

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.  
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



# Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel en Génie  
Mécanique

Spécialité : Energétique

Option : Froid, Chauffage et Climatisation

Thème :  
Étude de faisabilité d'une installation de  
cogénération vapeur-électricité solaire intégrée  
à l'unité détergente de L'E.N.A.D  
(Sour el ghozlane).



**Encadré par :**

Pr. MOHAMMEDI Kamal

Dr. ZOUAOUI Salah

**Réalisé par :**

M. MAHDJANE FARID

M.DJOUDER HACENE

Promotion 2015/2016

# *Remerciements*

Nos remerciements vont tout premièrement à DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos familles pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont endurés.

Nous tenons, également exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur, le professeur MOHAMMEDI KAMEL, pour tout le temps et les efforts qu'il nous a consacré, pour son appréciable aide et pour ces remarques constructives.

Les plus profonds remerciements, respect et reconnaissance vont à notre Co-promoteur, docteur ZOUAOUI SALAH., pour son suivi, pour ces conseils, sa disponibilité, son travail constructif et sa générosité.

Tout le personnel du complexe détergent de L'E.N.A.D de Sour el ghozlane, on particulier le responsable Mr BOUALLAM AISSA de nous avoir fourni toutes les données nécessaires pour notre travail.

Nous tenons aussi à remercier Mr YAMANI NORDINE, ainsi, Mr HAMZAOU et Mr DJEBOURI H pour leurs aides précieux et leurs conseils pertinents.

Nous tiendrons à remercier aussi les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Enfin, on remercie toutes les personnes contribuées à ce modeste travail.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce précieux travail aux êtres les plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui m'ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est de vous dont je parle très chers parents. A mes frères MASSI et SOFIANE et toute ma famille: «MAHDJANE ».*

*A tous mes chers amis qui m'ont toujours soutenu. On particulier Imekhlef Hamid et Saadi nacer.*

*Sans oublié mon binôme DJOUDER HACENE avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude.*

**MAHDJANE FARID**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce précieux travail aux êtres les plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui m'ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est de vous dont je parle très chers parents. A mes frères et sœurs et toute ma famille: «DJOUDE».*

*A tous mes chers amis qui m'ont toujours soutenu.*

*Sans oublier mon binôme MAHDJANE FARID avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude.*

**DJOUDE HACENE**

# SOMMAIRE

---

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale ..... 1

## CHAPITRE I :

### GENERALITES ET ETAT DE L'ART SUR LE SYSTEME DE COGENERATION

#### PAR ENERGIES SOLAIRE

I .1. Introduction .....	3
I.2.Gisement solaire .....	3
1.2.1 Le soleil .....	3
1.2.2 Le rayonnement solaire .....	5
1.2.3 Le rayonnement solaire hors atmosphère .....	6
1.2.4 Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol .....	7
I.2.5. Le gisement solaire en Algérie .....	8
I.3 Solaire thermodynamique .....	10
I.4: Principaux types de concentrateurs .....	10
I.5.- Concentrateurs cylindro-paraboliques .....	14
I.5.1 Les capteur cylindro-parabolique en Algérie .....	14
I.5.2.La technologie des concentrateurs cylindro-parabolique .....	14
I.5.3.Description du concentrateur .....	15
I.5.4.Caractéristiques du concentrateur cylindro-parabolique.....	16
I.6. Caractéristique de cogénération (vapeur –électricité .....	16

I.6.1. La cogénération : de quoi s'agit-il .....	16
I.6.2 Les effets de la cogénération .....	19
I.7. Conclusion .....	19

## **CHAPITRE II**

### **Présentation du système au complexe détergente ENAD de Sour el ghozlane.**

II.1. Présentation du complexe .....	20
II.1.1- Historique du complexe (SEG) .....	20
II.1.2 Caractéristiques du complexe (SEG) .....	21
II.2. Présentation de système .....	22
II.2.1. Technologie des chaudières horizontales .....	22
II.2.2. Les Caractéristiques .....	23
II.3. La fabrication de chaudière en Algérie .....	24
II.4 Classification des chaudières .....	25
II.5. Conclusion .....	26

## **Chapitre III : La simulation sur trnsys**

III.1: Introduction .....	27
III.2. Description de trnsys .....	27
III.3. Simulation du système sur trnsys .....	29
III.4. Intégration de csp dans l'installation précédente .....	32
III.4.1. Les composantes de l'installation .....	32
III.5. Conclusion .....	34

## **CHAPITRE IV : Analyse énergétique du système**

<b>IV.1.Introduction .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.2. Analyse énergétique du système avant modification</b>	
<b>IV.2.1 La puissance consommée par la chaudière .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.2.2 Débits du combustible et de l'air .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.2.3 Les résultats de la simulation sur TRNSYS .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.3. l'Analyse énergétique des résultats de la simulation effectuée pour le système après intégration de csp .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.4. conclusion .....</b>	<b>45</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>46</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>47</b>

## Liste des figures

I.1 Premier prototype de Concentrateur Linéaire de Fresnel, Marseille(France) 1963 .....	3
I.2 Structure du soleil .....	5
I.3 Le spectre solaire.....	6
I.5 Rayonnement direct, diffus et global .....	8
I.6 Carte du monde de l'enseillent moyen annuel .....	8
I.7 Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à La latitude du lieu .....	9
I.8. principe d'une centrale solaire thermodynamique .....	10
I.9c réflecteur linéaire de Fresnel .....	11
I.9b Concentrateur parabolique .....	11
I.9a centrale à tour et champ d'héliostats .....	12
I.10 - Concentrateur cylindro-parabolique .....	13
I.11. Un capteur cylindro-parabolique.....	15
I.12 : vu d'ensemble du procédé solaire .....	17
II.1 : chaudière a vapeur surchauffée et à tube fumé horizontal .....	22
III.1 créé un nouveau projet.....	29
III.2 sélectionné les éléments de travail.....	30
III.3 connecté les éléments.....	30
III.4 schéma de l'installation initial.....	31
III.5 le schéma de l'installation a réalisée sur trnsys .....	32
III.6 une turbine a vapeur .....	33
III.7 un générateur d'électricité .....	34
IV.1 les résultats de notre simulation .....	36
IV.2 les résultats de la simulation pour les températures .....	37
IV.3 les résultats de la simulation pour l'électricité .....	38
IV .4 les résultats de la simulation pour les températures .....	39
IV.5 résultat de la simulation pour l'électricité .....	39

IV.6 Les résultats de la simulation pour les températures .....	40
IV.7 résultat de la simulation pour l'électricité .....	41
IV.8 les résultats de la simulation pour les températures.....	42
IV.9les résultats de la simulation pour l'électricité.....	42
IV.10 Résultat de la simulation pour les températures.....	43
IV.11. Résultat des températures de 15 juin.....	44
IV.12 résultat de l'évolution des températures pour le 10 octobre.....	44

## Liste des tables

<b>1.1 : Caractéristiques principales du soleil .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques .....</b>	<b>9</b>
<b>I.3 Les points forts et des Inconvénients de chaque filière .....</b>	<b>13</b>
<b>I.4 : Caractéristiques du concentrateur cylindro-parabolique .....</b>	<b>16</b>
<b>II.1 : Production CHAUDRAL .....</b>	<b>24</b>
<b>II.2 : Production ECFERAL en chaudières .....</b>	<b>25</b>
<b>IV.1. estimation de la consommation et la production de système .....</b>	<b>43</b>

# Nomenclature

## Lettre latines

$E_0$ : La constante solaire	$W/m^2$
$G$ : Rayonnement global.	$W.m^{-2}$
$H$ : Hauteur angulaire du soleil.	Degré
$I$ : Rayonnement direct.	$W/m^2$
$D$ : Rayonnement diffus.	$W/m^2$
$J$ : Numéro du jour de l'année à partir du premier janvier.	
$T_{vs}$ : Température de surchauffe à la sortie de la vapeur	Degré
$P_{sat}$ : Pression de fonctionnement	bar
$m'_v$ : Débit de vapeur	kg/h
$\Phi_{ch}$ : puissance consommé par la chaudière	MW
$L_v$ : chaleur latente	kJ/kg
$C_p$ : Chaleur spécifique	J/kg. °C
PCI: Pouvoir Calorifique Inférieur	kJ /kg

## Abréviations

Csp : collector solar power

Ccp : concentrateur cylindro-parabolique

E.N.A.D : entreprise nationale des produits de détergent

SEG : Sour el ghozlane

*Introduction*  
*générale*

## *Introduction générale*

---

Le contexte de crise de civilisation nous pousse à changer notre mode de fonctionnement. Sur le plan énergétique, nous devons réduire notre consommation et produire notre énergie dans le plus grand respect de la nature. Les technologies solaires participent à cet objectif. L'énergie solaire thermique à basse température pour les besoins du bâtiment ne demande qu'à être généralisée. L'énergie photovoltaïque est proche de la compétitivité pour la production d'électricité. La troisième famille de technologies est l'énergie solaire thermodynamique, qui fait appel à la concentration du rayonnement solaire. Cette énergie hélio thermodynamique a un atout majeur : le stockage de l'énergie solaire sous forme thermique.

L'énergie hélio thermodynamique est de plus en plus connue du grand public. Le potentiel de cette énergie renouvelable est reconnu et suscite un intérêt croissant. En effet, plusieurs caractéristiques en font une bonne candidate pour la production d'énergie notamment électrique. La possibilité de stocker l'énergie thermique est très avantageuse : la production d'électricité est moins dépendante de la ressource solaire instantanée et peut être mieux ajustée en fonction de la demande. Le stockage est d'ailleurs nécessaire pour assurer la stabilité du réseau électrique avec une grande part d'énergies renouvelables dans la production. L'hélio thermodynamique avec stockage thermique est donc une technologie clé pour augmenter la pénétration des énergies renouvelables dans le mix énergétique.

La technologie à miroirs cylindro-paraboliques est la plus mature. Elle bénéficie en particulier de l'expérience acquise à travers les centrales californiennes SEGS. Ces centrales construites dans les années 1980 sont encore en fonctionnement. Preuve est donc faite de la validité et de la durabilité de cette technologie.

Pour exploiter de façon optimale la ressource solaire, d'autres technologies paraissent même plus prometteuses : en particulier les centrales à tour, pour leur rendement, et les concentrateurs linéaires de Fresnel, pour leur coût. L'attention se focalise principalement sur la production d'électricité. Mais d'autres applications de l'énergie solaire concentrée sont très prometteuses : la génération de combustibles, ou de matériaux, le dessalement d'eau de mer ou la purification d'eau, ainsi que tous les systèmes de poly génération (électricité, chaleur, froid...). Les options d'hybridation et surtout de stockage d'énergie thermique sont cruciales au secteur de la production électrique à grande échelle.

Dans notre étude, on va s'intéresser à l'étude de faisabilité d'une installation de cogénération vapeur-électricité solaire intégrée à l'unité détergente de L'E.N.A.D (Sour el ghozlane).

Afin d'accomplir au mieux cette étude, le présent mémoire est structuré en quatre principaux chapitres en plus de l'introduction générale et la conclusion générale.

Dans le chapitre I, nous faisons un état de l'art sur les systèmes de production de la vapeur d'eau et l'électricité (cogénération) par énergie solaire.

Ensuite, dans le chapitre II, nous faisons une présentation du système au complexe détergent ENAD de Sour el ghozlane.

Au chapitre III, nous allons simuler sous TRANSYS une mini centrale csp intégrée à l'unité vapeur de l'ENAD.

Le chapitre IV, sera consacré à l'analyse des performances énergétique de l'installation.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

# *Chapitre I*

# CHAPITRE I :

## GENERALITES ET ETAT DE L'ART SUR LE SYSTEME DE COGENERATION

### PAR ENERGIE SOLAIRE

#### I.1. Introduction

C'est à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle que les premières expériences, sous leurs formes actuelles, apparaissent dans le domaine du solaire à concentration (exposition universelle de 1878). Au 20<sup>ème</sup> siècle, les premiers systèmes paraboliques produisant de la vapeur sont conçus. À la fin des années 1970, des projets pilotes de centrales solaires à concentration se développent aux États-Unis, en Russie, au Japon et en Europe. Les années 1980 marquent le début de la construction en série de ces centrales dans le désert californien. Aujourd'hui, la technologie de la solaire thermodynamique a considérablement évolué et de nombreux projets y font appel.

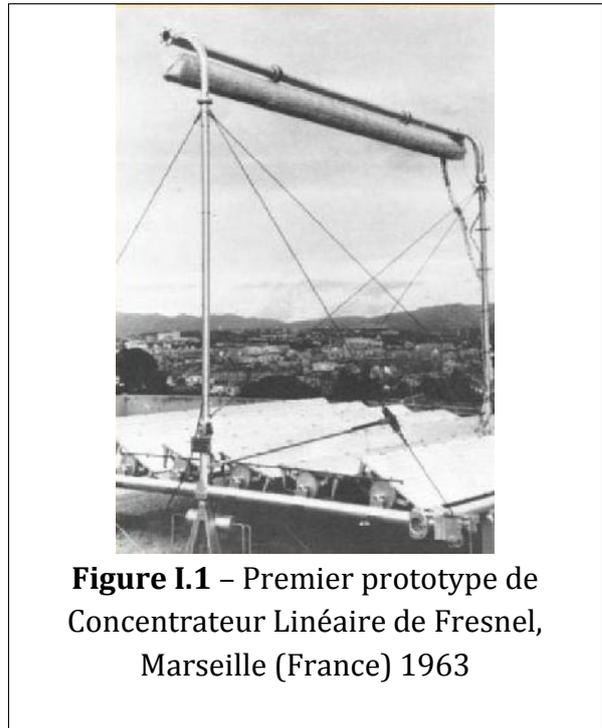
La solaire thermodynamique est l'une des valorisations du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité ou alimenter en énergie des procédés industriels.

Les centrales solaires thermodynamiques recouvrent une grande variété de systèmes disponibles tant au niveau de la concentration du rayonnement, du choix des fluides caloporteurs et thermodynamiques ou du mode de stockage. [1]

#### I.2. Gisement solaire

##### 1.2.1 Le soleil

Le soleil est l'origine principale de toute forme d'énergie sur terre. Ceci étant vrai autant pour les énergies conventionnelles d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont la conséquence de la photosynthèse ; que pour les énergies non conventionnelles dites renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, et l'énergie géothermique.



**Figure I.1** – Premier prototype de Concentrateur Linéaire de Fresnel, Marseille (France) 1963

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de  $14 \times 10^5$  km de diamètre, sa masse est de l'ordre de  $2 \times 10^{30}$  kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments [1].

Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à  $4 \times 10^{26}$  w. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de  $1,7 \times 10^{17}$  w. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère [1].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci dessous :

Diamètre (km)	$14 \times 10^5$
Masse (kg)	$2 \times 10^{30}$
Surface (km <sup>2</sup> )	$6.09 \times 10^{12}$
Volume (km <sup>3</sup> )	$1.41 \times 10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m <sup>3</sup> )	1408
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5 \times 10^{17}$

**Tableau 1.1** : Caractéristiques principales du soleil

Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales (fig.1.2)

**a/** L'intérieur, contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire, cette région s'étend sur une épaisseur de  $25 \times 10^4$  km. Cette couche est divisée en trois zones, le noyau, la zone radiative et la zone convective. Le rayonnement émis dans cette partie est totalement absorbé par les couches supérieures. La température atteint plusieurs millions de degrés, et la pression un milliard d'atmosphères.

**b/** La photosphère est une couche opaque, très mince, son épaisseur est d'environ 300 km, elle est responsable de la presque totalité du rayonnement qui nous parvient, c'est la partie visible du soleil. L'ordre de grandeur de la température n'y est plus que de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de  $4500^\circ$ .

**c/** La chromosphère et la couronne solaire, sont des régions à faible densité où la matière est très diluée, elles constituent l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible, bien que la température y est très élevée (un million de degrés),

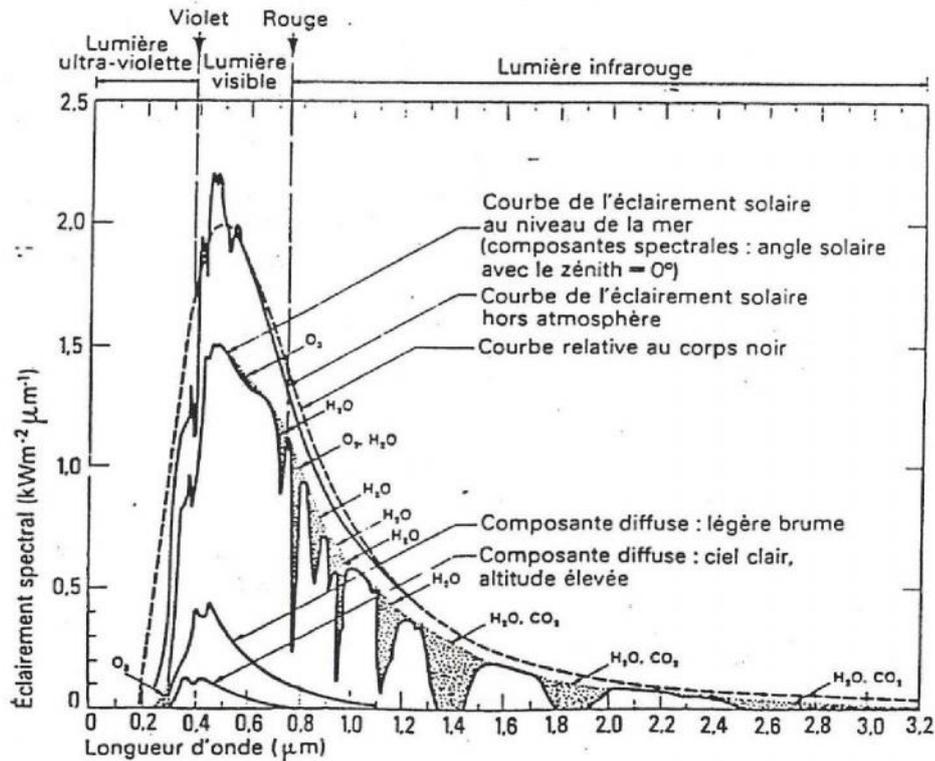


Figure I.3 Le spectre solaire

### 1.2.3 Le rayonnement solaire hors atmosphère

Le rayonnement solaire hors atmosphère ne dépend que des paramètres astronomiques, il est caractérisé par une donnée fondamentale appelée constante solaire [1].

#### La constante solaire :

La constante solaire  $E_0$  est le flux énergétique reçu par une surface unité, normale aux rayons solaires, située en dehors de l'atmosphère à une distance moyenne terre-soleil. La mesure de la constante solaire a fait l'objet de nombreuses expériences. Dans notre cas nous adopterons la valeur de  $1353 \text{ w/m}^2 (\pm 1,5\%)$ . Ce flux, dit constante solaire varie cependant légèrement au cours de l'année, suivant les variations de la distance terre-soleil. En première approximation, on peut calculer la valeur de  $E$  en fonction du numéro du jour de l'année  $j$  par la relation suivante :

$$E = E_0 [1 + 0,033 \cos (0,984 j)]$$

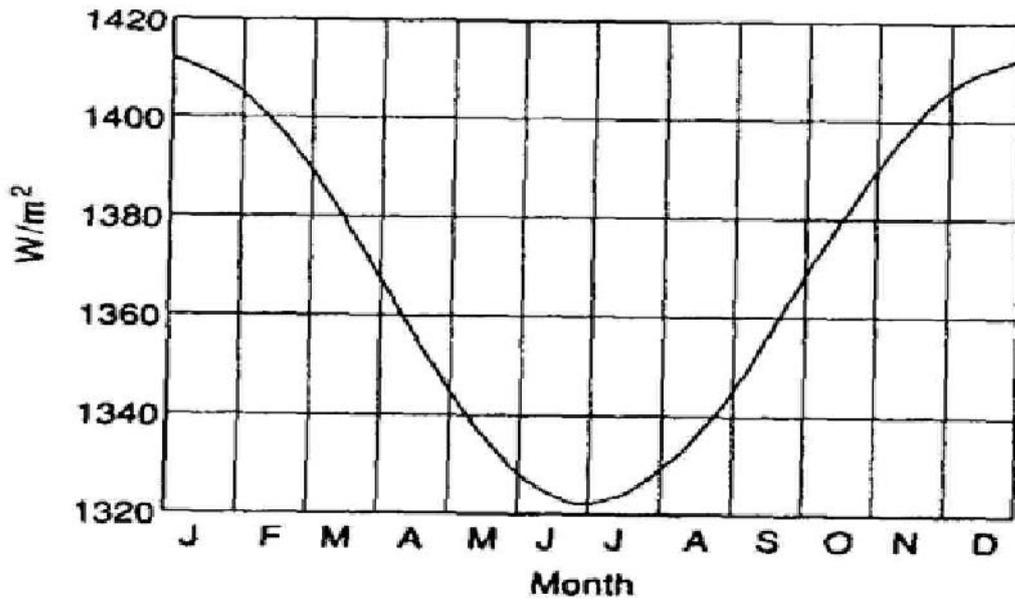


Figure I.4 Evolution annuelle de la constante solaire dans le sud

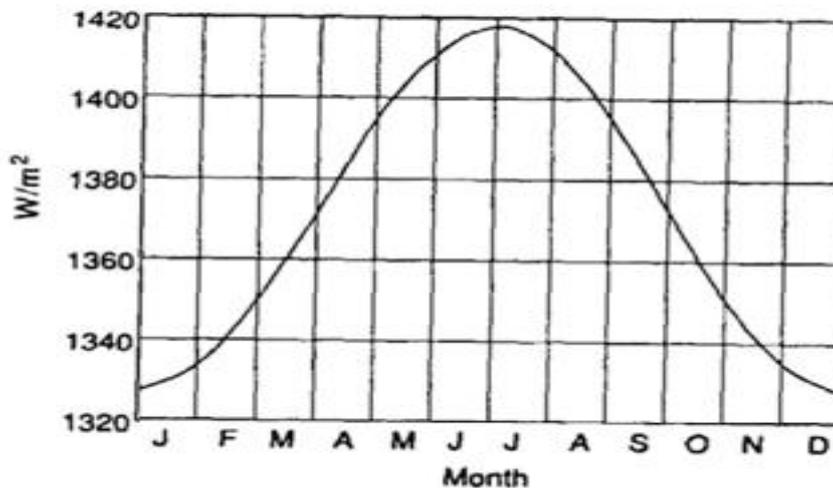


Figure I.4 Evolution annuelle de la constante solaire dans le nord

#### 1.2.4 Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol

L'atmosphère terrestre perturbe grandement et par des processus variés le flux de photons issu du soleil. Donc, après sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire peut être considéré comme la somme de deux composantes :

- **Le rayonnement direct** est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il provient du disque solaire seulement à l'exclusion de tout

rayonnement diffusé, réfléchi ou réfracté par l'atmosphère.

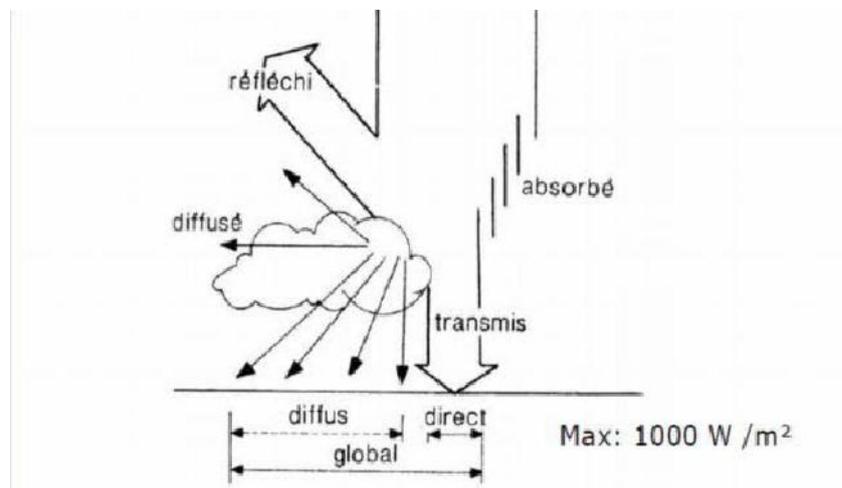
- **Le rayonnement diffus** est la part du rayonnement solaire provenant de toute la voûte céleste, à l'exception du disque solaire, et diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.

**Le rayonnement global** est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste. Il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La figure 1.8 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol.

Les trois quantités, le rayonnement direct noté  $I$ , le rayonnement diffus  $D$ , et le rayonnement global  $G$ , sont reliés par la relation suivante :

$$G = I \cdot \sin(h) + D$$

Où  $h$  est la hauteur du soleil.



**Figure I.5** Rayonnement direct, diffus et global

### I.2.5 Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [4].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.6 :

Les points forts et des Inconvénients de chaque filière sur la table I.3

Concentration :	Système à concentration linéaire		Système à concentration ponctuelle	
Type de champ solaire	Cylindro-parabolique	Linéaire de Fresnel	Récepteur central (tour)	Parabole
État de l'art	Commercial	pré-commercial	pré-commercial	prototypes opérationnels
Coût du champ solaire	200-250	150-200	250-300	>350
Taille type d'une unité	5-200	1-200	10-100	0,010
Besoins pour la construction	Importants	simples	importants	Modérés
Température de fonctionnement	390-550	270-550	550-1000	800-900
Fluide caloporteur	huile thermique, eau/vapeur	huile thermique, eau/vapeur	air, sels fondus,	Air
Cycle thermodynamique	Rankine	Rankine	Brayton, Rankine	Stirling, Brayton
Machine thermodynamique	Turbine à vapeur	Turbine à vapeur	Turbine à gaz, turbine à	Moteur Stirling
Expérience	Elevée	faible	moyenne	Moyenne
Fiabilité	Elevée	inconnue	moyenne	Moyenne
Stockage thermique	sels fondus, béton, PCM	sels fondus, béton, PCM	sels fondus, céramique,	sels fondus, céramique,
Combinaison avec	Facile	facile	facile	facile
Intégration à l'environnement	Difficile	facile	moyen	moyen
Besoins pour le fonctionnement	Importants	simples	importants	simples
Emprise au sol	Elevée	faible	élevée	modérée

**Table I.3** Les points forts et des Inconvénients de chaque filière

(application domestique en Europe), en passant par 400 V (réseau basse tension triphasé) jusqu'à 15 kV voire plus sur certaines très grosses unités à cycle combiné.

- **Génération thermique**

Un moteur possède un rendement électrique d'environ 35 à 45%, une turbine, un rendement électrique d'environ 25 à 40%, et celui d'une pile à combustible se situe aux alentours de 20 à 30%. La quasi-totalité du solde de l'énergie consommée est transformée en chaleur.

La cogénération consiste à récupérer au mieux cette énergie, afin de la valoriser pour atteindre un rendement total pouvant aller jusqu'à 80-90%. Ceci implique une production locale par de petites unités. En effet, une production électrique de 10 MW par exemple, implique la dissipation d'environ 20 MW de chaleur. Il s'agit de la puissance permettant théoriquement de chauffer, soit 570 logements de 100 m<sup>2</sup> construits avant 1975, soit 1.000 logements plus récents (toujours de 100 m<sup>2</sup>). En pratique, comme la chaleur se transporte beaucoup moins bien que l'électricité, elle n'est pas récupérée. Lorsque, grâce à la cogénération, ce gaspillage peut être évité, les principaux moyens d'utilisation de cette chaleur sont la production de vapeur, la production d'eau chaude et la production d'air chaud.

Dans le cas de turbine à gaz comme de moteurs à combustion, il est possible de récupérer une partie de la chaleur en sortie sous forme de vapeur haute pression et haute température. L'utilisation de cette vapeur au travers d'une turbine à vapeur permet d'accroître fortement la production électrique de l'ensemble et atteindre un rendement électrique de l'ordre de 55%. Cette technique de production électrique s'appelle le « cycle combiné ».

Ces techniques de récupération sont valables s'il y a localement un besoin important de chaleur (à proximité de ville ou de grosse industrie).

## **I.6.2 Les effets de la cogénération**

### **1) Economie d'énergie primaire**

- meilleur rendement que la production séparée
- moins de pertes d'énergie électrique par le réseau

### **2) Impact sur la production d'électricité**

- augmentation de la capacité de production globale (différents effets suivant les Pays)
- possibilité de perturbations sur le réseau

### 3) Impact économique

- Diminution des importations globales d'énergie primaire
- Ouverture des marchés
- Production décentralisée

### 4) Effets sur l'environnement

- Emissions globales, émissions locales
- Bruit, vibrations ...

## I.7. Conclusion

La technologie des capteurs cylindro-paraboliques est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire. L'énergie thermique reçue est collectée et absorbée pour être utilisée au chauffage du fluide caloporteur à température élevée, qui est pompé dans des échangeurs afin de produire de la vapeur surchauffée. L'utilisation thermique de l'énergie solaire a tous les avantages quand l'approvisionnement en énergie classique est entré en crise, mais le prix de revient des éléments de ce capteur est le principal facteur qui limite son application économique. Le champ solaire est une source importante pour les pays désertiques, il assure la production de l'électricité et de l'énergie thermique.

La cogénération est une forme de production d'énergie compatible avec le développement durable et la gestion optimale des ressources naturelles.

# *Chapitre II*

### II.2.1. Technologie des chaudières horizontales[5]

La figure II.1, montre un schéma typique d'une chaudière horizontale à tubes de fumées. On peut énumérer les principaux éléments constituant la chaudière à partir de cette figure.

- Une enveloppe cylindrique destinée à contenir le volume d'eau à chauffer et éventuellement à vaporiser. Cette enveloppe interne est entourée d'une épaisse couche isolante en laine de verre ou de roche, suivi d'une seconde enveloppe en acier repeint ou en acier inoxydable.
- D'un tube foyer destiné à recevoir les gaz brûlés dès leurs apparitions sous forme de flamme. Le tube foyer est généralement de diamètre important. Il peut être lisse ou ondulé, il est précédé d'une ouverture dite « trou d'homme » permettant de l'inspecter.
- Un ensemble brûleur-ventilateur (en rouge) génère la flamme permettant le chauffage de la masse d'eau. La chaudière est dite à air soufflé.
- Les gaz brûlés quittent le tube foyer et se dirigent directement dans un faisceau de tubes de fumées qui peuvent former une seule passe ou plusieurs passes.
- Des pompes multicellulaires (au premier plan de la figure) destinées à alimenter la chaudière en eau et permettant de maintenir la pression de fonctionnement désirée. Selon l'importance de la chaudière, on la munie d'une paire de pompes une en fonctionnement et la seconde palliant un éventuel de la première.
- Un panneau regroupant l'ensemble de la commande et de l'alimentation électrique (à gauche de la figure)
- Une cheminée pour dégager les gaz brûlés en fin de parcours (à droite)
- Des soupapes de sûreté et purge sur la partie supérieure de la chaudière.
- Un indicateur de niveau d'eau en haut à gauche.
- Une canalisation de dégagement de lavapeur sur la partie supérieure.
- Un surchauffeur peut être intégré au fond du foyer de la chaudière.
- Différents capteurs rentrant dans le système de régulation et de sécurité équipent les chaudières, tels les thermostats, pressostats...

### II.2.2. Les Caractéristiques :

Les chaudières horizontales sont caractérisées par des valeurs physiques et géométriques qu'on peut résumer par les points suivants :

- Le timbre est fixé à la construction soit de 4 à 20 bars.
- Le rendement sur PCI dépasse les 90%

- Les températures maximales atteignent les 450°C
- Les puissances thermiques atteignent les 25MW
- Les Puissances vaporisatrices vont jusqu'à 40 t/h
- La surface de chauffe avoisine les 300m<sup>2</sup>
- Le volume d'eau peut atteindre 23 m<sup>3</sup>
- L'encombrement maxi 9x4.5x4 m
- Le poids à vide maxi 45 tonnes

**Not :** Le timbre est la pression maximale de fonctionnement de la chaudière en bars.

**II.3.La fabrication de chaudière en Algérie[6]**

Plusieurs constructeurs publics et privés fabriquent ces appareils de large utilisation en Algérie. Les plus importantes entreprises sont CHAUDRAL filiale de l'entreprise nationale de charpente et de chaudronnerie (ENCC), ECFERAL (entreprise de chaudronnerie et de ferblanterie d'Alger), FCGBI (fabrication et commercialisation de chaudières, de générateurs et de ballons), écochaud de M'Sila fabrique aussi des chaudières de type eau et vapeur de petites puissances.

De loin la plus importante l'entreprise CHAUDRAL fabrique une large gamme de chaudières industrielles et domestiques dans une large gamme de puissance et de types. Le tableau II.1, résume la production CHAUDRAL.

<b>Type</b>	<b>Taille</b>	<b>Capacité</b>
SAADA	Taille 1	113 à 228 kg/h
SAADA	Taille 2	340 à 455 kg/h
SAADA	Taille 3	567 à 680 kg/h
CHLEF	Taille 1	710 à 900 kg/h
CHLEF	Taille 2	1120 à 1350 kg/h
CHLEF	Taille 3	1600 à 1800 kg/h
CHLEF	Taille 4	2240 à 2800 kg/h
FOGGARA	Taille 5	3150 à 4500 kg/h
FOGGARA	Taille 6	5000 à 6300 kg/h
FOGGARA	Taille 7	6800 à 9070 kg/h

FOGGARA	Taille 8	10200 à 11340 kg/h
FOGGARA	Taille 9	13600 kg/h
FOGGARA	Taille 10	15875 kg/h

**Tableau II.1 : Production CHAUDRAL**

La production d'ECFERAL est limitée en termes de puissance, mais fabrique aussi des chaudières horizontales à eau liquide et à vapeur à tubes de fumées, des incinérateurs et des générateurs à eau chaude. Sa production peut être résumée dans le tableau II.2.

Type	Type	Capacité
MYRA	Générateur de vapeur	500à 16000 kg/h
SARA	Chaudières eau chaude	600 à 2500 kg/h
TALA	Générateur d'eau chaude	3000 à 7000 kg/h

**Tableau II.2 : Production ECFERAL en chaudières**

#### II.4 Classification des chaudières

On classe les chaudières en fonction de leurs puissances thermiques:

- Les petites chaudières : Appareils monoblocs transportables, pré-étudiés préfabriqués et standardisés chez chaque constructeur. Les puissances thermiques sont de l'ordre de 55 à 22500 thermies /h et les débits sont de l'ordre de 100kg/h à 40 t/h de vapeur un timbre de 4 à 20 bars et une température allant jusqu'à 450°C.
- Chaudières moyennes: Appareils pré-étudiés préfabriqués standardisés et parfois adaptés à la demande. Les puissances thermiques varient entre 11500 et 115000 thermies/h. Le débit entre 20 et 200t/h le timbre entre 15 et 100 bars et la température allant jusqu'à 520°C (de vapeur d'eau).
- Les grandes chaudières: Appareils étudiés et fabriqués à la demande. De 400 à 2100t/h de vapeur et plus jusqu'à 1200MW un timbre de 135 à 360 bars et des températures maximales allant à 654°C.

**II.5. Conclusion**

E.N.A.D est une entreprise nationale spécialisée dans le domaine de fabrication des produits de détergent.

Les chaudières à vapeur surchauffée horizontale et à tubede fumées. Ce sont des chaudières classées dans la catégorie des petites chaudières. Elles produisent de la vapeur surchauffée pour les différents usages

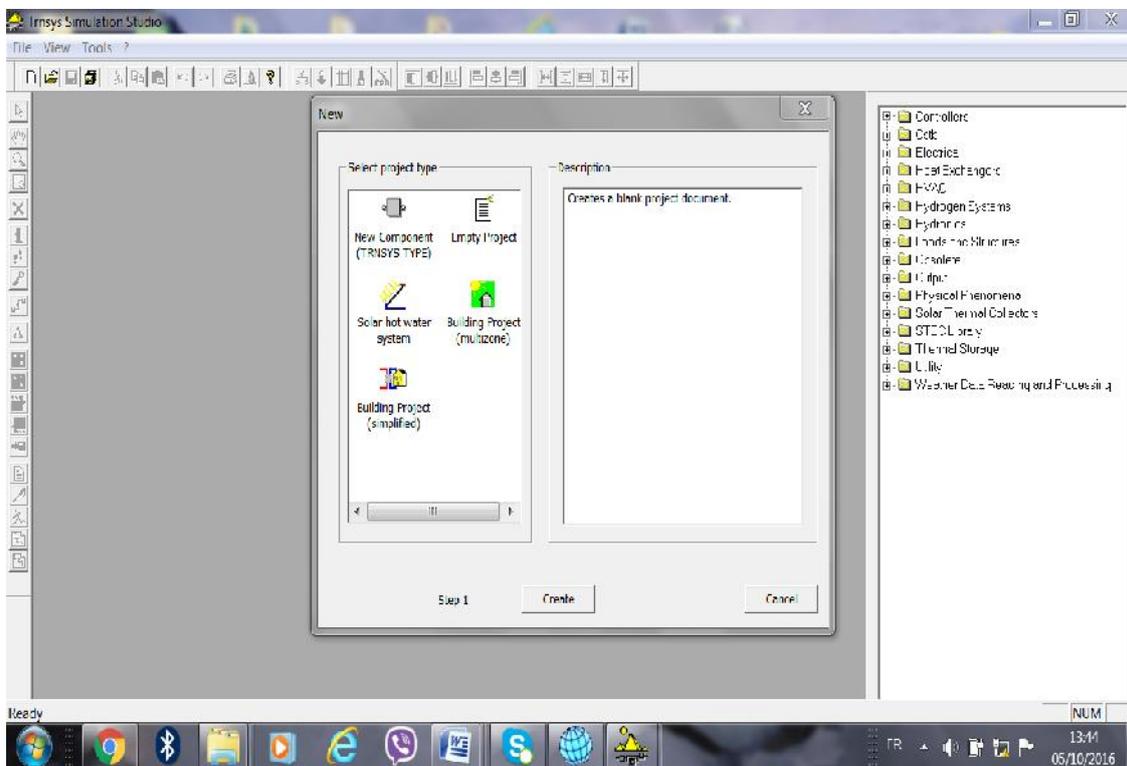
# *Chapitre III*

· Interaction de TRNSYS et les autres environnements de simulation comme: FLUENT, MATLAB, outils CAO...etc.

### III.3. Simulation du système sur TRNSYS :

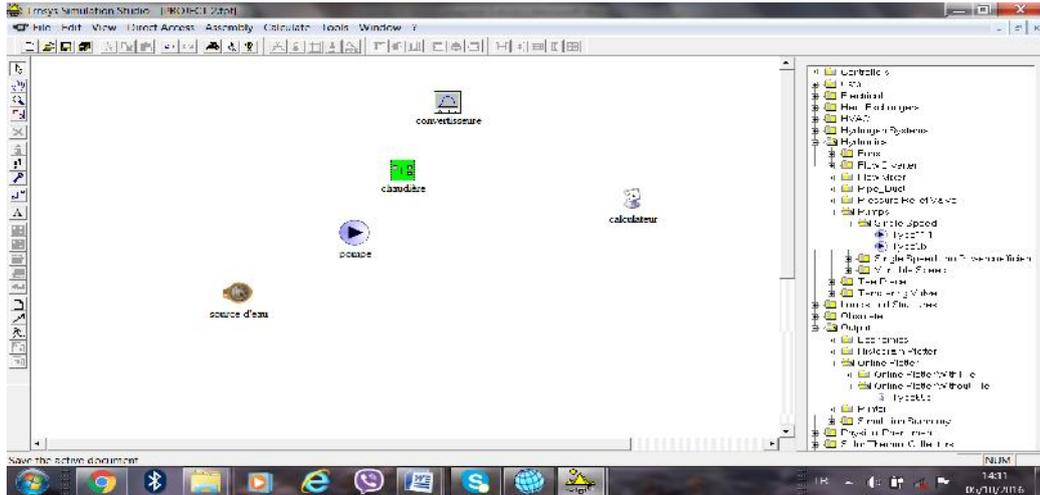
Pour réaliser un projet sur TRNSYS on passe par plusieurs étapes :

1. On va ouvrir le logiciel trnsys puis on choisit la fenêtre( creer un nouveau projet « Empty project ») , indiqué a la figure III.1



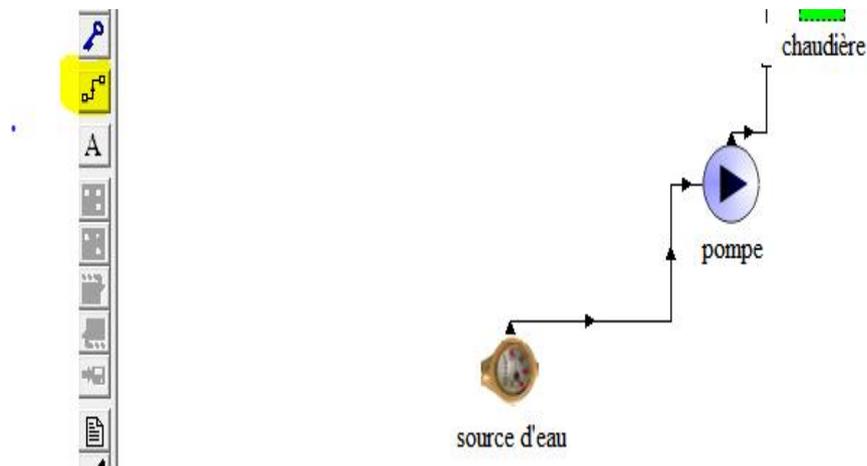
**Figure III.1 créé un nouveau projet**

2. on va choisir les composants dont on a besoin en cliquant sur les bibliotheques qui se trouvent à droite de la figure ,puis on l'ajoute dans notre page de travaille comme indiqué sur la figure III.2



**Figure III.2** sélectionné les éléments de travail

3. Ensuite on va connecter nos composants en cliquant sur le bouton jaune(link) à gauche , comme indiqué sur la figure III.3



**Figure III.3** connecté les éléments

4. Enfin , on règle les paramètres d'entrée et de sortie de nos composants, on va simuler notre projet par le bouton (Run) comme indique sur la figure III.4

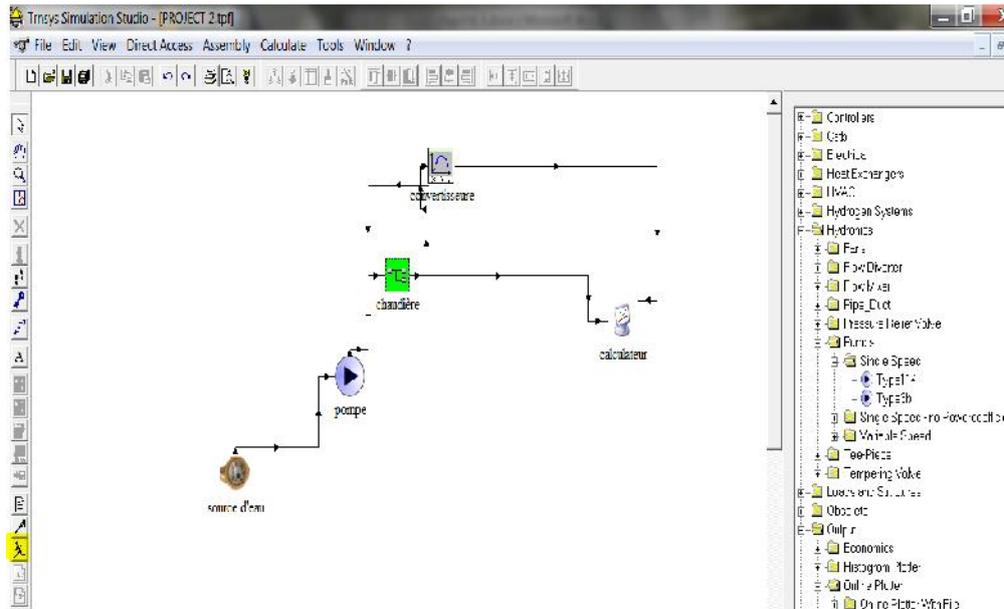


Figure III.4 schéma de l'installation initial

## 5. Les composants du cycle

(a) **Source d'eau** : c'est le depart initial de l'eau

(b) **Pompe** : une pompe à eau qui aspire l'eau de la source et qui va le reffouler vers la chaudiere d'un debit de 16800 Kg/hr et a une temperature de 20 °C

(c) **Chaudiere** : elle fonction avec le gaz naturel, elle recoit le debit d'eau reffoulé par la pompe ,puis elle le chauffe jusqu'à une temperature de 180°C et un debit de vapeur surchauffé a la sortie allant jusqu'a 16000 Kg/h . les données sont résumées comme suit :

Température de la vapeur surchauffée a la sortie de la chaudière  $T_{vs} = 180^{\circ}\text{C}$

Pression de fonctionnement

$$P_{\text{sat}} = 12 \text{ bars}$$

Débit de vapeur

$$m'_{\text{v}} = 16000 \text{ kg/h}$$

Température de l'eau d'alimentation

$$T_{\text{ee}} = 20^{\circ}\text{C}$$

Température de l'air d'alimentation

$$T_{\text{ea}} = 18^{\circ}\text{C}$$

Combustible principal gaz naturel algérien ( $\approx 84\%$  de  $\text{CH}_4$ )

(d) **Le calculateur et le convertisseur** : sont des outils de trnsys qui nous permettent d'obtenir des graphes et des calculs comme henthalpie ....

### III.4. Intégration de csp dans l'installation précédente :

Pour produire de l'électricité au sien de L'ENAD on a intégré une centrale solaire csp a l'installation initiale, qui nous permet la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, qui entraine une turbine à vapeur reliée à un générateur d'électricité, tout se fait dans les conditions météorologiques de Bouira qui sont dans la base de données du logiciel, comme indique la figure III.5

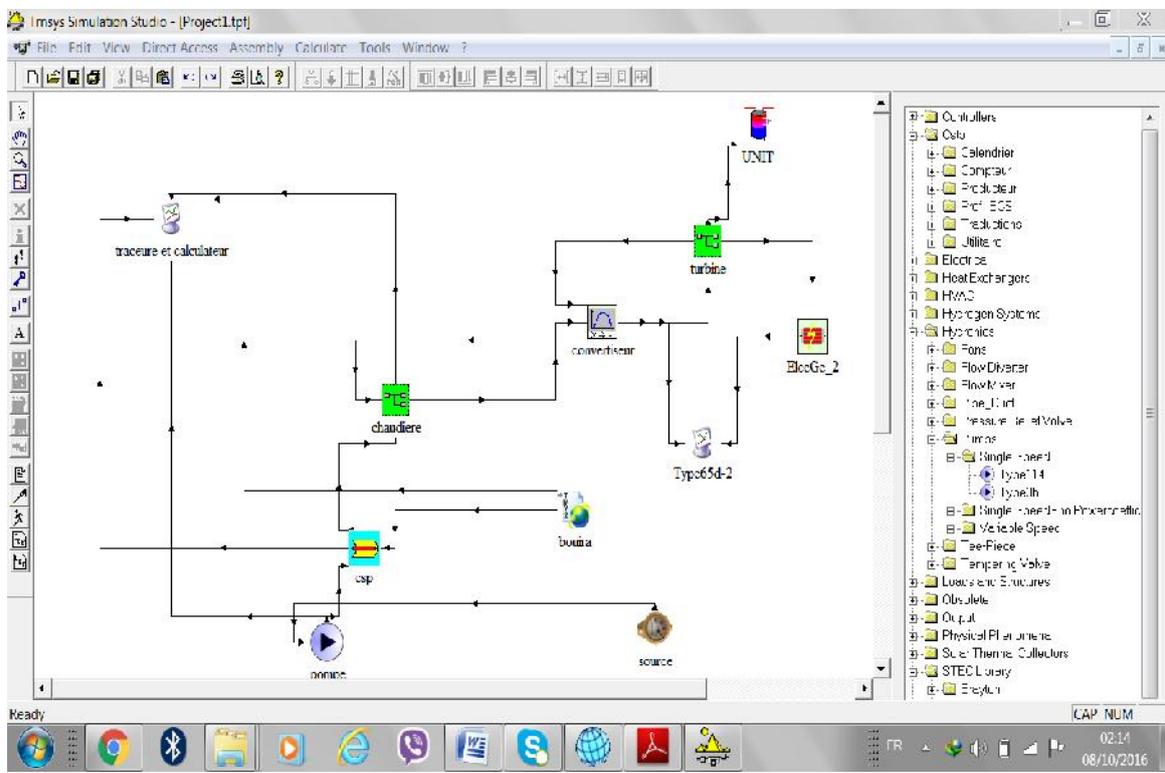


Figure III.5 le schéma de l'installation a réalisée sur trnsys

### III.4.1. Les composantes de l'installation :

1. **Capture cylindro parabolique :** Surface : 2,5 hectares
2. **Turbine à vapeur :** La turbine à vapeur comprend une partie fixe appelée stator qui porte des aubages directeurs. La vapeur en provenance de l'évaporateur est admise dans un collecteur. Elle s'écoule ensuite dans des canaux fixes (c'est là où l'énergie thermique se transforme en énergie cinétique) et dans des canaux mobiles (les énergies thermiques et cinétiques sont transformées en énergie mécanique). Les canaux fixes et mobiles se succèdent les uns à la suite des autres dans le sens de l'écoulement. La vapeur en provenance du générateur de vapeur est introduite dans les premiers étages de la turbine à travers des vannes d'admission et des soupapes de réglage asservies aux dispositifs de sécurité et de réglage de la turbine. La vapeur est détendue adiabatiquement en produisant un travail mécanique

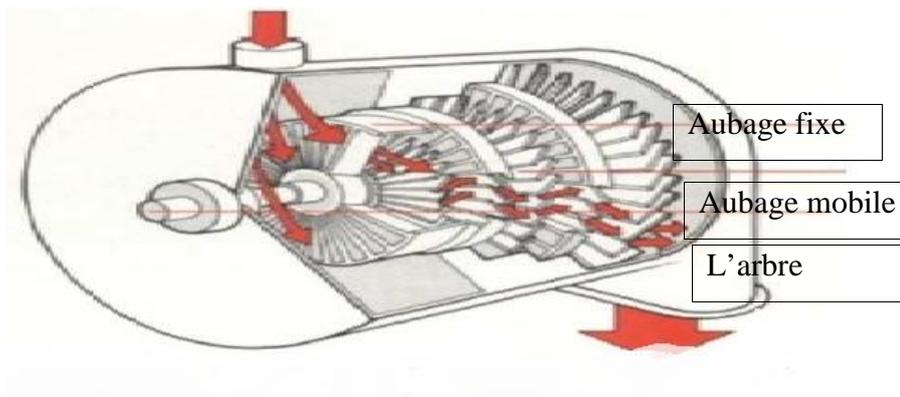


Figure III.6 une turbine a vapeur

### 3. Générateur électrique :

L'énergie électrique résulte de la combinaison de l'énergie mécanique et d'un alternateur; cette énergie est à courant alternatif. Il se divise en 2 parties: le stator et le rotor. Le stator est la partie fixe de celui-ci et se compose d'un bobinage de fils de cuivres, tandis que le rotor est la partie mobile qui se compose d'électro-aimants. L'arbre relié au rotor le fera tourner à l'intérieur du stator, ceci formera un champ magnétique dans l'alternateur (l'arbre est relié de l'autre côté à la turbine). Ce champ magnétique provoquera un déplacement d'électrons donc un courant électrique récupéré au niveau du stator. Quand

on compare un moteur et un alternateur, on constate que l'alternateur travaille dans le sens inverse du moteur, au lieu de transformer l'énergie électrique en énergie motrice, il transforme l'énergie motrice, ou mécanique, en énergie électrique.

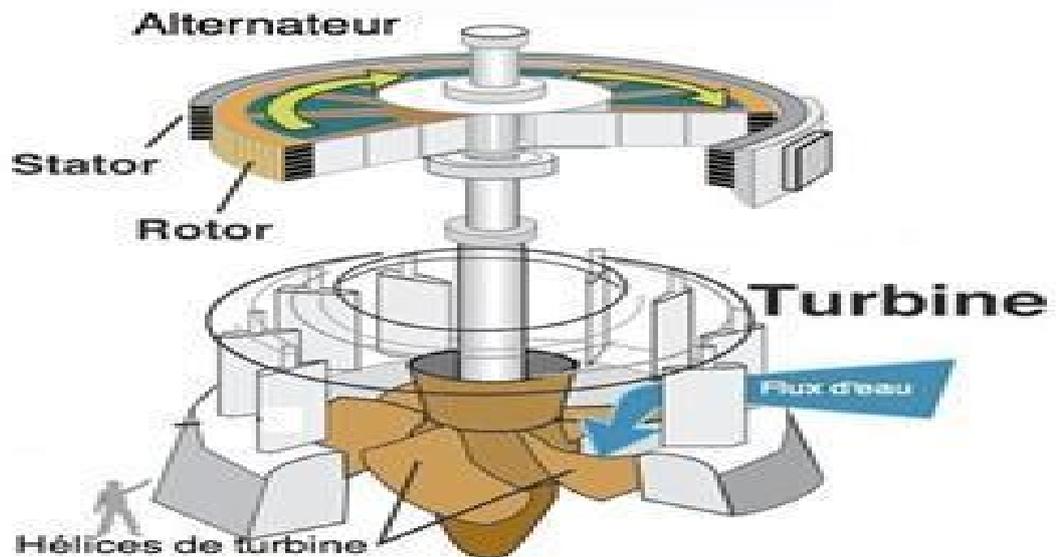


Figure III.7 un générateur d'électricité

### III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a exploré la méthode de création d'un projet sur TRNSYS, ainsi on a essayé de faire le schéma de l'installation de notre nouveau système (avec des concentrateurs cylindro-paraboliques) qu'on va proposer à l'E.N.A.D.

# *Chapitre IV*

### IV.2.3 Les résultats de la simulation sur TRNSYS

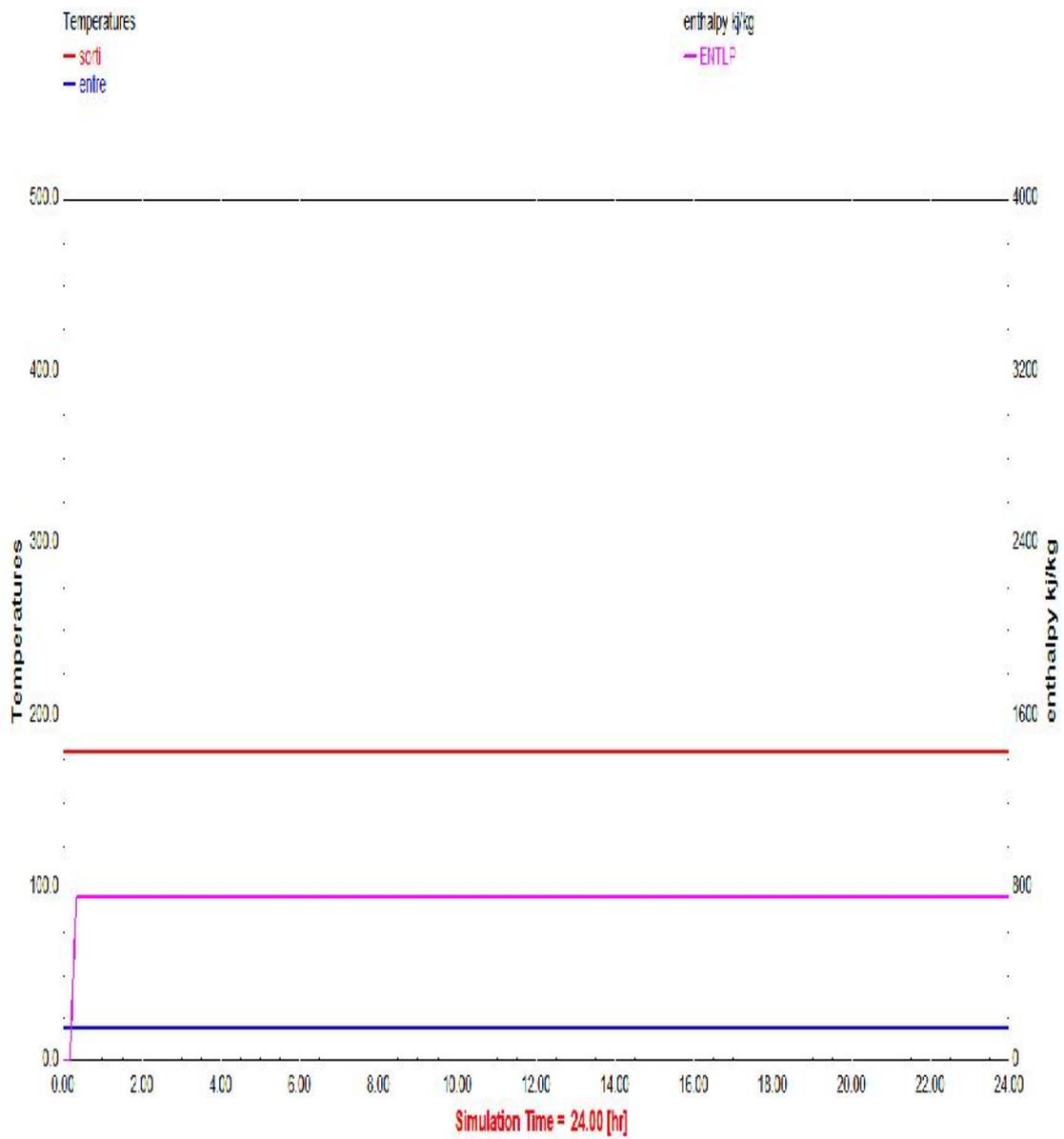


Figure IV.1 les resulta de la simulation

### IV.3. l'Analyse énergétique des résultats de la simulation effectuée pour le système après intégration de csp :

Afin d'accomplir l'analyse, on a opté pour la méthode suivante :

On a choisit 4 journées différentes pendant l'année dans des périodes différentes et on va faire la simulation de 8H jusqu'à 16H

#### 1. 5 janvier : on la considère comme la journée la plus froide, les résultats sont indiqués sur les figures ( IV.2) .(IV.3)

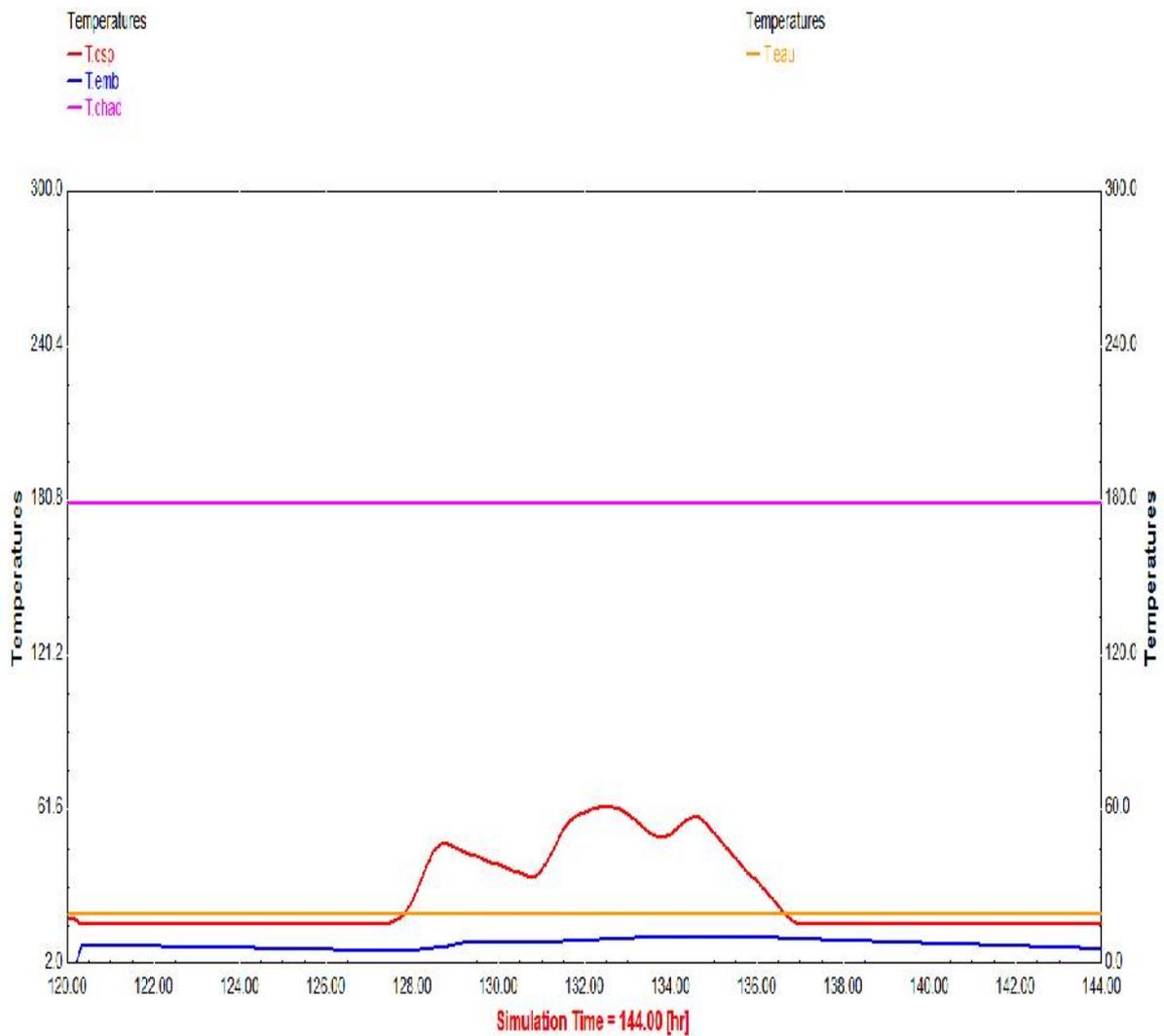


Figure IV.2 les résultats de la simulation pour les températures

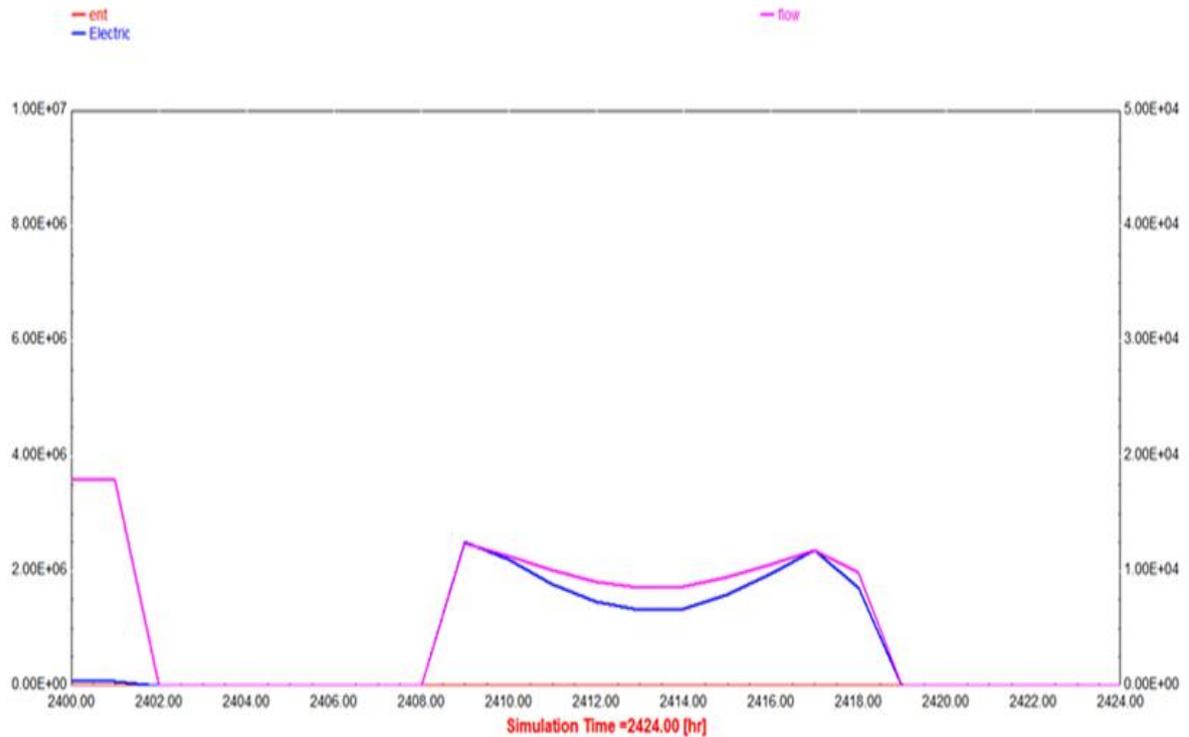


Figure IV.3 les resultats de la simulation pour l'electricité

- **Pour la consommation de la chaudiere**

Précédemment, on a calculé la puissance consommée par la chaudière durant la transformation de débit d'eau de 16800kg/h à  $T=20^{\circ}\text{C}$  vers une vapeur surchauffée de  $180^{\circ}\text{C}$ ,

$$\Phi_{\text{ch}} = 12\text{MW}$$

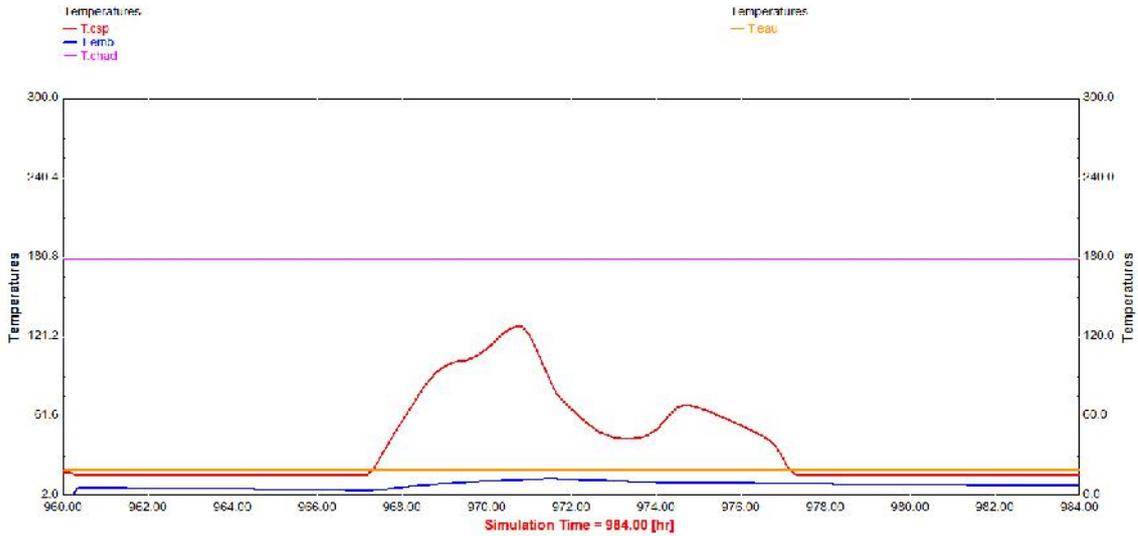
A partir de la **figure IV.2**. On remarque que la chaudière va atteindre **80%** de la consommation habituelle, avant l'intégration du CSP, car l'eau est déjà chauffée par la centrale CSP.

Donc, la centrale va faire baisser la consommation de la chaudière de **20 %** c'est à dire la chaudière consomme 9.6 MW

- **Pour l'électricité**

A partir de la **figure IV.3**, On obtient de la simulation que l'énergie électrique produite par le système varie entre 2.1 KW à 3.1 KW

2. 2AVRIL :on la consedere comme une journée a temperature moyenne ,les resultats comme indiqués sur les figures IV .4 et IV .5



FigureIV .4 les resultats de la simulation pour les temperatures

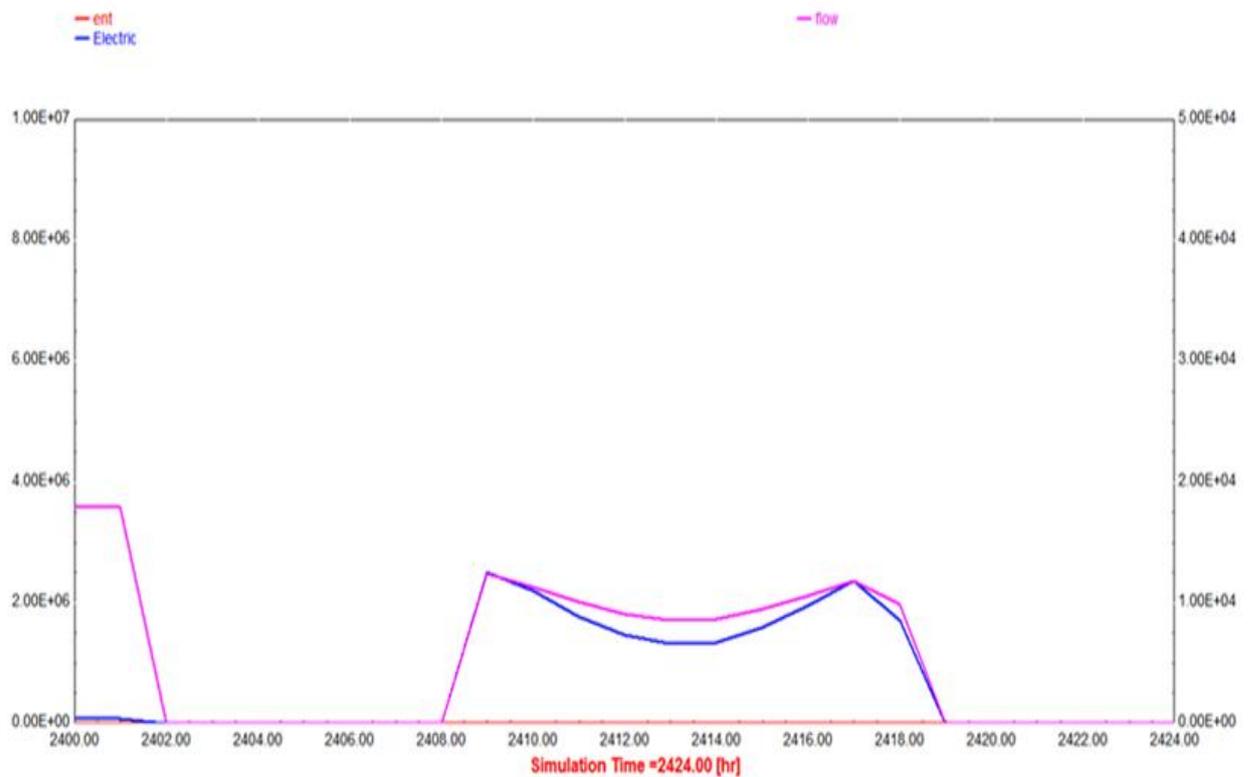


Figure IV.5 resultat de la simmulation pour l'electricité

- **Pour la consommation de la chaudière**

De la **figure IV.4**. La chaudière va seulement consommer **50%** de sa consommation initiale, car l'eau est déjà chauffée par la centrale CSP.

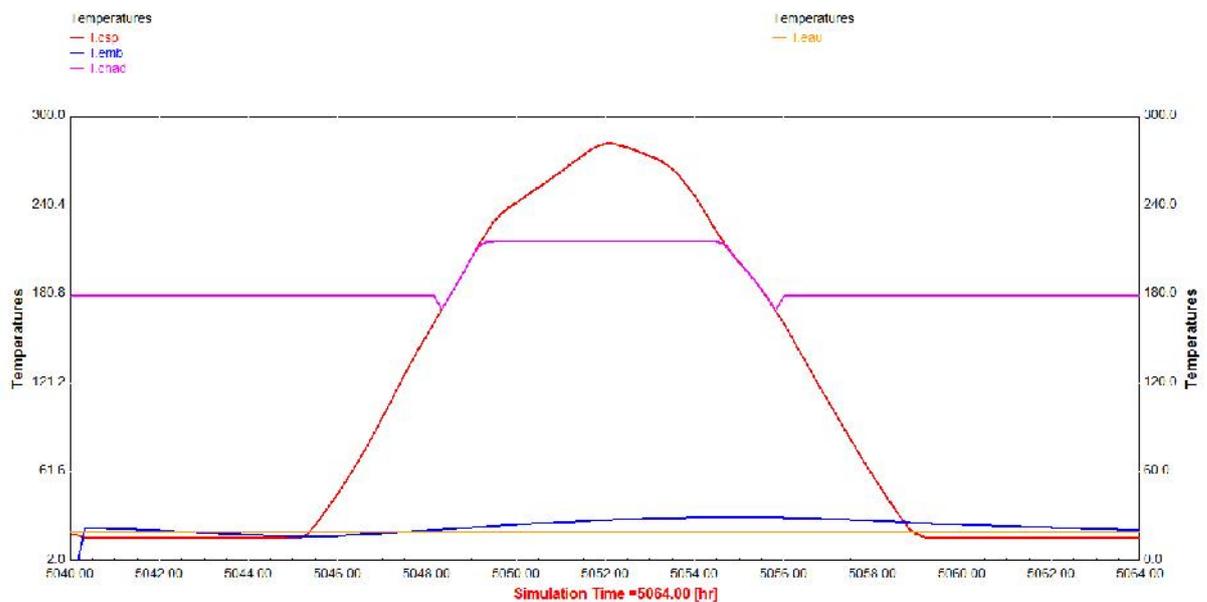
Donc la centrale a baissé la consommation de la chaudière a moitié (50%) c'est à dire la chaudière consomme 6 MW

- **Pour l'électricité**

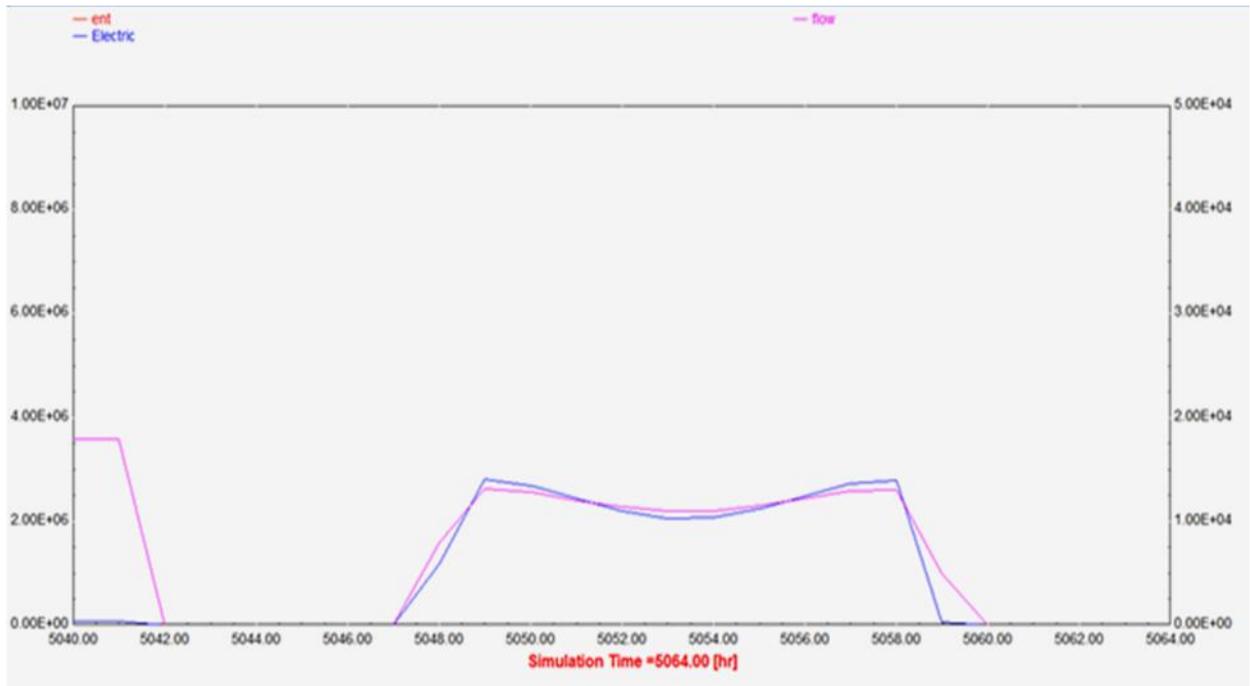
De la **figure IV.5**. On obtient de la simulation que l'énergie électrique produite par le système varie entre 2.1 KW à 3.1 KW

**3. 21 JUILLET** : on la considère comme la journée la plus chaude, les résultats comme indiqués sur les

**Figures IV.6 et IV.7**



**Figure IV.6 Les résultats de la simulation pour les températures**



**Figure IV.7 resultat de la simulation pour l'électricité**

- **Pour la consommation de la chaudiere**

A partir de la **figure IV.6**. Dans cette période d'été on a plus besoin de La chaudière, car la centrale CSP va assurer toute seule le sur chauffage de l'eau, alors on va gagner 12MW d'énergie.

- **Pour l'électricité**

A partir de la **figure IV.7**.L'énergie électrique produite par le système varie entre 3.8KW à 4.2KW.

#### 4.20 NOVEMBRE : les résultats sont indiqués sur les figures( III.8 et III.9 )

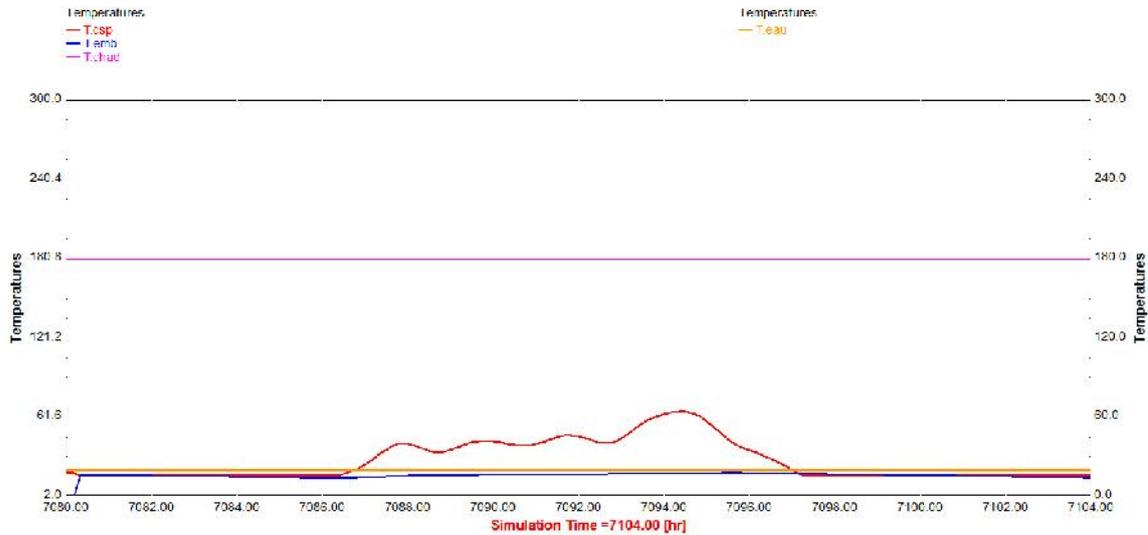


Figure IV.8 les résultats de la simulation pour les températures

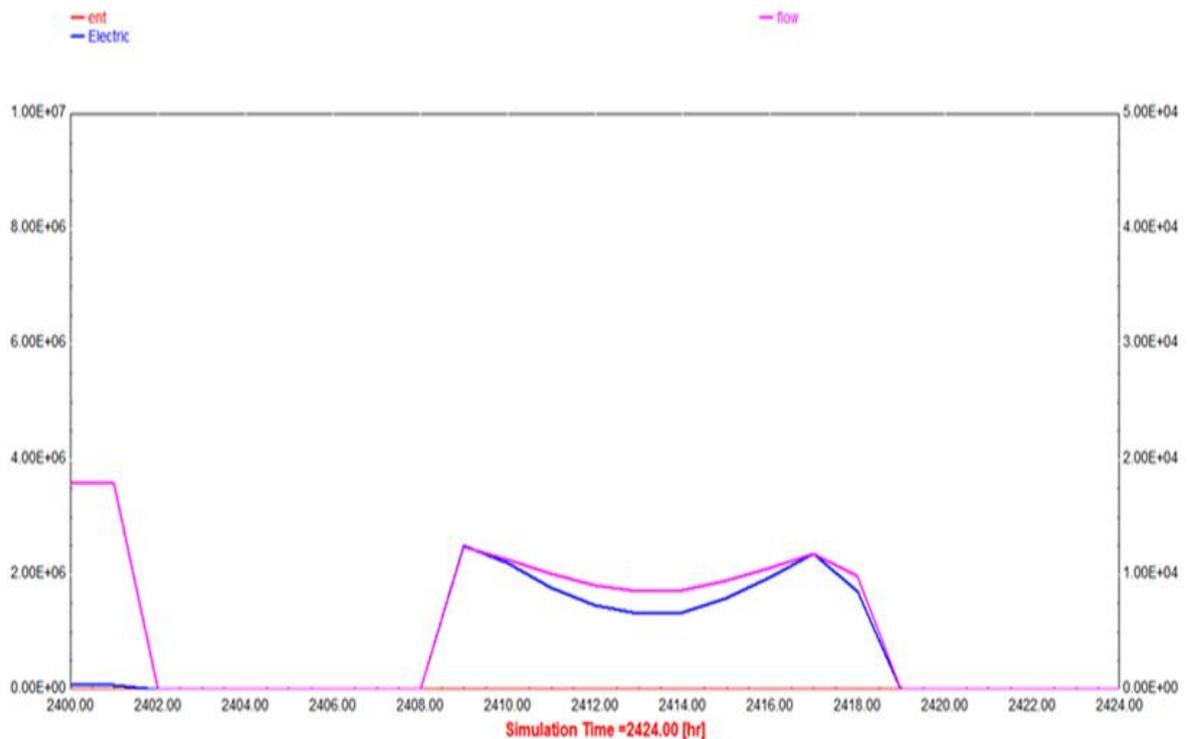


Figure IV.9 les résultats de la simulation pour l'électricité

- Pour la consommation de la chaudière

De la **figure IV.8**. On remarque que la chaudière va seulement consommer **75%** de sa consommation initiale, car l'eau est déjà chauffée par la centrale CSP.

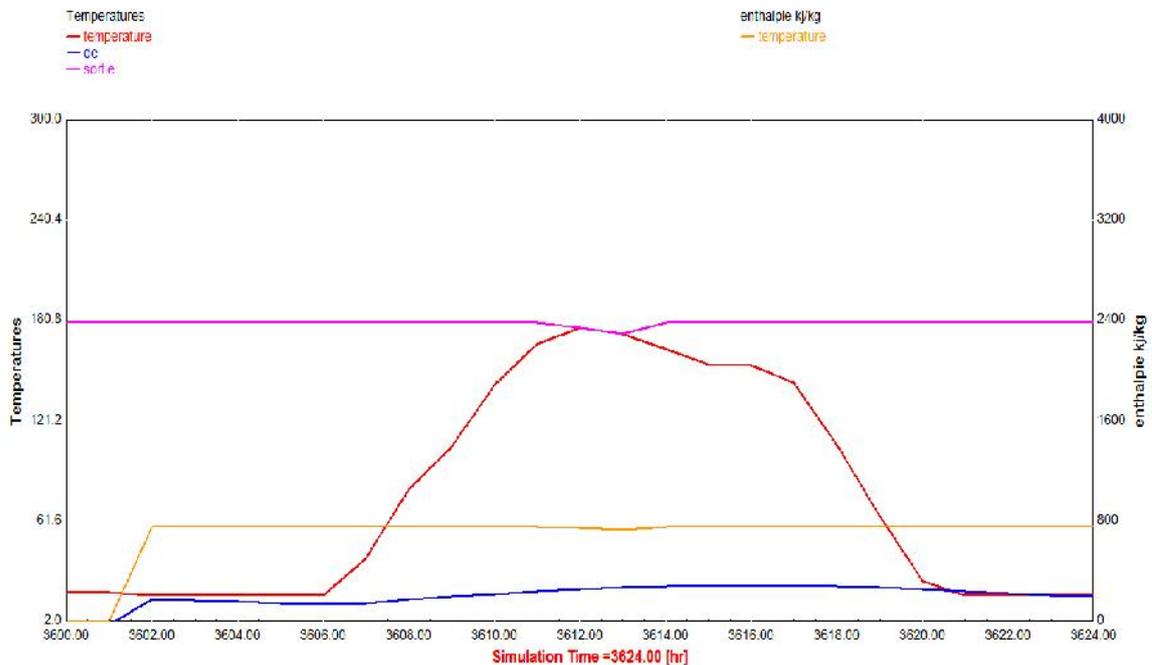
Donc la centrale va baisser la consommation de la chaudière de **25 %** c'est à dire la chaudière consomme 9 MW.

- **Pour l'électricité**

A partir de la **figure IV.9**. On obtient de la simulation que l'énergie électrique produite par le système varie entre 2.1 KW à 3.1 KW

### 5. la période où on va commencer de ne plus utiliser la chaudière

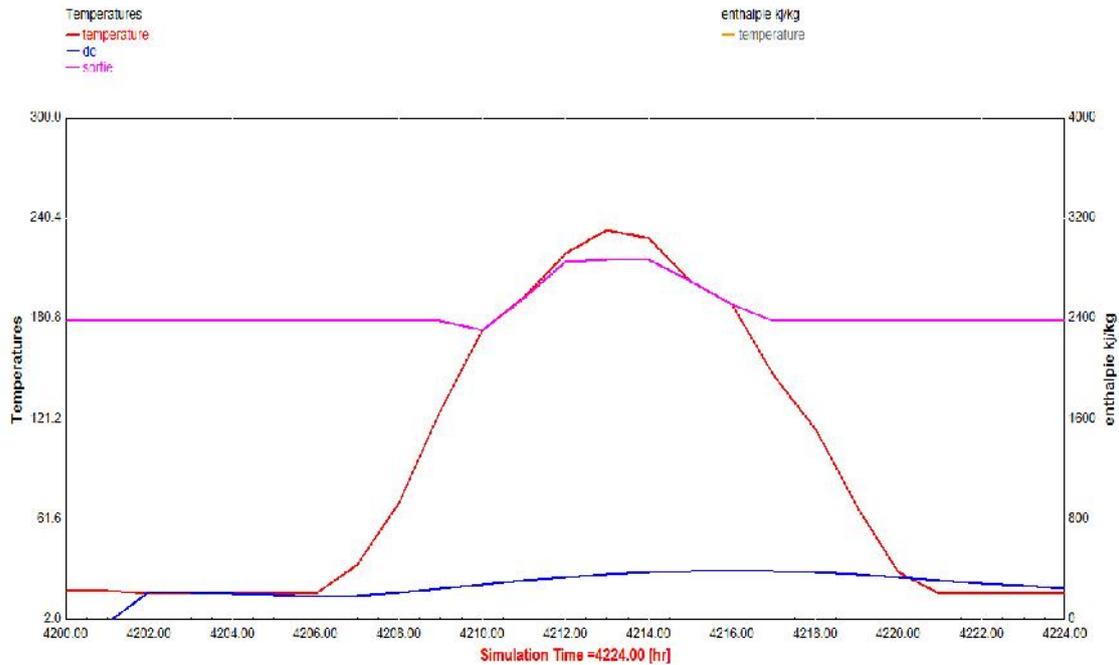
- **LE 1<sup>er</sup> juin**



**Figure IV.10** Résultat de la simulation pour les températures

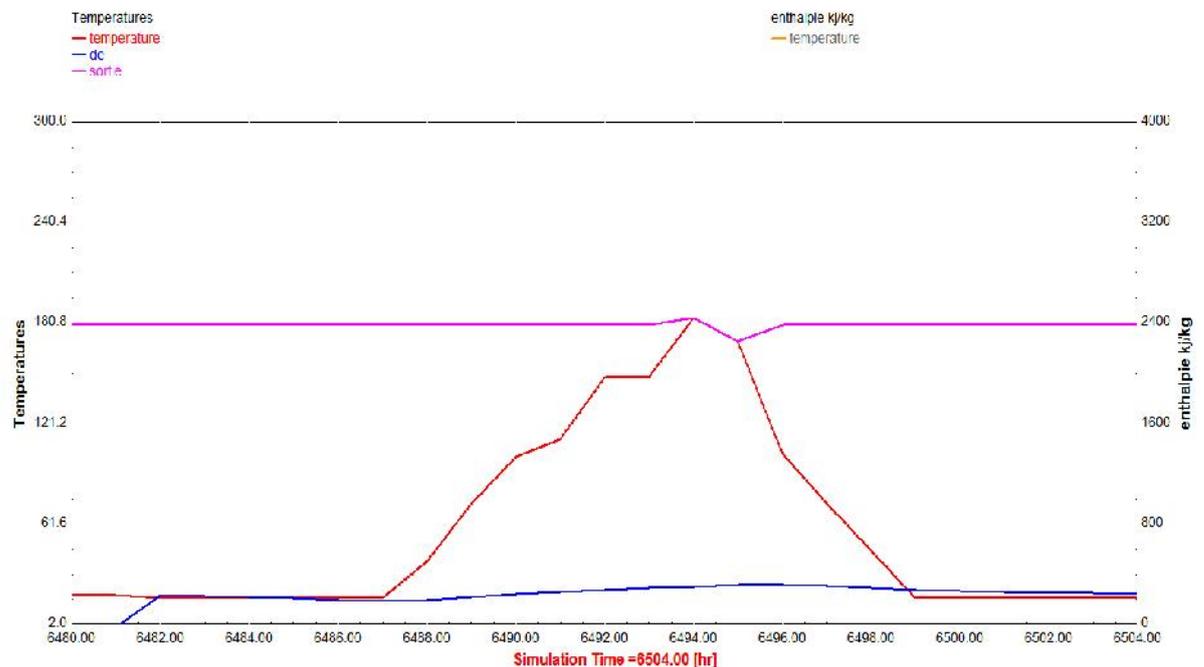
On distingue qu'à partir de 12H jusqu'à 13H30 la courbe de température de sortie de csp a atteint 180°C, c'est-à-dire qu'on a plus besoin de la chaudière pour le chauffer, et cet intervalle va augmenter

Jusqu'au 15 juin, on aura plus besoin de la chaudière durant la période de travail de 8H à 16H, comme indique la figure IV.11.



**Figure IV.11. Résultat des températures de 15 juin**

la chaudière n'est plus utile car le csp assure la fonction de production de la vapeur tout seul jusqu'au 10 octobre où les températures vont commencer à baisser, donc on recommencera à utiliser la chaudière partiellement, comme indique la figure IV.12



**Figure IV.12 résultat de l'évolution des températures pour le 10 octobre.**

*Conclusion  
générale*

## Conclusion générale

---

En cette période de crise où les préoccupations environnementales prennent un intervalle considérable, et les ressources fossiles tendent à être insuffisantes, la cogénération est présentée comme la technologie apportant la solution la plus fiable. Il peut rendre le vaste gisement solaire en Algérie beaucoup plus accessible.

Dans ce travail qu'on a élaboré au campus de E.N.A.D à Sour el ghoulane, on a utilisé une centrale solaire cylindro-parabolique, et une turbine à vapeur, afin de déterminer la possibilité d'écartier ou de minimiser leur consommation de l'énergie fossile (Gaz naturel) et aussi la possibilité de la production de leur propre électricité. Pour cela on a utilisé le logiciel TRNSYS.

Les simulations réalisées sur trnsys nous a permis de bien comprendre l'importance de la thermodynamique solaire, car d'après ces résultats qu'on a obtenus, on constate que pendant la moitié de l'année on peut absolument écartier la consommation de l'énergie fossile, et même pendant les autres périodes, on remarque qu'on minimise de 20% à 50% de la consommation de ces énergies. Donc, il suffit juste de prendre en considération de l'énergie solaire thermodynamique et de son utilité.

Nous parlons de cette technologie, non seulement qu'elle a une empreinte sur la réduction de la consommation mais aussi sur la production de l'énergie électrique (cogénération) qui nous semble indispensable dans notre vie quotidienne. Ainsi, on veille à sauvegarder notre environnement en diminuant le taux de pollution causé par l'énergie fossile

Nous espérons avoir apporté par ce modeste travail, une contribution au domaine d'études des installations de cogénération par les énergies renouvelables en Algérie et qui servira comme support pour les promotions du département de génie mécanique à venir.

## **Bibliographie**

- [1] **article syndicat de l'énergie renouvelable mai 2010**
- [2] **Revue Ingénieur et scientifique de France IDF – LA COGENERATION - Juin 2010**
- [3] **Thèse de doctorat de l'université de Toulouse François Veynandt Le 1er Décembre 2011**
- [4] **documentation de l'entreprise de l'E.N.A.D Sour el ghozlane**
- [5] **R. H. THURSTON, "Machines et chaudières à vapeur ", Edition, 2001**
- [6] **Document de Sarl Ecochaudière, M'sila – Algérie 2013**
- [7] **PDF de Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Sofia-Antipolis-Marseille) (CSTB) N°15 - 16 2009**

### **Site internet**

- [www.encc-group.com](http://www.encc-group.com)
- [www.ecferal.com](http://www.ecferal.com)
- [www.fcgbi-dz.com](http://www.fcgbi-dz.com)
- [www.ecochaudiere.com](http://www.ecochaudiere.com)
- [www.heat-recovery-steam-generator.com](http://www.heat-recovery-steam-generator.com)