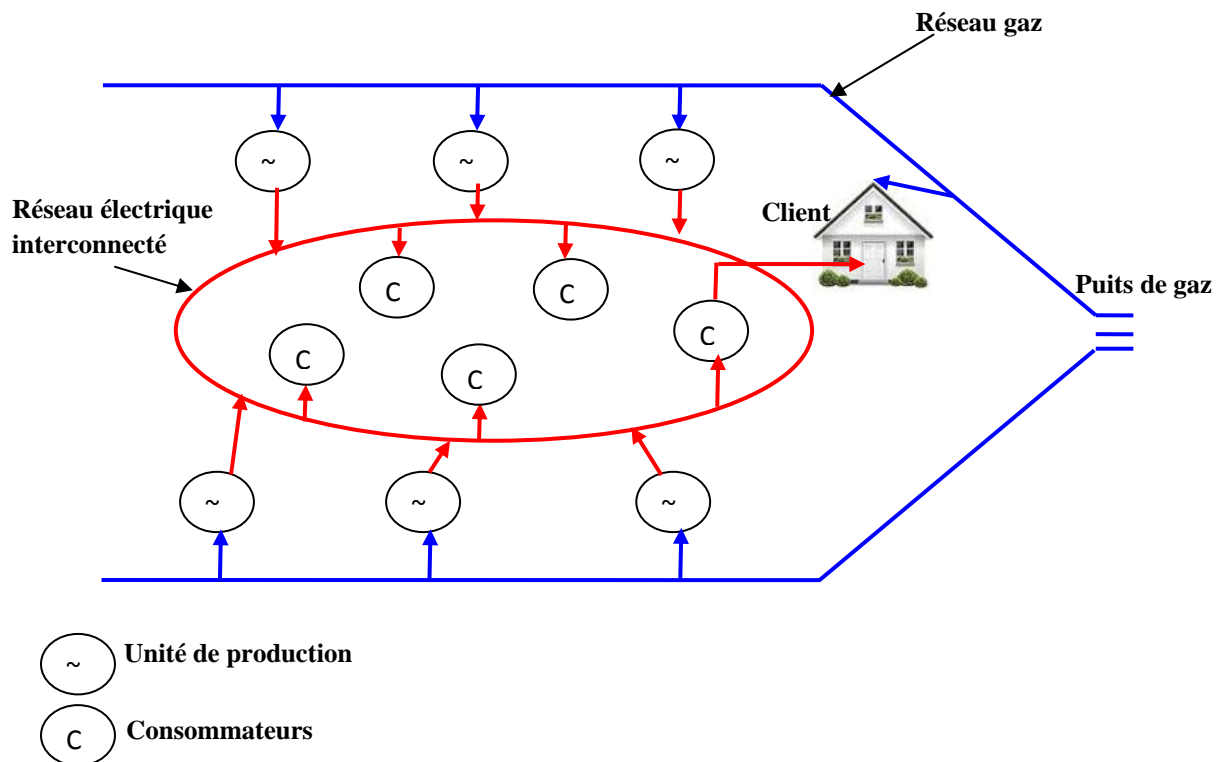


Fig.2.10 Système énergétique national constitué du réseau de distribution de gaz naturel et celui interconnecté de l'électricité

Chapitre 3

Systemes de production d'eau chaude

3. Systèmes de production de l'eau chaude

3.1. Les chaudières

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique [3.1]. Son rôle est essentiellement de transmettre de l'énergie apparaissant sous forme de chaleur (avec ou sans combustion) à de l'eau sous pression pour obtenir soit de l'eau surchauffée sous pression, soit de la vapeur ou un fluide à l'état supercritique devenant de la vapeur par détente [3.2].

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

3.1.1. Principe de fonctionnement d'une chaudière

Les principaux composants d'une chaudière sont illustrés dans la **Fig.3.1** [3.3]. Le combustible peut être toute substance qui est brûlée pour fournir de la chaleur ; de l'air est nécessaire à la combustion. La combustion est un mélange de combustible et de l'air brûlant pour produire de l'énergie calorifique. Le foyer est un espace clos à l'intérieur de la chaudière dans lequel se produit la combustion. Les gaz chauds qui en résultent entrent en contact avec la surface d'échange thermique avant d'être évacués à l'atmosphère par une cheminée. Le gaz évacué de la chaudière est appelé gaz de combustion. La chaleur fournie par la flamme de combustion et le gaz chaud chauffe l'eau d'alimentation et la transforme en vapeur ou l'eau chaude. La vapeur ou l'eau chaude sont des fluides caloporteurs utilisés selon les exigences de l'installation, la purge n'est pas une forme utile d'énergie mais est une opération nécessaire à long terme pour le bon fonctionnement de la chaudière.

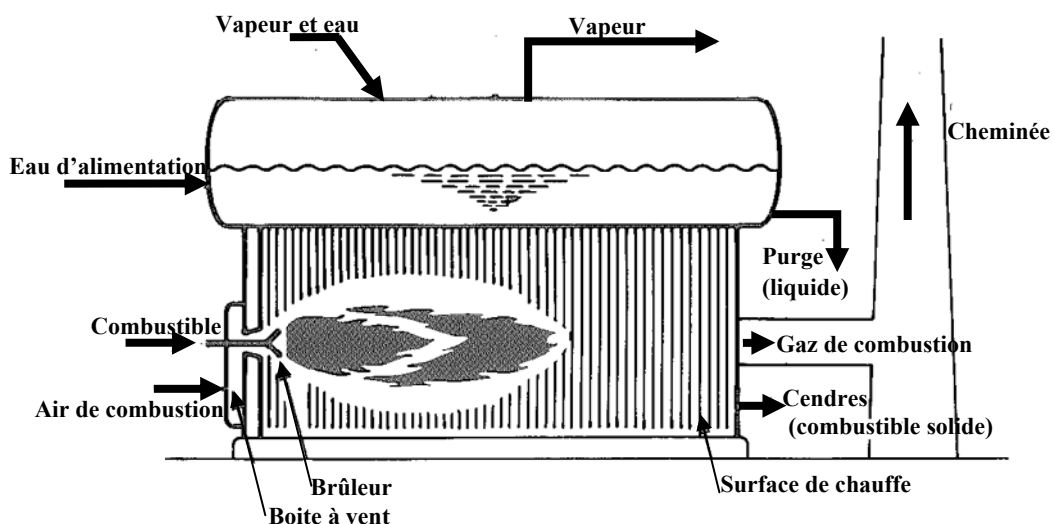


Fig.3.1 Fonctionnement d'une chaudière

3.1.2. Type des chaudières

▪ Chaudière à condensation

Une chaudière à condensation [3.4], fonctionne également à basse température mais atteint un rendement sensiblement supérieur grâce à la récupération de la chaleur résiduelle contenue dans la vapeur d'eau des gaz de combustion qui s'évacuent normalement via la cheminée. Ce principe est de plus en plus utilisé sur les chaudières au gaz et dans une moindre mesure, sur les chaudières au fioul (Fig.3.2).

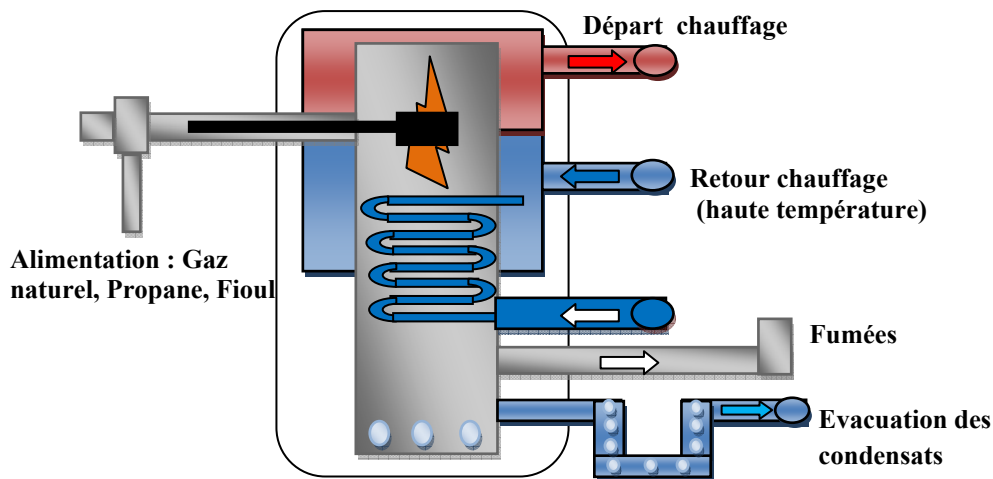


Fig.3.2 Chaudière à condensation [3.5]

▪ Les chaudières à combustible

Ce type de chaudière se compose de deux compartiments distincts : l'un dans lequel brûlent le combustible et un autre dans lequel l'eau est chauffée. On distingue ainsi deux types de chaudière à combustible en fonction de la circulation de l'eau à chauffer par rapport à la chaleur de combustion :

- Les chaudières à tube de fumée
- Les chaudières à tube d'eau

a. *Les chaudières à tubes de fumée*

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul.

▪ Principe de fonctionnement

Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière.

Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour l'évacuation des fumées vers l'extérieur. Il y a donc une circulation des gaz de combustion dans les tubes.

b. Les chaudières à tubes d'eau

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 20 tonnes/heure, en moyenne et haute pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou des déchets.

▪ **Principe de fonctionnement**

Ce type de chaudière possède deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (ou encore ballon de vaporisation, en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs, dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur.

Les gaz chauds produits par le brûleur sont directement en contact avec les tubes vaporisateurs, à l'intérieur de ceux-ci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur, l'eau excédentaire est ramenée vers le ballon inférieur par des tubes de chute non soumis à la chaleur. Dans le domaine des hautes pressions, une pompe peut être installée pour faciliter cette circulation du haut vers le bas.

3.2. Production de l'eau chaude par les systèmes solaires

Pour un système solaire de production d'eau chaude [3.6], le système est composé du capteur, d'un échangeur de chaleur, d'un ballon de stockage, de tuyauteries et de pompes (Fig.3.3).

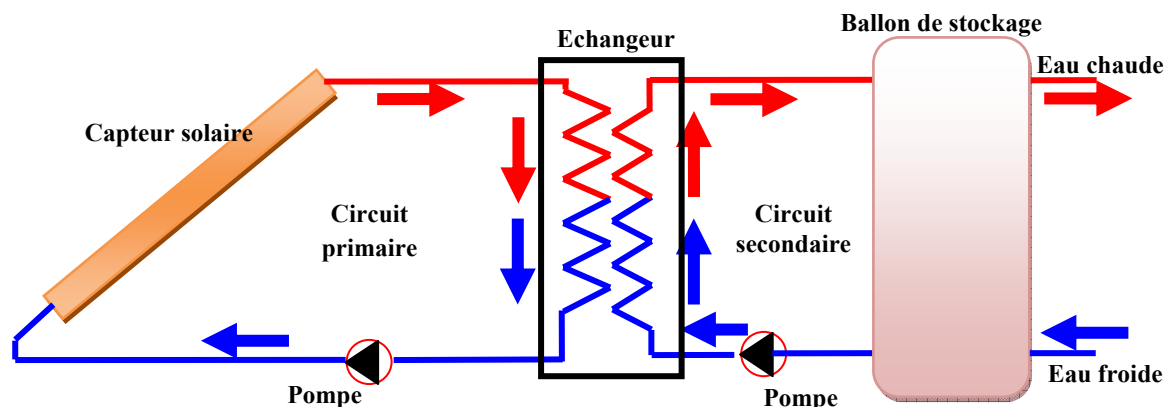


Fig.3.3 Schéma d'un chauffe-eau solaire

Du point de vue fonctionnel, le système solaire pourra être représenté de la façon suivante (Fig.3.4) :

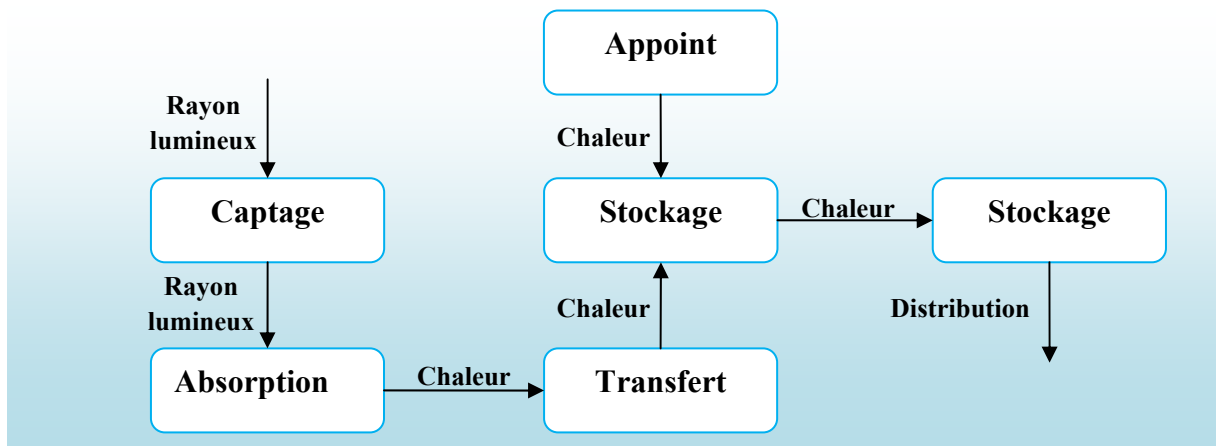


Fig.3.4 Représentation fonctionnelle

3.2.1. Les fonctions d'un système solaire thermique

❖ Le captage et l'absorption

Le capteur est la source de chaleur de l'installation solaire. C'est là que le rayonnement solaire capté est absorbé pour chauffer le fluide caloporteur. Tous les capteurs visent à convertir le rayonnement solaire en chaleur avec un rendement élevé et à fournir cette chaleur aux consommateurs aussi efficacement que possible.

❖ Le transfert de chaleur

L'énergie captée transformée en chaleur est ensuite par circulation du fluide caloporteur dans les tuyauteries vers l'échangeur de chaleur à plaque.

❖ Le stockage

Puisque les apports et les besoins énergétiques sont généralement déphasés l'un par rapport à l'autre, on aura besoin du stockage.

❖ L'appoint

L'énergie solaire ne peut dans la plupart des cas assurer la totalité des besoins en énergie. Pour faire face à des périodes défavorables (hiver, demi-saison, longue période de mauvais temps) et satisfaire les besoins en eau chaude, on a besoin d'une énergie d'appoint. Ainsi, la plupart des unités de stockage sont équipées d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin.

3.2.2. Les capteurs solaires

Il existe toute une gamme de capteurs solaires qui permettent de répondre aux différents besoins [3.7]. Leur choix dépend de la température désirée de l'eau chaude et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système [3.8]. Il faut choisir le type de capteurs qui correspond le mieux au niveau de température auquel on désire. Bien entendu, plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en œuvre sont évoluées et plus les coûts de production sont élevés. Les technologies les plus courantes sont : les capteurs plans sans vitrage, les capteurs solaires à tubes sous vide et les capteurs plans vitrés.

3.2.2.1. Les types des capteurs solaires thermiques

▪ Capteurs plans sans vitrage

Les capteurs plans sans vitrage (**Fig.3.5**), sont ordinairement faits de plastique polymère noir. Normalement, ils n'ont pas de revêtement sélectif et n'ont ni cadre ni isolation en arrière. Ils sont simplement posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible coût captent bien l'énergie solaire, cependant les pertes thermiques vers l'environnement augmentent rapidement avec la température de l'eau, particulièrement dans les endroits venteux. En conséquence, les capteurs sans vitrage sont couramment utilisés pour des applications demandant une fourniture d'énergie à basse température (piscines, eau d'appoint en pisciculture, chaleur industrielle, etc.); dans les climats froids, ils sont habituellement utilisés exclusivement durant l'été à cause de leurs pertes thermiques élevées.

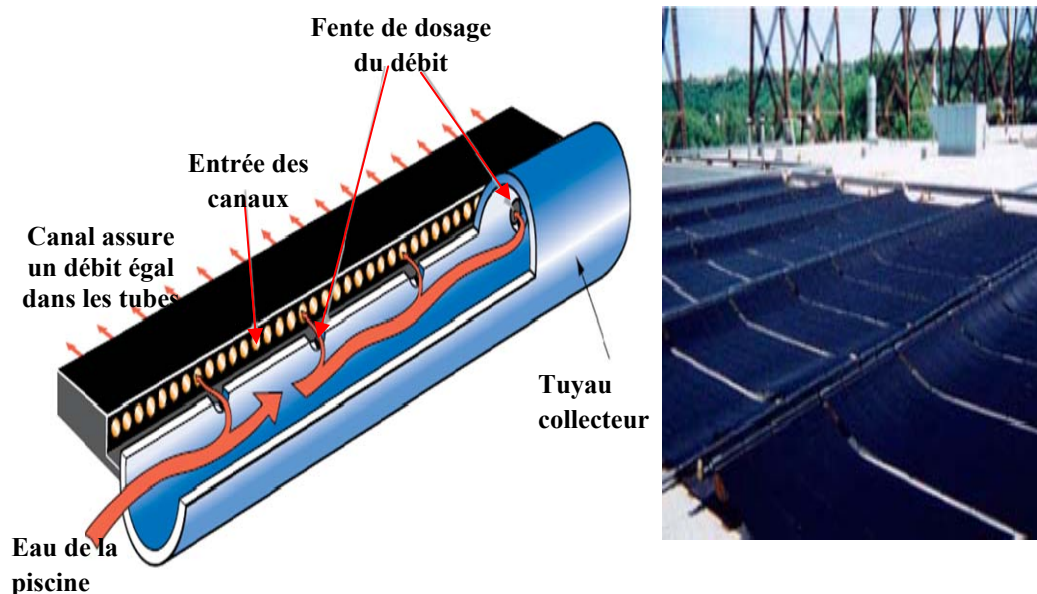


Fig.3.5 Vue en coupe d'un Capteur plan sans vitrage

▪ Capteurs solaires à tubes sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide (**Fig.3.6**), comportent un absorbeur revêtu d'une surface sélective et enfermé sous vide dans un tube en verre. Ils captent bien l'énergie solaire et leurs pertes thermiques vers l'environnement sont extrêmement faibles. Les systèmes présentement sur le marché utilisent un caloduc pour extraire la chaleur de l'absorbeur (un liquide se vaporise au contact de l'absorbeur chaud, la chaleur est récupérée dans la tête du tube lorsque la vapeur s'y condense et le condensat, retourne par gravité à l'absorbeur). Les capteurs sous vide sont bien adaptés aux applications requérant la fourniture d'énergie à des températures moyennes ou hautes (eau chaude domestique, chauffage de locaux et applications de chauffage industriel dans des gammes de températures de 60 °C à 80 °C, selon la température extérieure), en particulier dans les climats froids.

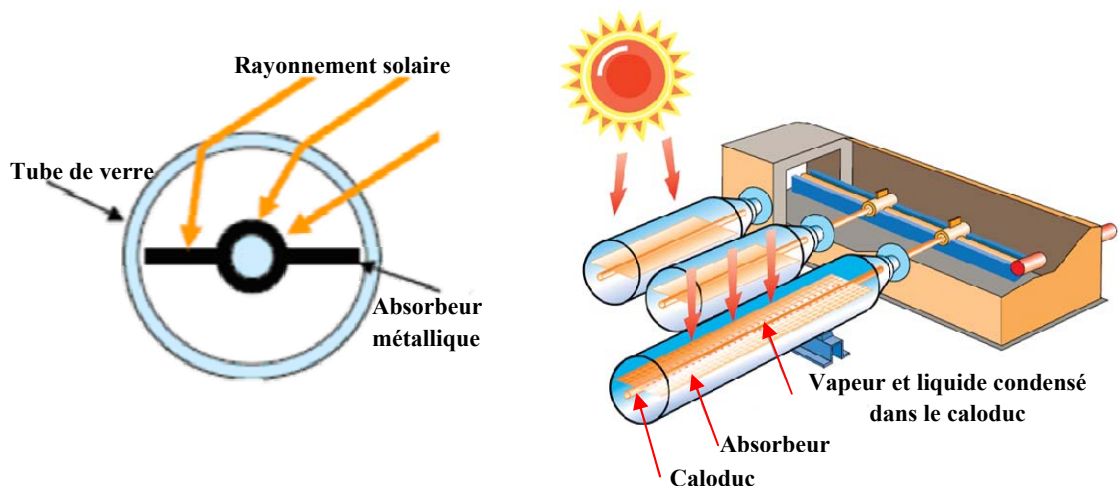


Fig.3.6 : Vue en coupe d'un Capteurs solaires à tubes sous vide

- **Capteurs plans avec vitrage**

Dans les capteurs plans avec vitrage, une plaque absorbante qui souvent est recouverte d'un revêtement sélectif) est fixée dans un cadre entre un vitrage simple ou double et un panneau isolant placé à l'arrière (**Fig.3.7**).

L'énergie solaire est ainsi emprisonnée dans le capteur à cause du vitrage (effet de serre). Ces capteurs sont couramment utilisés pour des applications à températures modérées (chauffage de l'eau sanitaire, chauffage de locaux, chauffage de piscines et chauffage pour procédés industriels).

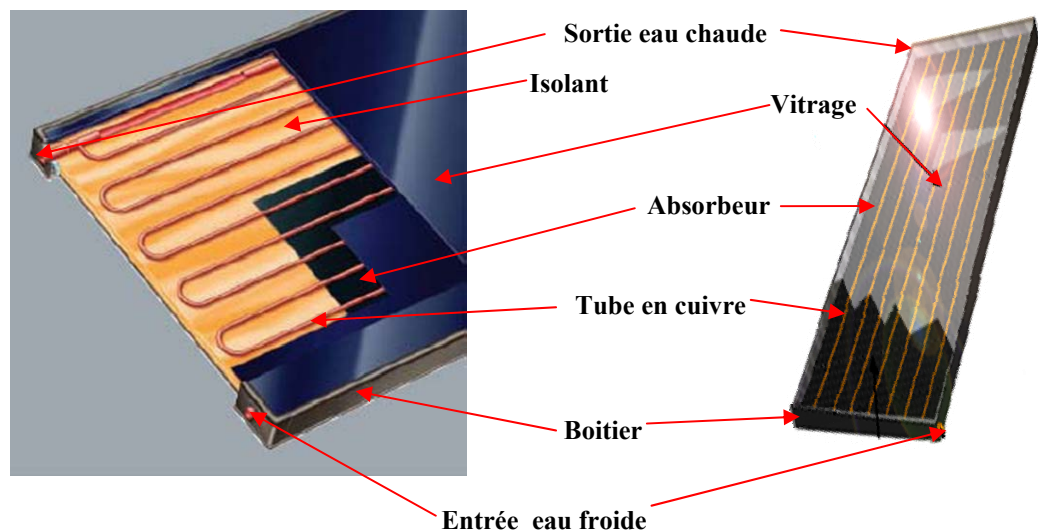


Fig.3.7 Vue en coupe d'un capteur plan avec vitrage [3.9],[3.10]

➤ **Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés**

Une partie de l'irradiation solaire qui arrive sur le vitrage traverse celui-ci pour atteindre l'absorbeur. Ce dernier s'échauffe et transmet la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes (Fig.3.8).

Comme tout corps qui s'échauffe, l'absorbeur émet un rayonnement (en grande partie dans les infrarouges) qui est d'une part absorbé par le vitrage, d'autre part réfléchi par le film placé sur l'isolant.

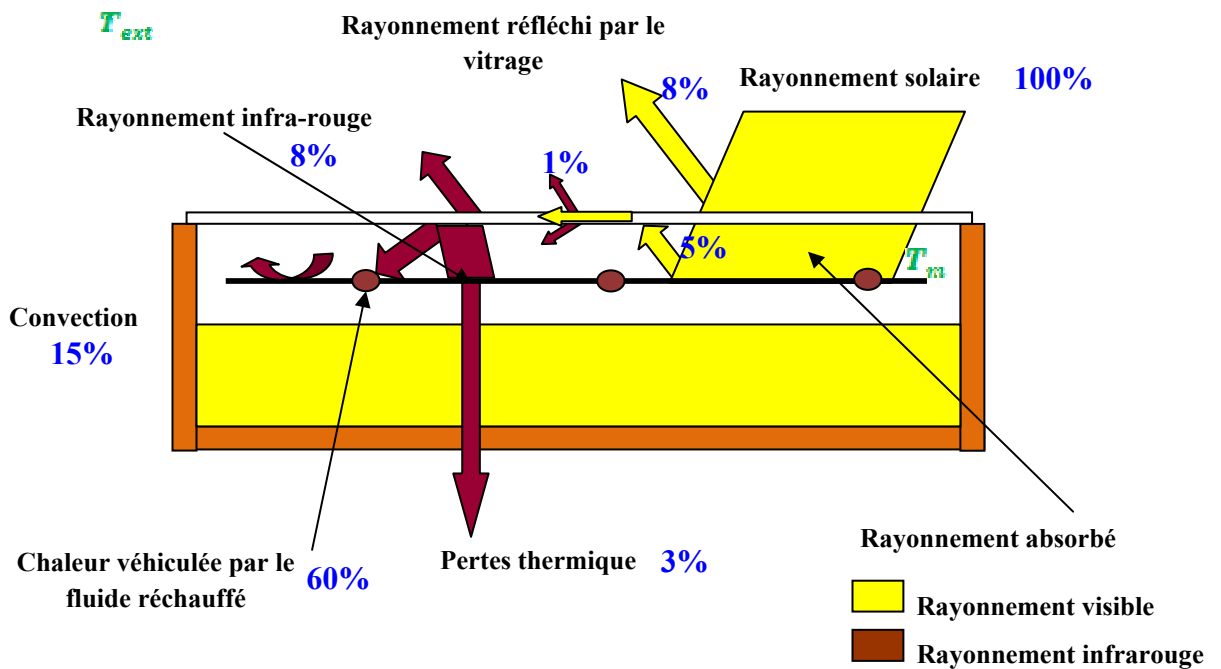


Fig.3.8 Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés [3.11]

3.2.2. 2. Calcul du rendement d'un capteur solaire plan

Le rendement d'un capteur solaire plan se définit par le rapport entre l'énergie utile délivrée par le capteur et l'énergie globale reçue par ce même capteur [3.12] (Fig.3.9). Sous les conditions stables, l'énergie utile délivrée par le capteur égale l'énergie absorbée par le fluide caloporteur moins les pertes directes et indirectes sur la surface et les parois. L'énergie recueillie par le fluide caloporteur est donnée par la formule développée par Hottel et Whillier :

$$\eta = (q_u / I \cdot A_c) = F_R \cdot (\tau\alpha)_e - F_R U_L \cdot [(T_i - T_a) / I] \quad (1)$$

tel que :

q_u : énergie recueillie par le fluide caloporteur

A_c : surface du capteur (m^2)

I : rayonnement solaire global incident par unité de surface (W/m^2)

$(\tau\alpha)_e$: produits des coefficients d'absorption et de transmission utile de la couverture et de la surface absorbante

U_L : coefficient global de perte thermique du capteur

T_i : température du fluide à l'entrée du capteur ($^{\circ}C$)

T_a : température ambiante extérieure (°C)

F_R : coefficient d'absorption thermique du capteur

Expérimentalement, on peut calculer le rendement instantané à partir de la formule suivante :

$$\eta_i = [m \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)] / (A_c \cdot I)$$

où :

η_i : rendement instantané

m : débit du fluide caloporteur (kg/s)

C_p : chaleur spécifique du fluide (kJ/kg .°K)

T_o : température du fluide à la sortie du capteur (°C)

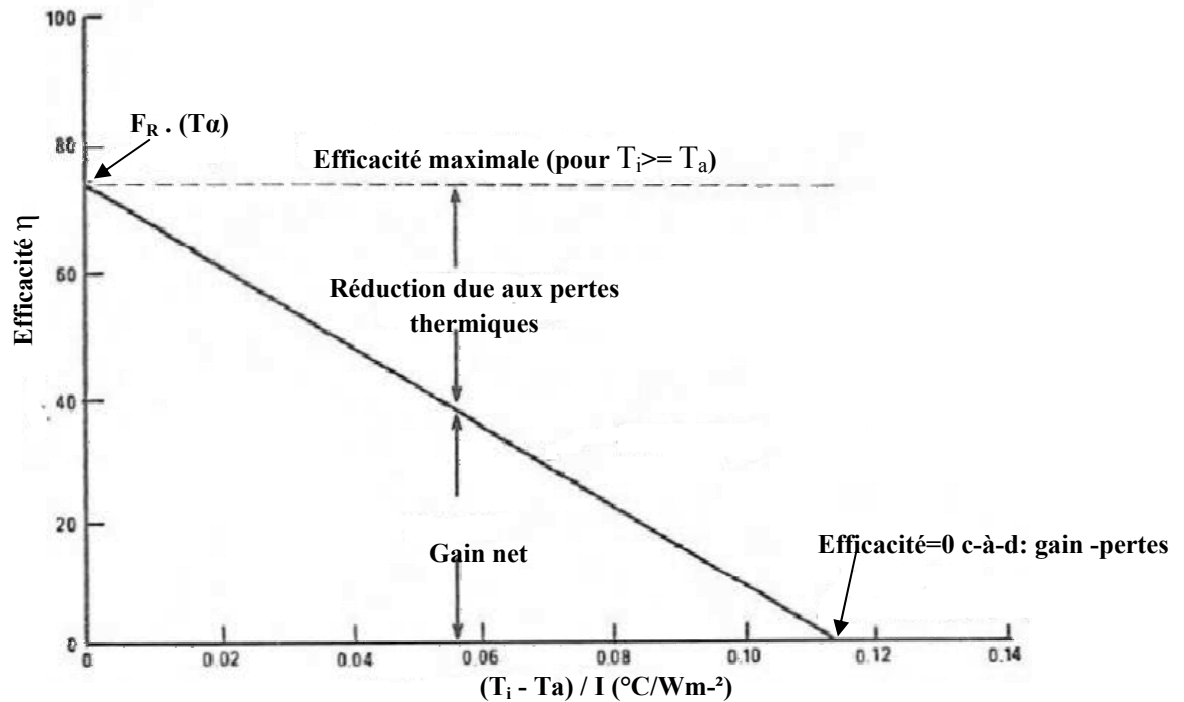


Fig.3.9 Représentation graphique du rendement thermique d'après l'ASHRAE

3.2.2.3. Les échangeurs de chaleur

L'échangeur de chaleur est un dispositif dans lequel se réalise un transfert thermique entre deux milieux dû à une différence de température entre les milieux [3.13]. Le principe de son fonctionnement consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid.

❖ Types d'échangeurs de chaleur

En général on distingue deux catégories d'échangeurs, les échangeurs externes au ballon de stockage sont des échangeurs à plaques et les échangeurs intégrés au ballon du type à serpentin. Pour le montage du banc d'essai, nous avons utilisé un échangeur de chaleur à plaques.

- *Les échangeurs intégrés au stockage (serpentin)*

Dans ce type d'échangeur(**Fig.3.10**), l'un des fluides circule dans le tube central tandis que l'autre circule dans l'espace annulaire entre les deux tubes. On distingue deux types de fonctionnement selon que les deux fluides circulent dans le même sens ou en sens contraire. Dans le premier cas on parle de configuration *à courant parallèle* (les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens). Dans le deuxième cas, on parle de configuration *à contre courant* (les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans des sens opposés).



Fig.3.10 Echangeur à serpentin [3.14]

- *Les échangeurs extérieurs au stockage (à plaques)*

Les échangeurs à plaques sont constitués de plaques formées dont les alvéoles constituent les chemins empruntés par les fluides. Les plaques sont assemblées de façon que le fluide puisse circuler entre elles. La distribution des fluides entre les plaques est assurée par un jeu de joints de telle sorte que chacun des deux fluides soit envoyé alternativement entre deux espaces inter-plaques successifs(**Fig.3.11**). L'avantage de ce type d'échangeur est sa simplicité qui en fait un échangeur peu coûteux et facilement adaptable par ajout/retrait de plaques afin d'augmenter/réduire la surface d'échange en fonction des besoins (la surface ne peut être augmentée de manière infinie à cause de la perte de charge). Les échangeurs de chaleur à plaques sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire (pasteurisation du lait), la technologie marine, les installations frigorifiques et les techniques du bâtiment.



Fig.3.11 Vue d'un échangeur à plaques

❖ La comparaison entre échangeur à plaques et serpentin

Le **Tableau.3.1** illustre une comparaison par lequel on peut choisir le type d'échangeur adéquat pour une installation.

	Modèle serpentin (tubulaire)	Modèle à plaques
Fonctionnement	Echangeur coaxial entre les circuits des deux fluides.	Empilement de plaques laissent passer alternativement les deux fluides contre courant.
Encrassement/colmatage	Circulation plus simple c'est-à-dire moins de risques	Faible espace entre plaques : encrassement, colmatage et pertes de charge possible.
Evolution possible	Achat d'un autre appareil (combinaison possible).	Possibilité de rajouter des plaques supplémentaires.
Maintenance	intervention délicat (échangeur intégrés au ballon de stockage).	Intervention facile (externes au ballon de stockage).

Tableau.3.1 Différents modèles d'changeur à plaques

❖ Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaques

Un échangeur de chaleur à plaques (**Fig.3.12**) consiste pour l'essentiel en une série de fines plaques cannelées assemblées et/ou soudées, en fonction des liquides qui circuleront dans les plaques et de l'éventuelle possibilité de séparer les plaques pour une raison quelconque [3.15].

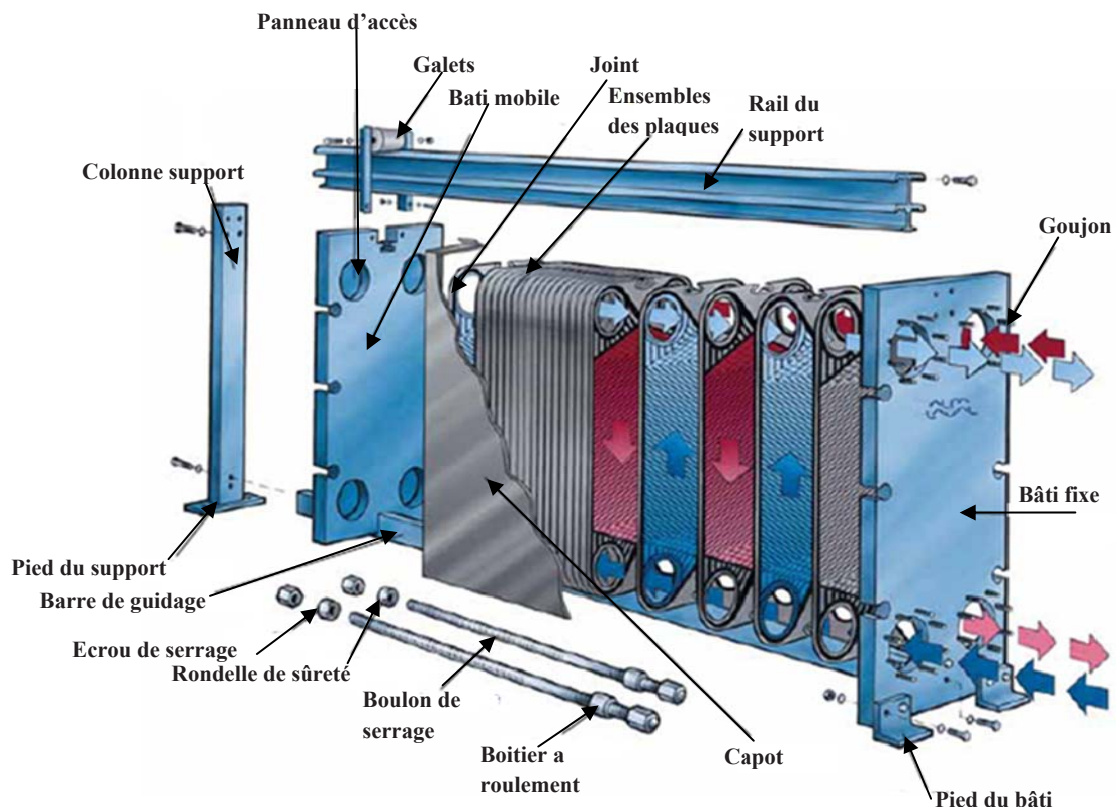


Fig.3.12 Principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaques

Les plaques sont ensuite embouties ensemble dans un bâti rigide afin de créer une circulation de flux parallèles. L'un des fluides se déplace dans les canaux impairs, l'autre fluide dans les canaux pairs [3.16].

3.3. La capacité du solaire thermique en opération au niveau mondial

L'énergie solaire thermique installée dans le monde fin de 2009 était de 172.4 GWth soit une surface équivalente d'environ 246.2 millions de mètres carrés [3.17]. Entre 2007 et 2008, la progression du marché a été légèrement moins soutenue avec une croissance d'environ 15 %.

En 2010, le marché européen du solaire thermique s'est élevé à 2,6 GW, soit une surface de capteurs de 3,69 millions de mètres carrés [3.18].

En Algérie quelques installations ont été réalisées au niveau de la gendarmerie nationale, des complexes touristiques, de l'aéroport d'Alger, chez des particuliers et dans des centres de formation et de recherche. La surface de captation des chauffe eau solaires installés jusqu'à présent à travers le territoire national n'atteint pas les 3000 m² ce qui est négligeable par rapport aux mètres carrés installés dans le monde [3.19].

3.3.1. Développement du marché solaire thermique mondial

La Répartition du marché mondial des installations du solaire thermique en 2009 (Fig.3.13), selon l'étude réalisée par l'Agence Internationale de l'Energie (IEA), fait ressortir que la Chine est largement en tête des pays producteurs de chaleur d'origine solaire avec 101.5GWth, l'Europe 32.5GWth et les (Etats unis +Canada) avec une capacité de 15GWth ; sur la capacité totale installée ces pays représente 86.4%.

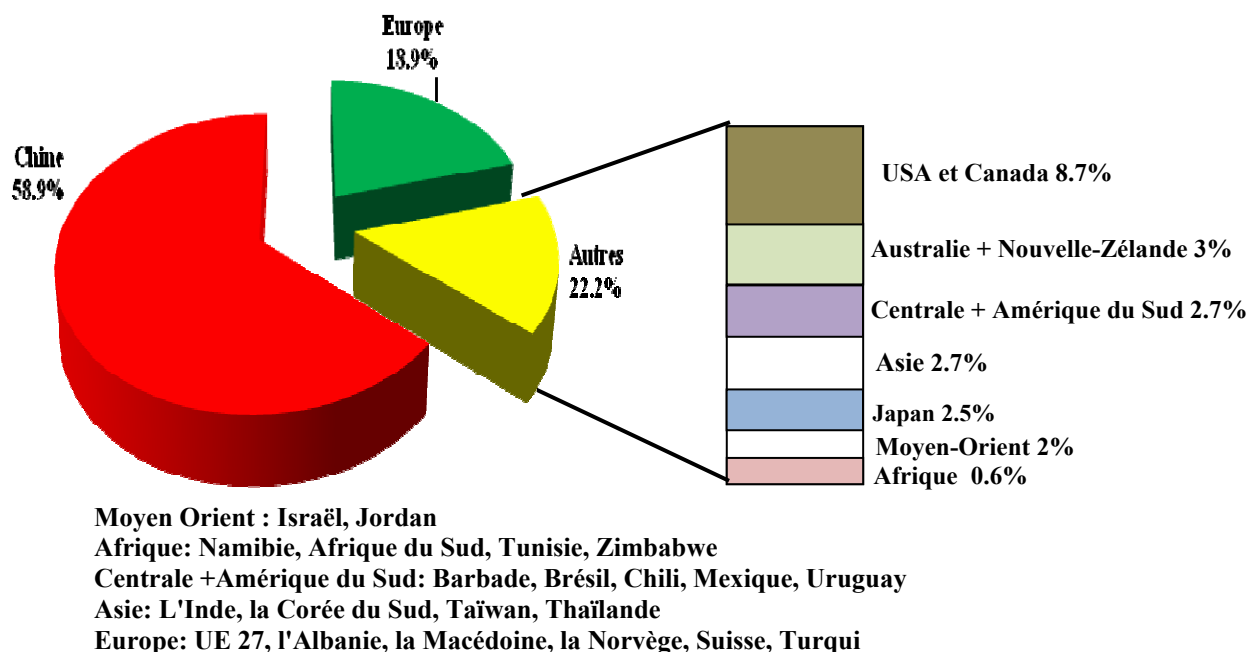


Fig.3.13 Répartition du marché mondial des installations solaire thermique en 2009

Le reste du marché est partagé entre l'Australie et la Nouvelle Zélande 5.2 GWth, les pays de l'Amérique du sud et centrale 4.7GWth, les pays asiatiques de l'Inde, la Corée du Sud, le Taïwan et la Thaïlande (4,6 GWth), le Japon (4,3 GWth), le Moyen-Orient représenté par l'Israël et la Jordanie (3,5 GWth) et quelques pays africains (1,1 GWth), à savoir Namibie, Afrique du Sud, Tunisie et Zimbabwe.

L'ESTIF, la Fédération des Industriels Européens du Solaire Thermique, estime que le parc solaire thermique atteindra une puissance installée de 320 000 MW à l'horizon 2020, soit une surface équivalente de 450 millions de mètres carrés.

3.3.2. Répartition de la capacité installée par type de capteurs

Avec 172.4 GWth de puissance totale installée, la répartition par type de capteur fait ressortir la prédominance des capteurs plans et les capteurs à tubes d'évacuations avec une capacité de 151,1 GWth, suivie par 19,7 GWth par les capteurs non vitrés en plastique et les capteurs à air avec 1.2GWth (Fig.3.14).

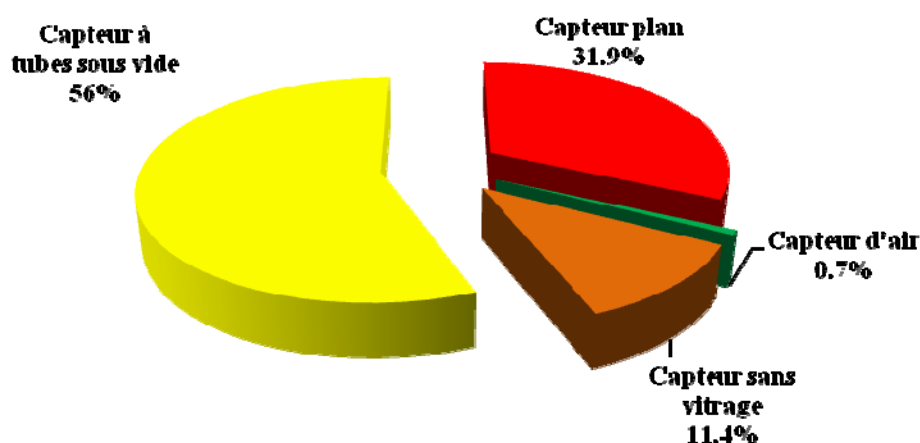


Fig.3.14 Répartition de la capacité installée par type de capteurs en 2009

3.4. Potentiel du solaire thermique dans les processus industriels

3.4.1. Le solaire thermique dans les applications industrielles

Comparativement au secteur de l'habitat individuel où le solaire thermique se développe fortement aujourd'hui, l'habitat collectif, le tertiaire et l'industrie restent cependant en retrait. Le potentiel de développement dans ces domaines est pourtant très important surtout pour le secteur industriel pour deux raisons principales [3.20].

Tout d'abord, ce secteur représente un intérêt remarquable, couvrant environ 28% de la consommation totale d'énergie primaire pour des utilisations finales dans EU25.

Deuxièmement, une part importante de la chaleur consommée dans le secteur industriel est dans la gamme basse et moyenne température. Ces deux raisons font du secteur industriel une application prometteuse et propre à l'énergie solaire thermique.

La capacité solaire thermique installée actuellement pour la production de la chaleur dans les processus industriels était de 25 TWth en 2006, ce qui représente 0.02% de la capacité totale solaire thermique installée dans le monde. Même si la comparaison n'est pas scientifiquement correcte, la différence entre les deux chiffres est énorme. Le potentiel d'utilisation du solaire thermique pour fournir de la chaleur à l'application industrielle est vraiment pertinent.

Actuellement environ de 90 installations solaires thermiques en fonctionnement pour la production de la chaleur dans les processus industriels sont rapportées dans le monde, avec une capacité totale d'environ 25 MWth soit une surface équivalente d'environ 35000 de mètres carrés.

3.4.2. La demande de la chaleur industrielle

➤ Par niveau de la température

La répartition de la demande de la chaleur industrielle par les gammes de la température selon une étude récente de « ECOHEATCOOL » (Fig.3.15), illustre que 30% de la demande sont exigé aux températures au-dessous de 100°C, 27% entre 100 et 400°C. Alors que pour une température au-dessus de 400°C la demande est de 43%.

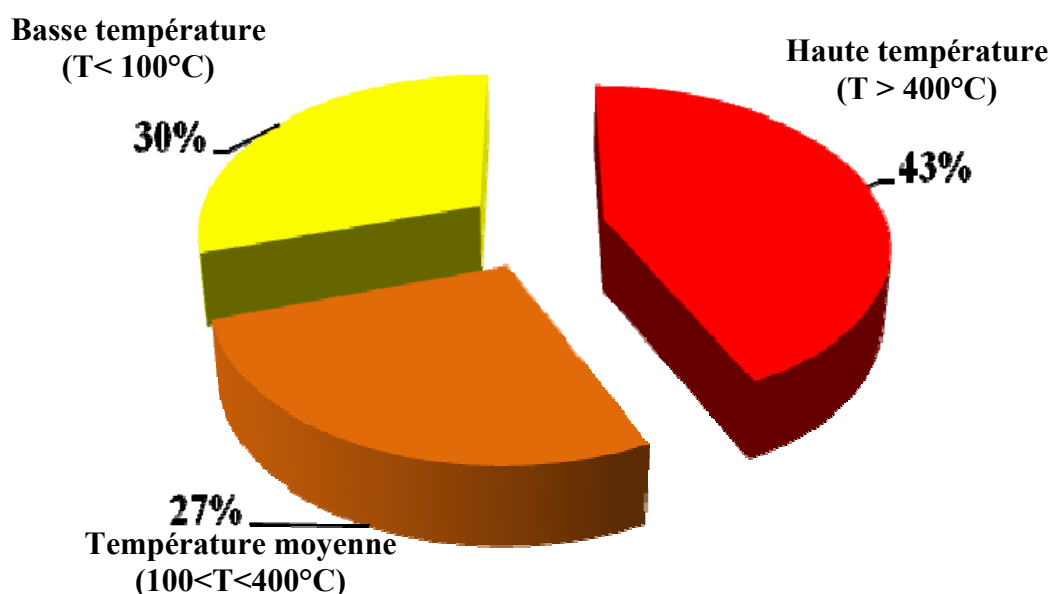


Fig.3.15 Part de demande de la chaleur industrielle par niveau de la température

3.4.3. Le niveau de température des différents processus des secteurs industriel

Le Tableau.3.2 montre que les domaines les plus importants pour la chaleur solaire sont dans les industries des aliments et boissons, les industries textiles et chimiques, et pour de simples procédés de nettoyage, par exemple lavage. La raison pour cela est due aux basses

températures requises pour les processus dans ces secteurs. Le niveau de la température qui est exigé dans les processus de la production du secteur de la nourriture et boissons est entre 30 et 150°C. Entre la plage de température de 30°C-90°C, des capteurs plans sont très efficace. Le tableau montre également un grand potentiel pour les processus dans la plage de températures moyennes jusqu'à environ 300 ° C [3.21].

Secteur industriel	Processus	Niveau de Température (°C)
Nourriture et boissons	Sécher (séchage)	30-90
	Laver (lavage)	40-80
	Pasteuriser (pasteurisation)	80-100
	Bouillir	95-105
	Stériliser (stérilisation)	140-150
	Traitement thermique	40-60
Industrie textile	Laver (lavage)	40-80
	Blanchir	60-100
	Teindre	100-160
Industrie chimique	Bouillir	95-105
	Distiller	110-300
	Divers procédés chimiques	120-180
Tous les secteurs	Pré-chauffage de l'eau d'alimentation de chaudière	30-100
	Chauffage des halls de production	30-80

Tableau.3.2 Représentant les secteurs industriels et les processus utilisés classés selon le niveau de température utilisé.

Sur le tableau ci-dessus, nous observons également que pour certaines opérations comme le séchage et le lavage le niveau de température est inférieur à 100 °C. Dans le chapitre suivant des tests sur les systèmes de production d'eau chaude seront réalisés, afin d'évaluer par niveau de température allant de 40°C à 60°C, le potentiel d'eau chaude produite.

Chapitre 4

Résultats des tests expérimentaux et discussions

4. Résultats des tests expérimentaux et discussions

L'objectif visé par ces tests est d'évaluer, grâce à des mesures relevées sous conditions réelles sur le site Batna, la quantité d'eau chaude produite par le système, par niveau de température définie dans l'intervalle de 40°C à 60°C. Le potentiel solaire thermique peut être ainsi évalué pour chaque niveau de température.

4.1. Description du banc d'essai

Le banc de tests pour la production d'eau chaude par énergie solaire installé au niveau de l'unité de recherche à l'université de Batna comporte les éléments suivants (**Fig.4.1**) :

- Un circuit hydraulique primaire qui lie quatre capteurs thermiques plans, soit une surface de **8m²** avec un échangeur de chaleur à plaque. A travers ce circuit, un fluide caloporteur (anti gel ajoutée à l'eau distillée) peut circuler pour transporter la chaleur au niveau de l'échangeur à plaque, cette circulation du fluide caloporteur est assurée par une pompe de circulation
- Un circuit hydraulique secondaire qui assure l'arrivée d'eau froide destinée à être chauffée en passant par l'échangeur à plaque pour récupérer la chaleur cédée par le fluide caloporteur,
- Quatre capteurs de températures (3 de type CTP et 1 de type CTN) pour mesurer la température de l'absorbeur, de l'eau à la sortie du capteur, au retour du capteur et à la sortie de l'échangeur. Ces capteurs sont branchés à l'unité d'acquisition de données et de contrôle de type DT50.

4.2. Principe de fonctionnement de l'installation et méthode de contrôle

Les capteurs plans reçoivent un rayonnement solaire qui chauffe le fluide caloporteur, ce dernier transmet la chaleur captée au niveau de l'échangeur pour la céder à l'eau froide. La circulation du fluide caloporteur est assurée par une pompe de circulation. Un programme informatique a été élaboré pour commander et contrôler la pompe et l'électrovanne.

Un capteur mesure la température de l'eau à la sortie du capteur plan (T_{s-cap}), un autre capteur mesure la température de l'eau à la sortie de l'échangeur (T_{s-ech}). Les deux températures sont stockées et sauvegardées sur le micro-ordinateur. Ces données sont alors traitées au niveau du programme informatique élaboré. Ce dernier établit la différence entre ces deux températures et la compare à une valeur de régulation ($\Delta T=10^{\circ}C$). Dès que la différence entre les deux températures est supérieure ou égale à 10°C, le micro-ordinateur émettra une commande à l'unité d'acquisition pour activer la pompe à travers la carte électronique. Si cette différence soit inférieure à l'intervalle fixé le PC commandera alors l'unité DT50 qui émettrait un signal pour arrêter la pompe. Une autre commande est envoyée pour ouvrir ou fermer l'électrovanne selon la température désirée (T_{s-ech}) (**Fig.4.2**).

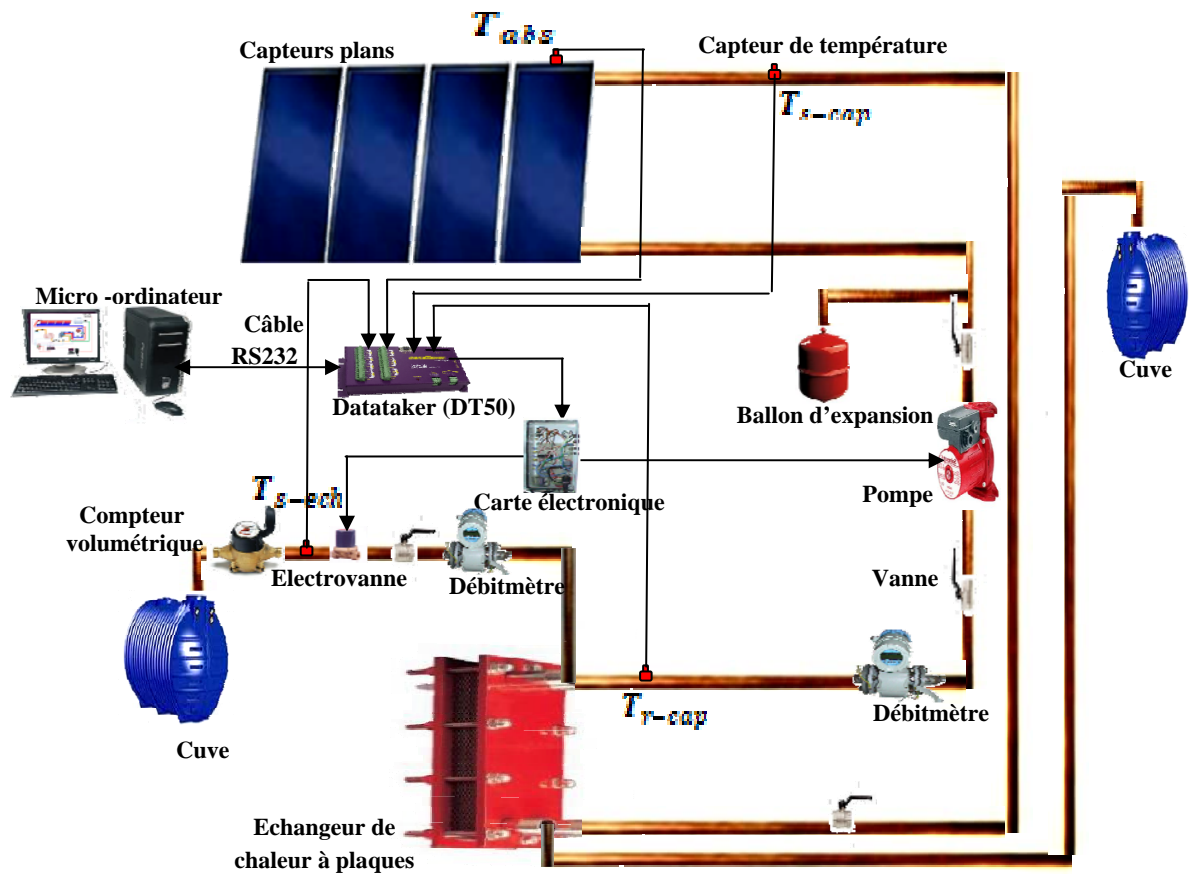


Fig.4.1 Schémas descriptif du banc d'essai-test réalisé à l'Université de Batna

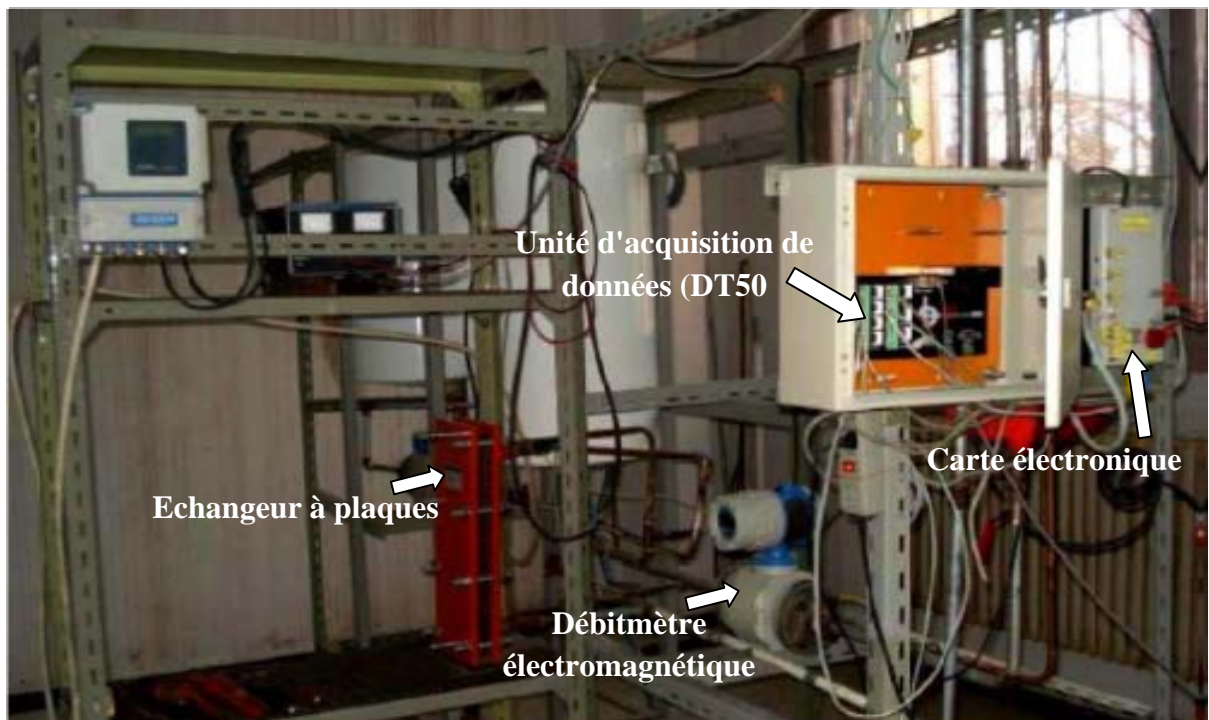


Fig.4.2 Vue du banc d'essai –test réalisé à l'université de Batna

4.3. Résultats des tests expérimentaux

Cette partie de notre travail illustre les différents résultats des tests expérimentaux obtenus pour des journées claire, perturbée et nuageuse. Les tests ont été effectués pour une température fixée à 55°C et à la fin de chaque test on enregistre la quantité de l'eau chaude produite à cette température.

4.3.1. Test expérimental pour une journée claire ($T_{s\text{-ech}} \geq 55^\circ\text{C}$)

Les résultats du test effectué pendant la journée du 17/10/2011, une journée parfaitement claire, montrent l'évolution des différentes températures (T_{abs} , $T_{s\text{-cap}}$, $T_{r\text{-cap}}$ et $T_{s\text{-ech}}$) dans des conditions de fonctionnement normale du système (**Fig.4.3**).

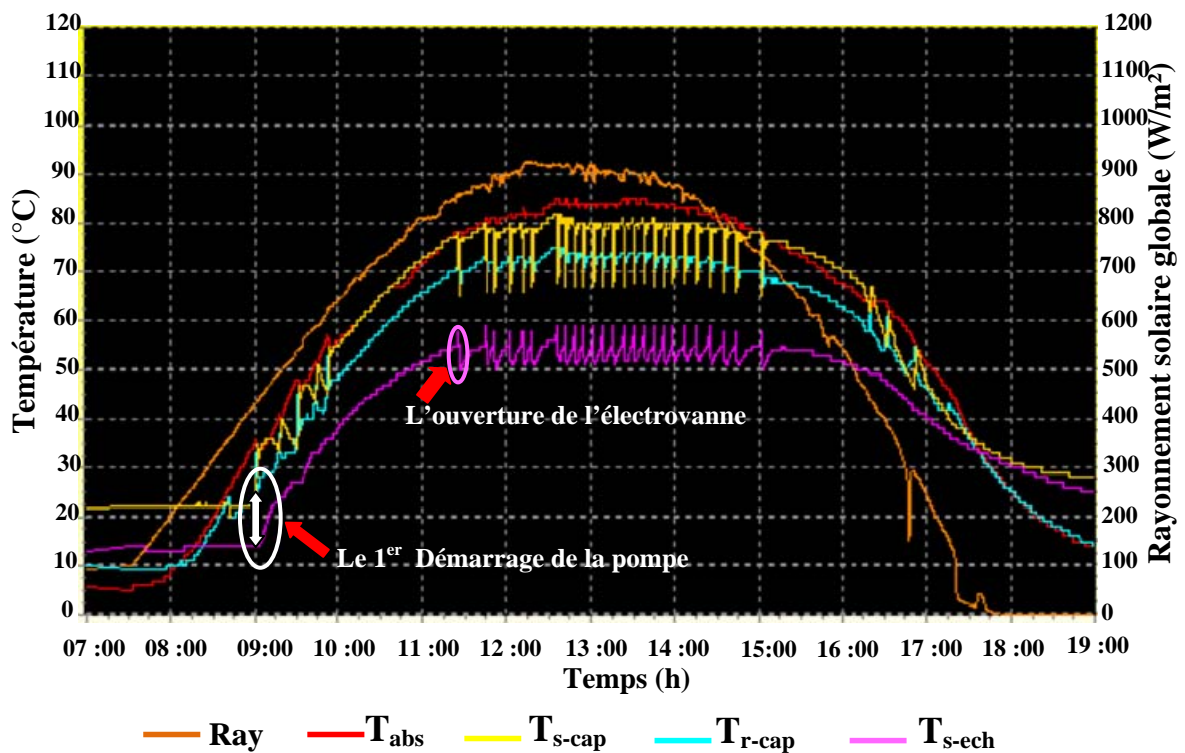


Fig.4.3 Relevé journalier du 17/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur(T_{abs}), de sortie du capteur($T_{s\text{-cap}}$), de retour au capteur($T_{r\text{-cap}}$), et de la sortie de l'échangeur($T_{s\text{-ech}}$)

La **Figure 4.4** illustre la répartition journalière de la température ambiante enregistrée durant cette journée qui atteint 22.7°C, cette dernière à une influence considérable sur la production journalière de l'installation. En effet, la quantité produite durant cette journée est faible (QP=50 litres) pour une importante quantité d'énergie solaire incidente de 6.357 kWh/m²/j.

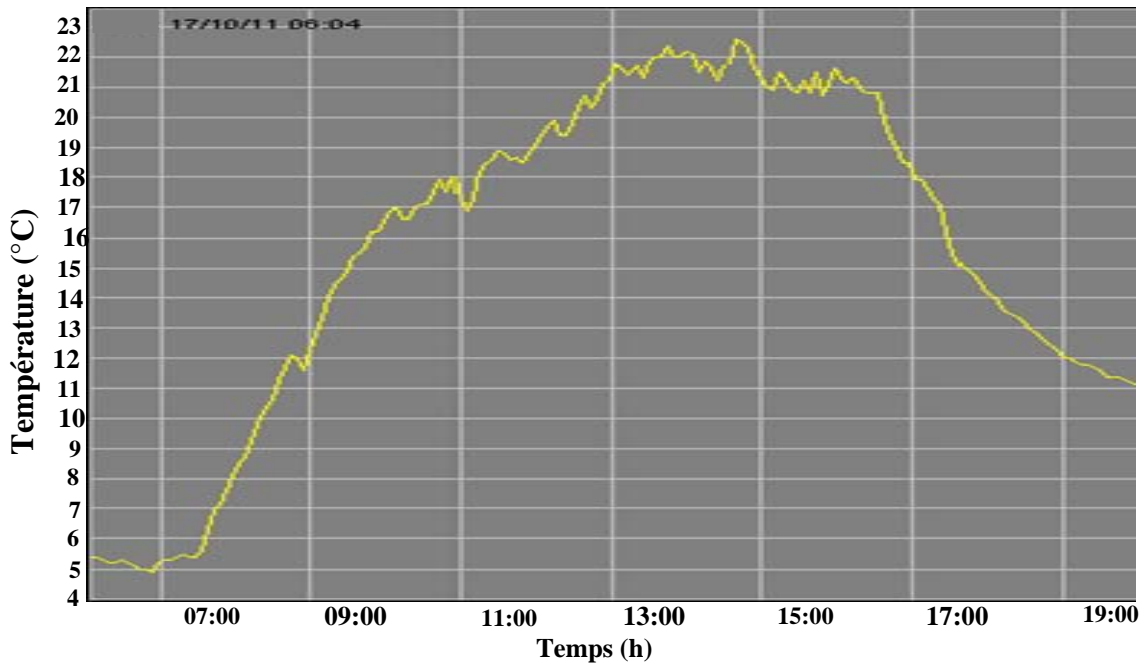


Fig.4.4 Relevé journalier du 17/10/2011 de la température ambiante sur le site d'implantation du système de production solaire d'eau chaude à l'université de Batna.

4.3.2. Test expérimental pour une journée perturbée ($T_{s\text{-ech}} \geq 55^{\circ}\text{C}$)

La journée du 15/10/2011 est une journée relativement perturbée, caractérisé par une température ambiante moyenne de 14.4°C et un taux d'humidité moyen de 61.6%. Le test effectué pour une température à la sortie de l'échangeur fixée à 55°C . La (Fig.4.5) illustre l'évolution des températures (T_{abs} , $T_{s\text{-cap}}$, $T_{r\text{-cap}}$ et $T_{s\text{-ech}}$), d'après cette figure on constate que la température de l'absorbeur évolue conjointement avec l'augmentation du rayonnement. On remarque que le premier démarrage de la pompe a été enregistré à 09h:00, ainsi que la première ouverture de l'électrovanne a été enregistré a 11h:30 ce qui explique que la température de l'eau à la sortie de l'échangeur de chaleur a atteint 55°C . La période allant de 11h :30 jusqu'à 15h :10 est la période active du système durant laquelle la quantité d'eau chaude produite à 55°C a atteint 46 litres, pour cette journée, caractérisée par un rayonnement de $6,314 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$.

4.3.3. Test expérimental pour une journée nuageuse ($T_{s\text{-ech}} \geq 55^{\circ}\text{C}$)

La journée du 16/10/2011 est une journée nuageuse(Fig.4.6), caractérisé par une quantité d'énergie incidente de $4.957 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$. Durant cette journée des perturbations ont été observées en défaveur du système solaire. Les perturbations climatiques se sont manifestées par la présence des nuages qui induisent de grandes variations du flux solaire. On remarque que le premier démarrage de la pompe à été enregistré à 09h:00 alors que la première ouverture d'électrovanne à été enregistré à 12h:05. La quantité d'eau chaude produite pour cette journée est de 10 litres.

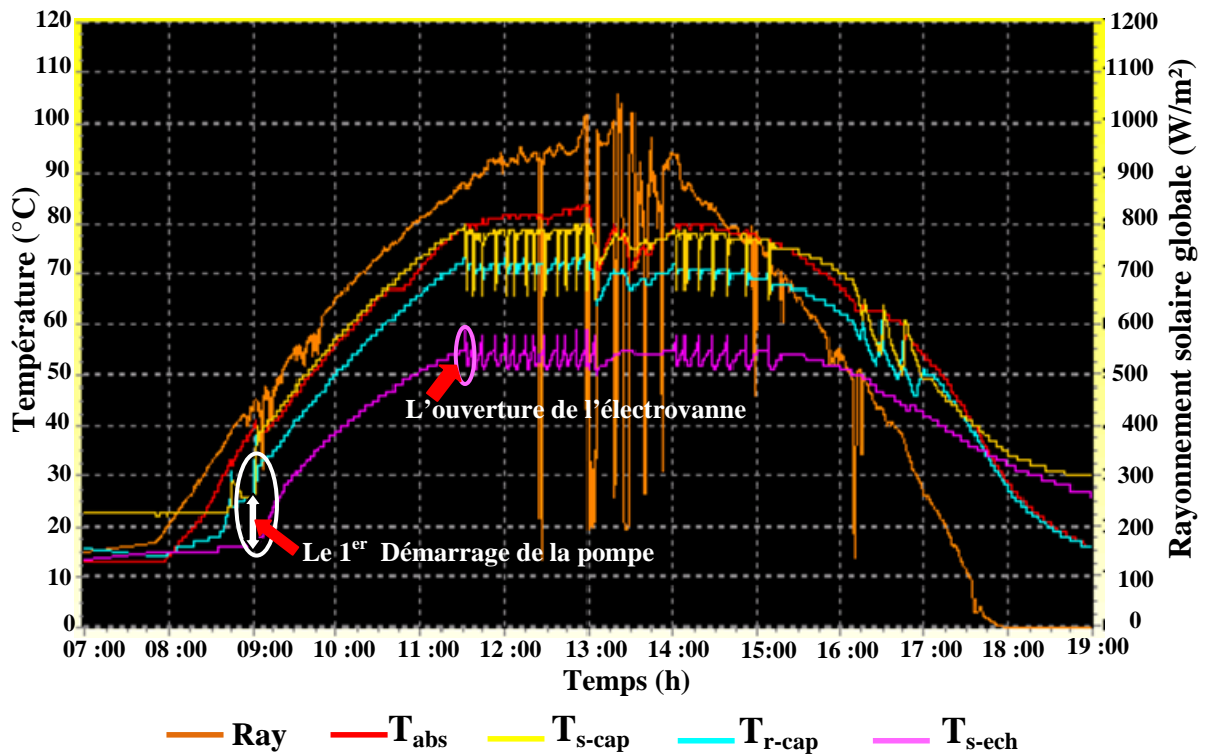


Fig.4.5 Relevé journalier du 15/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur(T_{abs}), de sortie du capteur(T_{s-cap}), de retour au capteur (T_{r-cap}), et de la sortie de l'échangeur(T_{s-ech})

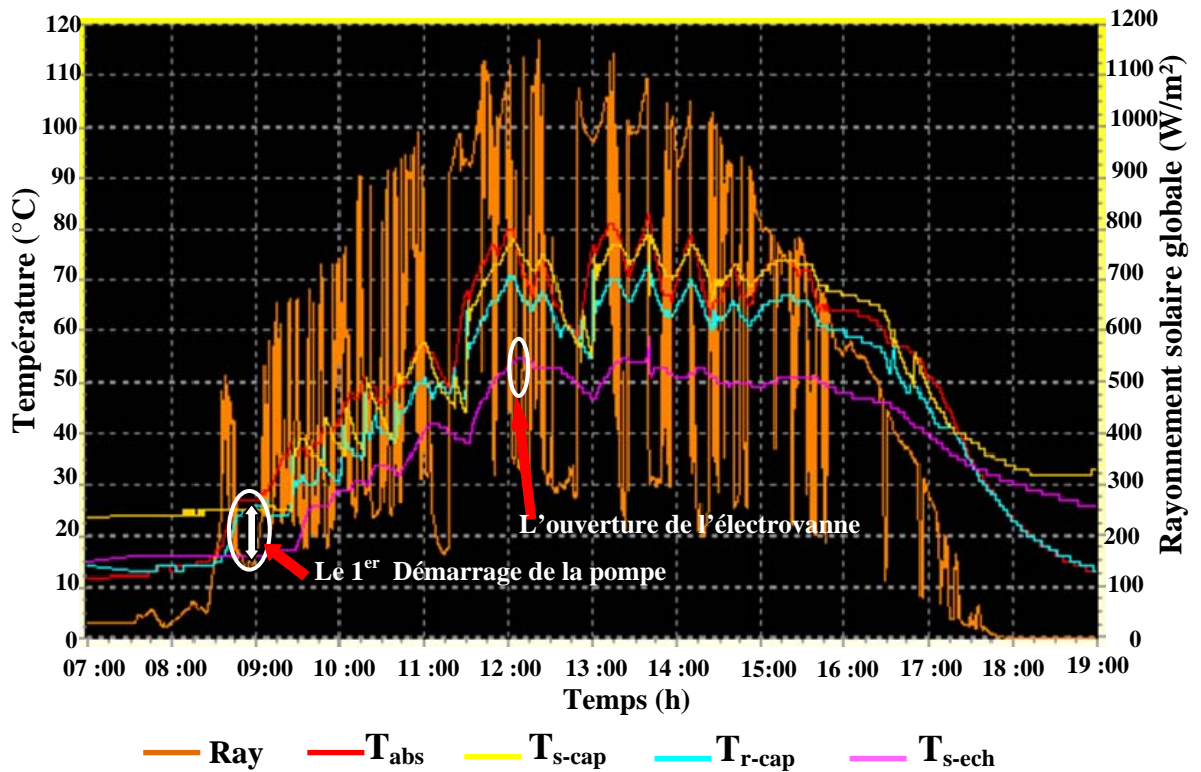


Fig.4.6 Relevé journalier du 16/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur(T_{abs}), de sortie du capteur(T_{s-cap}), de retour au capteur (T_{r-cap}), et de la sortie de l'échangeur(T_{s-ech})

4.3.4. Identification des paramètres météorologiques influant sur la production journalière de l'installation

Le rendement de l'installation en termes de quantité d'eau chaude produite dépend étroitement des paramètres météorologiques (rayonnement solaire incident, vitesse du vent, taux d'humidité, température ambiante, ... etc). Dans le but d'identifier les paramètres qui ont une influence directe sur l'efficacité des capteurs plans solaires, une comparaison entre deux tests a été abordée tenant en considération l'ensemble de ces paramètres.

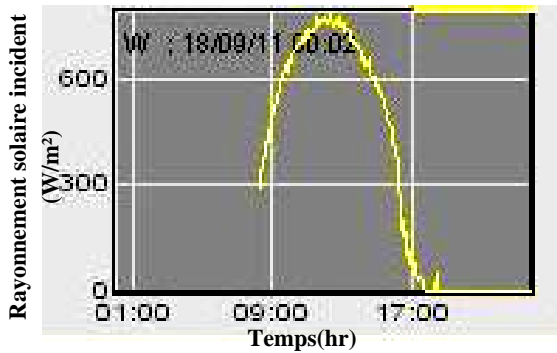


Fig.4.7 Rayonnement solaire incident pour la journée du 18/09/2011

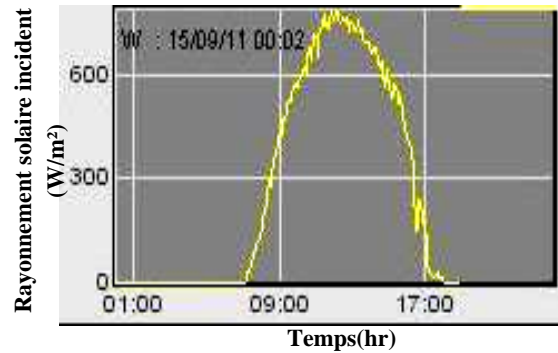


Fig.4.8 Rayonnement solaire incident pour la journée du 15/09/2011

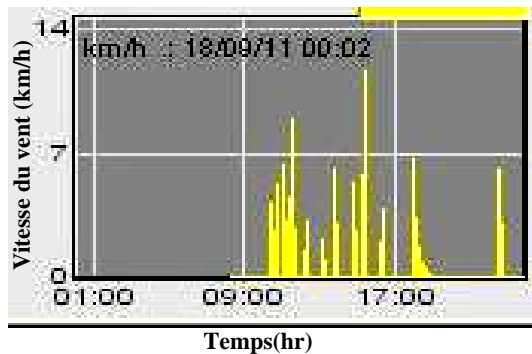


Fig.4.9 : Vitesse du vent pour la journée du 18/09/2011

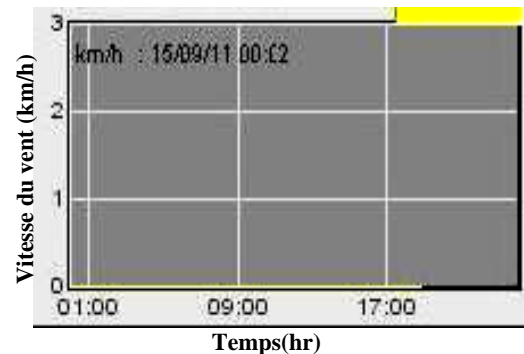


Fig.4.10 Vitesse du vent pour la journée du 15/09/2011

La courbe du rayonnement solaire incident pour la journée du 18/09/2011(**Fig.4.7**) montre que la journée est parfaitement claire. L'intensité du rayonnement a atteint une valeur maximale de 786.5 W/m², avec 6.24 kWh/m²/j de quantité d'énergie incidente. La quantité d'eau chaude produite durant cette journée a considérablement diminuée (50 Litres) comparativement à la journée du 15/09/2011 où la quantité d'eau chaude produite était de 148 Litres pour une quantité d'énergie incidente de 7.24 kWh/m²/j. L'impact de l'énergie incidente sur la quantité d'eau chaude produite est visiblement important. Un autre paramètre qui influe directement sur le rendement instantané des capteurs solaire est celui de la température ambiante (**Fig.4.8**), en effet le rendement instantané du capteur augmente proportionnellement avec l'augmentation de la température ambiante ce qui s'explique par le fait que le fluide caloporteur s'échauffe plus rapidement. Malgré l'important rayonnement incident reçu durant la journée du 18/08/2011, la quantité d'eau chaude produite reste faible, cela est du à la vitesse du vent enregistrée (**Fig.4.9**) pendant la durée active de l'installation,

ce qui n'est pas le cas avec la journée du 15/09/2011 où la vitesse du vent était nulle pendant toute la durée du test (**Fig.4.10**), facteur lequel a joué au profit de la quantité produite.

4.3.5. Test pour une journée claire avec un blocage de la pompe ($T_{s\text{-ech}} \geq 55^{\circ}\text{C}$)

Après avoir analysé les résultats d'évolution des différentes températures dans le cas d'un fonctionnement normale du système, nous avons procédé à un blocage de la pompe de circulation en débranchant son fil d'alimentation pour constater l'évolution des températures dans ce cas de dysfonctionnement de la pompe.

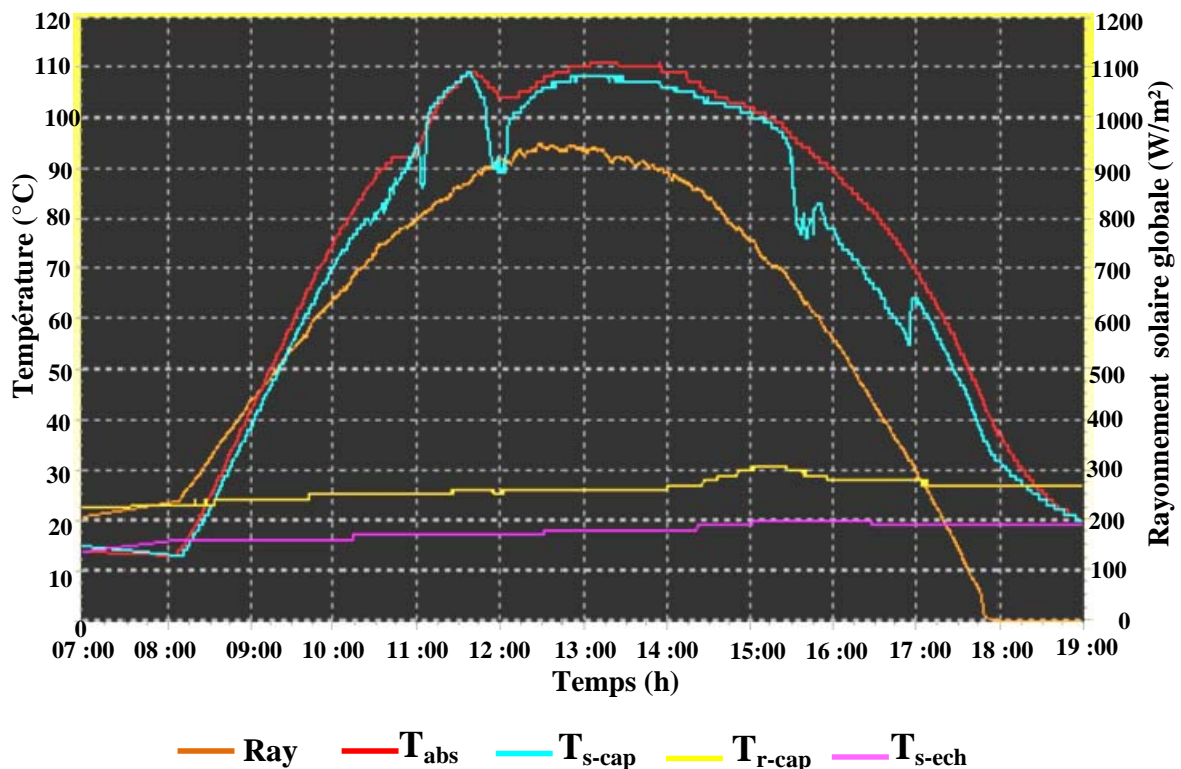


Fig.4.11: Relevé journalier du 12/10/2011, du rayonnement global et des températures de l'absorbeur(T_{abs}), de sortie du capteur ($T_{\text{s-cap}}$), de retour au capteur ($T_{\text{r-cap}}$), et de la sortie de l'échangeur($T_{\text{s-ech}}$)

Les résultats obtenus dans la **Fig.4.11**, montrent que les températures de l'absorbeur et la sortie du capteur évoluent conjointement avec l'augmentation du rayonnement est atteignent une température de 110°C pour cette journée caractérisée par une quantité d'énergie incidente de 6.562kWh/m²/j. La circulation de la chaleur dans ce cas passe des capteurs à l'échangeur naturellement grâce à la différence de température, la température du retour au capteur est 30°C cela s'explique par l'absence du transfert thermique due a l'absence d'écoulement d'eau assuré par la pompe. 20°C c'est la température de la sortie de l'échangeur dans ce cas.

4.4. Analyse des capacités de production d'eau chaude par l'installation

L'objectif de cette partie de notre travail est d'étudier, pour différents niveau de températures les capacités de production en eau chaude de l'installation.

Le **Tableau.4.1** présente le nombre des tests effectués ainsi que leur répartition par mois. Au totale 51 tests ont été effectués. On note que les températures fixées pour effectués ces tests sont : 40, 45, 50, 55 et 60 °C.

Mois	Mars	Avril	Mai	Juillet	Septembre	Octobre
Nombres de tests (jours)	5	15	10	3	7	11

Tableau.4.1 Répartition des tests effectués par mois durant l'année 2011

4.4.1. Les quantités maximales d'eau chaude produites

Les tests ont été effectués pour les cinq niveaux de températures fixés de : T_{s-ech} , 40°C, 45°C, 50°C, 55°C et 60°C. A la fin de chaque test on enregistre la quantité de l'eau chaude produite par jour. Les quantités maximales d'eau chaude produites par jour (**Tab.4.2**) et l'énergie solaire incidente pour chaque test indiquent la relation étroite entre le niveau de température et la quantité d'eau produite (**Fig.4.12**).

Températures fixées (T_{s-ech}) (°C)	40	45	50	55	60
Quantités maximales d'eau chaude produites (l/j)	456	337	261	156	188
Energie solaire incidente (kWh/m ² /j)	7.73	7.73	7.964	6.913	7.367

Tableau 4.2 Répartition de la quantité d'eau chaude produite par niveau de température

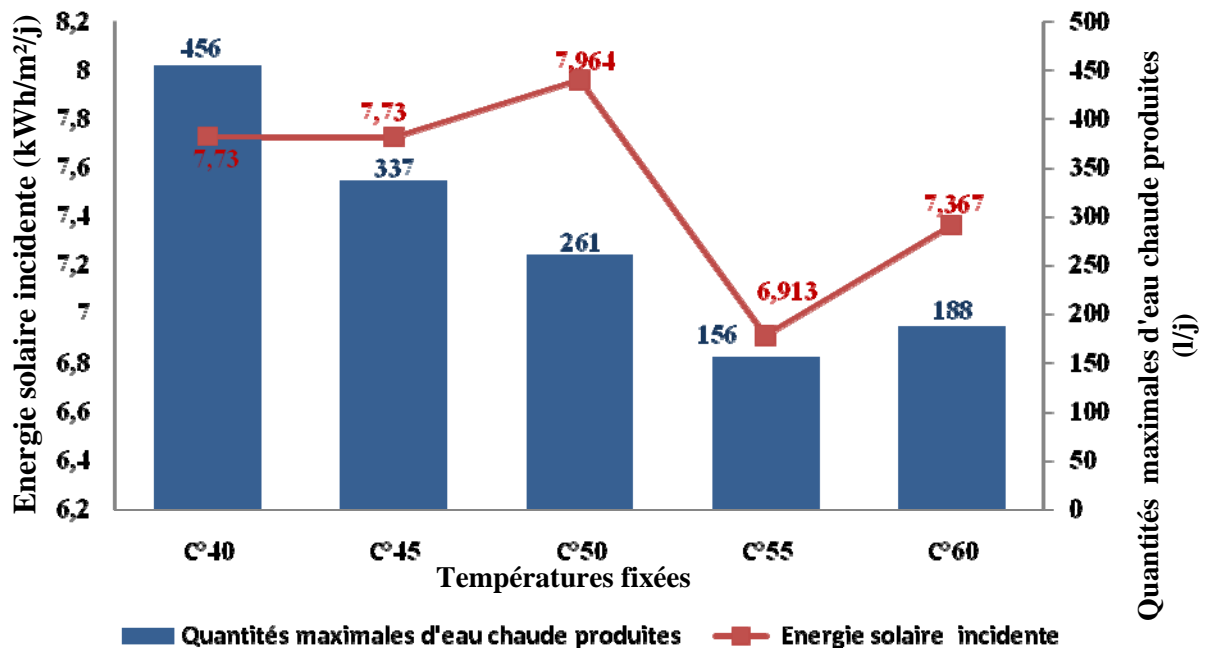


Fig.4.12 Les quantités maximales d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour les différentes températures fixées

D'après ces tests on constate que la quantité d'eau chaude produite diminue lorsque nous augmentons le seuil de la température fixée à la sortie de l'échangeur. On remarque par exemple le cas où on a fixés la température à 50°C, malgré l'énergie solaire incidente importante de 7.964 kWh/m²/j, la quantité produite est de 261 litres, donc on peut dire que la température fixée est déterminante pour la quantité d'eau chaude à produire. Comparé au seuil de 45°C, la quantité d'eau est plus importante bien l'énergie solaire incidente soit relativement plus faible.

4.4.2. Les quantités spécifiques maximales d'eau chaude produites

Les quantités d'eau chaude produites sont proportionnelles à la surface du champ des capteurs plans solaire. Dans le cas de ces tests la surface du champ des capteurs est de 8 m². Il est important de calculer la production spécifique par m². Le **Tableau.4.3**, récapitule les quantités maximales spécifiques d'eau chaude produites par jour pour les différentes valeurs des températures fixées en fonction de la quantité d'énergie solaire incidente comme illustré également sur la **Figure 4.13**.

Températures fixées (T_{s-ech}) (°C)	40	45	50	55	60
Quantité spécifiques d'eau chaude produite (l/m ²)	57	42.1	32.6	19.5	23.5
Energie solaire incidente (kWh/m ² /j)	7.73	7.73	7.964	6.913	7.367

Tableau.4.3 Répartition de la quantité spécifique d'eau chaude produite par le système.

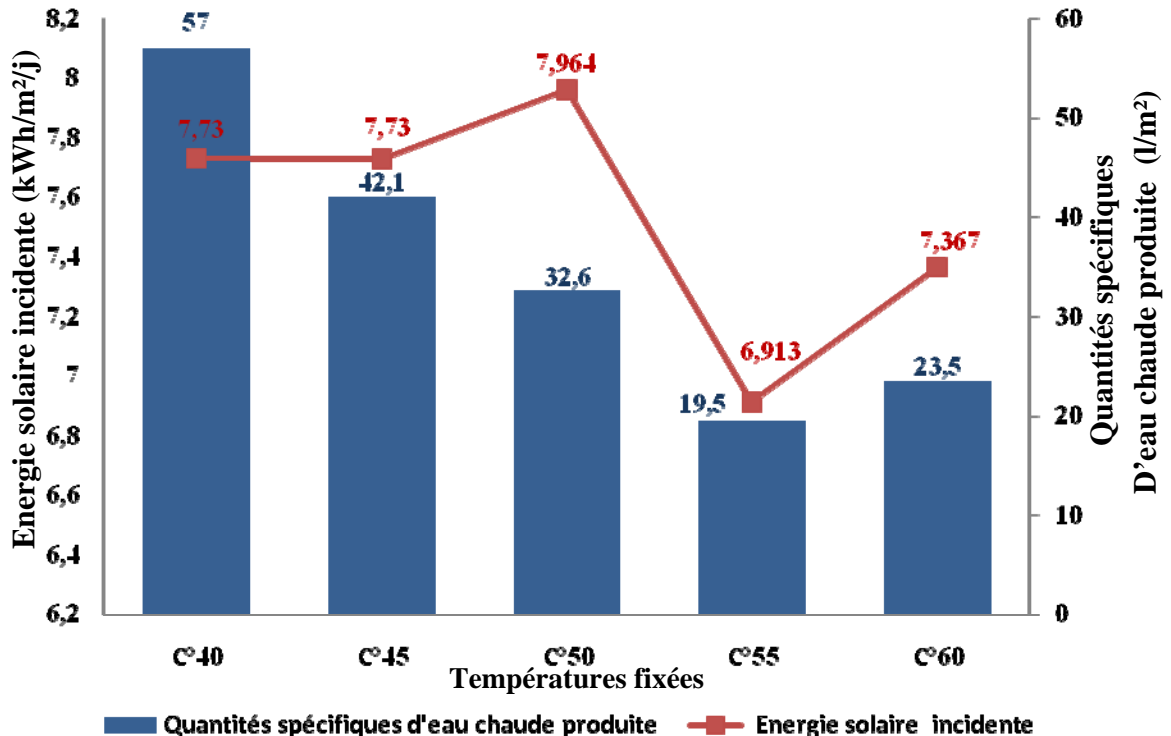


Fig.4.13 Les quantités spécifiques d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour les différentes températures fixées

4.4.3. Les quantités d'eau chaudes produites par mois

Afin d'illustrer les variations de la production de l'eau chaude en fonction des périodes de l'année, nous présentons quelques valeurs relevées pour les mois de Mars, Avril, Mai, Juillet, Septembre et Octobre. Les résultats obtenus, présentent les quantités maximales d'eau chaude produites pour les différentes valeurs de seuil de températures et de rayonnement sur site. Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible de relever sur une longue période les paramètres du système. Nous constatons que pour la période mai- octobre (**Tab. 4.4**) le mois d'Avril pour les seuils de température de 40°C à 60°C est représentatif. Nous observons (**Fig.4.14**) d'après ces résultats qu'à chaque fois qu'on augmente le seuil de la température la quantité d'eau chaude produite diminue. L'influence du rayonnement solaire est significative dans ce cas particulièrement pour le seuil de 55°C, nous observons une baisse de la quantité d'eau chaude (68 litres/jour).

Mois	Mars			Avril					Mai		Juil	Sep	Oct
Température fixées (°C)	40	45	50	40	45	50	55	60	55	60	55	55	55
Quantité maximale d'eau chaude produite (l/j)	320	107	6	456	337	261	68	188	114	113	156	148	50
Energie solaire incidente (kWh/m ² /j)	6,95	5,7	2,401	7,73	7,73	7,964	4,577	7,367	7,791	6,769	6,913	7,243	5.021

Tableau.4.4 Répartirions par mois des quantités d'eau chaudes produite par le système.

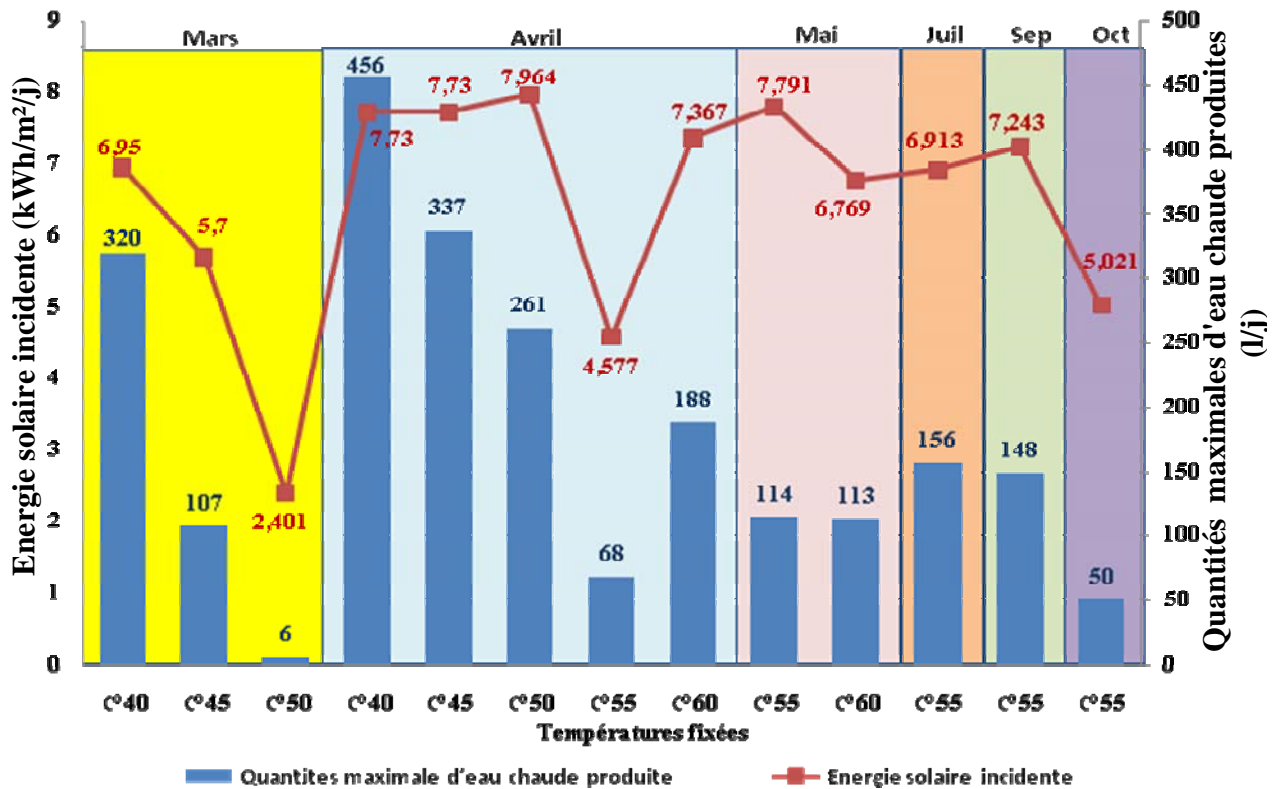


Fig.4.14 Les quantités maximales d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour les différentes températures fixées par mois

4.4.4. Influence des paramètres météorologique sur la quantité d'eau chaude produite pour un seuil de température constant, T=55°C

Dans cette partie des tests effectués, nous avons observé l'influence des paramètres météorologique, particulièrement la température ambiante, sur la quantité d'eau chaude produite. Pour ces mesures nous avons fixé le seuil de la température de l'eau à la sortie de l'échangeur à 55°C pour tous les tests. La température ambiante (**Tab.4.5**) a été relevée pour les mois de mai, juillet, septembre et octobre ; d'autres paramètres comme l'humidité moyenne ainsi que la vitesse du vent ont été également relevées pour cette période. Les résultats obtenus (**Fig.4.15**) montrent clairement l'influence de la température ambiante (16,7 °C), pour le mois de mai bien que le rayonnement soit suffisamment élevé (7,791 kWh/m²/j), la quantité d'eau chaude produite (114 l/j) est moindre que celle du mois de juillet (156 l/j) pour un rayonnement relativement faible (6,913 kWh/m²/j) mais à une température ambiante suffisamment élevée (26,2 °C).

Paramètres	Journée/Mois			
	09-05-11	23/07/11	15/09/11	03/10/11
Température ambiante moyenne (°C)	16.7	26.8	26.2	16.2
Humidité moyenne (%)	62.2	56.3	43.4	67.5
Vitesse du vent (km/h)	0	0	0	0

Tableau.4.5 Paramètres météorologique pour les mois de mai, juillet, septembre et octobre.

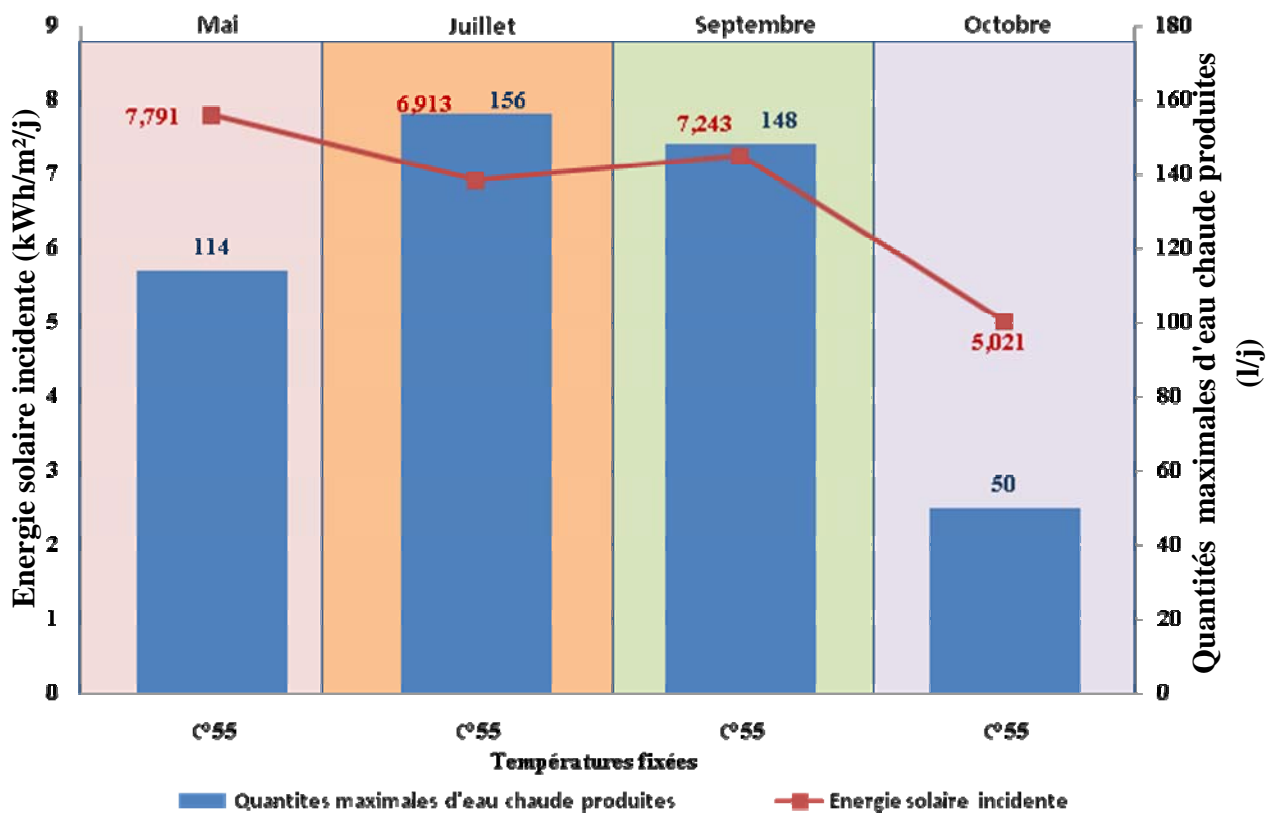


Fig.4.15 Les quantités maximales d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire incidente pour une température de 55°C

4.4.5. Evaluation des quantités moyennes d'eau chaude produites au cours des tests

Dans les exposés précédents, des différents résultats, nous avons constaté que pour des considérations de conditions climatiques très aléatoires, il est difficile de mener des tests pour différents seuils de la température de l'eau chaude produite.

Afin d'évaluer ces tests et d'obtenir un indicateur relativement fiable, nous avons procédé au calcul des valeurs moyennes pour chaque seuil de température, aussi bien du rayonnement incident sur le site que de la quantité d'eau chaude produite par le système. Les résultats obtenus (**Fig. 4.16**) sont révélateurs de la fonction déterminante du seuil de la température à fixer pour la sortie de l'échangeur. Plus le seuil de température est élevé, moins est la quantité d'eau chaude à produire. Sur ce même graphe nous observons que la valeur moyenne du rayonnement solaire est relativement constante.

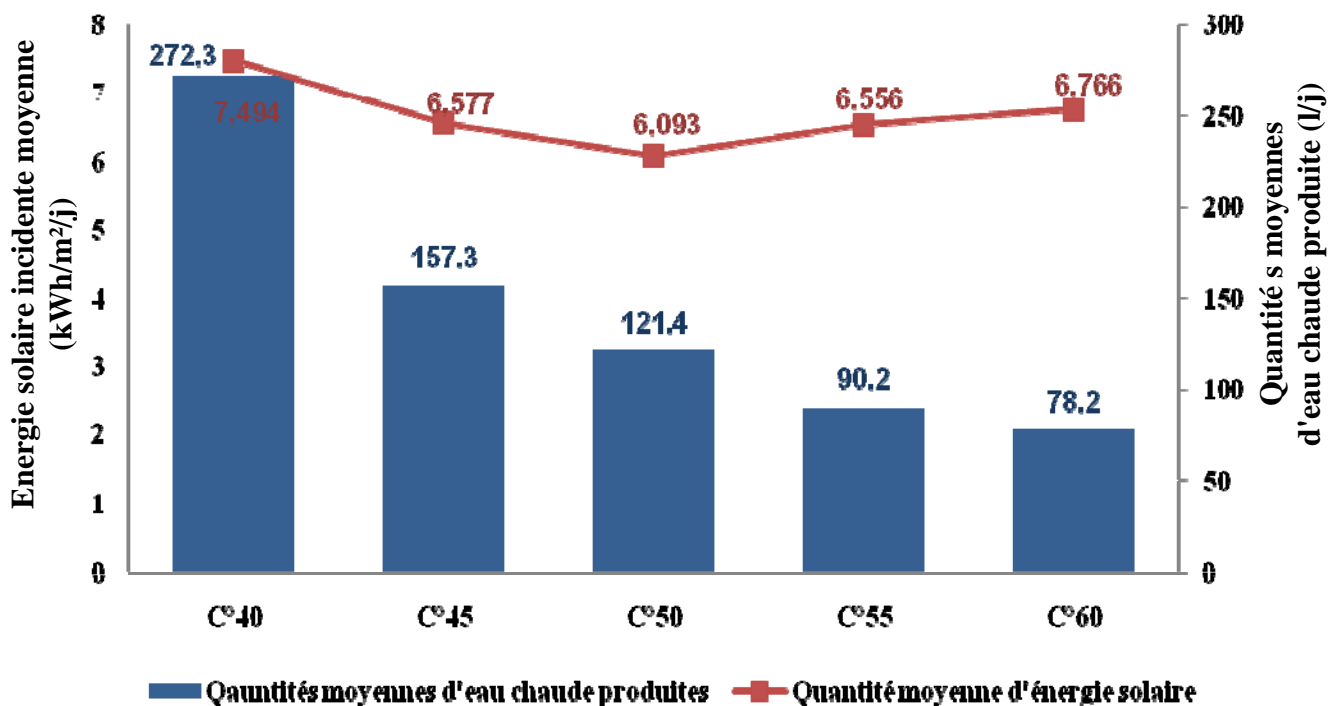


Fig.4.16 Les quantités moyennes d'eau chaude produite en fonction d'énergie solaire moyenne incidente pendant la période des tests

Les résultats obtenus sont prometteurs pour une utilisation des capteurs plans solaires dans la production de l'eau chaude pour les besoins de l'industrie, particulièrement pour des températures inférieures à 60°C.

4.5. Les performances du CES développé par la SEES

A partir des travaux portant sur les performances du chauffe-eau solaire (CES pour la suite) développé par le CDER et actuellement industrialisé par l'UDES [4.1], une étude aborde l'aspect économique lié à l'utilisation de ce produit pour la satisfaction des besoins standards en eau chaude sanitaire d'une famille type en différents points du territoire national.

L'étude a porté sur la détermination des différents coûts d'exploitation et de l'évolution du taux de compétitivité du CES en fonction du coût du gaz et de l'éventuel soutien au prix de vente du CES.

Après la détermination du seuil de compétitivité, on étudiera l'évolution de ce dernier en fonction de l'amélioration des performances du système de captation.

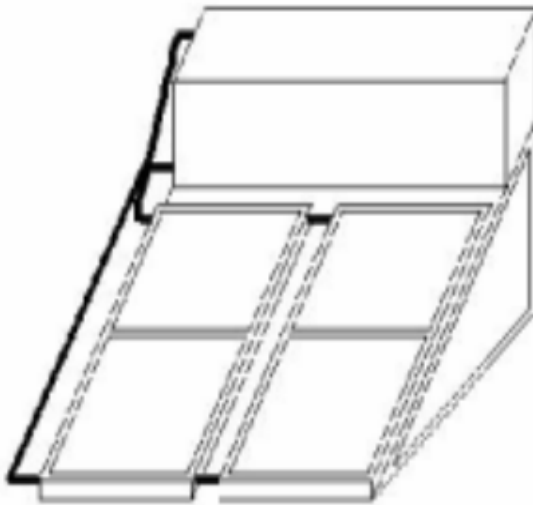


Fig. 1 Vue schématique du CES SEES

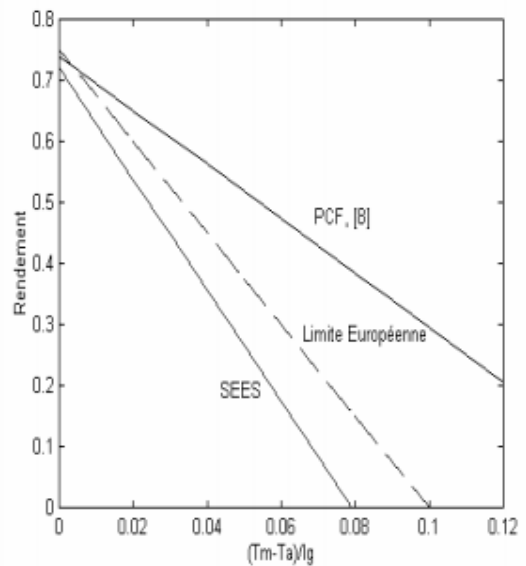


Fig. 2: Rendement comparé du capteur SEES

4.6. Performances journalières d'un chauffe eau solaire

Les performances journalières d'un chauffe eau solaire dépendent des paramètres thermophysiques du fluide caloporteur (température entrée et de sortie du fluide [4.2], température de stockage,.) et des constituants du système (coefficient global de perte thermique du capteur,.) et des paramètres météorologiques et radiométriques (rayonnement solaire, température ambiante,.).

Lors de la détermination des performances d'un chauffe eau solaire installé sur un site donné, les paramètres utilisés pour le calcul sont généralement moyennés. Ceci étant vrai pour la détermination des performances à long terme, mais ne reflète pas le comportement réel des performances à l'échelle de la journée, à cause des fluctuations des paramètres météorologiques.

4.7. Optimisation d'un système solaire de production d'eau chaude

Parmi toutes les utilisations possibles de l'énergie solaire [4.3], le chauffage de l'eau à usage domestique est l'une des plus économiques et des plus simples. C'est aussi l'une des plus répandues.

La production d'eau chaude sanitaire grâce à l'énergie solaire est maintenant bien au point. L'installation est en général dimensionnée pour fournir 40 à 60 % des besoins. Les vraies économies commencent avec un dimensionnement optimal de l'installation solaire. Il n'est pas judicieux de sur-dimensionner l'équipement pour viser une forte contribution solaire à la mauvaise saison. Cela pourrait avoir pour effet néfaste; en été, que le chauffe-eau solaire produise plus que les besoins des usagers.

Dans le chapitre suivant nous procéderons à une analyse de la consommation d'énergie dans un segment de l'industrie agroalimentaire, celui de la transformation des produits laitiers, afin de cerner les besoins de ce segment en électricité et en gaz naturel. L'objectif visé dans cette étude est d'évaluer les possibilités d'une substitution partielle ou graduelle des énergies fossiles, particulièrement le gaz naturel, par l'utilisation d'énergie solaire thermique dans l'industrie algérienne.

Chapitre 5

Potentiel de substitution du gaz naturel par les systèmes thermique solaire dans l'industrie de transformation du lait

5 Potentiel de substitution du gaz naturel par les systèmes thermique solaire dans l'industrie de transformation du lait

5.1 La consommation du gaz naturel dans l'industrie et le BTP

Dans le chapitre 2 pp8, nous avons présenté une analyse de la consommation, par vecteur énergétique, du secteur de l'industrie et du BTP. Ce secteur a consommé 8.019 MTEP en 2010 ce qui représente 25% de la consommation finale. Le gaz naturel représente 40% de la consommation énergétique de ce secteur. Pour une analyse approfondie de ce vecteur d'énergie nous avons exploité les audits énergétiques réalisés à l'université de Batna. Dans cette analyse la laiterie Aurès de Batna a été retenue comme cas d'étude.

5.2 Audits énergétiques

Durant la période de Janvier 1999 à Décembre 2006[5.1], l'Université de Batna en collaboration avec la Sonelgaz, l'Université Technique 'TU' Berlin et la GTZ, a lancé et géré le premier programme de formation de Conseillers en Maîtrise d'Energie et Protection de l'Environnement. Cette formation est axée sur le déroulement d'un audit énergétique en milieu industriel. Au total 75 audit énergétique réalisés dans plusieurs secteurs de l'industrie et des services. La répartition de ces audits réalisés montre que les secteurs de l'agroalimentaire avec 16 audits réalisés, présente un intérêt particulier, le reste partagé entre les différents secteurs et services (Fig.5.1).

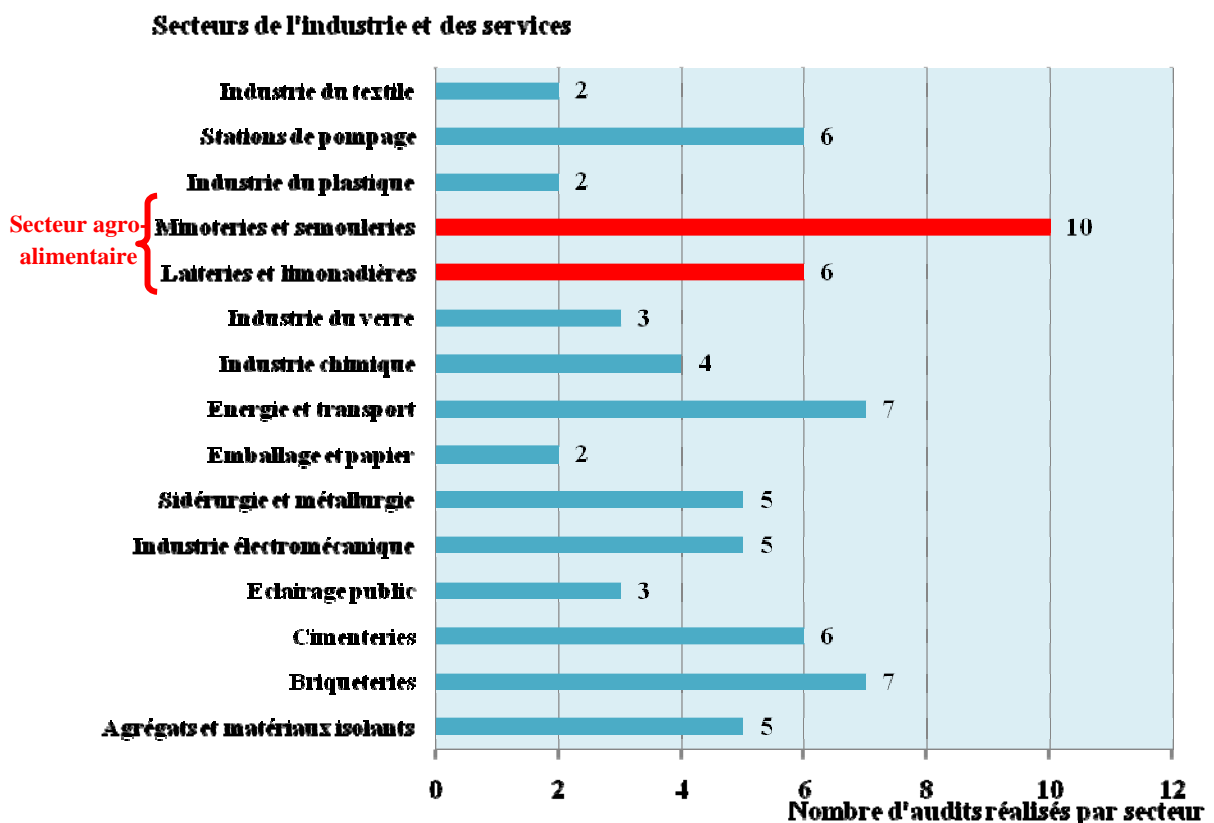


Fig .5.1 Audits énergétiques réalisés par secteur d'activité sur la période 1999-2006

Les informations contenues dans les rapports de ces audits énergétiques constituent une banque de données appréciable sur le potentiel d'économie d'énergie. Les audits énergétiques réalisés dans le secteur de l'industrie agro-alimentaire sont partagés entre les Minoteries/Semouleries avec dix audits, quatre audits dans les laiteries et deux dans les limonadières et l'eau minérale. En exploitant ces audits réalisés au niveau du secteur de l'industrie agro-alimentaire, pour analyser la consommation des différents produits énergétiques et d'établir un état des lieux de la consommation d'énergie dans le secteur agro-alimentaire en Algérie. On note que dans certains rapports d'audits la consommation soit de l'électricité ou du gaz naturel n'est pas identifiée.

5.3. Analyse de la consommation d'énergie électrique et gazière au niveau de la laiterie d'Aurès Batna

Dans la zone industrielle de K'CHIDA ville de BATNA se situe la laiterie des Aurès ; sa superficie est de 39439 m² dont 7664 m² couverte.

La taille de la laiterie permet une production journalière d'environ 200 000 litres de produits laitiers. L'unité assure régulièrement la fabrication des produits suivants (Tab.5.1):

Produits finis	Capacité réelle (litres/jour)
LPC	170 000
▪ Bouteilles	50 000
▪ Sachets	120 000
LFC (Leben)	20 000
Pâte fraîche	1500
Smen	1000 pots (1kg) /jour

Tableau.5.1 Capacités de production de la laiterie Aurès Batna

5.3.1. Description des étapes de fabrication du lait pasteurisé conditionné (Fig.5.2)

❖ La reconstitution [Mélange (Eau + Poudre)]

La reconstitution consiste à mélanger de l'eau, et de la poudre de lait à raison de 96g pour un litre d'eau afin d'obtenir un produit dont la teneur en matière sèche est voisine de celle du lait liquide initial

Cette opération consiste à mélanger les poudres de lait écrémé et entier avec de l'eau traité portée à une température de (45°C à 50°C). Cette eau soutirée par une pompe vers le mixeur où la poudre est déversée en un circuit fermé. L'eau véhicule avec elle la poudre, cette opération se poursuit jusqu'à la dissolution complète de toute la poudre.

❖ Chauffage

La cuve de préparation pleine de lait reconstitué est acheminée par une pompe centrifuge vers le réchauffeur à température de 65 °C.

❖ Le dégazage

Le principe repose sur la pulvérisation en fines gouttelettes dans une enceinte sous vide, les gaz s'en échappent et sont aspirés par une pompe à vide.

Le dégazage se fait en général à 75°C et a pour but de :

- Retirer partiellement au moins certaines odeurs caractéristiques des laits reconstitués.
- Eliminer des substances volatiles telles que les composés sulfhydriques et cétoniques qui risquent d'affecter le goût et l'odeur du lait reconstitué.
- Se débarrasser de l'oxygène susceptible d'oxyder la matière grasse.

❖ La recombinaison

La recombinaison consiste à ajouter à l'eau et à la poudre de lait la M.G.L.A., de façon à obtenir un lait entier ou partiellement écrémé présentant à la fois les rapports eau/matière sèche totale et matière grasse/matière sèche dégraissé conformes au produit désiré.

❖ L'homogénéisation

C'est un traitement physique par pression, il fait éclater les globules gras des matières grasses en fines particules homogènes. Cela apporte une bonne protection contre l'oxydation et évite que la matière grasse remonte à la surface ce qui peut gêner l'écoulement du lait pendant le traitement thermique.

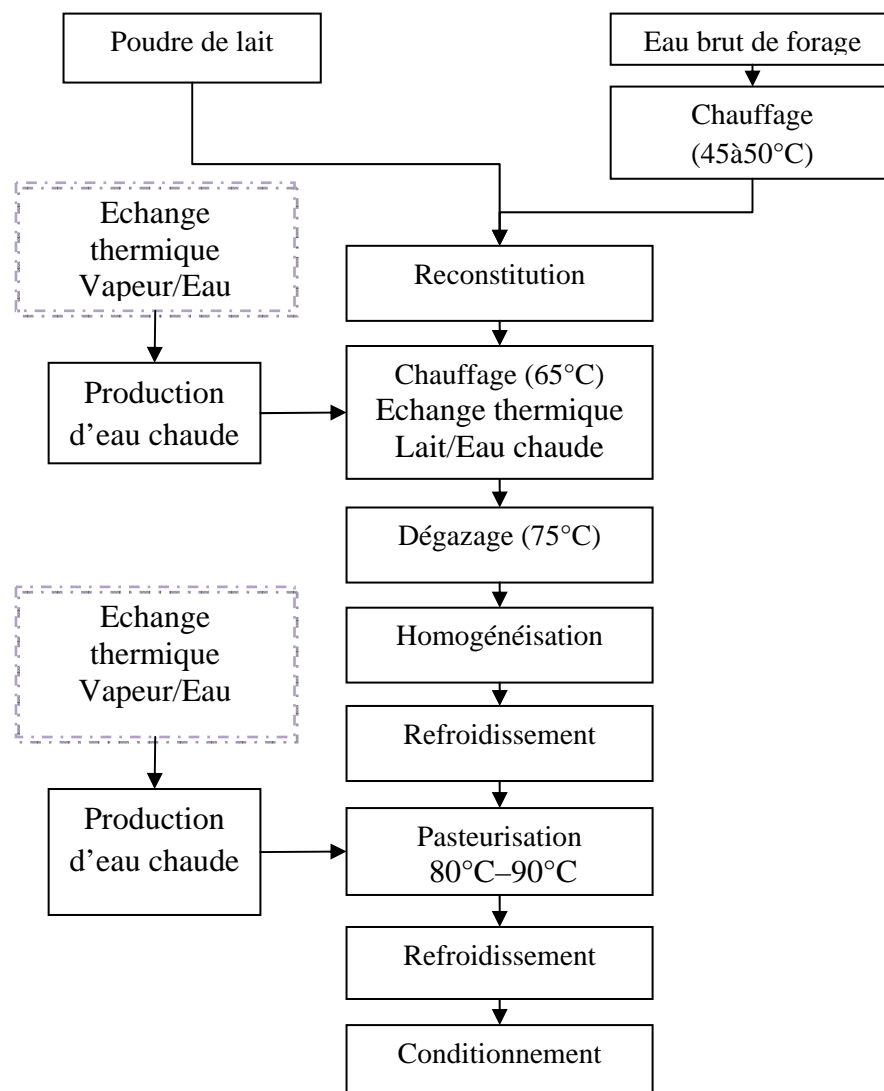


Fig. 5.2 Diagramme de fabrication du lait pasteurisé conditionné

❖ Le refroidissement

Le lait obtenu doit être refroidi à une température de 4°C puis stocké pour obtenir un lait conforme aux normes

❖ La pasteurisation

La pasteurisation est une opération qui a pour but, la destruction de la plupart des micro-organismes. Elle se fait à 80°C–90°C pendant 15 à 20 secondes, après chauffage, le lait est refroidi à 4C, puis stocké dans des tanks de stockage.

❖ Le conditionnement

Le conditionnement se fait dans des sachets en polyéthylène de un (01) litre, la face interne de ces sachets est stérilisée par rayonnement ultra violet afin d'éviter toute contamination.

5.3.2 La production annuelle du lait à la laiterie de Batna

La production au niveau de la laiterie d'Aurès (**Fig.5.3**) est instable elle a connue une baisse respectivement de 10.6%, 10.9% et 22.6% par rapport a 1999.

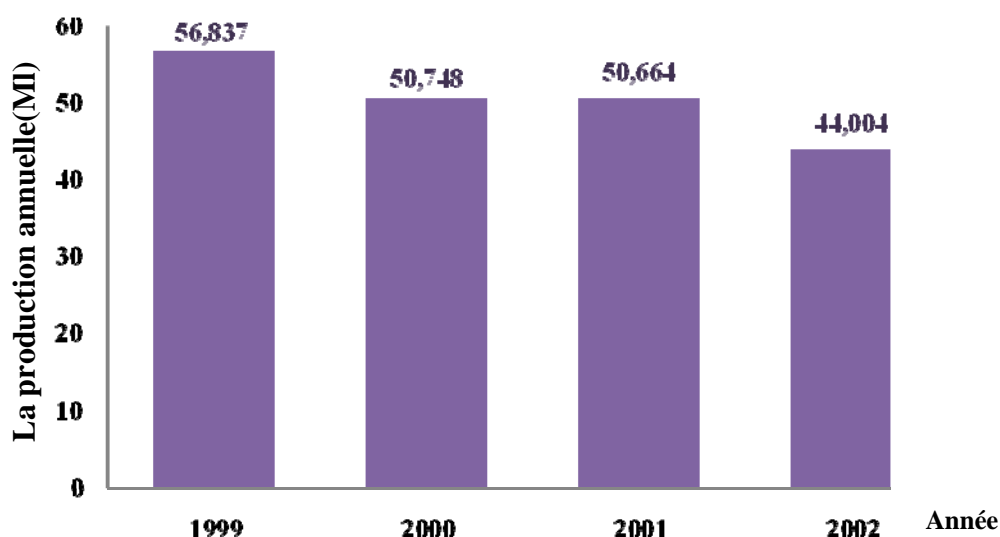


Fig.5.3 La production annuelle en million de litres à la laiterie Aurès de Batna

5.3.3 La Consommation d'électricité et du gaz naturel

La consommation du gaz naturel (**Fig.5.4**) durant la période 1999-2002 est pratiquement presque stable. Alors que la consommation d'électricité a connu une augmentation de 20% en 2000, avant de voir une baisse respectivement de 8.2% et 13.7% en 2001 et 2002.

5.3.4 La consommation spécifique d'électricité et du gaz naturel et son totale

La consommation spécifique (**Fig.5.5**) d'électricité est pratiquement stable, alors que la consommation spécifique du gaz naturel est perturbée. On constate d'après les histogrammes de la consommation spécifique d'électricité et du gaz naturel, que la part du gaz naturel est importante par rapport à celle d'électricité, cela influe sur les histogrammes de la

consommation spécifique totale (électricité et gaz naturel), cette dernière suit la consommation spécifique du gaz naturel.

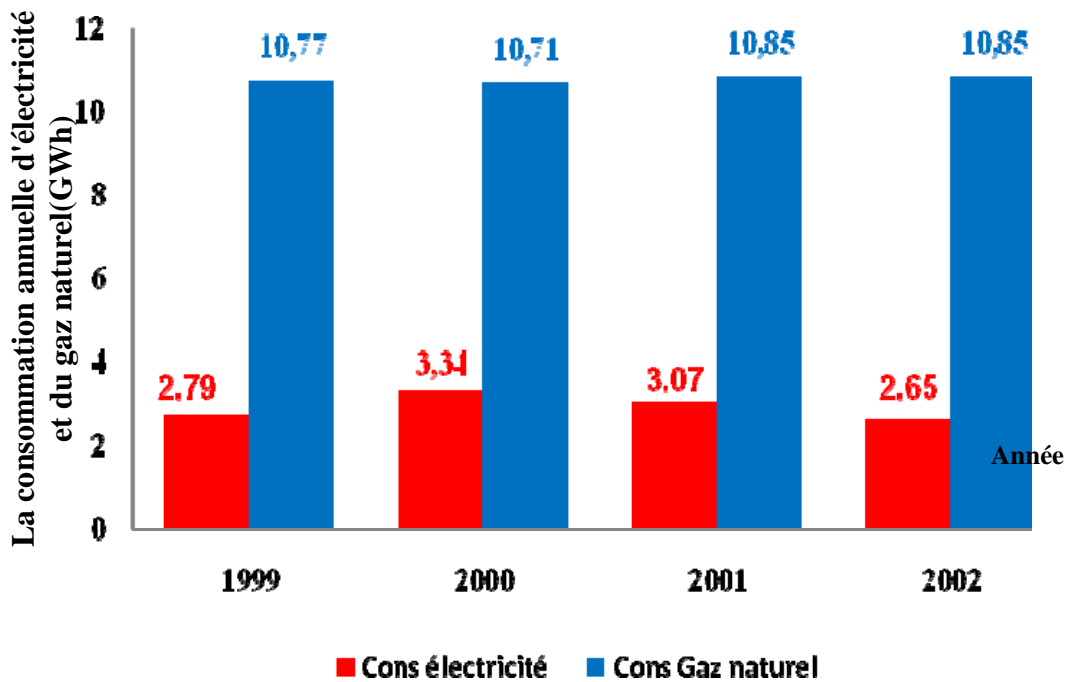


Fig.5.4 La consommation d'électricité et du gaz naturel durant la période 1999-2002

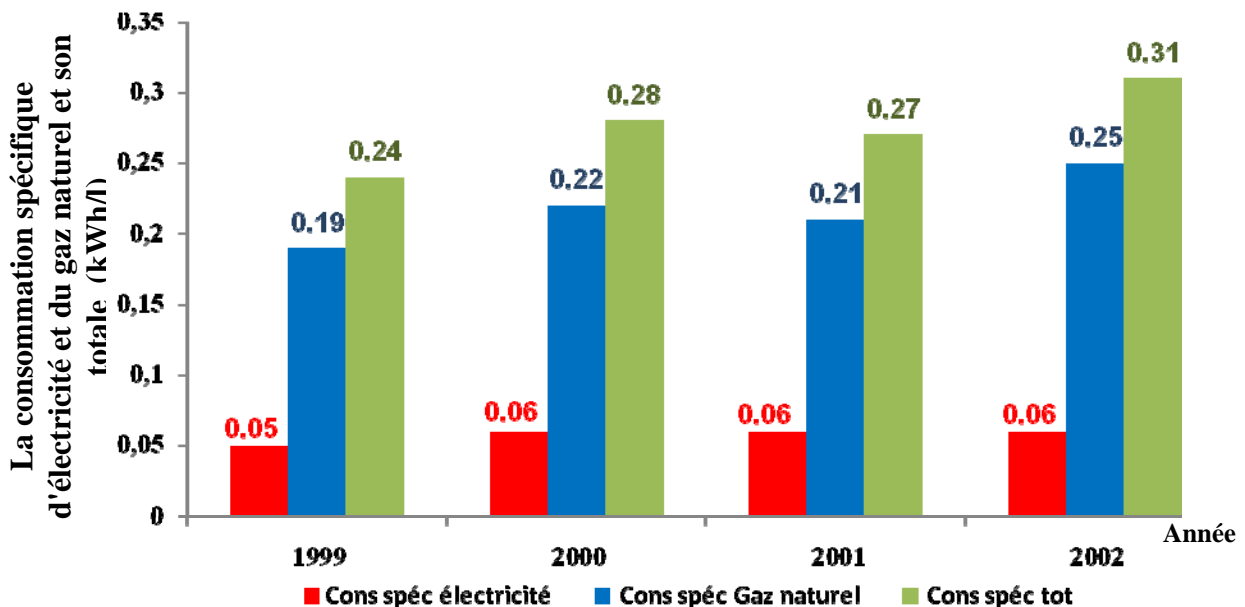


Fig.5.5 La consommation spécifique en kWh/litre, d'électricité et du gaz naturel ainsi que la somme des deux vecteurs pour la période 1999-2002

La consommation en GWh du gaz naturel (**Fig.5.4**) représente en moyenne près de 70% de la consommation total. La consommation spécifique en kWh/Litre est également aussi élevée.

5.4 Les coûts d'électricité et du gaz naturel

5.4.1 La facturation de la fourniture de l'électricité

La (**Fig.5.6**) montre que les coûts d'électricité et du gaz naturel est proportionnellement inverse a la consommation d'électricité et du gaz naturel cela s'explique par les prix unitaire des deux produits énergétiques. On peut dire que les coûts du gaz naturel est pratiquement presque stable durant la période de 1999-2002, alors que les coûts d'électricité à connu une augmentation en 2001 avant de voir une baisse de 14.9% en 2002.

$$F=a+[c \times P_{md} + d \times P_{ma}] + [\sum e_h \times E_h + g(W-rE)]$$

F: Montant de la facture en (DA)

a: Redevance fixe en (DA); elle couvre les frais de gestion technique et commerciale

P_{md} : Puissance mise à disposition du client (kW)

P_{ma} : Puissance maximale absorbée (kW) au cours de la période de facturation

c ,d: Prix de facturation (DA/kW/mois) de la P_{md} et de de la P_{ma}

E_h : Energie consommée au cours de la période de facturation dans le poste horaire h

e_h : Prix de l'énergie (cDA/kWh) par poste horaire h

W : Energie réactive (kVARh) consommée au cours de la période de facturation

g: Prix de l'énergie (cDA/kVARh)

r: Valeur du rapport

E: Energie (kWh) consommée en cours de la période de facturation

❖ Eléments de facturation de l'énergie électrique

La laiterie d'Aurès est un abonné moyenne tension appartient au centre de Batna sous le contrat N° 1360 avec les descriptions suivantes :

- Tarif 41
- PMD = 1500 kW

Redevances fixes 24359.60 DA /mois

- Prix puissance mise à disposition 16.28 DA/KW /mois
- Prix puissance maximale absorbée 73.16 DA/KW/mois
- Prix énergie active : nuit : 0.645 DA/KWh
pointe : 5.4930 DA/KWh
pleine : 1.22 DA/KWh
- Prix d'énergie réactive : Malus : 0.2868 DA/ KVARh
Bonus: 0.0573 DA/KVARH

5.4.2 La facturation de la fourniture du gaz

Les fournitures de gaz naturel sont facturées selon la formule :

$$F=a + [c \times D_{md} + d \times D_{ma}] + e \times Q$$

F: Montant mensuel de la facture en (DA)

a : Redevance fixe en (DA) ; elle couvre les frais de gestion technique et commerciale

D_{md} : Débit mis à disposition (thermie/heure)

D_{ma} : Débit maximum absorbé (thermie/ heure) au cours de la période de facturation

c,d : Prix unitaires de facturation (cDA/thermie/heure) des débits mis à disposition et maximum absorbé

e : Prix unitaire (cDA/thermie) de l'énergie

Q: Quantité de gaz (thermies) consommée pendant la période de facturation.

$e \times Q$: Terme qui facture l'énergie

❖ **Éléments de la facturation l'énergie gazière**

L'unité est alimentée à partir du réseau moyen pression par un poste de détente de 1600 m³/h à 1 bar. Les conditions contractuelles :

- Contrat N° : 9048
- Tarif : 21
- DMD : 20000 TH/h
- Pression : 01 bar
- PCS = 9.45 TH/h
- Redevance fixe 5360.53 DA/MOIS
- Prix débit mis à disposition 8.444 DA/TH/MOIS
- Prix énergie consommée 0,13976 DA/TH

Le gaz est utilisé pour alimenter deux chaudières qui servent à générer de la vapeur.

5.4.3. Les coûts d'électricité et du gaz naturel

En raison de la politique nationale de soutiens aux prix des produits de première nécessité, les montants des redevances pour la consommation du gaz naturel (**Fig.5.6**) sont plus faibles que

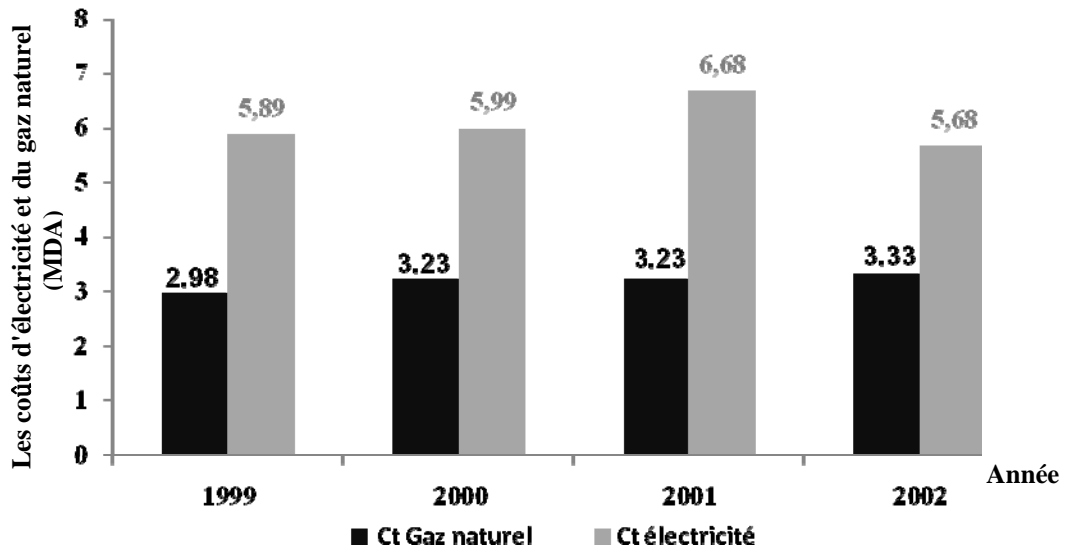


Fig.5.6 Les coûts d'électricité et du gaz naturel

Celles des redevances des consommations d'électricité, qui en raison des coûts élevés de transformation du gaz naturel en électricité, sont plus onéreuses.

5.4.4. Les coûts spécifiques d'électricité et du gaz naturel

La même tendance est à observer dans la répartition par année (Fig.5.7) des coûts spécifiques du gaz naturel et de d'électricité.

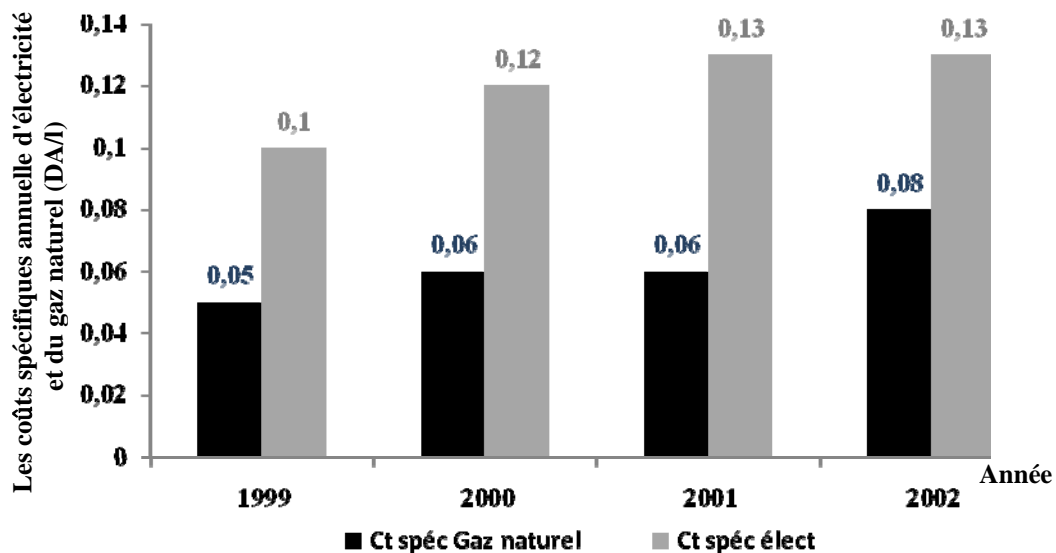


Fig.5.7 Les coûts spécifiques d'électricité et du gaz naturel

5.5. Analyse comparative au niveau des quatre laiteries

5.5.1 La production annuelle moyenne des quatre laiteries

La comparaison des paramètres économiques particulièrement ceux relatifs à la consommation de l'énergie de différentes entreprises d'un même secteur n'est pas chose aisée en raison des différents modes de fonctionnement et des technologies utilisées. Les valeurs moyennes calculées sur une période de quatre années (**Tab. 5.2**) constituent une base fiable pour le calcul du coût spécifique de chaque laiterie.

	GIPLAIT - Tlemcen	COLAITAL- Alger	EDOUGH- Annaba	AURES- BATNA
La production annuelle moyenne(Ml)	21.879404	126.7587245	73.627368	50.563250

Tableau.5.2 La production annuelle moyenne des quatre laitères

5.5.2 La consommation annuelle moyenne dans les quatre laiteries

Les consommations aussi bien de l'électricité que du gaz naturel (**Fig5.8**) pour les quatre laiteries ne sont pas en parfaite concordance avec les capacités de production du tableau 5.2. Ainsi nous constatons que la consommation du gaz naturel dans la laiterie de Batna est aussi importante que celle d'Alger, alors que la production de cette dernière entreprise est deux fois et demie plus importante que celle de Batna. Autres paramètres influents sur la différence entre la consommation du gaz et de l'électricité sont généralement la diversité des produits fabriqués et le degré d'automatisation des chaînes de productions.

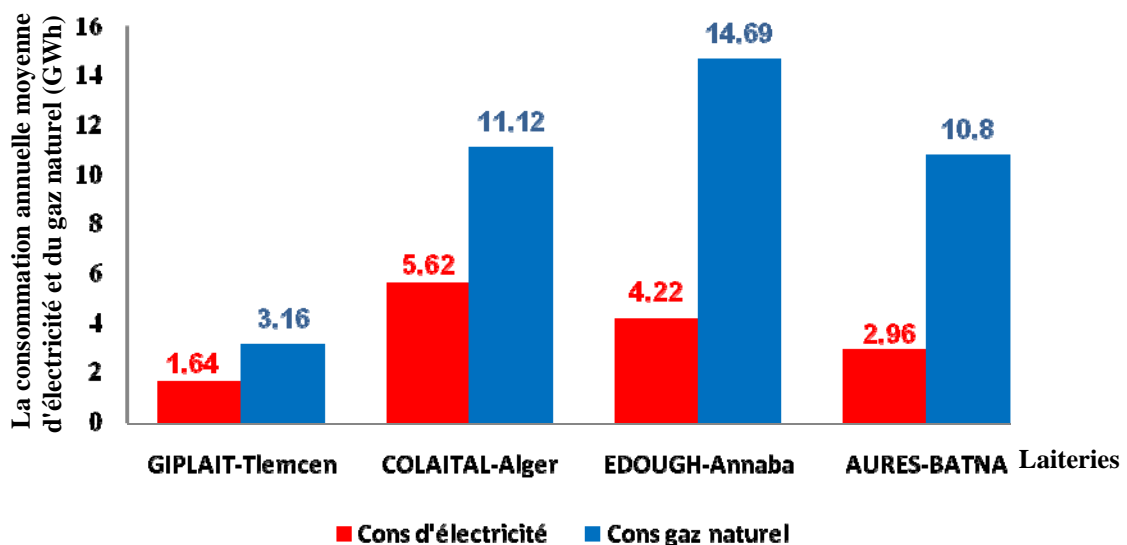


Fig.5.8 La consommation annuelle moyenne d'électricité dans les laiteries

5.5.3 Les coûts annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries

Les coûts annuels moyens (Fig. 5.9) diffèrent d'une entreprise à l'autre en raison des causes évoquées plus haut, cependant nous remarquons que le prix de l'électricité reste élevé pour toutes les entreprises.

Pour certaines entreprises il n'est facile d'accéder à l'information, particulièrement financière.

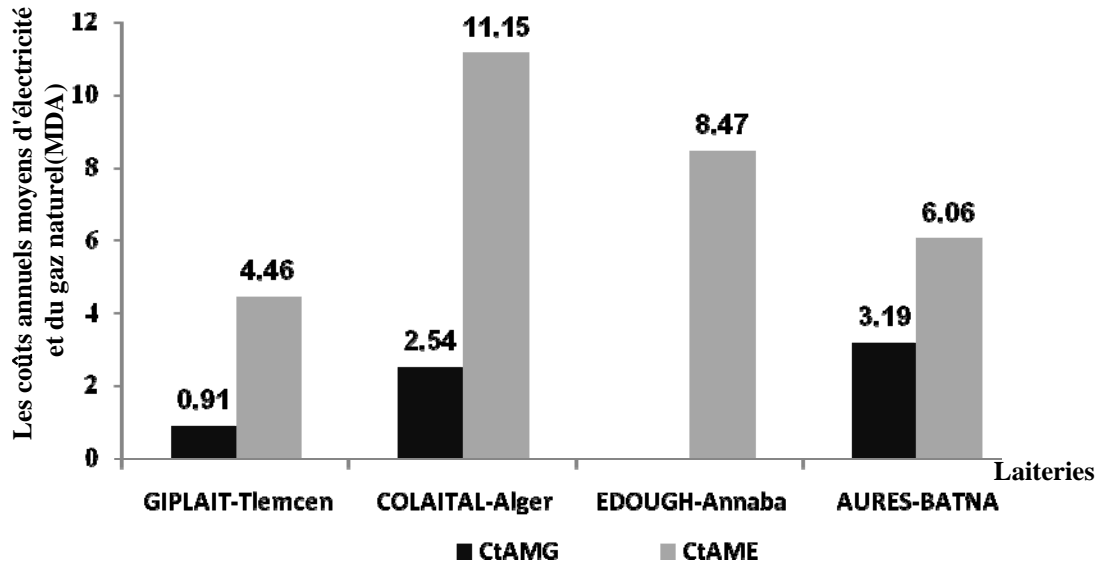


Fig.5.9 Les coûts annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries

5.5.4 Les coûts spécifiques annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries

Les coûts spécifiques de la consommation d'énergie, en DA/L, indiquent particulièrement pour la laiterie de Tlemcen que pour une production relativement faible, les coûts de production et spécialement ceux de l'énergie sont élevés. La laiterie de Batna présente une gestion relativement équilibrée aussi bien au niveau de la consommation que des coûts spécifique pour une capacité de production moyenne par rapport aux quatre laiteries(Fig.5.10).

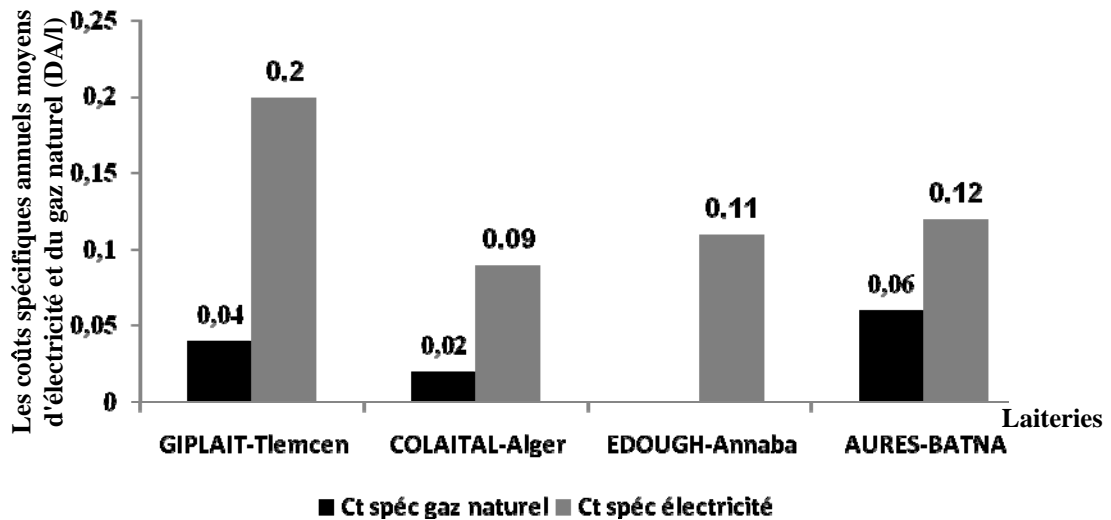


Fig.5.10 Les coûts spécifiques annuels moyens d'électricité et du gaz naturel des laiteries

5.6 Résultats de l'analyse des audits énergétiques

En conclusion de l'analyse sucent des audits, limitée à la consommation du gaz naturel et à l'électricité dans les quatre laiteries, nous constatons que :

- 1/ La consommation du gaz naturel traduite en GWh est très élevée par rapport à celle de l'électricité et ce dans les quatre laiteries.
- 2/ Les coûts spécifiques exprimés en DA/L, sont plus élevés pour l'électricité que pour le gaz naturel. Cependant le prix du gaz naturel relativement bas n'est point un argument pour une pratique de consommation non rationnelle.
- 3/ Dans le cycle de production ou de transformation du lait, les niveaux de températures utilisés sont pour certaines opération (chauffage, nettoyage, séchage...) relativement bas (45 à 65°C). Pour ces niveaux de températures il est possible d'utiliser les systèmes thermiques solaires comme systèmes de substitution pour la production d'eau chaude.

Chapitre 6

Conclusion

6 Conclusion

Les analyses faites dans le contexte énergétique mondial et national ont démontré que le model énergétique actuel est en transition car plusieurs ressources d'origines fossiles sont en voie d'épuisement. En ce qui concerne l'Algérie le bilan énergétique national montre une exploitation croissante des énergies fossiles, ce qui nous incite à entamer des recherches sur des énergies de substitution. Aussi de l'analyse du bilan national de consommation d'énergie il ressort que notre model de consommation repose sur le gaz naturel, considéré comme un vecteur d'énergie hautement stratégique.

Dans le cadre ce mémoire nous avons présenté l'étude d'un système thermique solaire de production d'eau chaude, cette étude a porté sur l'utilisation d'un échangeur de chaleur à plaques, souvent rencontré dans le milieu industriel notamment l'agroalimentaire.

Les tests effectués nous ont permis d'identifier les niveaux de température auxquels l'installation peut répondre en fonction de l'énergie incidente et les données météorologiques. L'analyse de ces tests nous a permis aussi d'illustrer l'influence des données météorologique sur les quantifiés d'eau chaude produites par l'installation.

En se référant aux résultats des tests de l'installation de production d'eau chaude, nous constatons que le potentiel d'énergie solaire thermique pour les seuils de température de 40 à 55 °C est important et prometteur. Pour des seuils de température de l'eau chaude, au delà de 60 °C la production journalière par m² est relativement faible.

L'étude des audits énergétiques réalisés à l'Université de Batna avec la Sonelgaz, nous ont permis d'établir un état des lieux de la consommation d'énergie dans le secteur agro alimentaire en Algérie. Nous constatons que pour les besoins de ce secteur, la consommation du gaz naturel, particulièrement pour la production d'eau chaude, est importante. Les coûts spécifiques exprimés en DA/kWh pour le gaz naturel reste bas en raison de la politique de soutien des prix des produits de première nécessité.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, nous estimons que les tests menés ont démontrés que pour des températures en dessous de 60 °C, dans plusieurs segments de l'industrie et pour des tâches comme le nettoyage, le chauffage ou le séchage de produits, il est possible d'exploiter l'énergie solaire thermique et de préserver le gaz naturel pour d'autres activités plus nobles.

7 Références bibliographiques

- [1.1] International Energy Agency, 'Key World Energy STATISTICS', 2011, www.iea.org
- [1.2] Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz, 'Programme indicatif des besoins en moyens de production d'électricité 2010-2019', 2010.
- [1.3] Werner Weiss, Franz Mauthner, IEA Solar Heating & Cooling Programme, 'Solar Heat Worldwide', May 2011.
- [2.1] Ministère de l'Énergie et des Mines, 'Bilan énergétique nationale de l'année 2010', Edition 2011. www.mem-algeria.org.
- [2.2] Document du Ministère de l'Énergie et des Mines, 'Programme des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique', Algérie, Février 2011.
- [2.3] Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz, 'Programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz 2010-2019', 2010.
- [2.4] Abdelkader. METTAI, Direction générale des activités de distribution et des technologies associées, 'SMART GRIDS OPPORTUNITES', Alger, Juin 2011.
- [3.1] 'Chaudières à vapeur à combustible', Edition du 08/02/07.
- [3.2] Jean PARISOT, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, 'Conception et calcul des chaudières : généralités et bilans'.
- [3.3] Énergie. Mines et Ressources Canada, 'Appareillage de chaufferie', 1980.
- [3.4] Prioriterre, Information et conseil Énergie Eau Consommation, 'Chauffage performant au gaz ou au fioul', 2010.
- [3.5] Expert énergie renouvelable, 'Chaudière à condensation', 2010.
- [3.6] Talal SALEM, 'Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie', thèse de Doctorat, Génie Civil, 2007.
- [3.7] Institut national de l'énergie solaire, 'Présentation des technologies solaires', Formation Décembre 2007-Janvier 2008.
- [3.8] Ministre de Ressources naturelles Canada, Analyse de projets d'énergies propres: Manuel d'ingénierie et d'études de cas RETSCREEN, 'Analyse de projets de chauffage solaire de l'eau', 2001 – 2004.
- [3.9] Conseil général des Landes, 'L'énergie solaire thermique -usages résidentiel et collectif-', 2008.

- [3.10] ‘Capteurs solaire thermique’, France.
<http://www.cogesol.be/usr/documentation/CAPTEURS%20SOLAIRE%20THERMIQUE.pdf>
- [3.11] Ababsa Dalila, ‘Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives’, thèse de magister, Université Hadj Lakhder Batna, département physique, 2009-2009.
- [3.12] Pierre MOLLIER, ‘Expérimentation de capteurs solaires thermiques peu coûteux et intégrés au bâtiment’, Rapport de stage – Master 2 Génie de l’habitat, Université Paul Sabatier – TOULOUSE III, 01/08/2011.
- [3.13] Cours de Pascal Tobaly, ‘Les échangeurs de chaleur’, 2002.
- [3.14] Chambre d'agriculture Haute-Loire, ‘Pré-refroidisseur de lait’.
- [3.15] G.U.N.T. Hamburg, ‘Echangeur de chaleur à plaques’, Mai 2009, www.gunt.de
- [3.16] Alfa Laval Technologie des plaques, ‘Optimiser l’utilisation de l’énergie thermique’.
- [3.17] Werner Weiss Franz Mauthner, ‘Solar Heat Worldwide’, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2011.
- [3.18] Syndicat des énergies renouvelables, ‘Le solaire thermique dans le monde’, Juin 2011.
- [3.19] Fatiha Bouhired, ‘Développement des Chauffe Eau Solaires en Algérie’, N°17 2010.
- [3.20] Claudia Vannoni - Riccardo Battisti and Serena Drigo, ‘Potential for Solar Heat in Industrial Processes’, Task 33/IV, Department of Mechanics and Aeronautics - University of Rome “La Sapienza”, Italy 2008.
- [3.21] IEA Solar Heating & Cooling Programme, ‘Solar Heat for Industria Applications’, 2005.
- [4.1] M. Merzouk, N. Kasbadji Merzouk, ‘Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique Analyse des Limites Technico - Economiques de l’Expérience Algérienne’, Rev. Energ. Ren. : Valorisation (1999) 225-229.
- [4.2] S.A. Hakem, N. Kasbadji-Merzouk et M. Merzouk, ‘Performances journalières d’un chauffe eau solaire’, Revue des Energies Renouvelables CICME’08 Sousse (2008) 153 – 162.
- [4.2] F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi et A. Gama, ‘Optimisation d’un système solaire de production d’eau chaude’, Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3 (2010) 465 – 476.

- [5.1] C. Hamouda, A. Benamira et A. Malek, *'La formation de conseillers en maîtrise d'énergie et protection de l'environnement à l'université de Batna: Exemple d'un audit énergétique dans le secteur des matériaux de construction'*, 2007.
- [A1.1] F. Yettou1, A. Gama, C. Hamouda et A. Malek, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°1 (2008), *'Etude et réalisation d'un banc d'essai pour un chauffe eau solaire à circulation forcée dans la région des Hauts Plateaux'*.
- [A1.2] Le manuel de référence pour les Datatakers modèles DT50 ,DT500, DT600,DT505, DT605,DT515, DT615 et le Module d'Extension , *'Manuel du DataTaker'*, version française.
- [A1.3] Christian BISSIERES, TS IRIS (Physique Appliquée), *'Acquisition d'une grandeur physique'*, Cours Thème1, <http://cbissprof.free.fr>
- [A1.4] Cours, *Génie Électrique, Traitement du signal, 'Conversion de grandeurs physiques en grandeurs électriques'*, www.gecif.net
- [A1.5] Georges BONNIER et Hélène RONSIN, *'Thermistances CTN et autres thermomètres à semi-conducteurs'* Techniques de l'Ingénieur, traité Mesures et Contrôle.
- [A1.6] SPECTRUM SENSORS & CONTROLS, INC, *'NTC Thermistors Engineering Notes'*, www.SpecSensors.com
- [A1.7] B.Boutaghriout et A.Ghouari, *'Développement d'un système automatisé pour le relevé des paramètres thermiques d'un banc de production d'eau chaude par l'énergie solaire'*, Mémoire de Master, Université de Batna, Département de Génie Industriel, 2010.
- [A1.8] Ch.Hamouda, *'TP-03 mesures des paramètres débit & pression d'une pompe centrifuge'* Université de Batna.
- [A1.9] Vincent Luyet, *'Stations météo '*, Février 2010.
- [A1.10] Malika FEKIH et Mohamed SAIGHI, *'Calcul du rayonnement solaire pour les régions humide, semi-aride et aride de l'Algérie. application à l'évaporation des barrages '*, Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Énergétique, SIGCLE '2 010.
- [A1.11] Laboratoire : LMF - Laboratoire Mécanique des Fluides, *'Fiche équipement Radiometre-pyranometre'*.
- [A1.12] Saoussen Khalfallaoui, Dominique Seguin, Moulay Ahmed Abdelghani-Idrissi, LSPC, Université de Rouen – IUT–, *'Étude d'un système solaire thermique : Effet de l'orientation des panneaux solaires'*.
- [A2.1] Ministère de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises, *'Audit énergétique obligatoire et périodique, guide pratique'*. Tunisie.

- [A2.2] Mohamed Ait Hassou, '*L'audit énergétique : analyse méthodologique d'un cas pratique*', novembre 2007.
- [A2.3] Association régionale pour le développement de l'emploi et des formations dans les industries alimentaire, '*L'industrie alimentaire, secteur innovant, des métiers évolutif*'.
- [A2.4] Découverte professionnelle, '*Ressources pour les équipes éducatives-agroalimentaire*'.
- [A2.5] Chambre algérienne de commerce et d'industrie(CACI), '*Rapport de présentations du secteur agro-alimentaire en Algérie*', PROJET Emed-Commission Européenne, Septembre 2004.
- [A2.6] Centre d'analyse régional des mutations de l'économie et de l'emploi, '*Industrie agroalimentaire (IAA)*', fiche sectorielle N°3, Édition 2008.
- [A3.1] Najoua ZARAI, Maher CHAABANE et Slimane GABSI, '*Outil de planification de la production thermique des capteurs solaires*', International Renewable Energy Congress, November 5-7 ,Sousse, Tunisie, 2010.
- [A3.2] SAADI SOUAD, '*Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan*', thèse de Magister, Département de physique, Constantine -Algérie, 2010.
- [A3.3] BENLATRECHE Toufik, '*Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les edifices publics*', thèse de Magister, Département d'architecture et d'urbanisme : option : architecture,2005-2006.
- [A3.4] MINEFI – DREE/TRÉSOR, Mission économique, Fiche de synthèse, '*Les énergies renouvelables en Algérie*', Avril, Algérie,2009.
- [A3.5] F. Harouadi , B. Mahmah , M. Belhamel, S. Chader , A. M'Raoui et C. Etievant, '*Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euro – maghrébin Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité*' , Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007).
- [A3.6] Ch. Hamouda , '*Mesures des paramètres climatiques*' ,TP01 ,Technologies des dispositifs et systèmes photovoltaïques M2 GI & 2IP: Session 2010/2011.

Annexes

A1.1. Montage du banc d'essai et mesure des paramètres

Divers capteurs et dispositifs utilisés dans ce banc d'essai-test du chauffe eau solaire pour effectuer les mesures. On utilise des thermocouples pour mesurer les températures, un pyranomètre pour mesurer le rayonnement solaire et un compteur volumétrique pour calculer la quantité d'eau chaude produite par le système [A1.1].

A1.1.1. Schéma de la chaîne de mesure

La (Fig.A1.1) illustre la chaîne de mesure d'un système de production d'eau chaude solaire.

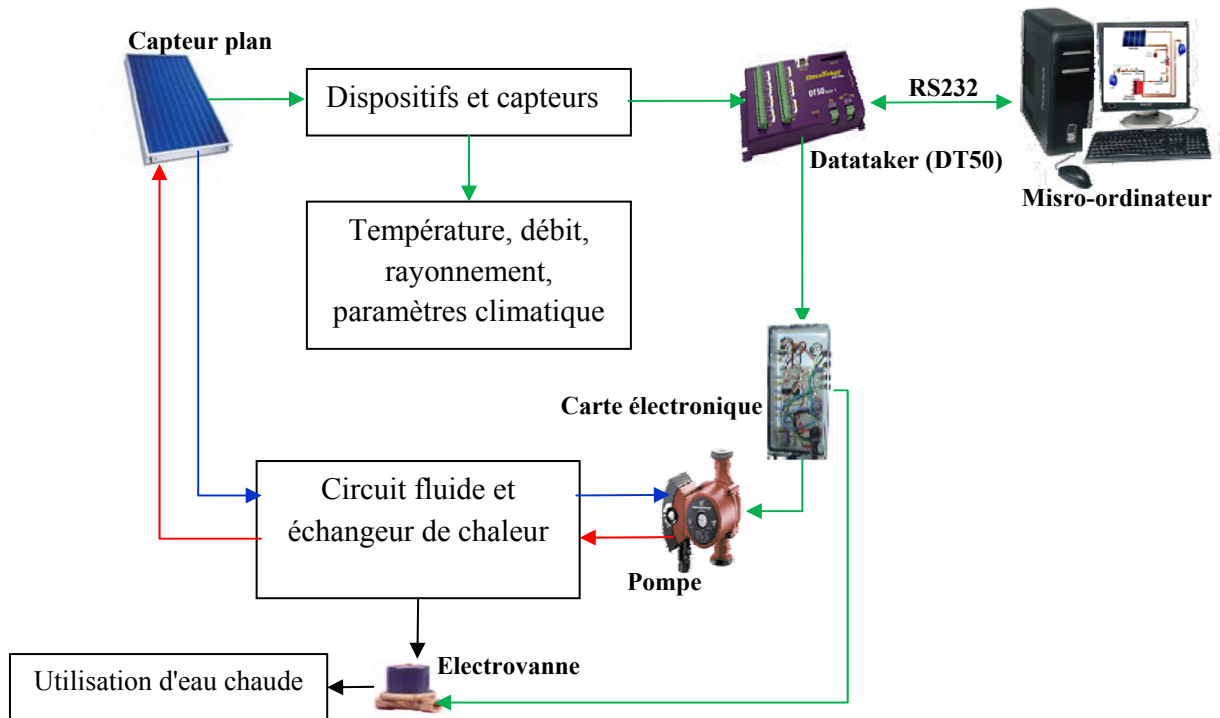


Fig.A1.1 Schéma de la chaîne de mesure

A1.1.2. Dispositifs et mesure des paramètres

A1.1.2.1. Acquisition de données

L'Acquisition de donnée comprend la collecte, le stockage et l'analyse des données. Les systèmes d'acquisition de donnée surveillent généralement un événement ou traitent un intervalle de temps en utilisant des capteurs connectés à un ordinateur ou un appareil, tel que Datataker.

❖ L'unité d'acquisition de données DT50

L'enregistreur de données Datataker (DT50) est un outil pour mesurer et enregistrer une grande variété de paramètres en temps réel (Fig.A1.2). Les manipulations de données incluent les fonctions statistiques, les calculs et les calibrations de capteurs. Les données sont stockées en mémoire sauvegardée par pile ou cartes amovibles. Les alarmes sont programmables pour toutes les voies d'entrées. Le DT 50 est adapté pour les applications scientifiques, industrielles et publiques [A1.2].

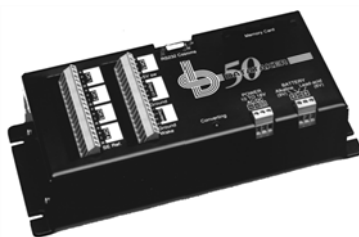


Fig.A1.2 L'unité d'acquisition des données (DT50)

❖ **Le système d'acquisition de donnée**

Le système d'acquisition de donnée représente l'interface entre l'ordinateur et le capteur. Ce système composé de carte électronique et de logiciel informatique permet de recueillir automatiquement les informations analogiques ou numériques provenant du capteur.

❖ **Architecture du système d'acquisition des données**

Notre système d'acquisition de données peut être représenté par la (Fig.A1.3) suivante :



Fig.A1.3 Architecture du système d'acquisition des données

Les températures délivrées par les capteurs transmis au micro-ordinateur à partir d'un Dataloger DT50 à travers un câble RS232.

A1.1.2.2. Mesure des températures

De nos jours, l'accélération des cadences de production industrielle conduit à un besoin grandissant en moyens de contrôle en ligne des procédés de fabrication. Donc on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse ...). L'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques est le capteur.

Un capteur est un transducteur capable de transformer une grandeur physique en une autre grandeur physique généralement électrique (tension).

❖ Les thermistances

Une thermistance est un composant dont la résistance varie en fonction de la température $R = f(T)$ (Fig.A1.4)[A1.3].

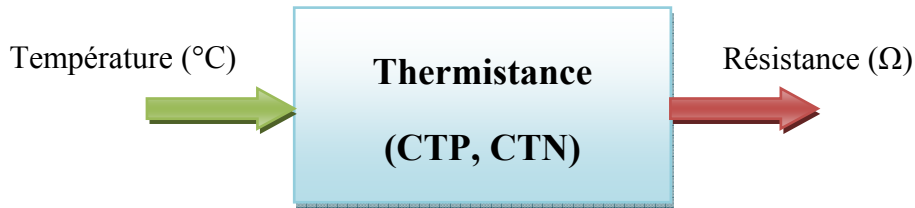


Fig.A1.4 Schéma fonctionnel d'une thermistance

Il existe 2 types de thermistance [A1.4] :

- Les thermistances à Coefficient de Température Négatif (appelé des C.T.N).
- Les thermistances à Coefficient de Température Positif (appelé des C.T.P).

❖ Thermistances à coefficient de température négatif

Elles sont souvent appelées CTN ou simplement thermistances (Fig.A1.5). Aux températures d'utilisation, leur résistance diminue d'une manière monotone quand la température augmente [A1.5].

La résistance de la CTN et sa température est donnée par la relation suivante de **Steinhart-Hart** [A1.6]:

$$\frac{1}{T + 273.15} = A + B \ln(R_T) + C (\ln(R_T))^3$$

R_T : Résistance à la température T en ohm

A , B et C sont les coefficients de **Steinhart-Hart** (donnés par le constructeur ou obtenus expérimentalement avec trois mesures de référence) qui sont des constantes caractéristiques du composant valides à toute température.

Pour trouver les coefficients de **Steinhart-Hart** il suffit de connaître trois points de fonctionnement et de poser un système. Pour cela, on utilise trois valeurs de résistance données pour trois températures connues.

$$A + (\ln R_1).B + (\ln R_1)^3.C = 1/(T_1 + 273.15) \quad (A1.1)$$

$$A + (\ln R_2).B + (\ln R_2)^3.C = 1/(T_2 + 273.15) \quad (A1.2)$$

$$A + (\ln R_3).B + (\ln R_3)^3.C = 1/(T_3 + 273.15) \quad (A1.3)$$

Avec R_1 , R_2 et R_3 les valeurs de la résistance aux températures T_1 , T_2 et T_3 .



Fig.A1.5 Capteur de température de type CTN

❖ **Thermistances à coefficient de température positif**

Elles sont souvent appelées **CTP** ou simplement thermistances(**Fig.A1.6**). Aux températures d'utilisation, leur résistance augmente fortement avec la température.

❖ Le calcul de la température à partir de la valeur de la résistance est donné par la formule suivante [A1.7] :

$$T = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B \left(1 - \frac{R_T}{R_{25}}\right)}}{2B} \quad (\text{A1.4})$$

Avec :

R_T : Résistance à la température T.

R_{25} : Résistance à 25°C.

$A = 3.9083 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ et $B = -5.775 \cdot 10^{-7} K^{-2}$;



Fig.A1.6 Capteur de température de type CTP

A1.1.2.3. Mesure du débit d'eau

Pour mesurer le débit d'eau écoule dans une conduite du banc d'essai, on a utilisé un débitmètre électromagnétique pour identifier la quantité de fluide fournie.

❖ **Le débitmètre électromagnétique**

il est aujourd'hui un outil de mesure incontournable (**Fig.A1.7**) Le Débitmètre électromagnétique est l'instrument parfaitement adapté à la mesure de débit pour tous les liquides, il se fait seulement respecter un seuil minimum de conductivités électriques ; cet appareils est précis et n'introduit aucune perte de charge [A1.8].



Fig.A1.7 Le débitmètre électromagnétique utilisé

❖ Principe de fonctionnement

Le principe du Débitmètre électromagnétique est basé sur la loi d'induction magnétique selon laquelle la tension induite générée par un conducteur se déplaçant perpendiculairement un champ magnétique est proportionnel à tout instant à sa vitesse de translation. (Fig.A1.8).

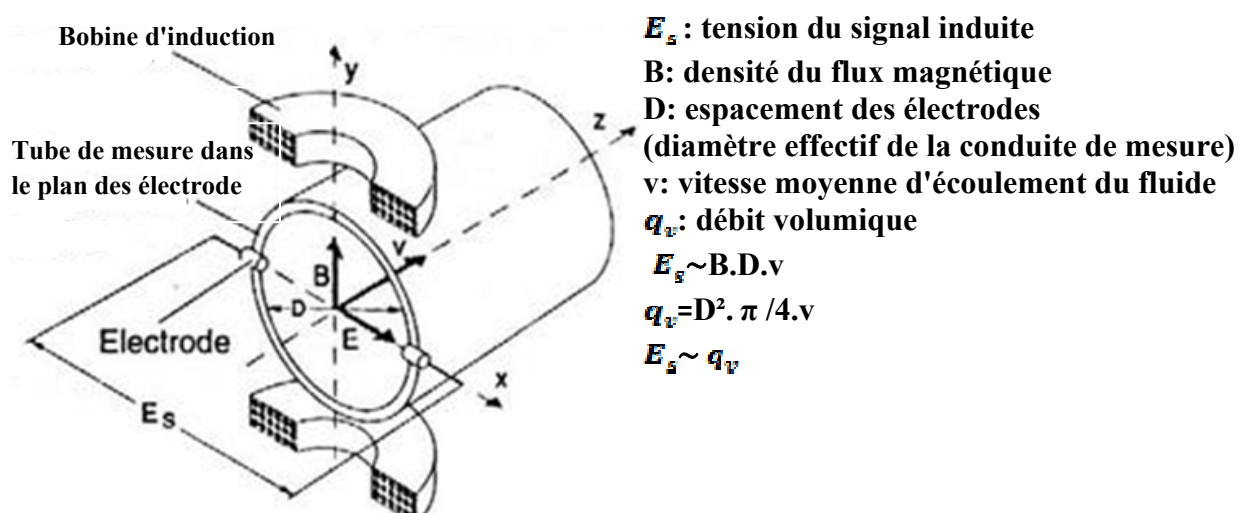


Fig.A1.8 Principe de fonctionnement du débitmètre électromagnétique

Cette tension est capté par deux électrodes diamétralement opposées, la tension de signal induite (E_s) est proportionnelle à la densité du flux magnétique B , à la distance séparant les deux électrodes (D) et à la vitesse moyenne d'écoulement du fluide (v).

La densité du flux et l'espacement des électrodes étant constants, la tension induite correspond à la vitesse moyenne d'écoulement du fluide ; la tension est donc linéairement proportionnelle à celui-ci.

A1.3.2.4. Mesure de la quantité d'eau

❖ Compteur volumétrique

- ❖ Pour mesurer la quantité d'eau chaude produite par l'installation, un compteur volumétrique a été installé (**Fig.A1.9**), son principe de fonctionnement est basé sur la rotation du piston entraîné par l'admission d'eau dans la chambre de mesure, l'axe du piston met en mouvement la manivelle porteuse de l'aimant qui entraîne par transmission magnétique les engrenages du totalisateur indiquant le volume d'eau.



Fig.A1.9 Le compteur volumétrique

❖ L'électrovanne

Une électrovanne est un dispositif commandé électriquement permettant d'autoriser ou d'interrompre par une action mécanique la circulation d'un fluide ou d'un gaz dans un circuit. Pour le montage du banc d'essai, le type d'électrovanne utilisée c'est *tout ou rien* (**Fig.A1.10**), c'est-à-dire qu'elle ne peut s'ouvrir qu'en entier ou pas du tout. L'état change suivant qu'elle soit alimentée électriquement ou non.



Fig.A1.10 Electrovanne

A1.1.2.5. Mesure des paramètres météorologiques

❖ Station météorologique MSW9

La station météorologique (**Fig.A1.11**), dénommée 'MWS9' mesure généralement les paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité, la pression, la direction et la vitesse du vent et la pluviométrie.



Fig.A1.11 Vue de la station météorologique MWS9

❖ Les paramètres météorologiques à mesurer

Les données météorologiques généralement récoltées par les stations de mesure permettent de définir un climat à un moment donné dans un lieu précis. Les paramètres à mesurer dans notre travail sont (Fig.A1.12):

- La **température** est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid [A1.9]. La température est la manifestation, à l'échelle macroscopique, du mouvement des atomes et molécules. Un thermomètre utilisé pour mesurer la température.
- L'**humidité** représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. L'humidité est mesurée à l'aide d'un hygromètre.
- La **pression** est une notion physique fondamentale. La pression atmosphérique correspond au poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée. La pression atmosphérique se mesure à l'aide d'un baromètre.
- Le **vent** est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression. Le vent se déplace des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions). La **direction et vitesse** du vent sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude de la dynamique des masses d'air. La direction indique d'où souffle le vent. La vitesse du vent se mesure par un anémomètre.
- Les **pluviométries** (précipitations) sont les eaux qui tombent sur la surface de la Terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) ou déposée (rosée, gelée blanche, givre,...). Un pluviomètre utilisé pour mesurer les précipitations.
- Le **rayonnement solaire** est une onde, provenant du soleil, fournissant de l'énergie. Son unité est le watt par mètre carré (W/m^2). Le rayonnement solaire est mesuré par un pyranomètre.



Fig.A1.12 Interface d'affichage des données de la station météorologique

A1.1.2.6. Mesure du rayonnement solaire

La mesure du rayonnement solaire nécessite deux appareils, un pyranomètre ordinaire placé avec les capteurs plans et connecté à un intégrateur solaire [A1.10].

❖ Pyranomètre CM11

Un pyranomètre est un radiomètre conçu pour mesurer le flux solaire reçu sur une surface plane [A1.11]. Celui-ci est placé dans le même plan que les capteurs vis à vis du rayonnement solaire (Fig.A1.13)[A1.12].



Fig.A1.13 Pyranomètre CM11

❖ **L'intégrateur solaire**

L'intégrateur solaire (de rayonnement) (**Fig.A1.14**), en conjonction avec un solarimètre, mesure l'irradiance solaire (en Wm^{-2}) et calcule l'irradiance (intégral d'irradiance) sur des périodes selectables 10, 30 ou 60 minutes, et aussi sur une journée.

Après chaque période deux valeurs d'irradiance (période et totale d'une journée) sont imprimées ensemble avec le nombre du jour et le temps.

On peut visualiser la valeur instantanée de l'irradiance (en Wm^{-2}), l'irradiance solaire (Whm^{-2} or jm^{-2}), nombre de jour, temps et le facteur de calibration sur l'afficheur. Le facteur de calibration, peut être lié au pyranomètre en l'usage de l'ajustement du panel arrière. Cette valeur est aussi imprimée.



Fig.A1.14 Vue de l'intégrateur solaire

A2.1. Audit énergétique

Toute opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein de l'établissement à travers la réalisation de recherches [A2.1], d'études et de contrôles visant à évaluer le niveau de performances énergétique de l'établissement, à analyser les causes des insuffisances et à proposer les actions correctives.

A2.1.1. Les différentes phases de l'audit énergétique

❖ Un audit énergétique préliminaire

Un audit énergétique préliminaire peut être effectué en une ou deux semaines pour une petite entreprise, et pour les entreprises importantes, complexes, cette mission nécessite beaucoup plus de temps [5.1]. Cette étape vise la collecte des données relatives à la consommation d'énergie dans l'établissement, et ce par une visite préliminaire destinée à faire l'état des lieux et dresser la liste des instruments de mesures nécessaires pour effectuer les opérations d'audit approfondi (détaillé).

❖ L'audit énergétique approfondi (détaillé)

En plus de la collecte et de l'analyse des données de l'entreprise, le relevé des paramètres de la consommation d'énergie et de la production est à effectuer. Les instruments de mesures utilisés à cet effet sont par exemple: des analyseurs d'énergie, de puissances, de température et de rayonnement. Les unités d'acquisitions de données, pour un relevé de données sur une longue période, sont parfois nécessaires, ils dépendent du type de l'installation à étudier. Les mesures relevées permettent, en général, le calcul du rendement énergétique des installations et de déterminer la consommation spécifique du procédé. Les recommandations émises à la suite de cet audit, conduisent un remplacement partiel ou complet d'équipements. Le rapport établi à la fin de l'audit doit faire ressortir toutes les défaillances observées, les mesures à prendre et les moyens de financement de leurs coûts.

A2.1.2. Etapes d'un audit énergétique préliminaire

❖ Programmer un audit

Réunion avec les responsables concernés de l'entreprise, éventuellement ceux chargé de la gestion technique et comptable des flux énergétique. Présentation à ces derniers des objectifs de la mission, soutenue par des textes réglementaires comme la loi sur la maîtrise d'énergie et ses textes d'applications. Il est aussi utile de donner un aperçu sur les activités liées à la sensibilisation sur l'utilisation efficace de l'énergie. En collaboration avec ces responsables, fixer les objectifs pour l'audit, diviser l'entreprise en départements de fonctionnement ou en centres de comptabilité de coût, sélectionner l'équipe d'audit, affecter les responsabilités et répartir les tâches.

❖ Collecte et traitement des données

La collecte et le traitement des données sur la consommation de l'énergie dans l'entreprise est une étape fondamentale. Elle permet d'avoir une vue globale sur les différents flux énergétiques, l'efficacité dans le mode de consommation de ces vecteurs, la conformité avec le contrat signé et les coûts engendrés. La période d'analyse retenue est d'au moins cinq années. Il est conseillé pour le traitement

d'utiliser un programme qui permet des présentations graphiques et sous forme de tableaux.

❖ **Analyse du procédé de production**

Durant la deuxième phase de l'audit, il est demandé l'analyse du procédé de fabrication ou des procédés utilisés dans l'entreprise. La répartition par type d'énergie et par procédé doit faire l'objet d'une attention particulière. Si nécessaire, il faut concentrer l'analyse sur une seule unité ou sur une chaîne de production à consommation intensive d'énergie. Les caractéristiques des moteurs et des autres équipements utilisés, principalement leurs puissances, doivent être relevées et classés par ordre de priorité du point de vue puissance.

❖ **Rapport d'audit**

Le rapport final de l'audit doit comporter, dans la partie introductive, une description générale de l'entreprise, à partir d'un organigramme. Il présente, en outre, les systèmes d'alimentation en énergie des différents départements et des services, et également un descriptif du procédé de fabrication, qui devrait être techniquement correct et bref.

A2.1.3. Objectifs

- ❖ Evaluation de la situation [A2.2]
 - Efficacité des moyens de production
 - Qualité de la distribution, de la régulation
 - Gestion des factures
 - Niveaux de consommation
- ❖ Plan d'amélioration de l'existant
 - Améliorations des équipements, de l'organisation et du comportement
 - Evaluation chiffrée des améliorations
 - Priorité aux mesures les plus simples et les plus rentables

Parmi les établissements qui sont tenus de réaliser un audit énergétique, c'est les établissements appartenant aux secteurs de transport, tertiaire, résidentiel et industriel.

A2.2. Le secteur agroalimentaire

Ensemble des industries de transformation des matières premières en produits finis consommables par l'homme et les animaux [A2.3]. Il regroupe deux ensembles : l'industrie agroalimentaire et l'agriculture.

A2.2.1. L'industrie agroalimentaire

L'industrie agroalimentaire se définit comme l'activité qui transforme les matières premières en provenance essentiellement de l'agriculture et de la pêche en produits destinés à l'alimentation humaine [A2.4].

❖ Caractéristiques et spécificités des industries agroalimentaires

- Une grande diversité de produits fabriqués.
- Technologies avancées pour la transformation et la conservation des produits.
- Méthodes et procédés pour une sécurité alimentaire toujours plus grande.
- Localisation des entreprises au plus près des lieux d'approvisionnement en matières premières.
- La mise en œuvre de méthodes et de procédés pour répondre à la demande des consommateurs en particulier en matière de sécurité alimentaire

❖ Les filières de l'industrie agro-alimentaire

- La filière des céréales [A2.5]
- La filière aliment de bétail
- La filière des viandes
- La filière pêche
- La filière corps gras
- La filière lait
- La filière sucre
- La filière boissons

A2.2.2. Les fonctions des industries agroalimentaires

❖ Production (fabrication + conditionnement)

C'est le cœur de l'entreprise; réalise les opérations de transformation des matières premières en produits finis, dans le respect des règles de sécurité, productivité, délais, coûts.

❖ Entretien / maintenance

- Assure l'entretien, les révisions et les visites préventives des installations de production.
- Réalise les diagnostics et répare les pannes dans les meilleurs délais.
- Contribue à l'évolution des matériels.
- Met en place les dispositifs de sécurité.

❖ Qualité

Concerne toutes les fonctions de l'entreprise.

- Organise et garantit le respect des règles pour un objectif : la satisfaction du client
- Contrôles à tous les stades de la fabrication, maîtrise de la traçabilité, de la sécurité sanitaire, certification produit ou entreprise...

❖ **Recherche et développement (R &D)**

En relation avec toutes les fonctions de l'entreprise.

- Axée sur l'innovation, contribue à l'évolution technologique de l'entreprise.
- Vise à créer de nouveaux produits et packagings ou à les améliorer.
- Supervise les essais pour passer du laboratoire à la production.

❖ **Achats / logistique**

Achats : sélection des fournisseurs et négociation des prix.

Approvisionnement : gestion des flux de matières premières, emballages...

Cheminement : suivi dans l'usine des composants liés à la fabrication jusqu'au stockage des produits finis dans les entrepôts

Expéditions (transport) gestion des flux de marchandises vendues.

❖ **Commercialisation / marketing**

Stratégie de développement, vente, marketing, technico-commercial, réseaux de distribution, promotion des ventes, export, administration des ventes, après-vente....

A2.2.3. Les facteurs d'évolution du secteur d'industrie agroalimentaire

❖ **Évolutions techniques**

- Automatisation croissante des lignes de production [A2.6]
- Nécessité de maîtrise des technologies clés de la compétitivité future (techniques de conservation par exemple)
- Recherche de performance industrielle et logistique : besoin de suivi et d'analyse de la performance suivi de la traçabilité, technologie qui permet d'identifier un objet, d'en suivre le cheminement et d'en connaître les caractéristiques à distance grâce à une étiquette émettant des ondes radio

❖ **Évolutions réglementaires**

- Exigences croissantes en termes de qualité
- Notion de « traçabilité » des produits
- Réglementation relative aux emballages

❖ **Évolutions économiques**

- Mondialisation croissante du secteur, fortement concurrentiel.
- Possibilité d'élargissement de l'activité du secteur par la valorisation non alimentaire des ressources agricoles (perspectives technologiques dans les domaines de la chimie, l'énergie...)
- Augmentation des prix des produits agricoles (céréales en particulier).
- Recherche constante de gains de productivité : stratégie de concentration, de diversification, de spécialisation...
- Évolution du pouvoir d'achat et de la demande (habitudes alimentaires, plats cuisinés, nouveauté...)
- Prise en compte de la dimension environnementale (production « biologique »

❖ *Évolutions sociales*

- Attention croissante aux problématiques de sécurité alimentaire et de santé.
- Évolution du pouvoir d'achat et de la structure de consommation des ménages.
- Modification des comportements alimentaires et des modes de vie.

A3. Analyse de la consommation d'énergie dans La laiterie d'Aures Batna et Minoteries/Semouleries

A3.1. La laiterie d'Aures Batna

A3.1.1. La répartition de la consommation annuelle d'électricité et du gaz pour l'année 1999

La répartition mensuelle de la consommation d'électricité et du gaz naturel fait ressortir que la consommation de la laiterie est importante les mois de janvier, Juin, Octobre et Décembre cela s'explique par la demande du lait (produits laitier)(Fig.A3.1).

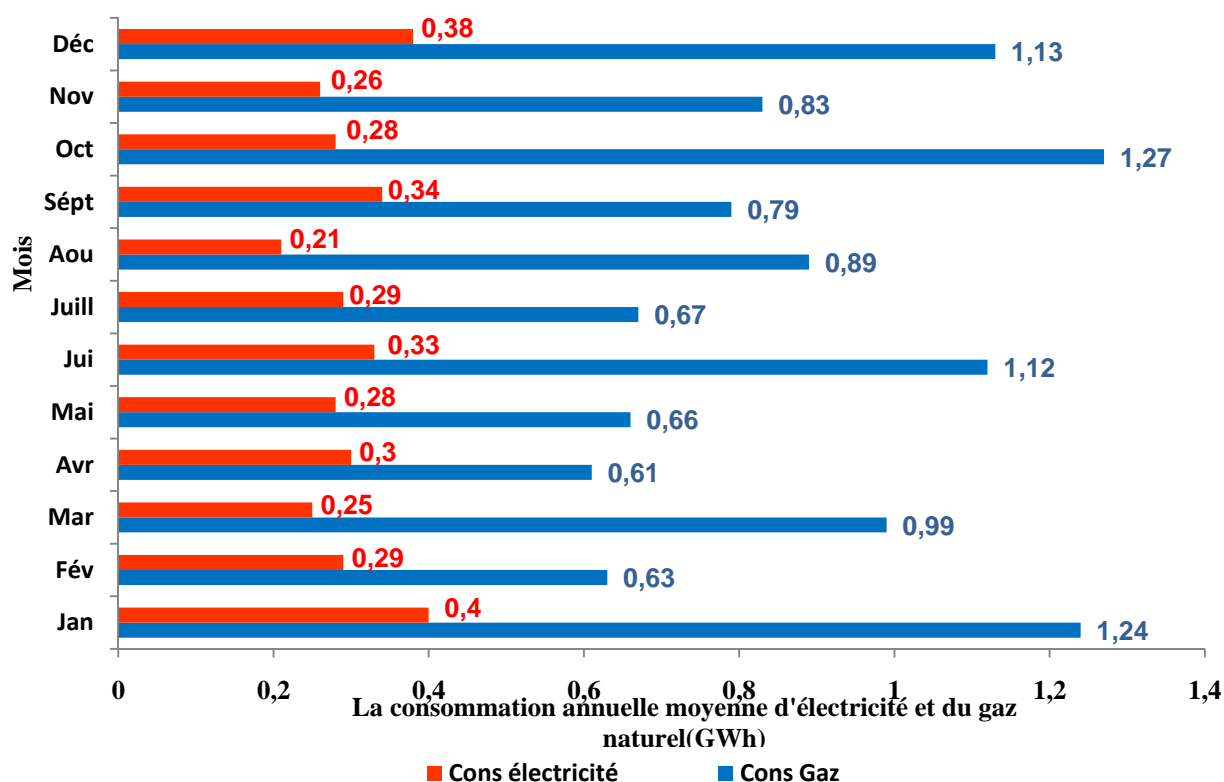


Fig.A3.1 Répartition de la consommation annuelle d'électricité et du gaz pour l'année 1999

A3.1.2. La répartition de la consommation annuelle d'électricité

Le (Tableau.A3.1) illustre la répartition mensuelle de la consommation d'électricité.

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sépt	Oct	Nov	Déc
1999	0.34	0.29	0.25	0.30	0.28	0.33	0.29	0.21	0.34	0.28	0.26	0.38
2000	0.33	0.28	0.28	0.29	0.27	0.26	0.23	0.24	0.21	0.25	0.29	0.41
2001	0.20	0.34	0.23	0.23	0.31	0.23	0.22	0.29	0.24	0.22	0.26	0.29
2002	0.27	0.23	0.17	0.21	0.23	0.17	0.18	0.25	0.23	0.19	0.19	0.33

Tableau .A3.1

La (Fig.A3.2) montre que la répartition mensuelle de la consommation d'électricité est pratiquement instable durant tous les années. La consommation a atteint le maximum les mois de Janvier 1999 et Décembre 2000.

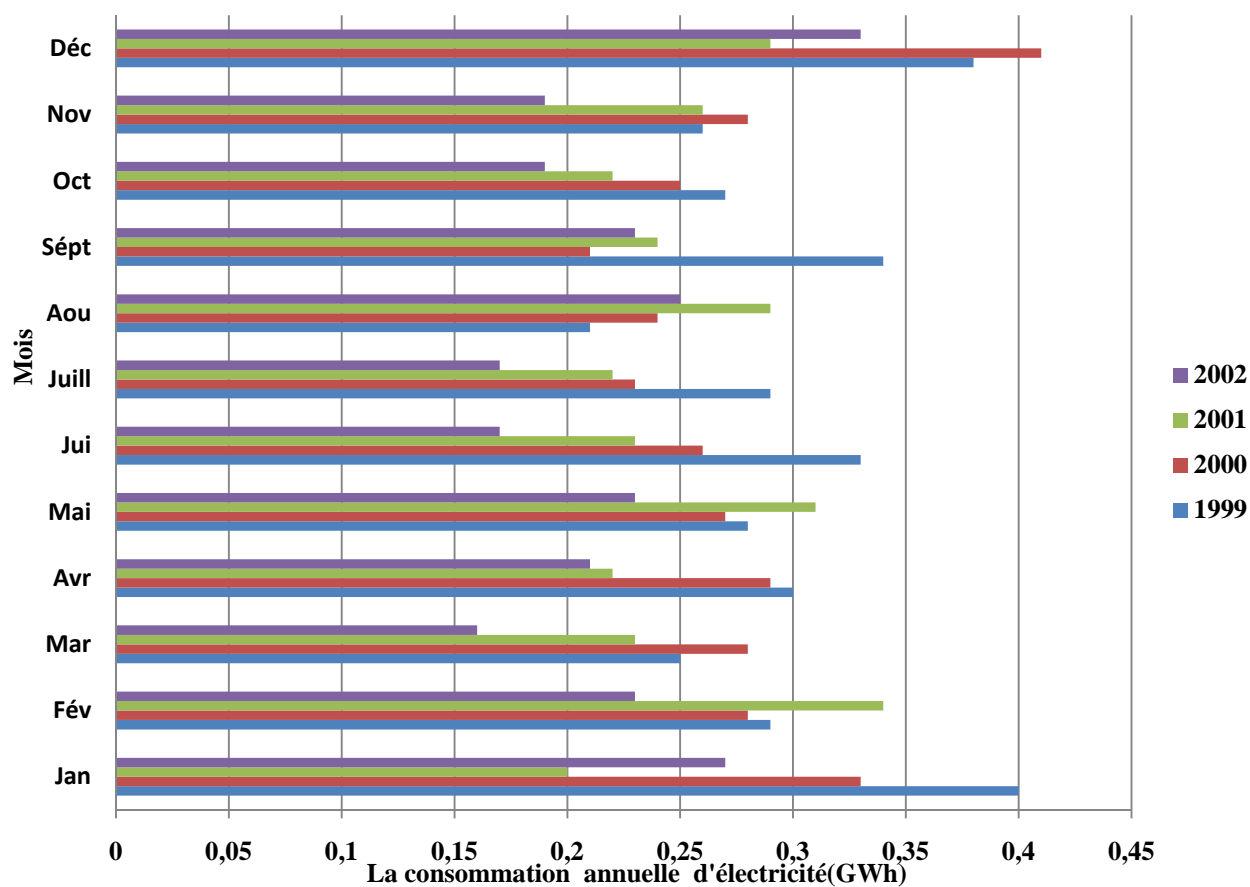


Fig.A3.2 Répartition de la consommation annuelle d'électricité

A3.1.3. La répartition de la consommation annuelle du gaz naturel

Le (Tableau.A3.2) illustre la répartition mensuelle de la consommation du gaz naturel.

Ann	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sépt	Oct	Nov	Déc
1999	1.24	0.63	0.92	0.62	0.66	1.12	0.67	0.89	0.79	1.27	0.83	1.13
2000	0.99	1.42	0.81	1.17	0.89	0.59	0.72	0.72	0.74	0.62	1.42	0.62
2001	0.88	0.51	0.73	0.52	0.93	0.85	0.36	0.58	0.88	0.70	1.15	1.24
2002	1.14	1.12	0.75	0.80	0.70	0.47	1.89	0.56	0.82	0.96	0.57	1.08

Tableau .A3.2

La (Fig.A3.3) montre que la répartition mensuelle de la consommation du gaz naturel est instable durant la période 1999-2002, on remarque que la consommation du gaz a atteint le maximum les mois respectivement de Février 2000, Juillet 2002 et Novembre 2000.

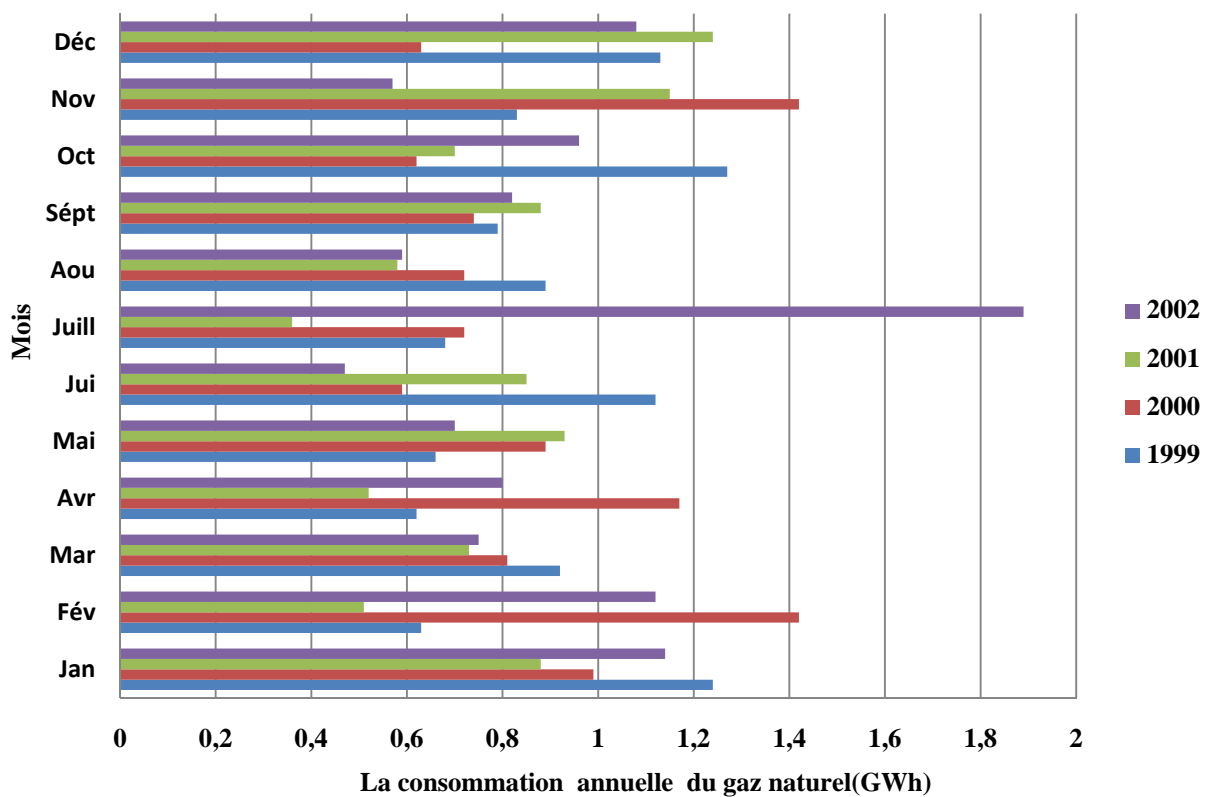


Fig.A3.3 Répartition de la consommation annuelle du gaz naturel

A3.2.Minoteries /Semouleries

A3.2.1. La consommation annuelle moyenne d'électricité dans les Minoteries/Semouleries

La consommation d'électricité accapare une part importante dans les processus de fabrication des Minoteries et semouleries. Pour sa part qui presque négligeable par rapport a celle d'électricité, le gaz naturel est utilisé uniquement pour le chauffage des bâtiments et dans les cuisines(Fig.A3.4).

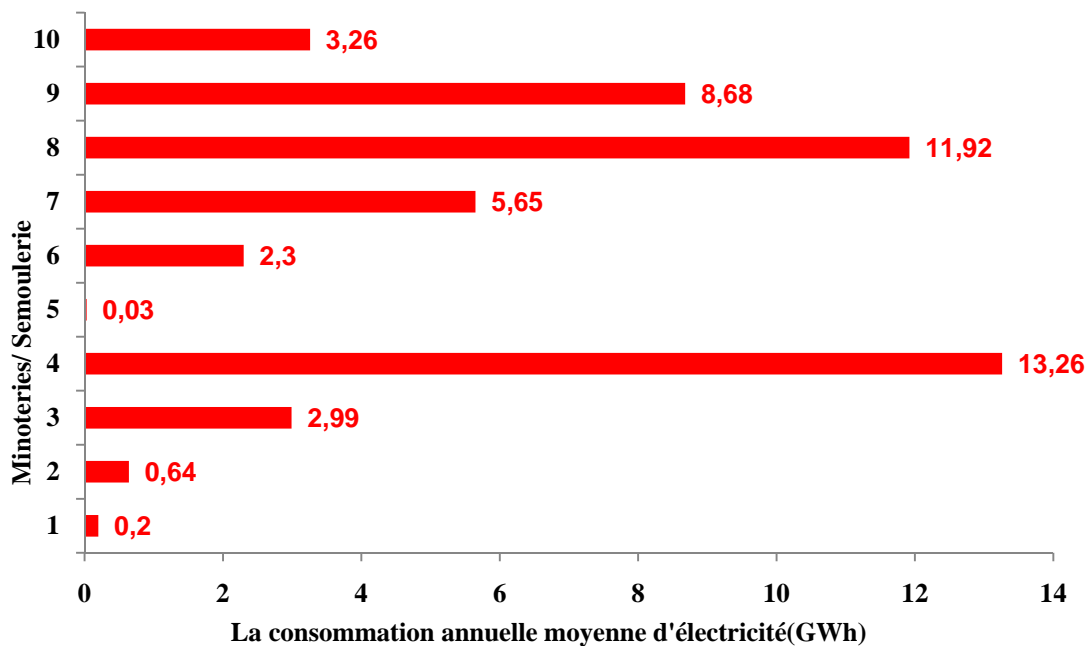


Fig.A3.4 Consommation annuelle moyenne d'électricité dans les Minoteries/Semouleries

A3.2.2. La consommation de l'énergie active et réactive dans Minoteries/Semouleries

D'après la (Fig.A3.5) on constate que l'énergie réactive facturée des Minoteries/Semouleries est très importante, cette situation est due au nombre important de machines, ainsi qu'à l'état vétuste des équipements.

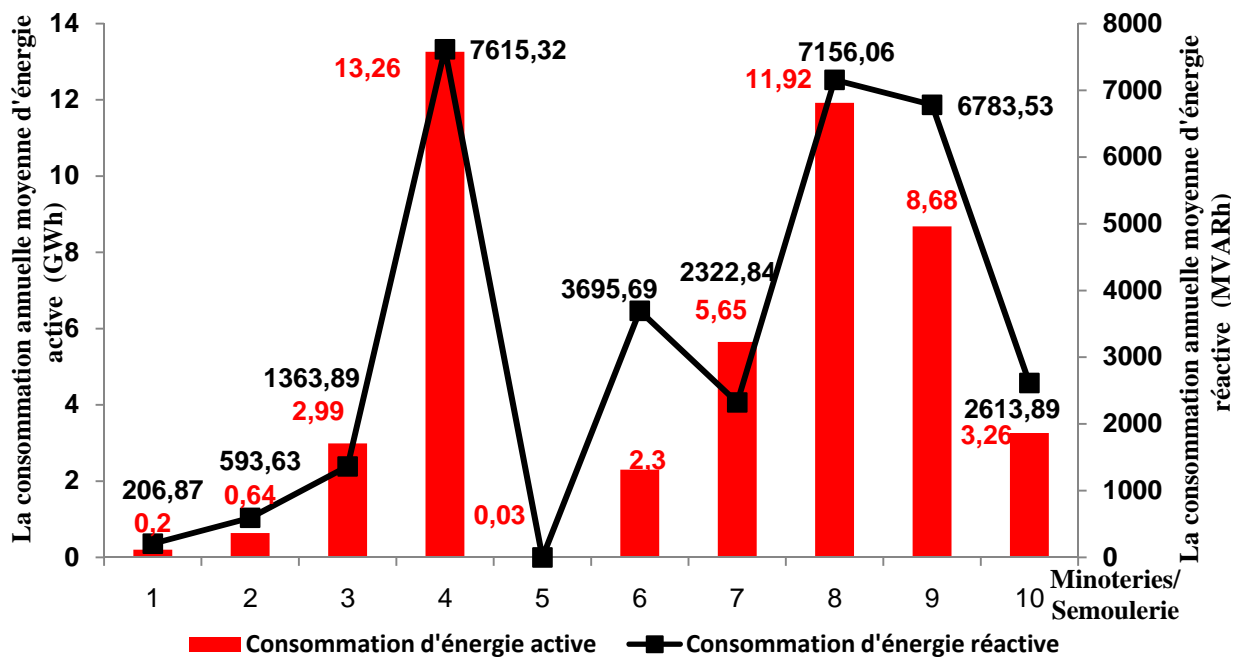


Fig.A3.5 La consommation annuelle moyenne d'énergie active et réactive dans les Minoteries/Semouleries

A4. Tableaux d'analyse de la consommation d'énergie dans les laiteries et Minoteries/Semoulerie

A4.1. Tableaux d'analyse des audits énergétiques des laiteries

Laiteries		GIPLAIT-Tlemcen	COLAITAL-Alger	EDOUGH-Annaba	AURES-BATNA
Consommation d'énergie électrique					
Tarif		E41	E41	E41	E41
PMD		750	1500	1000	1500
Prix unitaire (cDA/kWh)	H.Creuses	64.7	61.4	71.1	64.5
	H.Pointes	551	526.1	605.6	549.3
	H.Pleines	122.4	116.2	134.6	122
Energie réactive (CDA/ KVARH)	Malus	26.68	/	/	28.68
	Bonus	5.736	/	/	5.73
Consommation d'énergie gazière					
Tarif		23	/	21	/
DMD(m3)		/	10000	1000	/
Prix unitaire(cDA/th)		29.496	14.4	14.365	/

Annexe 2 Analyse des audits énergétiques

	Année	E.Act	HPL	HHPT	HPT	HC	ERéa	P (l)	CG(kwh)	CT(kwh)	CTS (kwh/l)	CEa (m3)	TgPhi
Aures Batna	1999	2788124	1394062		446864	947198	1449300	56837000	10771403	13559527	0,24	/	0.51
	2000	3344700	1908299		387942	1048459	1553400	50748000	10713286	14057986	0,28	/	0.46
	2001	3070270	1818069		560883	691318	1569770	50664000	10854763	13925033	0,27	/	0.51
	2002	2649770	1513051		451449	685270	1143870	44004000	10854763	13504533	0,31	/	0.43
Colaital Alger	2000	5751698	2971 989		595127	2184582	4921200	136953844	9862554.32	15614252.32	0.11	/	0.85
	2001	5641200	2820 600		1128240	1692360	4873435	135702321	10156790.64	15797990.64	0.12	/	0.86
	2002	5585300	2906 122		985510	1693668	5364600	125963497	11467903.84	17053203.84	0.13	/	0.96
	2003	5502432	2642 966		866460	1993006	3973800	108 415 236	12987024.76	18489456.76	0.17	/	0.72
Edough annaba	1999	4814000	2489000		785000	1540000	3870000	84 029 257	18401886.2	23215886.2	0.28	/	0.80
	2000	4094000	2295000		689000	1110000	3300000	82 705 843	15390451.96	19484451.96	0.23	/	0.81
	2001	4208000	2386000		708000	1115000	2610000	75 411 716	13222739.08	17430739.08	0.23	/	0.62
	2002	4045000	2280000		634000	1131000	3494000	66 090 276	13655495.64	17700495.64	0.27	/	0.86
	2003	3920000	2250000		627000	1044000	3557000	59 899 749	12757705.52	16677705.52	0.28	/	0.91
Giplait telemcen	2001	2031413		1707148	324265		2025626	27851756,80	3657758,40	5689171,40	0,20	105210	0.99
	2002	1457924	886196		200210	371518	1863750	22976214,25	3254835,88	4712759.88	0,20	86924	1.27
	2003	1761626	1064017		239613	457996	1858958	21514939,75	2542983,32	4304609,32	0,20	78230	1.05
	2004	1819969	1079526		249386	491057	1886431	20586019,00	2967920,32	4787889,32	0,23	114132	1.03
	2005	1535707	900448		217523	417736	1674112	16468087,88	3377846,92	4913553,92	0,30	60628	1.09

Annexe 2 Analyse des audits énergétiques

	Année	P (l)	CT(kwh)	CTS (kwh/l)	CSG (kwh/l)	CSE (kwh/l)	CE (m3)	CtE(DA)	CtG(DA)	CtT(DA)	Tg Phi
Aures Batna	1999	56837000	13559527	0,24	0.19	0.05	/	5894790,85	2979937	8874727.85	0.51
	2000	50748000	14057986	0,28	0.22	0.06	/	5986634,22	3231299,2	9217933.42	0.46
	2001	50664000	13925033	0,27	0.21	0.06	/	6678242,47	3232138,7	9910381.17	0.51
	2002	44004000	13504533	0,31	0.25	0.06	/	5678978,5	3326324,8	9005303.3	0.43
Colaïtal Alger	2000	136953844	15614252.32	0.11	0.07	0.04	/	9405 912,10	2221 326,77	11627 238,87	0.85
	2001	135702321	15797990.64	0.12	0.07	0.05	/	12031 710,15	2612 352,33	14644 062,48	0.86
	2002	125963497	17053203.84	0.13	0.09	0.04	/	11748 058,31	2504 716,58	14252 774,89	0.96
	2003	108 415 236	18489456.76	0.17	0.12	0.05	/	11420 325,49	2811 949,49	14232 274,98	0.72
Edough annaba	1999	84 029 257	23215886.2	0.28	0.22	0.06	/	9518435,58	/	9518435,58	0.80
	2000	82 705 843	19484451.96	0.23	0.19	0.04	/	8344805,9	/	8344805,9	0.81
	2001	75 411 716	17430739.08	0.23	0.17	0.06	/	8551118,44	/	8551118,44	0.62
	2002	66 090 276	17700495.64	0.27	0.21	0.06	/	8025562,1	/	8025562,1	0.86
	2003	59 899 749	16677705.52	0.28	0.21	0.07	/	7889192,2	/	7889192,2	0.91
Giplait telemcen	2001	27851756,80	5689171,40	0,20	0.13	0.07	105210	4763109,81	1183177,11	5946286.92	0.99
	2002	22976214,25	4712759.88	0,20	0.14	0.06	86924	4162244,49	972564,49	5134808.98	1.27
	2003	21514939,75	4304609,32	0,20	0.12	0.08	78230	4245895,23	648398,65	4894293.97	1.05
	2004	20586019,00	4787889,32	0,23	0.14	0.09	114132	4780197,89	804556,81	5584754.7	1.03
	2005	16468087,88	4913553,92	0,30	0.20	0.09	60628	4371546,25	948287,23	5319833.48	1.09

Annexe 2 Analyse des audits énergétiques

	EActAM	ERéaAM	PAM (l)	CGAM (kwh)	CTAM (kwh)	CTSAM (kwh)	CSGAM (kwh/l)	CSEAM (kwh/l)	CEaAM (m3)	CtAME(DA)	CtAMG (DA)	CtTAM (DA)	CtSAM (DA/l)	TgPhi.A.M
Aures Batna	2963216	1429085	50563250	10798553.68	13761769.68	0.27	0.22	0.05	/	6059661.51	3192424.92	9252086.43	0.18	0.48
Colaital Alger	5620158	4709196	126758724.5	11118568.68	16738726.68	0.13	0.09	0.04	/	11151502	2537586.29	13689088.29	1.08	0.85
Edough annaba	4216200	3366200	73 627368	14685655.68	18901855.68	0.26	0.2	0.06	/	8465822,844	/	8465822,844	0.11	0.8
Giplait telemcen	1643806.5	1820812,75	21 879404	3160269.2	4804075.7	0.22	0.15	0.08	89025	4464598,73	911396,858	5375995.59	0.24	1.09

	EActAM	ERéaAM	PAM (l)	CEaAM (m3)	CtAME(DA)	CtAMG (DA)	CtSAME (DA/l)	CtSAMG (DA/l)	CtTAM (DA)	CtSAM (DA/l)	TgPhi.A.M
Aures Batna	2963216	1429085	50563250	/	6059661.51	3192424.92	0.12	0.06	9252086.43	0.18	0.48
Colaital Alger	5620158	4709196	126758724.5	/	11151502	2537586.29	0.09	0.02	13689088.29	0.11	0.85
Edough annaba	4216200	3366200	73 627368	/	8465822,844	/	0.11	/	8465822,844	0.11	0.8
Giplait telemcen	1643806.5	1820812,75	21 879404	89025	4464598,73	911396,858	0.2	0.04	5375995.59	0.24	1.09

Tableau .A4.1

A4.2. Tableaux d'analyse des audits énergétiques des Minoteries/Semouleries

Minoterie/Semoulerie		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consommation d'énergie électrique											
Tarif		E42	E42	E41		E41		E41	E41	E41	E41
PMD						1500		2500	2500	3000	2500
Prix unitaire (cDA/kWh)	H.Creuses	/	/		/	/	/	64.5	64.5		
	H.Pointes	/	/		/	/	/	549.3	549.3	605.6	
	H.Pleines	/	/		/	/	/	122	122	134.6	
Consommation d'énergie gazière											
Tarif		/	/		/	/	/	/	/	/	/
Prix unitaire(cDA/th)		/	/		/	/	/	/	/	/	/
DMD(m3)		/	/		/	/	/	/	/	/	/

	Minoteries Semouleries
1	ERIAS SBA Bechar
2	SOSEMIE-Blida
3	EL HAMEL-Adrar
4	Liana-biskra
5	Seybouse- Annaba
6	SPAC -Sétif
7	Sim Mitidja
8	MOPROS-Ourgla
9	Mahdia-Tiaret
10	SMID ERIAD -Oum el Bouaghi

Annexe 2 Analyse des audits énergétiques

	Année	EAct	HPL	HPT	HHPT	HC	Energie réactive	P (Q×)	CG(kwh)	CT(kwh)	CST (kwh/Q×)	CEa (m3)
ERIAS SBA Bechar	2003	30273.9	/	/		/	/	201826	/	30273.9	0.15	/
	2004	32434.09	/	/		/	/	249493	/	32434.09	0.13	/
	2005	32449.45	/	/		/	/	294995	/	32449.45	0.11	/
SOSEMIE- Blida	2002	1941680	995222	314301		632157	1659483	/	/	1941680	/	/
	2003	5601276	2845792	959383		1796101	4690788	/	/	5601275	/	/
	2004	2232674	1116337	384801		731536	1491407	/	/	7542956	/	/
EL HAMEL- Adrar	2002	58299	29974	8493		19832	73011	/	/	58299	/	/
	2003	103799	53744	16922		33133	121797	/	/	103799	/	/
	2004	423012	232340	64392		126280	425809	/	/	423012	/	/
Liana- biskra	2001	8 504 465	4 343906	1 455711		2704848	3410974	/	5127210.44	13631675.44	/	/
	2002	6 335 527	3 485787	889795		1959945	2175216	/	3061882.64	9397409.64	/	/
	2003	2095907	1 265282	241 331		589 294	1 382 317	/	836774.12	2932681.12	/	/
Seybouse- Annaba	2002	1985197					4075101	424569.65	89492.85	2074689.85	4.9	9544
	2003	3414872	2421062	429101		564709	5287056	361008.25	121766.1	3536638.1	9.8	17683
	2004	2021931	1625263	216937		179731	3615570	280500.76	26865.3	2048796.3	7.3	19934
	2005	1464078	1250763	95693		117622	2184442	519416.505	119672.7	1583750.7	3	5934
SPAC -Sétif	2002	1442000	743796	269054		429150	233669	60301	5172871.52	6614871.52	109.7	48414,1
	2003	1258780	719279	189116		350385	486626	54428	4962698.08	6221478.08	114.3	41441,8
	2004	3157389	1728687	500088		928614	2086673	93706.25	5129854.08	8287243.08	88.4	44541,5
	2005	6130637	3251915	1006687		1872035	2648603	185810.064	7866606.12	13997243.12	75.3	67634,6
Sim Mitidja	1999	8788634	4563713	1463212		2761709	5103621	/	/	8788634	/	/
	2000	14412923	2408293	4523309		7481321	8885113	1950066	/	14412923	7.4	/
	2001	16455369	4387638	7577235		4490496	9867104	1 922 147	/	16455369	8.6	/
	2002	14407567	4562943	2418834		7425790	8709374	1 750 444	/	14407567	8.2	/
	2003	12233985	3917792	1879224		6436969	5511410	/	/	12233985	/	/
MOPROS- Ourgla	2001	612263		93931	518332		864726	7795,96	/	612263	78.5	/
	2002	1003697		130420	873277		626744	9837,08	/	1003697	102	/

Annexe 2 Analyse des audits énergétiques

	2003	315506		31668	283838		289435	4259,41	/	315506	74.1	/
Mahdia-Tiaret	2000	14991094	7505850	3027781	/	4457463	6086810	/	/	14991094	/	/
	2001	12372224	5996235	2698906	/	3677083	5250873	873726	/	12372 224	14.2	25000
	2002	11988742	6273671	2226432	/	3488639	8770773	918843	/	11988742	13	25000
	2003	8346167	4394510	1413149	/	2538508	8515791	/	/	8346167	/	/
SMID ERIAD - Oum el Bouaghi	2000	11385880	5980105	1904419	/	3501356	8333127	/	/	11385880	/	/
	2001	12769830	6750540	2118180	/	3901110	10750800	/	/	12769830	/	/
	2002	10038720	5342867	1677593	/	3018260	8396030	/	/	10038720	/	/
	2003	5125780	3198563	764739	/	1162478	4155320	/	/	5125780	/	/
	2004	4061790	2269095	661447	/	1131248	2282360	/	/	4061790	/	/

	Année	EAct	ERéa	P (Q×)	CG(kwh)	CEa (m3)	CSG (kwh/Q×)	CSE (kwh/Q×)	CT(kwh)	CST (kwh/Q×)	Tg phi
ERIAD SBA Bechar	2003	30273.9	/	201826	/	/	/	/	30273.9	0.15	/
	2004	32434.09	/	249493	/	/	/	/	32434.09	0.13	/
	2005	32449.45	/	294995	/	/	/	/	32449.45	/	/
SOSEMIE-Blida	2002	1941680	1659483	/	/	/	/	/	/	/	0.85
	2003	5601276	4690788	/	/	/	/	/	/	/	0.83
	2004	2232674	1491407	/	/	/	/	/	/	/	0.67
EL HAMEL-Adrar	2002	58299	73011	/	/	/	/	/	/	/	1.25
	2003	103799	121797	/	/	/	/	/	/	/	1.17
	2004	423012	425809	/	/	/	/	/	/	/	1
Liana-biskra	2001	8 504 465	3410974	/	5127210.44	/	/	/	13631675.44		0.4
	2002	6 335 527	2175216	/	3061882.64	/	/	/	9397409.64		0.34
	2003	2095907	1 382 317	/	836774.12	/	/	/	2932681.12		0.65
Seybouse-Annaba	2002	1985197	4075101	424569.65	89492.85	9544	0.21	4.8	2074689.85	5	2.05
	2003	3414872	5287056	361008.25	121766.1	17683	0.33	9.4	3536638.1	9.7	1.54
	2004	2021931	3615570	280500.76	26865.3	19934	0.09	7.2	2048796.3	7.3	1.78
	2005	1464078	2184442	519416.505	119672.7	5934	0.23	10.5	1583750.7	3	1.49
SPAC -Sétif	2002	1442000	233669	60301	5172871.52	48414,1	85.8	23.9	6614871.52	109.7	0.16
	2003	1258780	486626	54428	4962698.08	41441,8	91.2	23.1	6221478.08	114.3	0.39
	2004	3157389	2086673	93706.25	5129854.08	44541,5	54.7	28.8	7830634.08	83.5	0.66

Annexe 2 Analyse des audits énergétiques

	2005	6130637	2648603	185810.064	7866606.12	67634,6	42.3	33	13997243.12	75.3	0.43
Sim Mitidja	1999	8788634	5103621		/	/	/		8788634		0.58
	2000	14412923	8885113	1950066	/	/	/	7.4	14412923	7.4	0.62
	2001	16455369	9867104	1 922 147	/	/	/	12.1	16455369	12.1	0.6
	2002	14407567	8709374	1 750 444	/	/	/	8.2	14407567	8.2	0.6
	2003	12233985	5511410		/	/	/		12233985		0.45
MOPROS-Ourgla	2001	612263	864726	7795,96	/	/	/	/	612263	78.5	1.41
	2002	1003697	626744	9837,08	/	/	/	/	1003697	102	0.62
	2003	315506	289435	4259,41	/	/	/	/	315506	74.1	0.91
Mahdia-Tiaret	2000	14991094	6086810		/	/	/	/	14991094		0.41
	2001	12372 224	5250873	873726	/	25000		14.2	12372 224	14.2	0.42
	2002	11988742	8770773	918843	/	25000		29.8	11988742	29.8	0.73
	2003	8346167	8515791	/	/	/	/	/	8346167		1.02
SMID ERIAD -Oum el Bouaghi	2000	11385880	8333127	/	/	/	/	/	11385880		0.73
	2001	12769830	10750800	/	/	/	/	/	12769830		0.84
	2002	10038720	8396030	/	/	/	/	/	10038720		0.83
	2003	5125780	4155320	/	/	/	/	/	5125780		0.81
	2004	4061790	2282360	/	/	/	/	/	4061790		0.56

	EActAM	ERéaAM	PAM (Q×)	CGAM(kwh)	CSGAM (kwh/ Q×)	CSEAM (kwh/ Q×)	CTAM (kwh)	CTSAM (kwh/ Q×)	CEaAM (m3)	Tg phi
ERIID SBA Bechar	31719,15	/	248771,3333	/	/	/	31719,15	0.13	/	/
SOSEMIE-Blida	3258543,333	2613892,667	/	/	/	/	3258543,333	/	/	0.80
EL HAMEL-Adrar	195036,6667	206 872	/	/	/	/	195036,6667	/	/	1.06
Liana-biskra	5 645 300	2 322 836	/	3008622.4	/	/	8653922.07	/	/	0.41
Seybouse- Annaba	2300293,667	3695689,333	396373.79	89449.224	0.19	0.22	166560.624	0.42	13 274	1.6
SPAC -Sétif	2997201,5	1363892,75	98561.33	5783007,45	50.6	58.7	10768358.7	109.3	50508	0.45
Sim Mitidja	13259695,6	7615324,4	1 874 219	/	/	7.1	13259695,6	7.1		0.57
MOPROS-Ourgla	643822	593634,75	7297.48	/	/	88.2	643 822	88.2	/	0.92
Mahdia-Tiaret	11924556,75	7156061,75	896 285	/	/	13.3	11924556,75	13.3	25000	0.6

SMID ERIAD - Oum el Bouaghi	8676400	6783527	/	/	/	/	8676400	/	/	0.78
--	----------------	----------------	---	---	---	---	----------------	---	---	-------------

Tableau .A4.2

A4.3. Tableau d'analyse des audits des (eau minérale et limonadière)

	Année	Contrat 6040					Contrat 6045					Contrat 6050			
		E.Act	H.C	HPT	HPL	E.Réa	E.Act	H.C	HPT	HPL	E.Réa	E.Act	H.C	HPL	E.Réa
Eau minérale/Saida	2002	106000	36000	18000	52000	51000	1156000	339000	172000	645000	509000	402000	203000	199000	183000
	2003	100000	30	17	53	44000	1942000	538000	315000	1089000	851000	246000	217000	29000	112000
	2004	97000	27000	16000	54000	42000	1080000	156000	232000	691000	468000	322000	280000	42000	148000

Tableau .A4.3

A5. Potentiel solaire

A5.1. Le flux solaire

L'énergie solaire est l'énergie émise par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques (principalement entre 0.3 et 3 μm) [3.6]. L'éclairement énergétique moyen sur une surface normale au rayonnement solaire est estimé à 1350 W/m^2 [A5.1]. Lors de la traversée de l'atmosphère il subit un certain nombre de réfractions, d'émissions et d'absorptions. Le flux solaire global incident est constitué d'une composante directe et d'une composante diffuse dont le pourcentage est variable.

Le rayonnement solaire atteint la surface sous trois formes (**Fig.A5.1**) :

- Le rayonnement direct : C'est la part du rayonnement provenant directement des rayons solaires ;
- Le rayonnement diffus : multidirectionnel, il provient de la réflexion par les nuages ou par les poussières de l'atmosphère ;
- Le rayonnement réfléchi : C'est le rayonnement réfléchi par les surfaces environnantes, sol, bâtiments proches, végétation.

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [A5.2]:

$$R_g = R_{dir} + R_{dif} \quad (\text{A5.1})$$

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par:

$$R_{dirh} = C^* \times \tau_{dir} \quad (\text{A5.2})$$

C^* : la constante solaire.

τ_{dir} : la transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct

L'éclairement énergétique R_{dir} reçu sur un plan incliné est donné par :

$$R_{dir} = R_{dirh} \times \cos\theta \quad (\text{A5.3})$$

θ : angle d'incidence des rayons solaires.

La relation entre le coefficient de transmission du flux direct et diffus est:

$$\tau_{dif} = 0.271 - 0.2939 \times \tau_{dir} \quad (\text{A5.4})$$

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par:

$$R_{difh} = C^* \times \sin(h) \times \tau_{dif} \quad (\text{A5.5})$$

h : hauteur du soleil.

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par:

$$R_{dif} = R_{dif1} + R_{dif2} \quad (\text{A5.6})$$

$$R_{dif1} = R_{difh} \times \frac{1+\cos(i)}{2} \quad (\text{A5.7})$$

$$R_{dif2} = alb \times \frac{1+\cos(i)}{2} \times (R_{difh} \times \sin(h) + R_{difh}) \quad (\text{A5.8})$$

G_{dif1} , G_{dif2} : rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement.

alb : albédo du sol.

i : angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.

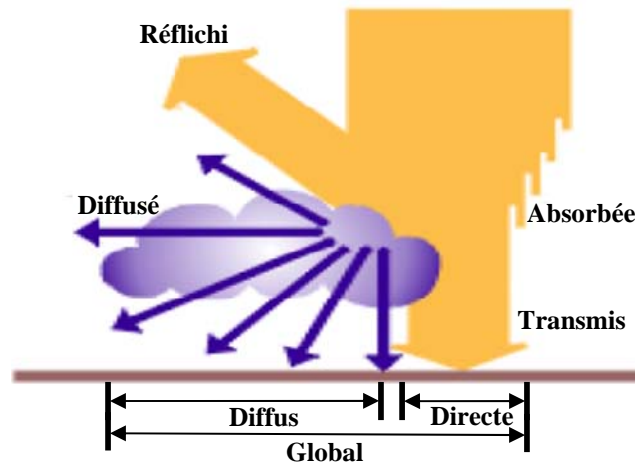


Fig.A5.1 Bilan radiatif terrestre [A5.3]

A5.2.Potentiel solaire en Algérie

Avec une superficie de 2.381.741 km², l'Algérie est le pays le plus vaste du côté de la méditerranée [A1.1]. En effet, l'Algérie est l'un des pays de la méditerranée qui dispose d'un potentiel énergétique solaire très élevé (Fig.A5.2). Selon les données d'ensoleillement, l'Algérie est comptée parmi les pays les plus ensoleillés dans le monde(Fig.A5.3).

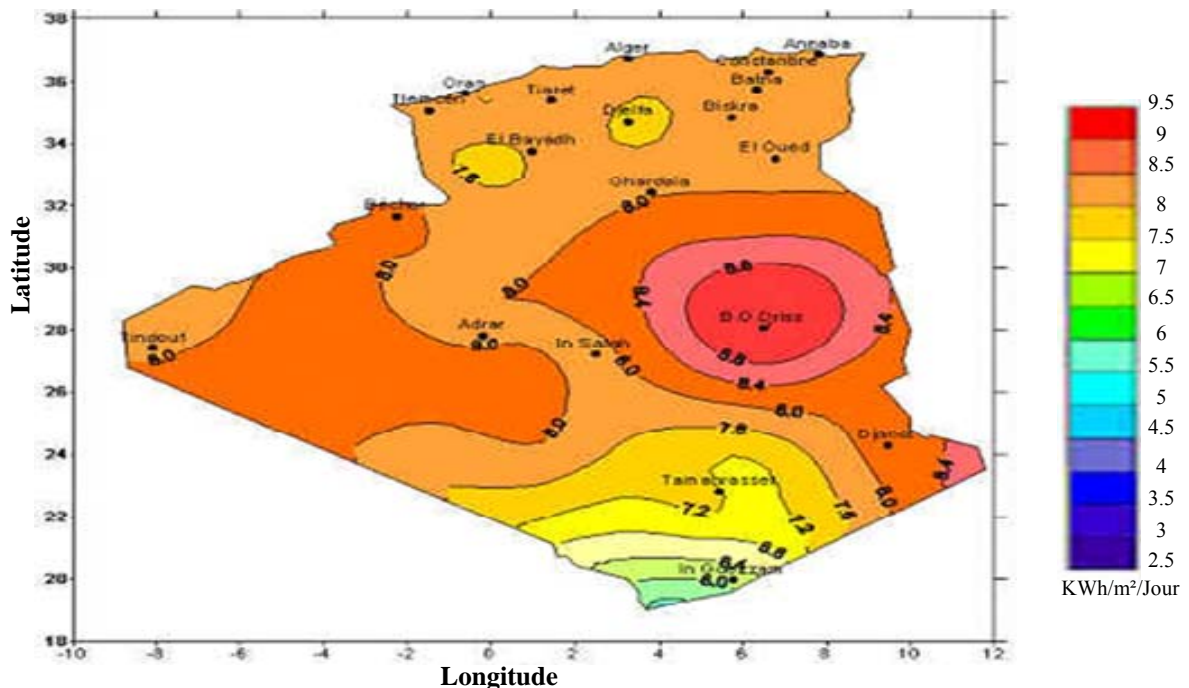


Fig.A5.2 Irradiation directe journalière reçue sur un plan horizontal au mois de Juillet [A5.4]

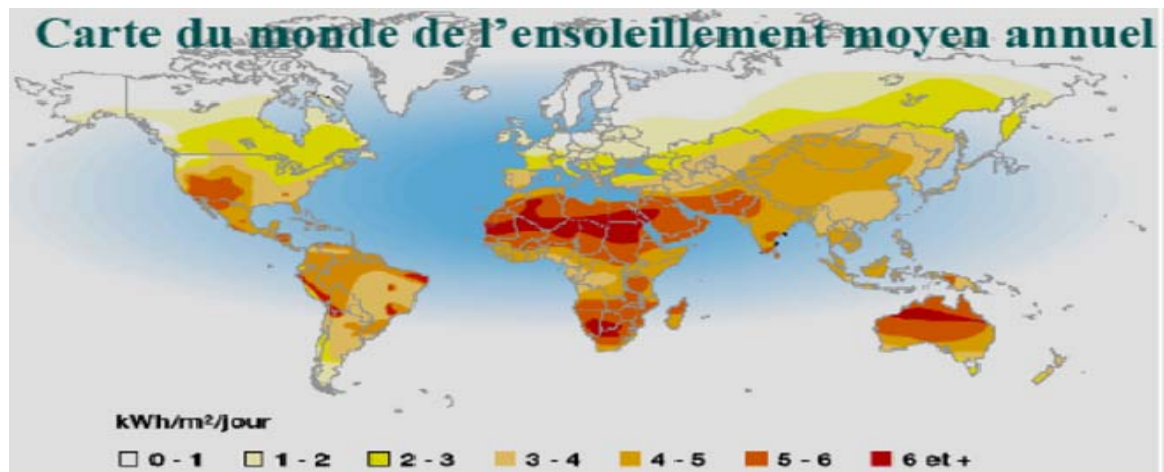


Fig.A5.3 Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [A5.5]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit: 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque et 35 TWh/an pour l'éolien. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est présentée dans le **Tableau. A5.1** selon l'ensoleillement reçu annuellement.

Régions	Littoral	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m²/an)	1700	1900	2650

Tableau. A5.1 Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique

Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. En effet, des opportunités exceptionnelles se présentent au niveau de toute la région pour exploiter le gigantesque gisement d'énergie solaire du Grand Sahara.

A5.2.1.Rayonnement solaire en Algérie

Les variations de l'énergie incidente en Algérie (4,3 kWhm⁻²jour à 7,0kWhm⁻².jour)[A5.6], montre qu'il existe plusieurs zone climatiques en Algérie (Tableau.A5.2).

Zones Energétiques	Rayonnement global moyen (kWh/m ² .jour)	
	Plan horizontal	Plan incliné
ZE1 Annaba	4.30	4.85
ZE2 Alger	4.60	5.26
ZE3 Batna	5.19	5.97
ZE4 Ouargla	5.69	6.53
ZE5 In -Salah	6.12	6.78
ZE6 Adrar	6.36	7.11
ZE7 Tamanrasset	6.47	7.01
ZE8 Djanet,	6.82	7.44

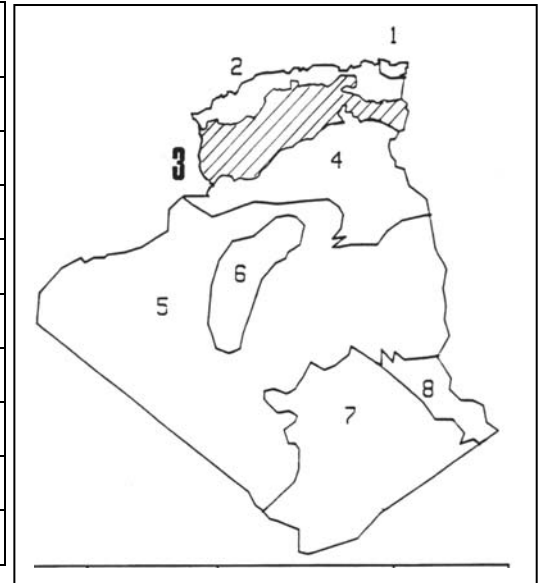


Tableau.A5.2 Rayonnement solaire par zones

D'après le tableau on constate que la zone de Batna est caractérisée par une quantité d'énergie incidente moyenne sur un plan horizontal de 5.19 kWh/m².jour et sur un plan incliné de 5.97 kWh/m².jour.

A5.3. Potentiel solaire a Batna

La connaissance du rayonnement solaire est essentielle au calcul de diverses performances des systèmes liés au solaire, tels que les chauffe-eau solaires, les modules photovoltaïques, et aussi pour le chauffage de habitations et des locaux par l'énergie solaire. Les exemples d'utilisation ne font que s'accroître au fil du temps. Cependant le développement de ces filières ne pourra se faire sans la connaissance approfondie du rayonnement solaire.

Dans cette partie du travail nous avons illustré le potentiel du rayonnement solaire incident sur le site de Batna.

A5.3.1.Rayonnement solaire global pour une semaine du mois d'Avril

D'après ces tests on constate que le rayonnement solaire global est intense pour la première semaine du mois d'Avril (**Fig. A5.4**). On remarque que cette semaine est caractérisée par des journées longues et claires où la quantité d'énergie moyenne incidente est de 7.424 kWh/m²/j.

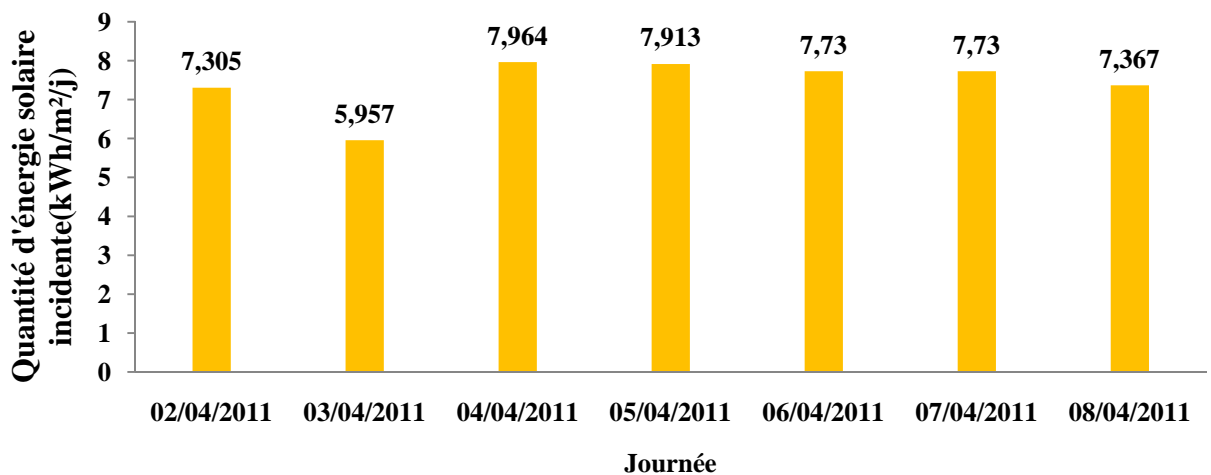


Fig.A5.4 Les quantités d'énergie solaire incidente pendant une semaine des tests du mois d'Avril

A5.3.2.Rayonnement solaire global pour une semaine du mois de Mai

Les quantités d'énergie solaire incidente enregistrées pendant la deuxième semaine du mois de Mai est importante (**Fig. A5.5**). On remarque que cette semaine est caractérisée par une quantité d'énergie moyenne incidente est de 6.208 kWh/m²/j malgré que les deux derniers jours sont des journées nuageux où l'énergie solaire incidente est faible.

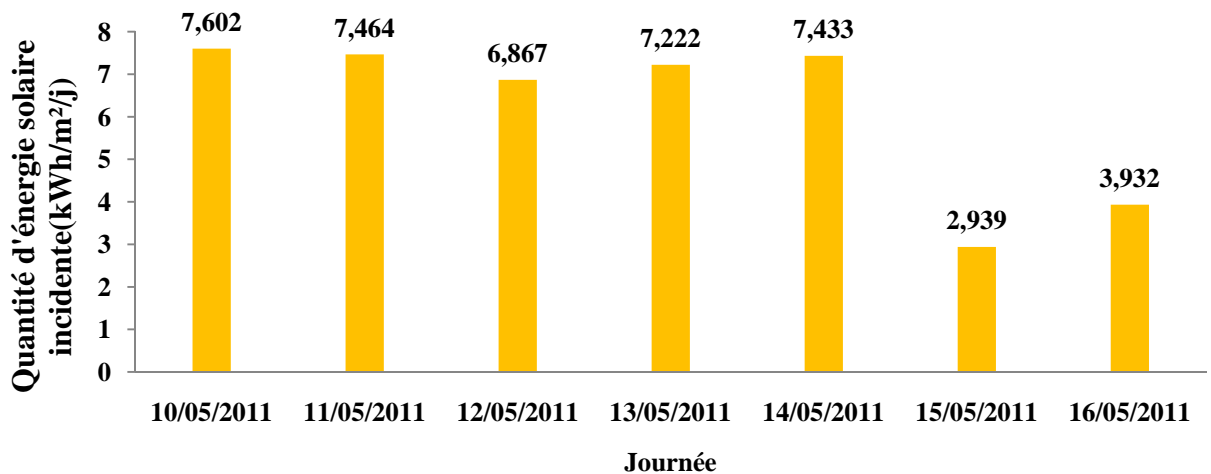


Fig.A5.5 Les quantités d'énergie solaire incidente pendant une semaine des tests du mois de Mai

A5.3.3.Rayonnement solaire global pour une semaine du mois d'Octobre

Les résultats obtenus dans la **Fig. A5.6**, montrent que la deuxième semaine du mois d'Octobre est instable elle a enregistré des journées claires, perturbées et une journée nuageuse. On remarque que la quantité d'énergie moyenne incidente est de 5.442 kWh/m²/j.

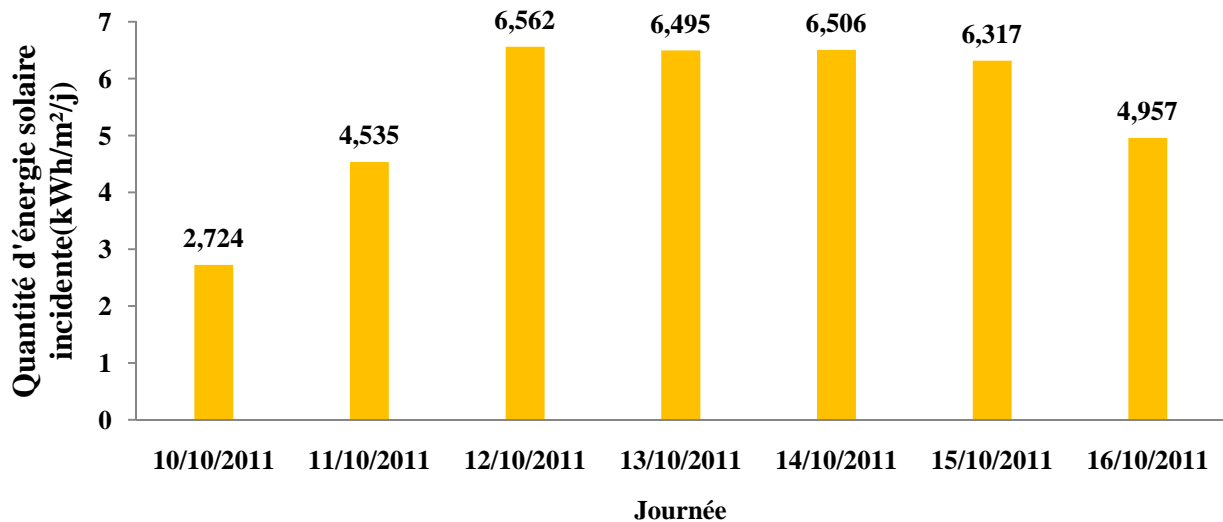


Fig.A5.6 Les quantités d'énergie solaire incidente pendant une semaine des tests du mois d'Octobre

A5.3.4. Evaluation des quantités moyennes d'énergie solaire incidente au cours des tests

Afin d'identifier le potentiel du rayonnement solaire incident et d'obtenir un indicateur relativement fiable, nous avons procédé au calcul de la valeur moyenne d'énergie solaire incidente pour chaque mois (Fig. A5.7). Les résultats obtenus sont pratiquement presque révélateurs du potentiel solaire important sur le site de Batna.

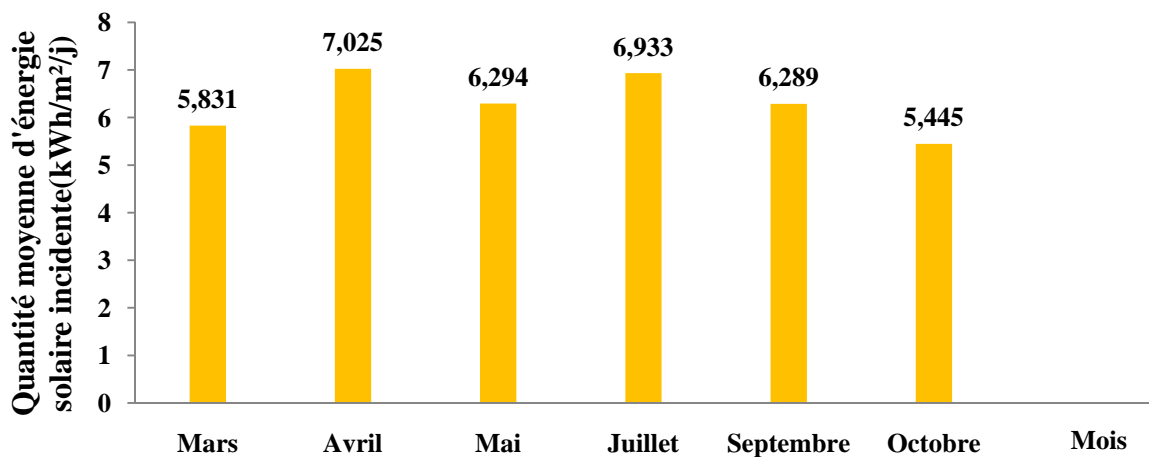


Fig.A5.7 Les quantités moyennes d'énergie solaire incidente pendant la période des tests