REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université KASDI Merbah de Ouargla

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Génie Mécanique
Option : Énergétique
Présenté par :

ZITOUNI Hamza *et* BELHAMDOU Med Abdenour

Thème :

Utilisation de la méthode du plan d'expériences pour un choix optimal des paramètres géométriques d'une cheminée solaire.

Soutenu publiquement: 26/06/2019

Devant le jury composé de:

Mr. KABDI Z.	**UKM Ouargla**	**Président**
Mr. ACHOURI E. H.	**UKM Ouargla**	**Encadreur**
Mr. BELAHIA H.	**UKM Ouargla**	**Examinateur**

Année Universitaire: 2018 /2019

Dédicaces

Je dédie ce travail:

- ***À mes parents.***
- ***À ma grande mère.***
- ***À mes frères et sœurs.***
- ***À tous mes familles.***
- ***Pour tous les professeurs.***
- ***À mes collègues d'étude.***
- ***À tous mes amis.***

BELHAMDOU

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes parents d'abord qui m'ont aidé dans ma carrière universitaire et m'ont offert tout ce qu'ils pouvaient pour atteindre les plus hauts niveaux… Dieu les sauve.

A toute ma gentille famille qui m'a constamment encouragé.

A tous les amis et proches et plus particulièrement :

Abdenour-Salim-Mohamed-Tarek-Ahmed-Walid.

A tous les camarades d'étude en particulier le département de

Génie Mécanique promotion 2018/2019.

A tous ceux qui souhaitent nous voir réussir dans notre vie quotidienne.

ZITOUNI Hamza

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.

Nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances au directeur de mémoire Mr. ACHOURI E. H. pour sa patience, sa disponibilité, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour accomplir ce travail, et en particulier :

Nous remercions le président de jury Mr. KABDI Z. qui a accepté de juger ce travail.

Nos vifs remerciements aussi à Mr. BELAHIA H. pour avoir accepté d'être examinateur de ce travail aussi pour leurs conseils et interventions constructives.

Nos remerciements vont également à nos camarades d'étude de génie mécanique, à nos camarades de la faculté, et en particulier à Mr. SETTOU Belkhir, MEHIRI Ahmed Yacine, HALIMI Soufiane et MOUISSI Fares Madjdi.

Je demande à ALLAH de les récompenser par du bien et de faire leurs travaux dans la balance de leurs bonnes actions

Sommaire

Dédicaces……...I

Remerciements……..II

Sommaire……...……..III

Listes des figures……...……..IV

Liste des tableaux……V

Nomenclature……..VI

Introduction générale……. ..1

Chapitre I : État de l'art

I.1. Introduction ……...3

I.2. Définition de l'énergie renouvelable……..3

I.2.1. Energie biomasse……4

I.2.2. Energie hydraulique……4

I.2.3. Energie éolienne……..5

I.2.4. La géothermie……..5

I.2.5. Energie solaire……6

I.2.5.1. Electricité solaire thermodynamique……6

I.2.5.2. Energie solaire thermique……7

I.2.5.3. Energie solaire photovoltaïque ……7

I.3. La cheminée solaire……8

I.3.1. Description et principe de fonctionnement d'une tour solaire……..…8

I.3.2. Différentes composantes d'une cheminée solaire……8

I.3.3. Avantages et inconvénients d'une cheminée solaire……... 9

I.3.3.1. Avantages……..9

I.3.3.2. Inconvénients……....9

I.3.4. Analyse thermodynamique …….9

I.3.4.1. Puissance électrique produite par la cheminée solaire …….9

I.3.5. Stockage de l'énergie…….11

I.3.6. Les différentes méthodes de stockage……11

I.3.6.1. Par chauffage du sable……11

I.3.6.2. Par chauffage de Galets……...12

I.3.6.3. Par chauffage d'eau…….12

I.2.6. Projets de centrales à cheminée solaire …….....12

I.2.6.1. Le projet Australien ……...12

I.2.6.2. Prototype de Manzanares……14

I.2.6.3. Le projet Espagnol……..15

I.2.6.4. Le projet Namibien…….15

I.3. Conclusion…….16

Chapitre II : Présentation de DOE et la méthodologie de travail

II.1. Introduction……17

II.2. Méthode de plan d'expériences..……17

II.3. La méthodologie du plan d'expériences..…….…..17

II.3.1. Objectifs de la méthode de plan d'expériences……17

II.3.2. Facteurs de la méthode du plan d'expériences…….18

II.3.3. Niveaux des facteurs (Paramètres de chaque facteur dans l'étude)…….18

II.3.4. Réponse (sorties de l'expérience)……18

II.4. Types généraux du plan d'expériences..……19

II.5. Modèles appropriés……19

II.6. Description du logiciel STATGRAPHICS…….21

II.6.1. Plan d'expériences dans logiciel STATGRAPHICS……..…….21

II.7. Présentation simple sur le prototype……..22

II.7.1. Prototype de la cheminée solaire étudiée à Ouargla ……..……..22

II.7.2. Paramètres fondamentaux du prototype……..…23

II.7.3. Études précédentes sur le prototype……..24

II.7.4. Aspect climatique d'Ouargla…….....24

II.7.5. Les conditions aux limites appliquées sur la cheminée solaire étudiée…….…....25

II.7.5.1. Les conditions aux limites……...25

II.8. Optimisation……..26

II.8.1. Les phases du plan d'expériences……26

II.8.1.A. Phase création d'un essai……26

II.8.1.B. Phase Analyse des résultats……29

II.8.1.C. Phase plus d'expérimentation ……29

II.9. Conclusion……..…30

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction……..31

III.2. Optimisation de la vitesse……31

III.2.1. Les facteurs affectant……31

III.2.2. Analyse…….…….32

III.2.2.1. Coefficient de régression pour la vitesse……..…..32

III.2.2.2. Diagramme de Pareto…….33

III.2.2.3. Diagrammes des effets des principaux paramètres …….34

III.2.2.4. Diagramme d'interaction pour la vitesse……..…35

III.2.2.4.1. Graphique de l'interaction (AB)…….....35

III.2.2.4.1. Graphique de l'interaction (AC)……..….36

III.2.2.4.1. Graphique de l'interaction (BC)……...…….37

III.2.2.5. Surface de réponse…….……...37

III.2.2.6. Analyse de la variance pour la vitesse…….…….....39

III.2.2.7. Recherche de la condition optimale…….39

III.2.2.7.1. Optimisation de la réponse……..……..…39

III.3. Conclusion……..39

Conclusion générale …….……..40

Références bibliographiques

Annexe

Résumé

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I. 1: Les énergies renouvelables 4

Figure I. 2 : Centrale électrique marémotrice 5

Figure I. 3 : Constitution d'une éolienne.....5

Figure I. 4 : La géothermie.....6

Figure I. 5 : Principe général des technologies solaires thermodynamiques 6

Figure I. 6 : Panneaux solaires photovoltaïques 7

Figure I. 7 : Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.....8

Figure I. 8 : Système de stockage de la chaleur dans le collecteur 12

Figure I. 9: La cheminée Solaire Australienne**.**.....13

Figure I. 10 : Prototype de Manzanares en Espagne. 14

Figure I. 11: Projet Namibien.....16

Chapitre II :

Figure II .1: Étapes de DOE……. .22

Figure II . 2: Image du prototype de la cheminée solaire……24

Figure II . 3: Conditions thermique et hydrodynamique dans une cheminée solaire ……25

Figure II . 4: Fenêtre Databook (Databook window)……..28

Chapitre III :

Figure III . 1: Diagramme de Pareto pour la vitesse normalisé……..…….. 33

Figure III . 2: Diagramme de Pareto pour la vitesse normalisé après avoir exclu la non-influence……....34

Figure III . 3: Effets des principaux paramètres sur la vitesse …..…..……..……34

Figure III . 4: Illustration d'interaction pour la vitesse entre AB, AC, BC……..….....35

Figure III . 5: Illustration d'interaction pour la vitesse entre AB……....35

Figure III . 6: Illustration d'interaction pour la vitesse entre BC……36

Figure III . 7 : Illustration d'interaction pour la vitesse entre AC……...37

Figure III . 8: Surface estimée pour la vitesse en fonction de hauteur et diamètre de la cheminée et l'autre facteur est fixé au niveau +1……..……..38

Figure III . 9: Surface estimée pour la vitesse en fonction de hauteur et diamètre de la cheminée et l'autre facteur est fixé au niveau -1……..38

Liste des tableaux

Chapitre II :

Tableau II. 1: Dimensions du prototype de la cheminée solaire installé à Ouargla 24

Tableau II. 2: Définition de la vitesse de la réponse.....26

Tableau II. 3: Facteurs contrôlables définis.....27

Chapitre III :

Tableau III. 1: Sélection des facteurs étudiés et leurs niveaux de variation pour l'étude réalisée..... 31

Tableau III. 2: Planification du plan fractionnel 2^3 avec les variables du code A et les valeurs naturelles B et Y comme réponses. 32

Tableau III. 3: Interactions et effets à deux facteur sur la réponse Y..... 32

Tableau III. 4 Paramètre géométrique optimaux. 39

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
P	La puissance produite par une cheminée solaire	W
η_{turb}	Rendement de turbine	
η_{coll}	Rendement du collecteur	
η_{chem}	Rendement de la cheminée	
$Q_{solaire}$	L'énergie solaire absorbée	W
P_{tot}	Représente la puissance totale d'écoulement	W
G_h	Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal	W/m²
A_{coll}	Surface totale du collecteur	m²
Δp_c	Différence de pression	N/m
v_{max}	Vitesse maximale d'écoulement	m/s
m_{air}	Débit massique d'air	kg/s
ρ_{atm}	La masse volumique d'air	kg/m^3
ρ_{chem}	La masse volumique d'air entre la cheminée	kg/m^3
P_{el-max}	La puissance électrique maximal de la cheminée solaire	
ΔT	Différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de collecteur	°C
T_a	Température ambiante de lieu considéré	°C
$C_{p,ir}$	Capacité thermique de l'air	J/kg K
λ	Conductivité thermique	W/m.K
Cp	Capacité thermique massique	J/g.K
$T_{sort\ chim}$	Température de l'air à la sortie de la cheminée	°C
$T_{abs\ mil}$	Température au milieu de l'absorbeur	°C
T_{mil}	Température de l'air au milieu du collecteur	°C
T_{abs}	Température de l'absorbeur	°C
T_{vitre}	Température de la face interne du vitrage	°C
$T_{ent\ col}$	Température de l'air à l'entrée du collecteur	°C
$T_{ent\ chim}$	Température de l'air à l'entrée de la cheminée	°C
Ray	Eclairement solaire	W/m^2
H_{ch}	Hauteur de la cheminée	m

D_{ch}	Diamètre de la cheminée	m
Y	Réponse	
$\boldsymbol{\beta_0}$	Coefficient de régression	
$\mathbf{x}_k$	Valeur de facteur	
$\overline{y_J}$	La grande moyenne	
m	Nombre d'échantillons	

Abréviations

DOE	Desing Of Experiments
CCS	Centrale à cheminée solaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Dans la deuxième moitié du XXème siècle le monde a connu une croissance remarquable dans le domaine des énergies renouvelables. Jusque-là, certains états et industriels ont négligé le type d'énergie que la planète offrait naturellement, similaire aux énergies fossiles mais aussi plus couteuses pour l'environnement comme le nucléaire, le raffinage de pétrole ou encore le gaz, ces dernières énergies connaissent depuis plusieurs années un épuisement inévitable de leurs ressources.

Les énergies renouvelables prouvent être classées en trois grandes familles l'énergie mécanique (Hydraulique et éolienne), énergie électrique (Panneaux photovoltaïque) et énergie sous forme de la chaleur (Géothermie, biomasse et solaire thermique …etc.).

Ainsi, les énergies solaires, éoliennes, hydrauliques, géothermiques et la biomasse sont les formes les plus courantes des énergies renouvelables. Elles trouvent des applications économiquement viables dans de multiples domaines.

Parmi les systèmes designés à l'exploitation de cette énergie solaire, on trouve les systèmes à concentration, système photovoltaïque mais aussi les installations de la cheminée solaire. La centrale à cheminée solaire (CCS) est un dispositif économique pour la production de l'électricité. L'efficacité d'une cheminée solaire dépend directement de ses paramètres géométriques tels que la hauteur et le diamètre de la cheminée aussi la surface et la hauteur du collecteur.

Le sud algérien présente un gisement solaire important, ce qui nous conduit à donner notre contribution pour l’installation d’une cheminée solaire dans notre région. Dans le présent travail, on s'intéresse à la définition du paramètre géométrique qui a la plus grande influence sur la productivité de la cheminée solaire par l'utilisation de la méthode du plan d'expériences. On se basant sur la performance du prototype de la cheminée solaire installée dans l'université Kasdi Merbah Ouargla, qui a été examinée pour des différentes conditions, les effets de certains paramètres géométriques ont été étudiés pour cela, nous avons examiné trois types de paramètres tels que la hauteur le diamètre de la cheminée et la hauteur de l'entrance du collecteur.

Notre travail sera présenté dans ce mémoire qui comprend en plus d'une introduction générale trois chapitres où dans le premier, nous avons présenté quelques généralités sur les énergies

renouvelables et la cheminée solaire. Le deuxième chapitre présente la méthode du plan d'expériences avec des éclaircissements sur le prototype de la cheminée solaire étudiée. Dans le dernier chapitre, on va présenter et commenter nos résultats. Enfin une conclusion générale avec quelques recommandations pour des futures études.

CHAPITRE I :

État de l'art

I.1. Introduction :

L'intérêt pour les énergies renouvelables a commencé après la crise pétrolière en 1973, où l'exploitation des énergies renouvelables est l'une des questions les plus importantes de notre temps actuel, elle est considérée comme une ressource importante et une source d'énergie de base où elle est renouvelable et inépuisable. Les experts et les chercheurs ont cherché à mettre au point des méthodes d'exploitation de l'énergie renouvelable de manière significative, où ils sont considérés comme un substitut essentielle aux énergies non renouvelables, notamment les énergies fossiles qui ont tiré la sonnette d'alarme quant à l'épuisement de leurs stocks d'énergie et à leur impact négatif sur l'environnement.

Le monde aujourd'hui cherche à optimiser l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier les énergies propres, et à s'éloigner progressivement des ressources énergétiques qui nuisent à l'environnement, grâce à cela nous allons essayez de clarifier les sources les plus importantes d'énergies renouvelables.

I.2. Définition de l'énergie renouvelable :

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain [1]. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO_2, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles [2].

Les principales énergies renouvelables sont :

- L'énergie biomasse.
- L'énergie hydraulique.
- L'énergie éolienne.
- La géothermie.
- L'énergie solaire.

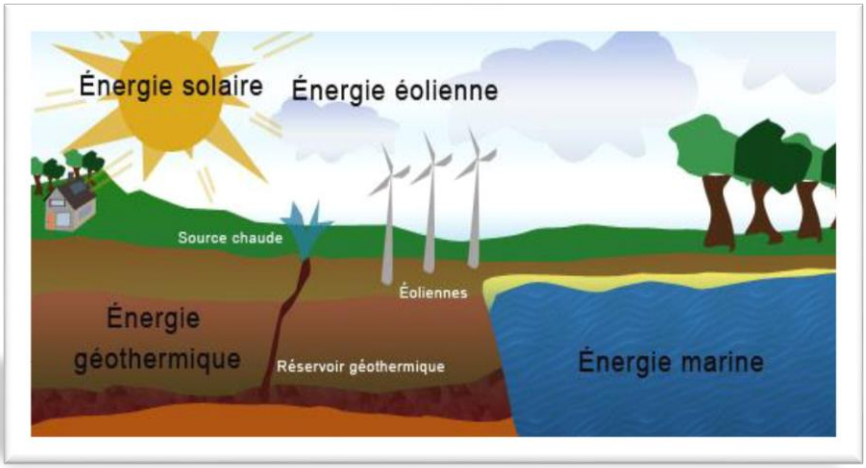


Figure I. 1: Les énergies renouvelables [3]

I.2.1. Energie biomasse :

Dans le domaine de l'énergie, le terme biomasse est tout ce que produisent la terre et les milieux aquatiques sous l'action du rayonnement solaire arbres, plantes, algues. Les végétaux contiennent de l'énergie, ils ont d'ailleurs constitué pendant des millénaires l'unique source d'énergie utilisée par l'homme les aliments de l'homme lui-même et du bétail qui étaient les seuls moteurs, et le bois, seul combustible connu, employé avec un rendement énergétique désastreux jusqu'à la découverte des combustibles fossiles [4].

La biomasse comprend trois familles principales :

- Le biogaz ou La méthanisation.
- Les bois énergie ou biomasse solide.
- Les granules de bois sont le combustible au rendement le plus élevé.

I.2.2. Energie hydraulique :

De nombreuses civilisations se sont servies de la force de l'eau, qui représente une des sources d'énergie les plus importantes avant l'être de l'électricité. Dans le temps actuel, l'énergie hydraulique est utilisée au niveau des barrages et sert principalement à la production d'électricité [2].

On peut trouver l'énergie hydraulique sous forme de :

- L'énergie marémotrice.
- L'énergie des vagues.
- L'énergie hydrolienne.

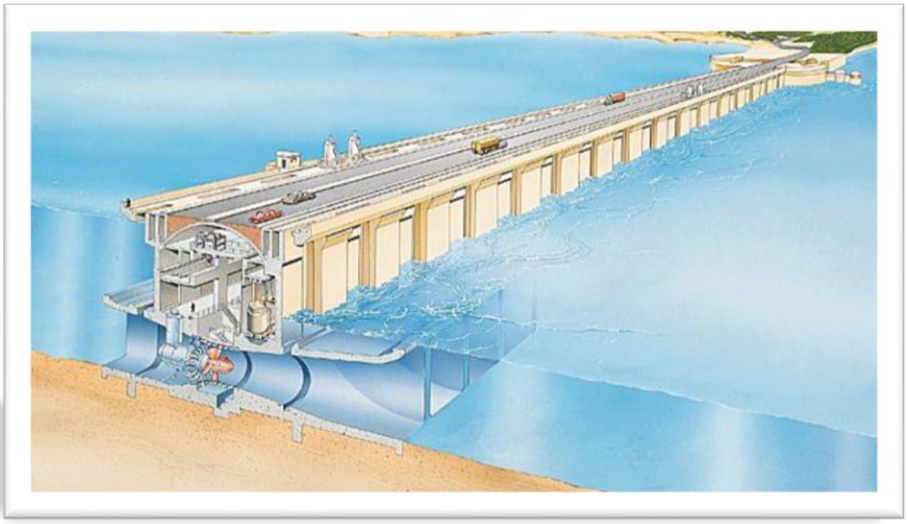


Figure I. 2 : Centrale électrique marémotrice [5].

I.2.3. Energie éolienne :

Les éoliennes permettent de transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. La très large majorité des éoliennes installées dans le monde sont des machines à axe horizontal (1, 2 ou 3 pales verticales), car leur rendement est supérieur à celui des autres types d'éoliennes

1 : automate
2 : anémomètre, girouette
3 : moteur d'orientation
4 : arbre lent
5 : multiplicateur
6 : arbre rapide
7 : génératrice
8 : frein à disque

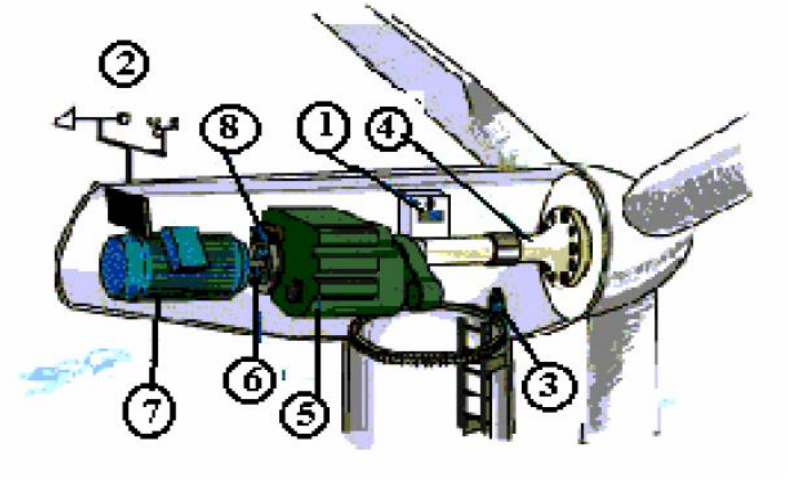


Figure I. 3 : Constitution d'une éolienne [6].

I.2.4. La géothermie :

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. L'utilisation des ressources géothermales se décompose en deux grandes familles :

- La production d'électricité.
- La production de la chaleur.

En fonction de la ressource, de la technique utilisée et des besoins, les applications sont multiples. Le critère essentiel pour bien cerner la filière est la température. Ainsi, la géothermie est qualifiée de « haute énergie » (plus de 150°C), « moyenne énergie » (90 à 150°C), « basse énergie » (30 à 90°C) et « très basse énergie » (moins de 30°C).

Figure I. 4 : La géothermie [7].

I.2.5. Energie solaire :

Le soleil bien que distant de 150 millions de kilomètres de notre planète assure la plus grande source d'énergie, les réactions nucléaires qui ont lieu dans le soleil entretiennent et renouvellent en permanence cette source d'énergie.

L'énergie solaire peut, ou bien être convertie en chaleur, ou bien en électricité, l'exploitation de cette énergie peut se faire de manière thermique, thermodynamique ou photovoltaïque [2].

I.2.5.1. Electricité solaire thermodynamique :

La chaleur produite va être convertie en énergie mécanique pour produire de l'électricité, la température beaucoup plus élevée que dans les systèmes thermiques - entre 100° et 1 500°C, contre 20 à 100°C pour la thermique [2].

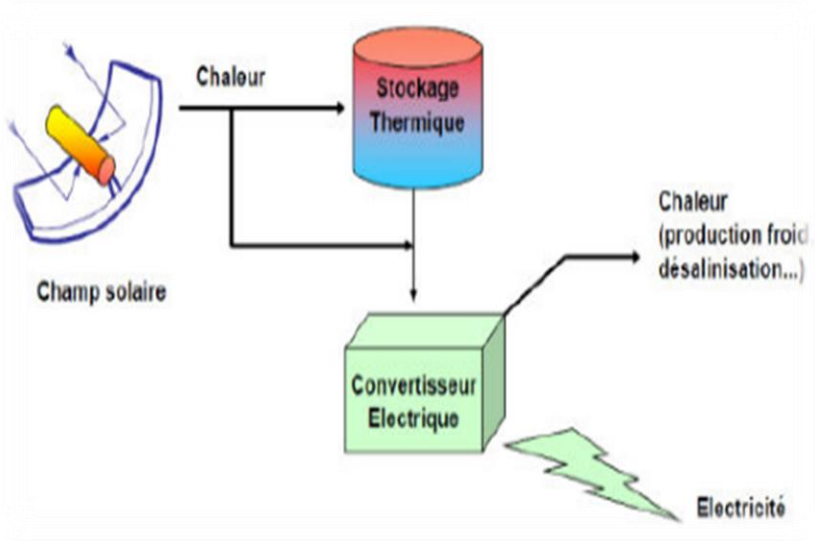


Figure I. 5 : Principe général des technologies solaires thermodynamiques [2].

I.2.5.2. Energie solaire thermique :

Les photons excitent des atomes en leur transmettant une part de leur énergie. Face à ce gain d'énergie, les atomes s'agitent et s'échauffent. Cette chaleur va servir à augmenter la température d'un fluide caloporteur qui pourra être utilisé pour [2] :

- Le chauffage d'un bâtiment.
- La production d'eau chaude.

I.2.5.3. Energie solaire photovoltaïque :

C'est l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil au moyen de capteurs photovoltaïques.

La cellule photovoltaïque est un dispositif utilisant l'effet photovoltaïque permet de convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique. Un système photovoltaïque consiste en un ensemble de cellules montées sur un module qui sont reliés en série, ou en parallèle ou de façon combinée.

Les technologies photovoltaïques existantes ont atteint différents degrés de développement. Outre le photovoltaïque, plusieurs autres techniques sont utilisées pour produire de l'énergie solaire [8].

Figure I. 6 : Panneaux solaires photovoltaïques [8].

Il y a aussi une autre façon de la production d'électricité par l'utilisation de l'énergie solaire grâce à la cheminée solaire.

I.3. La cheminée solaire :

I.3.1. Description et principe de fonctionnement d'une tour solaire :

La cheminée solaire est un moyen de production électrique à partir de l'énergie solaire. Elle repose sur l'idée d'utiliser les mouvements de convection naturelle de l'air chauffé par le soleil. Une immense serre appelée "collecteur" contient et guide l'air chauffé par le rayonnement solaire. Cet air chaud, naturellement aspiré par la cheminée, est continûment renouvelé par l'air situé à la périphérie de la serre. Equipé de ballons d'eau qui absorbent la chaleur la journée pour la restituer la nuit, un vent régulier se met alors en place. L'énergie cinétique de l'air est ensuite prélevée par un système de turbines et de générateurs. Cette simplicité confère des avantages majeurs en termes de coûts de construction, de maintenance, de robustesse, de durée de vie et d'accessibilité aux pays en voie de développement.

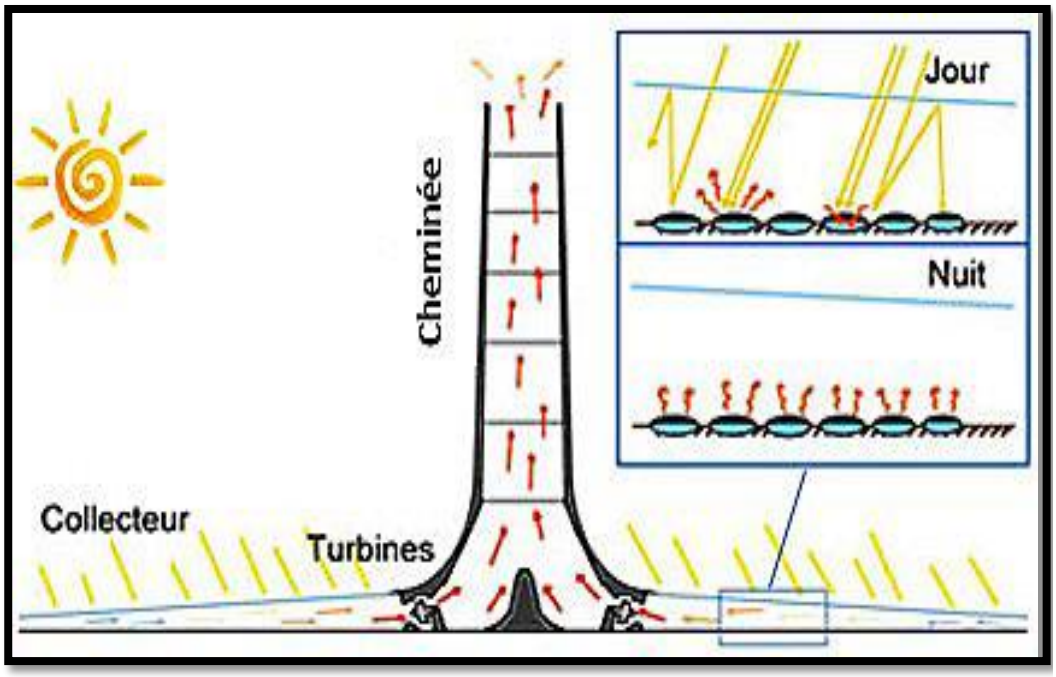


Figure I. 7 : principe de fonctionnement d'une cheminée solaire [9].

I.3.2. Différentes composantes d'une cheminée solaire :

Une cheminée solaire se compose de :

Un collecteur : C'est la partie chargée de chauffer l'air entrant dans la tour grâce à l'effet de serre. Elle est composée de vastes plaques de verre soutenues par des tiges très

résistantes, car sa hauteur varie entre 2 et 6 m, mais la surface couverte par le collecteur est de dans certains projets, il est même possible de développer de l'agriculture. [10]

- **Une cheminée :** La cheminée est délimitée par une paroi au centre de laquelle se situe la zone d'écoulement du fluide. Celle-ci crée un appel d'air en sortie collecteur et le potentiel de pression entre le haut et le bas de cette dernière entraîne le fluide dans un mouvement ascendant. [9].
- **Une turbine :** La turbine est située sur le parcours de l'écoulement du fluide. Elle transforme l'énergie cinétique du fluide en énergie mécanique. Celle-ci sera ensuite transformée en énergie électrique par le biais d'un générateur. [9].

I.3.3. Avantages et inconvénients d'une cheminée solaire [10] :

I.3.3.1. Avantages :

- Après la construction de la tour, aucun carburant n'est nécessaire à son fonctionnement, donc indépendance énergétique.
- Pas d'émission des gaz à effet de serre.
- La production d'énergie électrique perdure jour et nuit.
- Des plantations peuvent être créées sous le collecteur.
- Plus de sécurité par rapport au nucléaire surtout à l'heure actuelle.

I.3.3.2. Inconvénients :

- Lors de la construction, cette structure massive nécessite beaucoup d'expertise en ingénierie.
- Investissement de départ.
- Impact visuel négatif (certains y voient une dégradation du paysage).
- Elle ne peut pas concurrencer le nucléaire en termes de puissance. (7 fois moins puissante qu'un réacteur nucléaire, pour les plus grandes tours, soit 200MW contre 1500MW).

I.3.4. Analyse thermodynamique :

I.3.4.1. Puissance électrique produite par la cheminée solaire :

La puissance produite par une cheminée solaire peut être calculée comme l'énergie solaire rapportée au système multiplié par le rendement du collecteur, la cheminée et la turbine(s) respectivement [11] :

$$P = Q_{solaire}\ \eta_{coll}\ \eta_{chem}\ \eta_{turb} \qquad \text{(I.1)}$$

Où $Q_{solaire}$ représente l'énergie solaire absorbée (W)

L'énergie solaire rapportée au système est écrite en fonction de l'éclairement solaire globale sur un plan horizontal et la surface du collecteur :

$$Q_{solaire} = G_{h} \; A_{coll} \tag{I.2}$$

G_{h}: Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal (W/m²)

A_{coll}: Surface totale du collecteur (m²).

Le rendement de la cheminée est alors exprimé par le rapport de la puissance d'air sur la quantité de chaleur absorbée dans le collecteur :

$$\eta_{chem} = P_{tot}/\dot{Q} \tag{I.3}$$

P_{tot} : représente la puissance totale d'écoulement (W),

Dépend de la chute de pression dans la cheminée. L'énergie contenue dans l'écoulement d'air égale à :

$$P_{tot} = \Delta p_c \; v_{max} \; A_{coll} \tag{I.4}$$

Δp_c: Différence de pression (N/m)

v_{max}: Vitesse maximale d'écoulement (m/s)

Le changement de pression dans la cheminée est lié à la variation de la flottabilité dans l'air chauffé :

$$\Delta p = (\rho_{atm} - \rho_{chem}) \; g \; H_{ch} \tag{I.5}$$

H_{ch}: Hauteur de la cheminée (m).

Sans turbine, un débit maximal d'air est relié avec une vitesse de sortie maximale, et la différence de pression est utilisée pour accélérer l'air (converti en énergie cinétique) :

$$P_{tot} = \frac{1}{2} \dot{m}_{air} \; v^2{}_{max} \tag{I.6}$$

$\dot{m}_{air}$: Débit massique d'air (kg/s).

$$(\rho_{atm} - \rho_{chem}) \; g \; H_{ch} \, v_{max} \; A_{coll} = \frac{1}{2} \; \dot{m} \; v^2{}_{max} \tag{I.7}$$

On tire l'expression de la vitesse maximale d'écoulement :

$$v_{max} = \sqrt{2 \, g \, \frac{\rho_{atm} - \rho_{chem}}{\rho} H_{ch}} \tag{I.8}$$

En utilisant l'approximation de Boussinesq et la loi des gaz parfaits, l'expression de la

vitesse maximale se simplifie à :

$$v_{max} = \sqrt{2\ g\ \frac{\Delta T}{T_a} H_{ch}} \quad \text{(I.9)}$$

ΔT: Différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de collecteur (°C).

T_a : Température ambiante de lieu considéré (°C).

Combinant ceci avec notre seconde expression de la puissance d'écoulement (I.4), nous pouvons constater que le rendement de la cheminée est :

$$\eta_{chem}\ \frac{gH_c}{Cp_{,air}\ T_a} \quad \text{(I.10)}$$

C_p: Capacité thermique de l'air (J/kg K)

A partir des équations développées (I.2) et (I.10), la puissance totale générée par la cheminée solaire est :

$$P = G_h\ A_{coll} \frac{gH_c}{Cp_{,air}\ T_a}\ \eta_{coll}\ \eta_{turb} \quad \text{(I.11)}$$

Ainsi, la puissance générée par la cheminée solaire est proportionnelle à la surface de collecteur et à la hauteur de la cheminée, donc elle est proportionnelle au volume de cylindre avec une base égale à la surface de collecteur et d'une hauteur égale à celle de la cheminée.

La puissance maximale est réalisée quand la chute de pression dans la turbine égale à deux tiers de toute la différence de pression disponible :

$$P_{el-max} = G_h\ A_{coll} \frac{2}{3} \frac{gHc}{Cp_{,air}\ T_a}\ \eta_{coll}\ \eta_{turb} \quad \text{(I.12)}$$

I.3.5. Stockage de l'énergie :

La cheminée solaire fonctionne en présence du rayonnement solaire c'est-à-dire elle fonctionne pendant le jour. L'absence du rayonnement (la nuit), causant l'arrêt de la cheminée c'est pour cela on utilise le rayonnement du jour pour faire fonctionner la cheminée pendant la nuit par la méthode du stockage d'énergie. [12]

I.3.6. Les différentes méthodes de stockage :

Il a plusieurs méthodes de stockage d'énergie pendant la nuit et actuellement nous proposons les méthodes suivantes :

I.3.6.1. Par chauffage du sable :

Le sable chauffe et absorbe la chaleur du soleil, le flux d'air chaud transmis à la cheminée assure la production d'électricité en faisant tourner la turbine à l'intérieur de la tour [13].

Le sable est chauffé par le soleil pendant la journée où l'énergie est stockée, puis la chaleur est libérée pendant la nuit et continue à faire fonctionner la turbine.

I.3.6.2. Par chauffage de Galets :

Afin d'optimiser la production nocturne, nous pouvons placer des galets sous serre qui ont un pouvoir de stockage de chaleur très important.

En effet, durant la journée, ces galets sont exposés constamment aux rayons du soleil et donc emmagasinent cette chaleur afin de les récupérer pendant la nuit.

I.3.6.3. Par chauffage d'eau :

Le stockage de ce type est assuré par des tubes remplis d'eau, et disposés sur le sol de manière uniforme dans l'espace du collecteur, le transfert de chaleur entre l'eau contenue dans les tubes et l'air est beaucoup plus important que celui entre le sol et l'air. Ceci s'explique par la forte capacité calorifique de l'eau （C_p= 4.2 kJ/kg), comparée à celle du sol (C_p=0.75-0.85 kJ/kg). L'eau à l'intérieur des tubes peut stocker de la chaleur à partir des radiations solaires pendant le jour, puis elle est libérée durant les premières heures d'absence de radiations, où l'air se dirige vers la cheminée. [14]

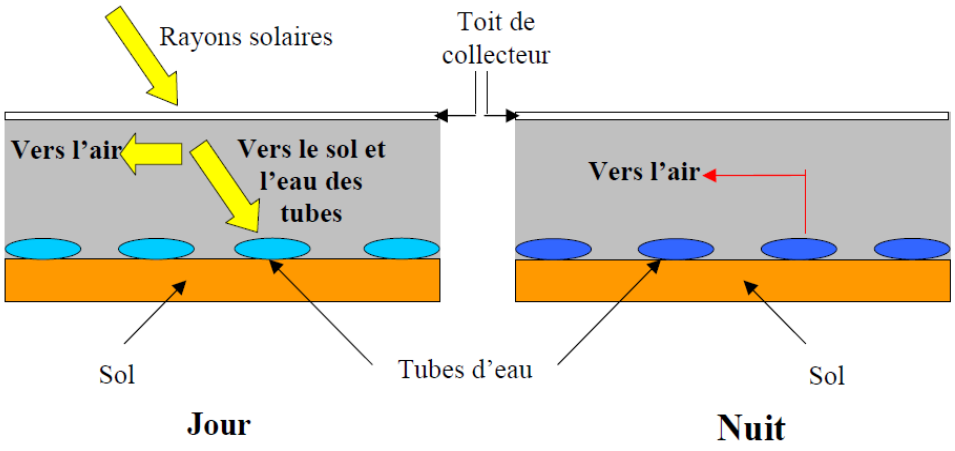


Figure I. 8 : Système de stockage de la chaleur dans le collecteur [12].

I.2.6. Projets de centrales à cheminée solaire :

I.2.6.1. Le projet Australien :

Un projet de tour solaire, appelé Projet de Buronga, est actuellement développé en Australie par la société « Enviromission ». La cheminée aurait 990 mètres de hauteur, 70mètres de diamètre.

La centrale fournirait 200 MW de puissance électrique, de quoi approvisionner en électricité environ 200 000 logements. Il s'agit d'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie renouvelable sûre et propre, les centrales solaires existantes ou en projet sont plutôt de l'ordre de 10 MW, soit 20 fois moins. L'énergie produite reste largement inférieure à celle d'un réacteur nucléaire moderne (soit encore 7 fois plus), mais soutient la comparaison.

Le coût d'investissement serait d'environ 400 millions d'euros, ce qui implique un coût d'investissement de 2 €/KW. Par comparaison, un système photovoltaïque de 2008 coute environ le triple, tandis que la récente centrale solaire thermodynamique (11 MW) a couté 3,2 €/W, soit 1,6 fois plus. Le kWh fourni resterait néanmoins toujours cinq fois plus cher que l'électricité de charbon, qui représente 95% de la production en Australie.

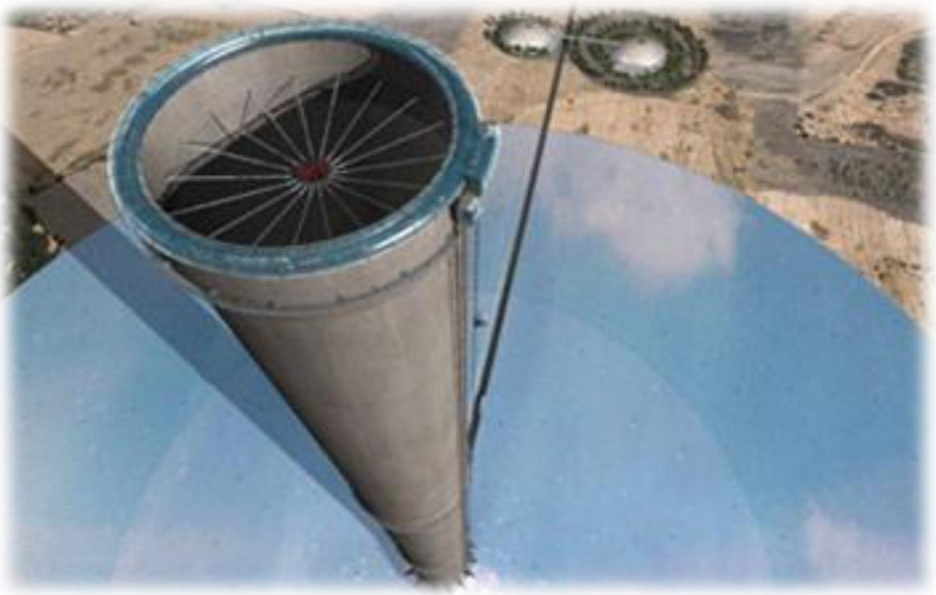


Figure I. 9: La cheminée Solaire Australienne[15]**.**

Spécifications du projet [10] :

- ✓ Une cheminée de 990 m de hauteur en matériaux composites.
- ✓ Un collecteur de 7 km de diamètre, soit 38,5km2 de verre et de plastique.
- ✓ Température de l'air chauffé dans la cheminée : 70 °C.
- ✓ Vitesse de l'air dans la cheminée : 15 m/s (54 km/h).
- ✓ 32 turbines.
- ✓ Puissance produite : 200 mégawatts.

I.2.6.2. Prototype de Manzanares :

Schlaich Bergermann a conçu, construit et exploité une cheminée expérimentale de puissance maximale de 50 kW sur un site mis à disposition par la compagnie d'électricité espagnole Union Fenosa Electrica à Manzanares (environ 150km au sud de Madrid) en 1982 avec des fonds fournis par le ministère allemand de la Recherche et de la Technologie (BMFT) [13].

L'objectif de ce projet de recherche était de vérifier, par des mesures sur le terrain, le rendement prévu des calculs basés sur la théorie, et d'examiner l'influence des différents composants sur le rendement et l'efficacité de l'usine en vertu d'ingénierie réaliste et des conditions météorologiques.

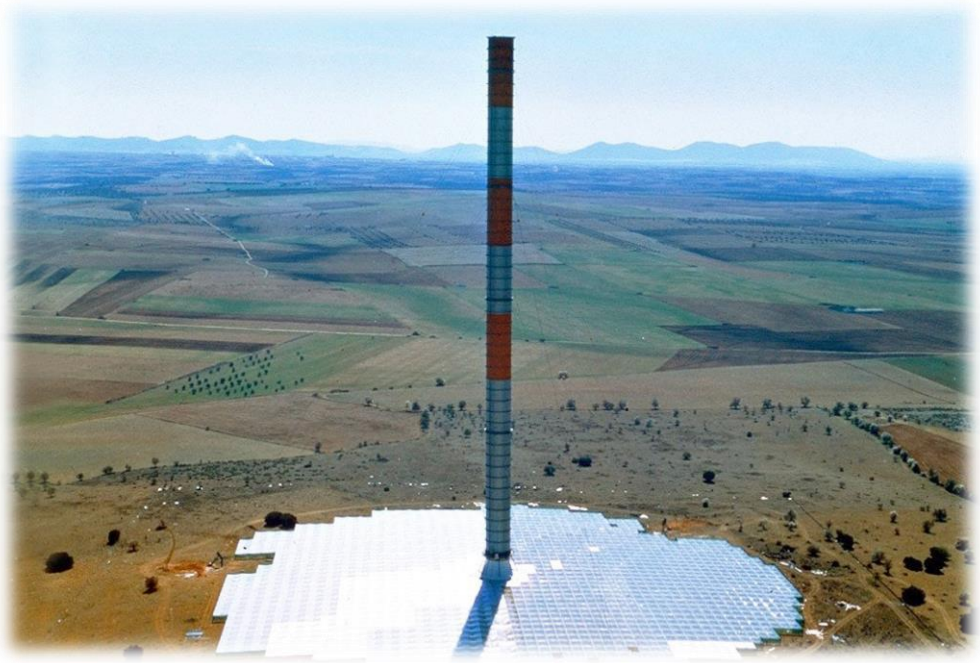


Figure I. 10 : Prototype de Manzanares en Espagne[10]**.**

❖ Spécifications du projet : [10]

Dimensions principales et données techniques du prototype de Manzanares :

- Rayon de la tour5.08 m
- Rayon du collecteur 122.0 m
- Hauteur de la couverture 1.7 m

- Hauteur de la cheminée en acier 194.6 m
- Nombre de pales de la turbine 4
- Profil des pales de la turbine à air FX W-151-A
- Elévation typique de la température de l'air à travers le collecteur ΔT=20 K
- Puissance nominale 50 kW
- Partie en verre de la couverture du collecteur 6 000m^2
- Partie en plastique de la couverture du collecteur 40 000m^2

I.2.6.3. Le projet Espagnol :

Projet de tour solaire est développé en Espagne dans la localité de Fuente el Fresno, un autre village de la Province de Ciudad Real. Les travaux devraient être menés en collaboration avec les entreprises espagnoles et la compagnie allemande Schlaich Bergermann. Cette tour de 750 mètres de hauteur serait dès lors la plus haute en Europe. [13]

❖ Spécifications du projet :

- ✓ Une cheminée de 750 m de hauteur.
- ✓ Un collecteur de 3km de diamètre, couvrant 350 hectares, dont 250 hectares utilisés pour la culture de légumes sous serre.
- ✓ Vitesse de l'air dans la cheminée : 43km/h
- ✓ Puissance de l'installation : 40 mégawatts, soit la demande en électricité d'environ 120000 personnes.
- ✓ Coût du projet : 240 millions d'euros, que les partenaires espéraient réunir en 2007.

I.2.6.4. Le projet Namibien :

Une société sud-africaine de propriété intellectuelle Hahn & Hahn a annoncé qu'elle prévoyait la construction à un coût de 150 millions de dollars US d'une tour solaire de 400 mégawatts en Namibie, dans le cadre des efforts pour combler le déficit de l'approvisionnement en électricité dans ce pays. Cette tour solaire, baptisée Greentower, aura une hauteur de 1,5km et un diamètre de 280 mètres et va fonctionner en générant un courant d'air ascendant aux turbines d'entraînement, produisant ainsi 400 MW d'électricité. La superficie de la serre sera de 38,5 km2 (7 km de diamètre), le directeur général de Hahn & Hahn, annoncé que le projet avait été approuvé par le gouvernement namibien, en ajoutant que la société nationale de distribution de l'électricité financera en partie une étude de faisabilité.

Figure I. 11: Projet Namibien[10].

I.3. Conclusion :

Par l'introduction de différents types d'énergies renouvelables, nous avons constaté que l'installation d'une cheminée solaire méritait d'être étudiée et que les chercheurs trouvaient difficile de réaliser ces installations en termes de coût et de possibilité de production ce qui les incitait à recourir à la méthode du plan d'expériences afin d'atteindre la structure idéale de la cheminée solaire à faible coût et haute efficacité de la production.

C'est ce que nous aborderons dans le prochain chapitre en donnant une présentation complète de la méthode du plan d'expériences et de son utilisation.

CHAPITRE II:

Présentation de DOE et la méthodologie de travail.

II.1. Introduction :

Dans le domaine de la recherche scientifique, la plupart des ingénieurs et techniciens travaillent sur l'amélioration de leur processus de production ou des produits au moyen de tests. Malheureusement, les stratégies et les méthodes qui sont couramment utilisés pour la pratique de telles analyses souvent ou toujours coûteuses et inefficaces et elles suscitent beaucoup d'expériences difficilement utilisables, c'est pour ça en s'appuient sur la planification.

Dans ce chapitre, nous donnerons au lecteur une explication brève et simplifiée sur la méthode du plan d'expériences et logiciel utilisé dans ce chapitre, où nous offrons un résumé de la méthodologie et indiquerons également la méthode mathématique étudiée et les modèles et l'ensemble des programmes numériques utilisables dans ce domaine. En mettant l'accent sur le logiciel STATGRAPHICS que nous avons adoptée dans cette étude.

II.2. Méthode de plan d'expérience :

La méthode traditionnelle d'essai, qui consiste généralement de modifier les paramètres après l'autre, d'observer le changement avec le temps, cette méthode ne donne pas de résultats acceptables de l'interaction entre les différents facteurs, qui affectent directement sur l'expérience.

Afin d'éviter ou d'éliminer les inconvénients des expériences traditionnelles, une méthode basée sur des expériences aussi peu que possible a été créé par détermination de la relation entre les différents facteurs d'influence et les résultats escomptés, qui sont appelés plan d'expérience [16].

II.3. La méthodologie du plan d'expériences :

L'intérêt de la méthode est de réaliser un plan de test afin d'extraire autant que possible d'informations sur les données recueillies en présence de nombreuses et multiples variables. Leur importance ou leur idée de base est de changer tous les facteurs pertinents dans le temps, sur une série d'expériences prévues pour dessiner un modèle mathématique. Ce modèle est ensuite utilisé pour l'interprétation, de prévision et d'optimisation des facteurs du problème étudié. [17]

II.3.1. Objectifs de la méthode de plan d'expériences :

Pendant l'enquête, on doit répondre aux questions suivantes :

- Quels facteurs ont un impact réel sur les résultats ?
- Quels facteurs ont des interactions significatives (avec ou contre) ?

- Quels sont les meilleurs réglages pour optimiser les conditions pour obtenir la meilleure performance pour un processus, le système ou le produit ?
- Quelles sont les valeurs attendues des résultats pour les réglages de paramètres spécifiques ?

Une conception pilote peut être préparée à répondre à toutes ces questions. [17]

II.3.2. Facteurs de la méthode du plan d'expériences :

Entrées au processus dans telles expériences, il y a deux différents facteurs : les facteurs contrôlables et les facteurs incontrôlables, pour les facteurs contrôlables dont les effets sont d'une importance majeure et fondamentale.

Pour les facteurs qui sont incontrôlables (facteurs de bruit), ce sont des facteurs qui sont habituellement ingérable et doivent réduire leur impact sur la réponse [18].

En général le facteur de bruit est un facteur incontrôlable qui provoque la variation dans des conditions normales, mais nous pouvons le contrôler pendant l'expérience à l'aide de la méthode de randomisation et interdiction.

II.3.3. Niveaux des facteurs (Paramètres de chaque facteur dans l'étude) :

- **Bas :** Pour les facteurs continues ou mélangés, l'extrémité inférieure de la gamme à laquelle le facteur se mettra au milieu de l'essai.
- **Haut :** Pour les facteurs continues ou mélangés, l'extrémité supérieure de la gamme à laquelle se règlera le facteur. Niveaux : pour directement les éléments, les dimensions particulières qui seront utilisées lors du procès. Séparez chaque dimension par une virgule.
- **Discret :** Un facteur qui peut juste prendre un arrangement discret des valeurs.
- **Continu :** Un facteur qui peut varier sur un domaine continu.
- **Mélange :** Un facteur qui représente la quantité de composante contenue dans un mélange [18].

II.3.4. Réponse (sorties de l'expérience) :

Les résultats quantifiables sont susceptibles de relever par les composants et leurs dimensions distinctes. Les expérimentateurs veulent régulièrement s'abstenir de rationaliser la procédure

d'une réaction au détriment d'une autre. En conséquence, les résultats essentiels sont estimés et étudiés afin de déterminer les facteurs et leurs paramètres qui donneront le meilleur dans l'ensemble, entraîner aux qualités fondamentales de qualité - les facteurs caractéristiques quantifiables et évaluables [19].

II.4. Types généraux du plan d'expériences :

- **Dépistage :** Proposé du plan pour choisir les éléments les plus cruciaux qui influencent une réaction. Une grande partie du plan incluent seulement 2 dimensions de chaque facteur. Les éléments peuvent être quantitatifs ou discrets. [18]
- **Surface de réponse :** Ces structures sont destinées à trouver les niveaux optimaux des facteurs expérimentaux. Chaque facteur est gardé en cours d'exécution au moins 3 niveaux. Remarque : les structures de surface de réponse sont seulement accessibles si tous les facteurs sont continus. [20]
- **Factorielle multiniveau :** Ces plans vous permettent d'indiquer le nombre des niveaux où chaque facteur doit être définie et comprennent toutes les combinaisons des niveaux de ces facteurs. Il est régulièrement utilisé pour produire un ensemble des candidats en cours d'exécution pour le choix de la stratégie de création de plan optimal Remarque, le plan factoriel multiniveau est seulement accessible si tous les facteurs sont continus. [20]
- **Matrice orthogonale :** Une classe générale du plan crée par Genichi Taguchi. Les facteurs peuvent être quantitatifs ou discrets. [20]

II.5. Modèles appropriés :

❖ **Moyenne :**

Si l'expérience implique des facteurs de processus ou si l'expérience implique des composants de mélange, ce modèle suppose que les facteurs ou les composants n'ont aucun effet sur la réponse. Il est composé d'un seul terme constant [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_0} \qquad \text{(II.1)}$$

❖ **Linéaire** :

a. Si l'expérience implique des facteurs de processus, ce modèle ajoute un coefficient qui est multiplié à chaque facteur [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3} \qquad \text{(II.2)}$$

b. Si l'expérience implique des composants de mélange, ce modèle comprend un Coefficient qui est multiplié à tous les facteurs [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3} \qquad \text{(II.3)}$$

❖ **Interactions des facteurs :**

Ce modèle ajoute des croix-points pour chaque paire de facteurs, seulement si l'expérience comprend des facteurs de processus. [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3} \qquad \text{(II.4)}$$

❖ **Quadratique :**

a. Si l'expérience comprend chaque facteur de processus, ce modèle ajoute un terme quadratique pour chaque facteur. [18] :

$$\boldsymbol{Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x^2{}_1 + \beta_{22} x^2{}_2 + \beta_{33} x^2{}_3} \qquad \text{(II.5)}$$

b. Si l'expérience implique chaque composant de mélange, ce modèle comprend croix-points pour chaque paire de facteur. [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3} \qquad \text{(II.6)}$$

❖ **Cubique** :

a. Si l'expérience comprend chaque facteur de processus, ce modèle ajoute un terme de troisième ordre. [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x^2{}_1 + \beta_{22} x^2{}_2 + \beta_{33} x^2{}_3 + \beta_{111} x^3{}_1 + \beta_{222} x^3{}_2 + \beta_{333} x^3{}_3 + \beta_{112} x^2{}_1 x_2 + \beta_{113} x^2{}_1 x_3 + \beta_{122} x_1 x^2{}_2 + \beta_{223} x^2{}_2 x_3 + \beta_{133} x_1 x^3{}_2 + \beta_{233} x_2 x^2{}_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3} \qquad \text{(II.7)}$$

b. Si l'expérience implique chaque composant de mélange, ce modèle ajoute un terme de troisième ordre supplémentaire [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + (x_1 - x_2) + \delta_1 (x_1 - x_3) + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)} \qquad \text{(II.8)}$$

- **Cubique exceptionnelle :**

Ce modèle ajoute un terme spécial impliquant le produit de trois composants, seulement si le procès comprend des facteurs de mélange [18] :

$$\mathbf{Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3} \quad \text{(II.9)}$$

II.6. Description du logiciel STATGRAPHICS :

STATGRAPHICS est un logiciel statistique polyvalent qui convient parfaitement à une utilisation dans l'enseignement aux débutants en économie et en économétrie, ainsi qu'à ceux qui suivent des cours d'affaires, ingénierie, mathématiques et autres domaines. Son utilisation attrayante de graphiques, ensemble avec son système de menu facile à utiliser, c'est un outil idéal pour stimuler et intéresser ou bénéficier l'utilisateur. Ceci particulièrement vrai au début de la rencontre d'un étudiant avec du matériel quantitatif, il ou elle peut ressentir une résistance préalable. Le paquet est passé par plusieurs versions, avec plus récent, offrant de meilleures procédures, de meilleures installations de traitement des données et saut qualitatif dans la qualité de la documentation [21].

Le menu de conception expérimentale et l'aide associée avec lui, sont généralement des zones opaques dans la plupart des génériques statistiques, sont particulièrement bien mises en œuvre. Rien ne peut rendre ce travail une évidence, mais le programme se porte plutôt bien. Bien que les utilisateurs doivent comprendre de ce qu'ils font, le programme offre de bonnes incitations mnémoniques (aux principes de base, aux classes de conception, par exemple), et le dialogue progressif rend sa mise en œuvre aussi simple que possible. Les utilisateurs sont dirigés vers la création, la modification, l'optimisation, l'augmentation et l'analyse de leurs conceptions. Les outils disponibles couvrent avec succès le dépistage; surfaces de réponse; des mélanges; factorielles multiniveaux; matrices internes ou externes; composantes de variance hiérarchiques catégoriques simples ou multifactorielles; et optimisation des réponses multiples. [22].

II.6.1. Plan d'expériences dans logiciel STATGRAPHICS :

La conception de plan d'expérience de STATGRAPHICS contient un autre assistant qui aide ses utilisateurs dans la construction et l'analyse des expériences conçues. Il redirige l'utilisateur au moyen de douze étapes essentielles [20] qui peut être résumé comme représenté dans la figure suivante :

Phase 1: Création d'un essai

Étape 1 : Définir les variables de réponse.

Étape 2 : Définir les facteurs expérimentaux.

Étape 3 : Choisir le modèle expérimental approprié.

Étape 4 : Définir le modèle pour qu'il s'adapte aux données.

Étape 5 : Sélection d'un sous-ensemble optimal des essais (si créer un plan optimal).

Etape 6 : Évaluation du plan.

Étape 7 : Enregistrer le procès qui a été déposée.

Phase 2 : Analyse des résultats

Étape 8 : Analyser les résultats en mettant au point un affichage mesurable pour chaque variable de réponse.

Étape 9 : Trouver le réglage des facteurs expérimentaux qui optimisent les réponses.

Étape 10 : Enregistrer les résultats.

Phase 3 : Plus d'expérimentation

Étape 11 : Augmenter le plan si nécessaire en ajoutant des cycles supplémentaires.

Étape 12 : En extrapolant les modèles au-delà de la région expérimentale pour rechercher les zones qui peuvent produire des résultats encore mieux

Figure II. 1 : Étapes de DOE [18].

II.7. Présentation simple sur le prototype :

II.7.1. Prototype de la cheminée solaire étudiée à Ouargla :

Dans cette étude nous utilisons le prototype crée au niveau de l'Université de Ouargla et étudié dans le mémoire intitulé sous le nom "Expérimentation de l'effet des différents

paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire" en 2017 par les étudiants MEHIRI Ahmed Yacine et BEN MAZOUZIA Mohamed Fares.

La figure (II.2) représente le prototype de la cheminée solaire conçu et situé exactement à la faculté centrale de Ouargla .

II.7.2. Paramètres fondamentaux du prototype :

Nous vous donnons un tableau explicatif sur les dimensions réelles de la figure ci-dessous, quant à notre étude se concentre sur trois paramètres géométriques principale, montré dans le tableau suivant :

Tableau II. 1: Dimensions du prototype de la cheminée solaire installée à Ouargla [23].

Elément	Dimensions
Hauteur de la cheminée (Hc)	3m, 4m
Angle d'inclinaison du collecteur	5°
Surface du collecteur	$6m^2$
Diamètre de la cheminée (Dch)	110mm,160mm
Diamètre du collecteur (D)	3m
Epaisseur de l'isolation thermique	30mm
Epaisseur vitrage	4mm
Epaisseur de la plaque absorbante	0.3mm
Longueur d'un côté	1.14m
Lames d'air	50mm, 100mm, 150mm

Figure II. 2: Image du prototype de la cheminée solaire [23].

II.7.3. Études précédentes sur le prototype :

Les années précédentes, ont été établies sur le même prototype de Ouargla deux études, la première était expérimentale et la deuxième était une simulation.

Les deux études cherchent une configuration technique qui peut assurer une efficacité maximale du prototype de la cheminée solaire, La première étude a porté une attention sur le stockage d'énergie, et la deuxième concernait l'analyse de l'écoulement dans le même prototype.

II.7.4. Aspect climatique de Ouargla :

La région d'étude se caractérise par un climat aride, très chaud en été avec une moyenne maximale de 42.8 °C au mois de juillet et une température moyenne minimale de 4.4 °C au mois de janvier. L'humidité dans la région de Ouargla est limitée entre 24-62% pendant toute l'année. Le vent souffle du Nord-est et du Sud, les vents les plus fréquents en hiver sont les vents de l'Ouest, tandis qu'au printemps se sont les vents du Nord-est et l'Ouest qui dominent, en été ils soufflent du Nord-est et du Sud-ouest. Sa vitesse moyenne annuelle Vmoy = 3.70 m/s. L'ensoleillement est considérable à Ouargla, car l'atmosphère présente un ciel clair durant toute l'année avec 138 jours en moyenne de l'année où le ciel est totalement clair, ce facteur est considéré comme avantageux et économique [23].

II.7.5. Les conditions aux limites appliquées sur la cheminée solaire étudiée :

Les conditions aux limites de la cheminée solaire à étudier en prenant en considération que les essais sont menés avec une cheminée de hauteur successivement de 3 et 4 m avec une lame d'air de 50 mm,100 mm et 150 mm, et avec un diamètre de la cheminée de 110 mm et 160 mm.

II.7.5.1. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites adimensionnelles sont des conditions dynamiques représentées par les vitesses "u et v "et des conditions thermiques représentées par la température T, la figure (II.3) illustrée comme suit :

- Les conditions aux limites à l'entrée.
- Les conditions aux limites au sol.
- Les conditions aux limites au toit de collecteur.
- Les conditions aux limites sur l'axe de symétrie.
- Les conditions aux limites à la paroi de cheminée.
- Les conditions aux limites à la sortie.

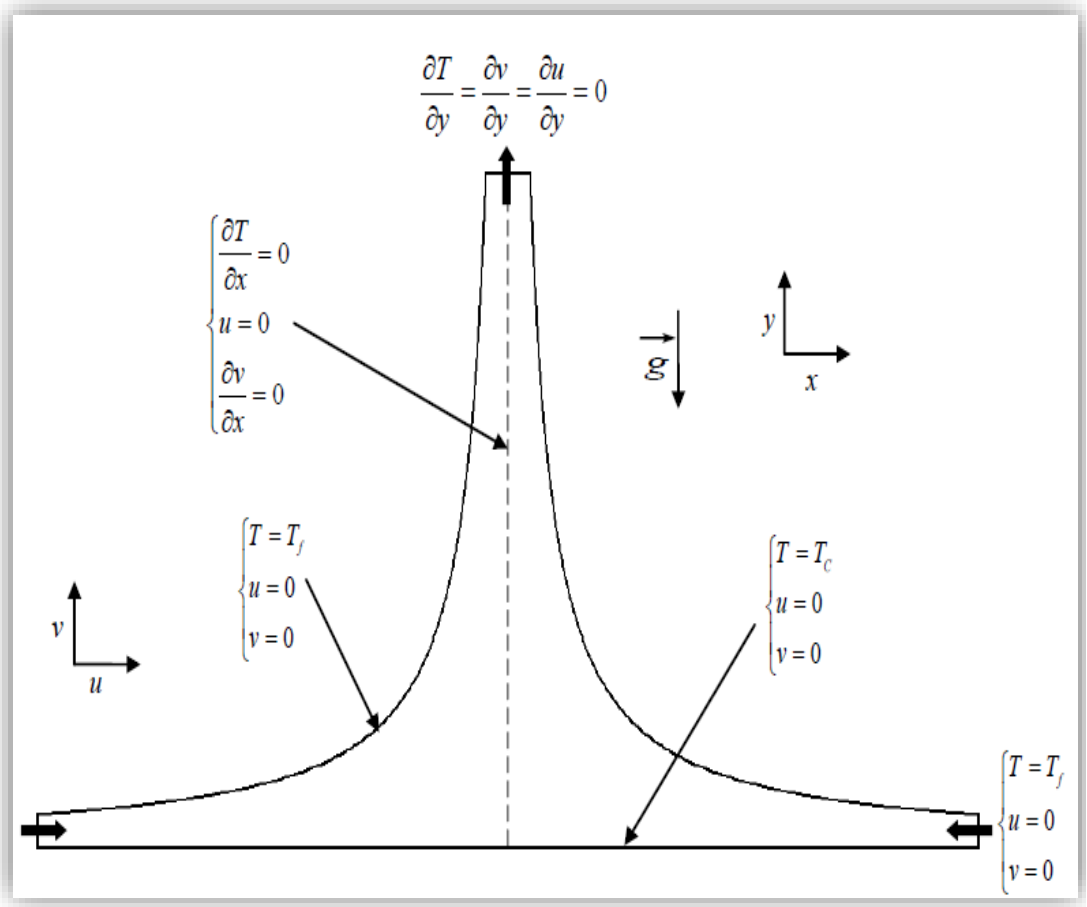


Figure II. 3: Conditions thermique et hydrodynamique dans une cheminée solaire [9].

II.8. Optimisation :

Dans cette partie de l'étude notre objectif est d'améliorer la conception de la cheminée solaire et connaitre les paramètres géométriques affectés par cette conception afin de produire une grande vitesse à l'entrée de la cheminée et une productivité plus efficace et pour ce faire nous avons adopté la méthode du plan d'expérience que nous avons expliqué précédemment dans ce chapitre.

Nous utilisons dans la méthode du plan d'expériences le logiciel de STATGRAPHICS, ce qui nous aide à trouver rapidement les bons résultats et d'obtenir les paramètres optimaux pour réaliser notre projet d'expérience.

II.8.1. Les phases du plan d'expériences :

II.8.1.A. Phase création d'un essai :

- **Étape 1 : Définir les variables de réponse.**

Cette étape nous permet de définir nos réponses ,dans notre cas nous avons juste la vitesse et on a choisir un ensemble d'options, comme indiqué dans le tableau suivante (II.2), nous avons choisi les niveaux de réponse indiqués dans le tableau (II.2), en tenant compte des valeurs raisonnables que la vitesse maximale peut atteindre.

Tableau II. 2: Définition de la vitesse de la réponse.

Nom	unité	analyser	Objectif	Impact	Sensibilité	Bas	Haut
Vitesse	m/s	mean	Maximiser	3	Haute	1	3

- ✓ **Analyser-** la statistique à analyser. Ce paramètre est uniquement pertinent si vous collectez plusieurs échantillons lors de chaque analyse ou si vous créez une conception de paramètre robuste, avec des facteurs croisés.
- ✓ **Moyenne (mean)** - crée un modèle pour la réponse moyenne. Si Yij est égal à la mesure obtenue à partir du "i" échantillons collectés lors de "j" analyses et en laissant m le nombre d'échantillons collectés lors de cette analyse, la moyenne est calculée à partir de :

$$\overline{y_J} = \frac{\sum_{i=1}^{m}}{m} Y_{ij} \qquad \text{(II.10)}$$

- ✓ **Objectif -** L'expérience a pour objectif d'augmenter la vitesse.
- ✓ **Impact -** nombre compris entre 1,0 et 5,0 décrivant l'importance relative de chaque réponse.
- ✓ **Sensibilité -** à quel point il est important de se rapprocher de l'objectif souhaité. Cela affecte la forme des fonctions de désirabilité crées lors de l'optimisation de la réponse [18].

❖ Étape 2 : Définir les facteurs expérimentaux.

Cette étape nous permet d'identifier nos facteurs expérimentaux qui varieront au cours de l'expérience. Nous avons ajouté des facteurs expérimentaux contrôlés qui affectent la vitesse maximale.

Tableau II. 3: Facteurs contrôlables définis**.**

Noms	Unités	Type	Rôle	Bas	Haut
Diamètre de la cheminée	m	Catégorique	Contrôlable	0.11	0.16
Hauteur de la cheminée	m	Catégorique	Contrôlable	3	4
Lame d'air	cm	Continue	Contrôlable	5	15

- ✓ **Type –** le type des facteurs sont divisés en 2 types dans notre étude :
- ✓ **Catégorique –** un facteur qui peut prendre seulement un ensemble de valeurs discrètes, tels qu'A ou B.
- ✓ **Continue –** un facteur qui peut être varié sur une gamme continue.
- ✓ **Rôle –** le rôle de chaque facteur et dans ce cas on utilise le rôle contrôlable à tous les facteurs.
- ✓ **Contrôlable –** les facteurs contrôlables sont les facteurs qui peuvent être contrôlé et dont les effets sont primordials.

❖ Étape 3 : Choisir le modèle expérimental approprié.

La troisième étape de la création d'une expérience consiste à choisir un modèle expérimental. Cette étape nous permet de déterminer le type d'expérience avec laquelle nous souhaitons

travailler et dans notre cas, nous choisissons les conceptions de dépistage (Screening Designs) nous sélectionnons le factorielle 2^3 afin de réduire le nombre d'expériences, donc on a 8 expériences.

❖ Étape 4 : Définir le modèle pour qu'il s'adapte aux données.

Cette étape nous permet de spécifier le modèle d'ajustement, et le modèle typique de criblage qui est le modèle d'interactions à 2 facteurs.

❖ Étape 5 : Sélection d'un sous-ensemble optimal d'essais. (Si créer un plan optimal).

Une fois que le programme nous a indiqué le nombre d'expériences pouvant être effectuées, cette étape nous permet de déterminer le nombre d'expériences que nous estimons appropriées. Nous avons sélectionné 8 essais (8 expériences sélectionnées).

Nous complétons toutes les expériences proposées par STATGRAPHICS et fournissons les résultats (réponse) représentant la vitesse.

<untitled>

	BLOCK	H ch	D ch	lame air	Vitesse
		m	m	m	m/s
1	1	1,0	1,0	1,0	1,75
2	1	-1,0	1,0	1,0	1,8
3	1	-1,0	-1,0	-1,0	1,4
4	1	1,0	-1,0	-1,0	1,25
5	1	1,0	-1,0	1,0	1,9
6	1	-1,0	-1,0	1,0	1,3
7	1	-1,0	1,0	-1,0	1,7
8	1	1,0	1,0	-1,0	2,30

Figure II. 4: Fenêtre Data book (Data book window)

❖ Étape 6 : Évaluation du plan.

Cette étape génère un certain nombre de résumés numériques et graphiques d'options différentes des propriétés du modèle sélectionné, que l'on peut utiliser pour savoir si le modèle est bon, en particulier pour le modèle prédictif.

La variance qui devrait être relativement constant pour la région expérimentale. Les options les plus importantes pour avoir une bonne évaluation du modèle à cette étape sont les courbes de Leverage et de Prédiction.

❖ Étape 7 : Enregistrer le procès qui a été déposé.

Dans cette étape, nous sauvegardons tout le travail que nous avons déjà fait et les résultats obtenus dans un fichier XML avec l'extension. sgx.

II.8.1.B. Phase Analyse des résultats :

Après avoir créé notre expérience, nous allons analyser les résultats.

❖ Étape 8 : Analyser les données.

Analyser les résultats en mettant au point un affichage mesurable pour chaque variable de réponse.

❖ Étape 9 : Optimiser les réponses.

Afin de trouver une combinaison des facteurs expérimentaux permettant d'obtenir de bons résultats pour plusieurs variables de réponse, l'Assistant de dématérialisation (DOE) utilise le concept de fonctions de désirabilité. [18].

La désirabilité est mesurée sur une échelle de 0 à 1, 1 étant le plus désirable, lorsque plusieurs réponses suggèrent différentes conditions de fonctionnement optimales, un équilibre entre ces réponses est obtenu à l'aide de fonction de désirabilité.

❖ Étape 10 : Enregistrer les résultats.

Cette étape nous permet d'enregistrer nos résultats dans un Stat Polio

II.8.1.C. Phase avec plus d'expérimentation :

❖ Étape 1

❖ 1 : augmenter les conceptions.

Augmenter le plan si nécessaire en ajoutant des cycles supplémentaires.

❖ Étape 12 : Extrapoler le modèle.

Cette étape nous permet d'utiliser le modèle statistique pour prévoir les paramètres des facteurs extérieurs à la région expérimentale, qui pourrait produire des résultats encore meilleurs.

II.9. Conclusion :

A travers ce que nous avons fait dans ce chapitre nous pouvons conclure que la démarche de la méthode s'appuie sur les moyens de l'étude puis le prototype étudié ainsi que sur l'amélioration des facteurs en utilisant un logiciel STATGRAPHICS qui est utilisé pour concevoir des expériences et l'optimisation de la vitesse, ce qui nous a donné la possibilité de tester les résultats expérimentaux très rapidement.

CHAPITRE III:

Résultats

Et

Discussions

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous avons intéressons à l'analyse des résultats obtenus par optimisation de la vitesse maximal en utilisant le logicielle STATGRAPHICS pour définir l'influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de la cheminée solaire et pour trouver le paramètre le plus influent en utilisant la méthode du plan d'expériences qui sera présenté dans le présent chapitre.

III.2. Optimisation de la vitesse :

III.2.1. Les facteurs affectants :

La première étude consiste à développer du plan d'expériences pour optimiser la performance énergétique de la cheminée solaire, plusieurs paramètres géométrique (Facteurs) ont été étudiés pour déterminer leur effet sur la vitesse maximale, les facteurs sont divisées en deux parties ,les facteurs catégoriques et les facteurs continues pour chacun des facteurs continus et des facteurs catégoriques, les niveaux de variation (bas et haut) -1 et +1 ont été définis et sont montrés dans le tableau suivant:

Tableau III. 1: Sélection des facteurs étudiés et leurs niveaux de variation pour l'étude réalisée.

Catégorique			
Facteurs	Variables	Niveau -1	Niveau 1
A_1	Hauteur de la cheminée (m)	3	4
A_2	Diamètre de la cheminée (m)	0.11	0.16
Continue			
A_3	Lame d'air(m)	0.05	0.15

Le plan d'expérience utilisé est un plan factoriel dont la construction générale a été décrite dans le deuxième chapitre cela représente 2^3 =8 expériences ainsi que les réponses mesurées, le tableau suivant représente toutes les expériences :

Tableau III. 2: Planification du plan fractionnel 2^3 avec les variables du code A et les valeurs naturelles B et Y comme réponses.

Courses	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3	Y
1	1	1	1	4	0.16	0.15	1.75
2	-1	1	1	3	0.16	0.15	1.8
3	-1	-1	-1	3	0.11	0.05	1.4
4	1	-1	-1	4	0.11	0.05	1.25
5	1	-1	1	4	0.11	0.15	1.9
6	-1	-1	1	3	0.11	0.15	1.3
7	-1	1	-1	3	0.11	0.05	1.7
8	1	1	-1	4	0.16	0.05	2.30

III.2.2. Analyse :

III.2.2.1. Coefficient de régression pour la vitesse :

À partir des valeurs des effets ou des coefficients indiqués dans le tableau suivant, le modèle mathématique qui suit peut-être exprimer pour notre réponse.

Tableau III. 3: Interactions et effets à deux facteur sur la réponse Y

Coefficient	Estimations
Constant	1,675
A :H ch	0,125
B:D ch	0,2125
C : lame air	0,0125
AB	0,0125
AC	0,0125
BC	-0,125

Ce volet affiche l'équation de régression ajustée aux données. L'équation du modèle ajusté est :

$$Y= 1,675 + 0,125*A_1 + 0, 2125*A_2 + 0, 0125*A_3 + 0, 0125* A_1 A_2 + 0, 0125* A_1 A_3 - 0,125* A_2A_3 \qquad (III.1)$$

III.2.2.2. Diagramme de Pareto :

Le graphique de Pareto dans les figures (III.1) et (III.2) montre tous les effets des paramètres et leurs interactions par ordre décroissant d'importance. Le signe (+) indique une contribution positive de l'effet, tandis que le signe (-) indique une contribution négative [24].

Le graphique de Pareto montre une ligne bleue verticale pour déterminer quels effets sont statistiquement important, la longueur de chaque barre est proportionnelle à la valeur de la statistique calculée pour l'effet associé. Toute barre au-delà de la ligne verticale est statistiquement significative au niveau de la signification sélectionnée [16].

Dans notre cas, les réponses sont en vitesse, il y a des effets principaux (A : hauteur de la cheminée, B : diamètre de la cheminée, C : lame d'air) et trois interactions (BC, AC, AB).

- ✓ **A** : A un impact positif sur la réponse.
- ✓ **B** : A un impact positif sur la réponse.
- ✓ **C** : A un impact positif sur la réponse.
- ✓ **BC** : Avoir un impact négatif sur la réponse.
- ✓ **AC** : Avoir un impact positif sur la réponse.
- ✓ **AB** : Avoir un impact positif sur la réponse.

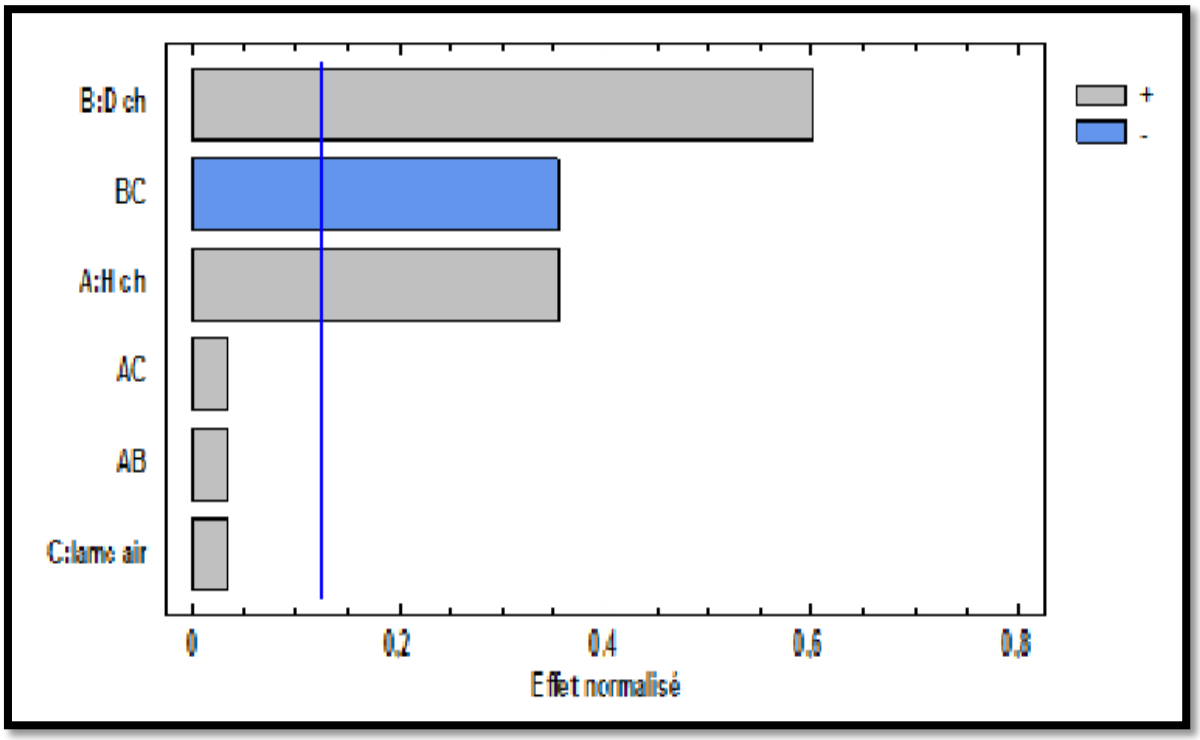


Figure III. 1: Diagramme de Pareto pour la vitesse normalisé.

Les valeurs représentées dans la figure (III.1) indiquent que toutes ces interactions (AC, AB) sont négligeables, ces interactions peuvent donc être éliminées du modèle, cet ajustement n'a pas affecté l'adéquation du modèle.

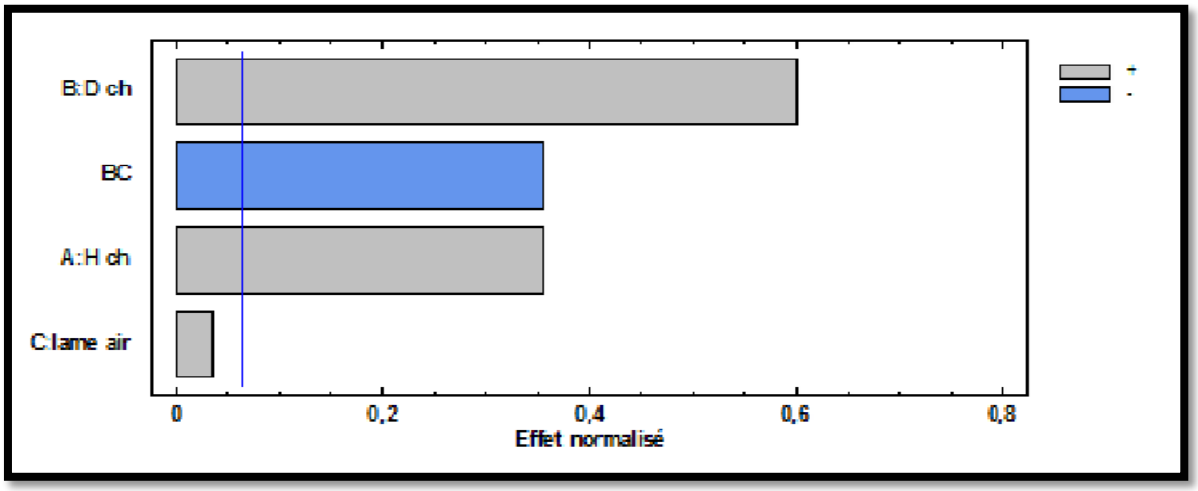


Figure III. 2: Diagramme de Pareto pour la vitesse normalisé après avoir exclu la non-influence des facteurs.

III.2.2.3. Diagrammes des effets des principaux paramètres :

Les courbes des principaux effets illustrées dans la figure suivante montrent la variation estimée de la vitesse, quand chacun des facteurs est décalé de son niveau le plus bas (-1) à son niveau le plus élevé (+1), tous les autres facteurs étant maintenus constants à (0). Nous observons l'effet des facteurs sur la vitesse, le facteur principal qui a un effet significatif sur la vitesse est le diamètre de la cheminée où le taux d'impact atteint à 22.1% qui varie entre [1.46 – 1.88] m/s, quant à la hauteur de la cheminée elle a également un effet pouvant aller jusqu'à 13.1% qui varie entre [1.80 – 1.55] m/s, quant à la lame d'air nous remarquons un effet très faible sur la vitesse.

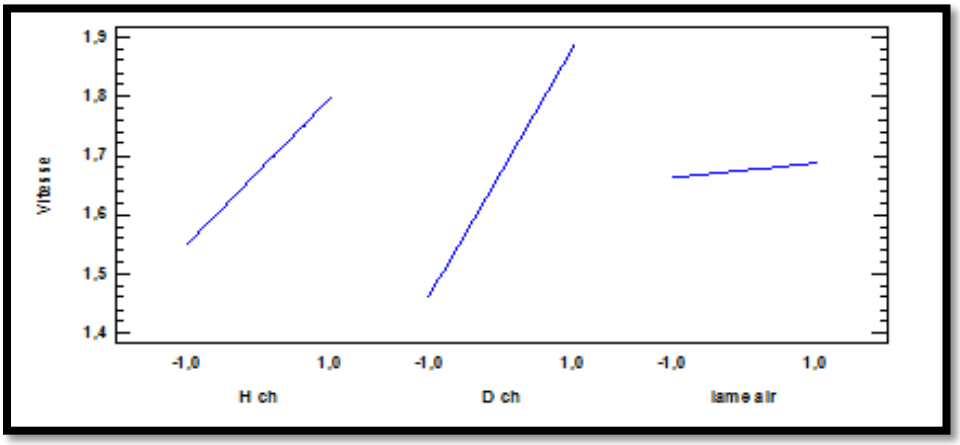


Figure III. 3: Effets des principaux paramètres sur la vitesse.

III.2.2.4. Diagramme des interactions pour la vitesse :

Pour déterminer si les facteurs du processus interagissent ou non, on peut utiliser un outil graphique simple mais puissant appelé diagramme d'interaction.

- Si les lignes du tracé d'interaction sont parallèles, ce que montre qu'il n'y a pas d'interaction entre les facteurs du processus.
- La réponse ne dépend pas de -1 à +1 des niveaux de facteur à l'autre niveau de facteur.
- Si les lignes ne sont pas parallèles, il existe une interaction entre les facteurs.
- Plus le degré de séparation entre parallélismes est important (qu'être parallèle), plus l'effet de l'interaction est élevé.

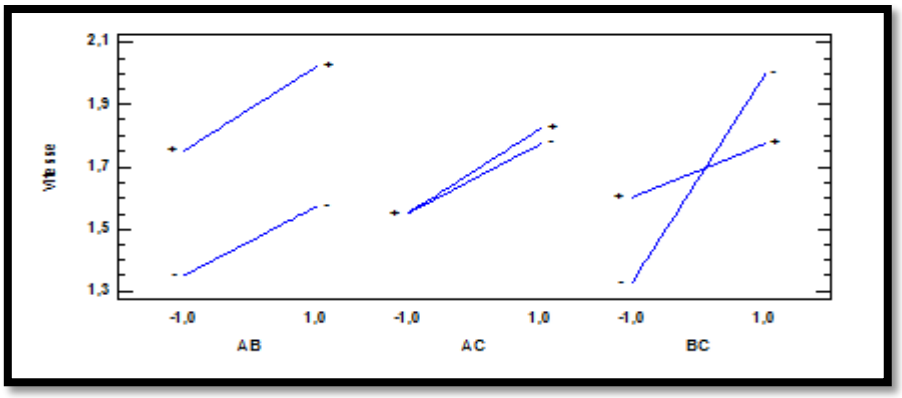


Figure III. 4: Illustration d'interaction pour la vitesse entre AB, AC, BC.

Il est généralement facile de comprendre le graphique si "Pane Options" sont utilisées pour dessiner chaque interaction individuellement:

III.2.2.4.1. Graphique de l'interaction (AB) :

- Diagramme d'interaction entre «Hauteur » et « Diamètre » de la cheminée :

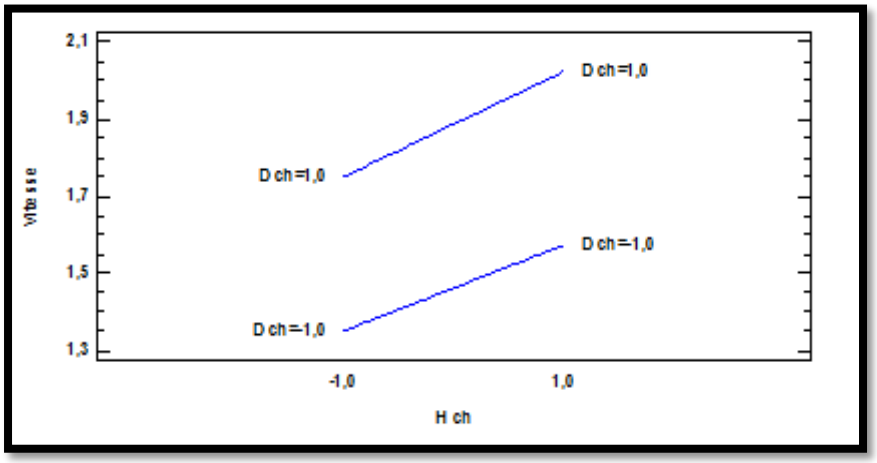


Figure III. 5: Illustration d'interaction pour la vitesse entre AB.

Ce graphique montre l'effet de la hauteur de la cheminée (Hch) sur la vitesse à deux niveaux du diamètre de la cheminée (Dch) (+1) et (-1) sont respectivement de 0,14 m/s et 0,115 m/s, cela signifie que l'effet du diamètre est plus important lorsqu'on augmente la hauteur de la cheminée. L'interaction entre les deux facteurs est déterminée comme suit : (0,14 – 0,115) / 2 = 0,0125 m/s. Cette interaction est faible puisque les deux droites ont presque la même pente.

Quand la hauteur de la cheminée est au niveau bas (-1), l'effet du diamètre est 0,2 m/s, quand la hauteur de cheminée est à haut niveau (+1), l'effet du diamètre est 0,225 m/s, cela signifie que l'effet de la hauteur de la cheminée est un peu plus élevé lorsque le diamètre de cheminée est à haut niveau, où la vitesse maximale de l'écoulement atteinte 2,03 m/s lorsque les deux facteurs sont à leurs niveaux haut (+1).

III.2.2.4.1. Graphique de l'interaction (BC) :

- Diagramme d'interaction entre « Diamètre » et « Lame d'air » :

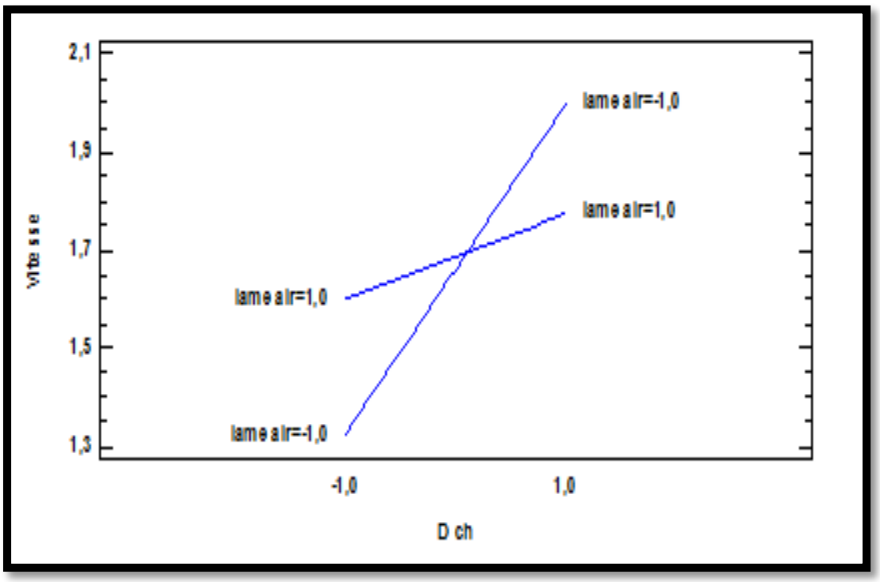


Figure III. 6: Illustration d'interaction pour la vitesse entre BC.

Ce graphique montre l'effet du diamètre de la cheminée sur la vitesse à deux niveaux de la lame d'air (+1) et (-1) qui sont respectivement de 0,09 m/s et de 0,34 m/s, cela signifie que l'effet du diamètre est plus élevé lorsque la lame d'air est au niveau bas (-1).

Nous savons que si les droites des effets ne sont pas parallèles, il y a une interaction significative, c'est le cas de ces deux facteurs puisque les droites sont croisées.

L'interaction entre les deux facteurs est déterminée comme suit : (0,09 – 0,34) / 2 = - 0,125 m/s. Cela signifie que cette interaction est très forte. Où la vitesse maximale de l'écoulement atteinte 2 m/s lorsque la lame d'air est au niveau bas (-1) et le diamètre de la cheminée est à haut niveau (+1).

III.2.2.4.1. Graphique de l'interaction (AC) :

- Diagramme d'interaction entre «Hauteur » et « Lame d'air » de la cheminée :

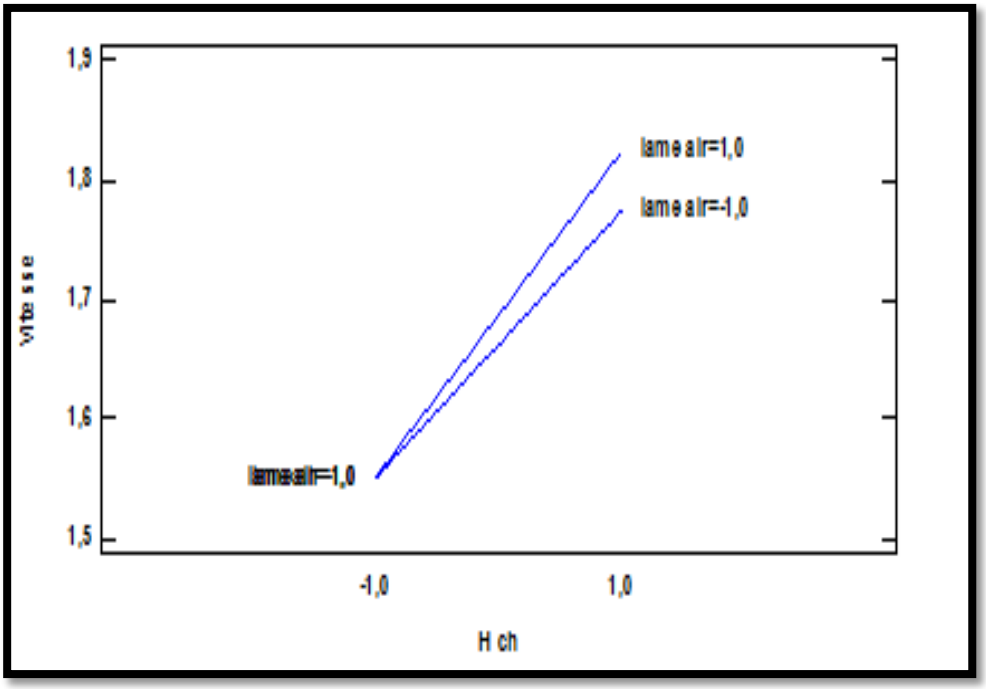


Figure III. 7 : Illustration d'interaction pour la vitesse entre AC.

Ce graphique montre l'effet de la hauteur de cheminée (Hch) sur la vitesse à deux niveaux de la lame d'air (+1) et (-1) qui sont respectivement de 0,14 m/s et de 0,115 m/s, cela signifie que l'effet de la hauteur est un peu plus élevé lorsque la lame d'air est à haute niveau (+1).

L'interaction entre les deux facteurs est déterminée comme suit : (0,14 – 0,115) / 2 = 0,0125 m/s, cela signifie que cette interaction est faible.

Quand la hauteur de la cheminée est au niveau bas (-1), l'effet de la lame d'air est nul, puisque les deux facteurs ont la même vitesse, quand la hauteur de cheminée est à haut niveau (+1), l'effet de la lame d'air est 0,025 m/s. Cela signifie que l'effet de la hauteur de cheminée est important lorsque la lame d'air est à haute niveau (+1). Où la vitesse maximale de l'écoulement atteinte 1,83 m/s lorsque les deux facteurs sont à leur niveau haut (+1).

III.2.2.5. Surface de réponse :

Le graphique de surface affiche un graphique de la réponse prédite en fonction de deux facteurs expérimentaux quelconques, les autres facteurs étant maintenus à des valeurs sélectionnées [20].

Les figures ci-dessous montrent respectivement la vitesse en fonction de la hauteur de la cheminée et le diamètre de la cheminée, et d'autres facteurs sont fixés aux niveaux -1 et +1.

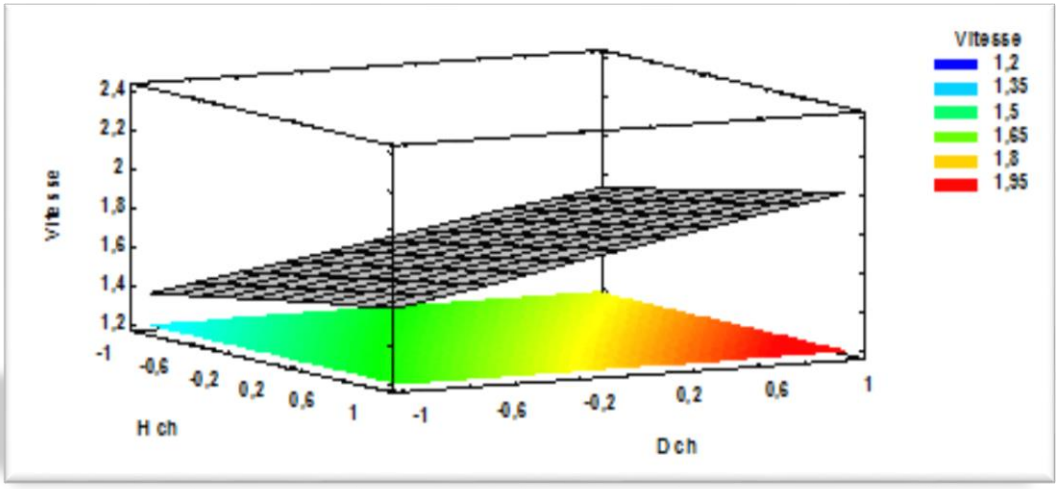


Figure III. 8: Surface estimée pour la vitesse en fonction de la hauteur et le diamètre de la cheminée et l'autre facteur est fixé au niveau +1.

A travers la figure (III.8) la vitesse change sous forme de deux zones significatives dans le contour. Ce qui montre comment la surface de réponse change dans les zones rouge et verte. La vitesse dans la zone rouge est de 1,95 m/s dans la plage de [0.2, 1] du diamètre de la cheminée, cela signifie que la vitesse d'écoulement est plus élevée quand le diamètre de la cheminée est à haut niveau. Quant à la zone verte la vitesse d'écoulement est d'environ 1,65 m/s dans la plage de [0.2, 1] de la hauteur, et de [-1, -0.6] du diamètre.

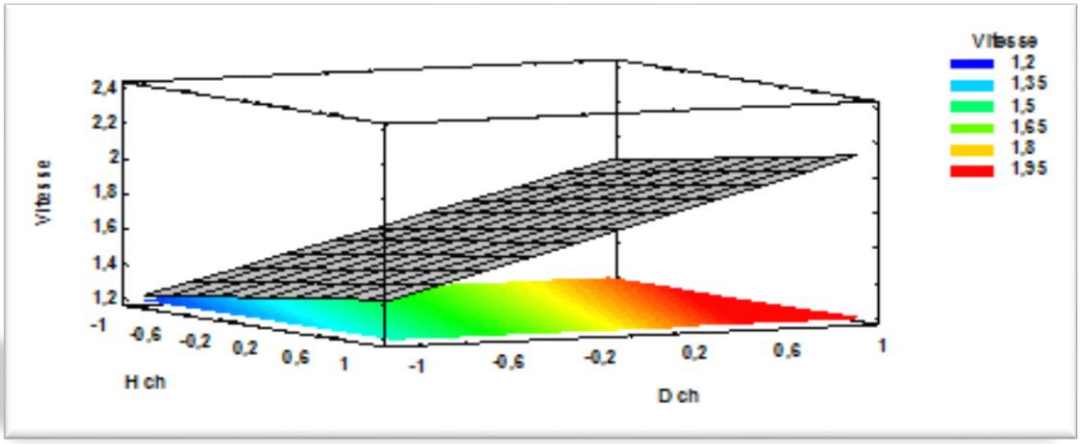


Figure III. 9: Surface estimée pour la vitesse en fonction de la hauteur et le diamètre de la cheminée et l'autre facteur est fixé au niveau -1.

A partir de cette figure (III.9) la vitesse change sous la forme de trois zones dans le contour. Ce qui nous montre comment la surface de réponse change dans les zones rouge, verte et bleu. La vitesse dans la zone rouge est de 1,95 m / s dans la plage de [0.2, 1] du diamètre de la cheminée. Pour la zone verte, la vitesse est de [1.5 ,1.65] m/s dans la plage de [1, -0,2] du diamètre de la cheminée, pour la zone blue, la vitesse est de 1.2 m/s dans la plage de [-0,2, 1] de hauteur de la cheminée.

III.2.2.6. Analyse de la variation de la vitesse :

La statistique *R-Squared* indique que le modèle exploité explique 71.51% de la variation de la vitesse.

III.2.2.7. Recherche de la condition optimale :

III.2.2.7.1. Optimisation de la réponse :

Le tableau suivant montre la combinaison de niveaux de facteurs qui maximise la vitesse sur la région indiquée, la vitesse optimale que nous avons atteinte est de 2,125 m/s.

Tableau III. 4 Paramètre géométrique optimaux.

Facteurs	Bas	Haut	Optimal	Niveau
Hauteur de la cheminée (m)	3	4	4	1
Diamètre de la cheminée (m)	0.11	0.16	0.16	1
Lame d'air (m)	0.05	0.15	0.05	-1

III.3. Conclusion :

Après optimisation, nous avons trouvé les meilleurs paramètres géométriques qui nous garanties une efficacité élevée de la cheminée solaire. Où la hauteur de la cheminée est de 4m, diamètre de la cheminée est de 0.16m et la lame d’air est de 0.05m.

CONCLUSION

ET

RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

Pour fonctionner au mieux, une cheminée solaire doit être construite dans une région très ensoleillée et disposant de nombreux espaces inhabités,

Les aspects climatiques du Sahara algérien offrent de très bonnes conditions permettant certainement d'atteindre de bons rendements au niveau d'une cheminée solaire.

La cheminée solaire est un système très simple qui ne nécessite pas une grande technologie pour sa construction, tous ces éléments constituants sont très simples et ne coûtent pas très cher.

Les cheminées solaires sont des moyens modernes pour produire de l'énergie électrique sans causer un impact polluant sur l'environnement et sans que le procédé soit lié à une énergie fossile ou temporaire.

L'objectif principal de ce travail est d'obtenir les paramètres géométriques optimaux pour l'amélioration de l'efficacité de la cheminée solaire avec l'utilisation de la méthode du plan d'expériences.

Dans notre étude, nous avons toujours cherché à atteindre les paramètres géométriques qui affectent la vitesse à l'entrée de la cheminée solaire.

Les résultats obtenus par la méthode du plan d'expériences montrent la validité des résultats expérimentaux du prototype étudié.

Les paramètres géométriques optimaux qui donnent un meilleur fonctionnement de la cheminée solaire avec :

- Une hauteur de la cheminée solaire égal 4m.
- Et un diamètre de la cheminée solaire égal 0.16m.
- Avec une lame d'aire égal 0.05m.

On peut noter comme perspectives :

- Augmentation du nombre des réponses.
- Augmentation du nombre de facteurs pour une meilleure étude.
- Nous vous recommandons d'utiliser un prototype de cheminée solaire plus grand pour obtenir des résultats plus précis.

Bibliographie

[1] ROBERT Jérôme"FABAS Laurent, Guide de la maison économe", Edition Eyrolle, Paris 2008.

[2] CHABANI Zeyneb" La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national à l'horizon 2030" Mémoire de magister, Université Mohamed Bougara-Boumerdes. 2014.

[3] FEDDAOUI Omar "Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération, Application aux Energies Renouvelables" Mémoire de magister, Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras 2014.

[4] N. BOUKHETAIA, J. FYOT, H. HOLIN"Biomasse énergie "L'industrie des énergies décarbonées, 2010

[5] CHELOUFI Djassem" Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire" Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014

[6] BENYAHIA Zeraia Hassiba "optimisation des générateurs électrique d'énergie renouvelable alimentant les systèmes de télécommunication radioélectrique" Mémoire de Magister. Université Mohamed Bougara-Boumerdes,2004.

[7] Site web: http://www.energies-renouvelables.org/energie_geothermie.asp 05/02/2019.

[8] Sitewebhttp://www.hydroquebec.com/developpement-durable/centredocumentation/energie-solaire.html 05/02/2019.

[9] TAYEBI Tahar "Processus de la conversation naturelle laminaire dans une cheminée solaire" Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine ,2010.

[10] TAYEBI Tahar" Contribution à l'études numériques de la convection naturelles laminaires d'un système radial de chauffage solaire" Thèse Doctorat, Université Constantine 1,2014.

[11] N. Chennouf "Simulation numérique des écoulements dans une cavité ouverte et application à la cheminée solaire" Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2006.

[12] J. Schlaich, "The solar chimney electricity from the sun" Edition Axel Menges, 1995.

[13] Site web: http://www.tour-solair.fr

[14] S. Rahmouni "Optimisation technico-économique de la production d'hydrogène à partir des différentes sources d'énergie renouvelables dans le sud Algérien" Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013.

[15] PABLO GONZALEZ GASCON Y MARIN" Les tours solaires, deux approches pour utiliser l'énergie du soleil, Énergies renouvelables" ENSTA, Paris 05.01. 2011.

[16] HALIMI. S, MOUISSI "Optimized parameters of an air solar collector for drying applications using the experimental design method" Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.

[17] VRANIC, Branko Z. "Design of experiments methodology in studying near-infrared spectral information of model intact tablets: simultaneous determination of metoprolol tartrate and hydrochlorothiazide in solid dosage forms and powder compressibility assessment using near-infraredspectroscopy" Thèse Doctorat 2015.University_of_Basel.

[18] Stat Point. "STATGRAPHICS Centurion XVI User Manual" .Stat Point Technologies, Inc, 2009 sit web: www.STATGRAPHICS.com

[19] https://www.moresteam.com/toolbox/design-of-experiments.cfm

[20] STATGRAPHICS "DOE Wizard – Screening Designs" Stat Point Technologies, Inc, 2017. Sit web: www.STATGRAPHICS.com

[21] Davies, N. and Tremayne, A. R. (1994) "Review of statgraphics" J. Appl. Econ., 9: p335-341. doi:10.1002/jae.3950090308.

[22] Sit web: https://www.qualitydigest.com/jan02/html/software.html.

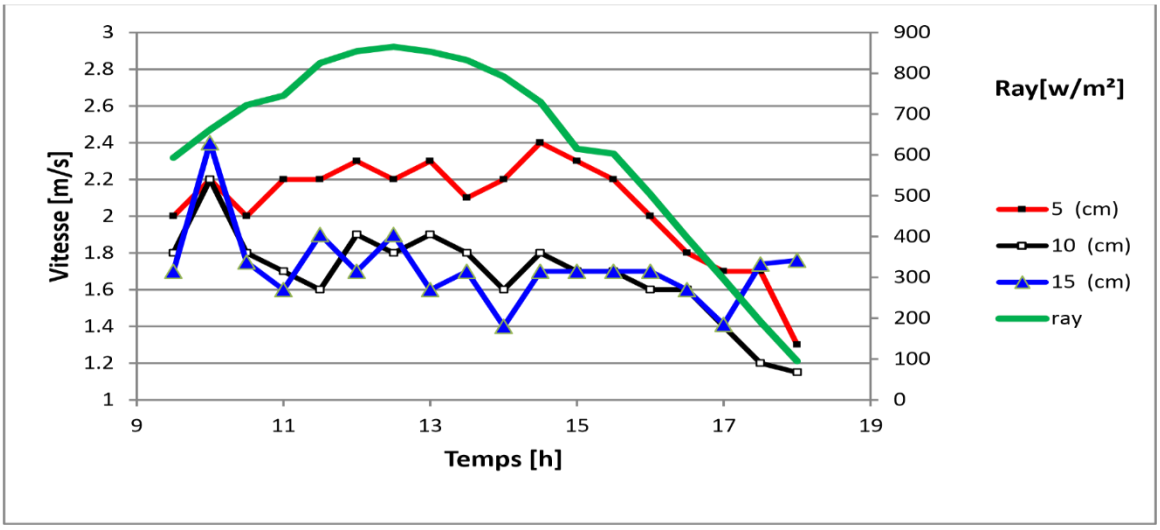
[23] MHIRI Ahmed Yacine et BEN MAZOUZI Mohamed Fares" Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire" Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.

[24] Badache, Messaoud "Etude numérique et expérimentale du transfert de chaleur dans un capteur solaire a perforations dote d'un collecteur transparent et opaque" Diss. École de technologie supérieure, 2013.

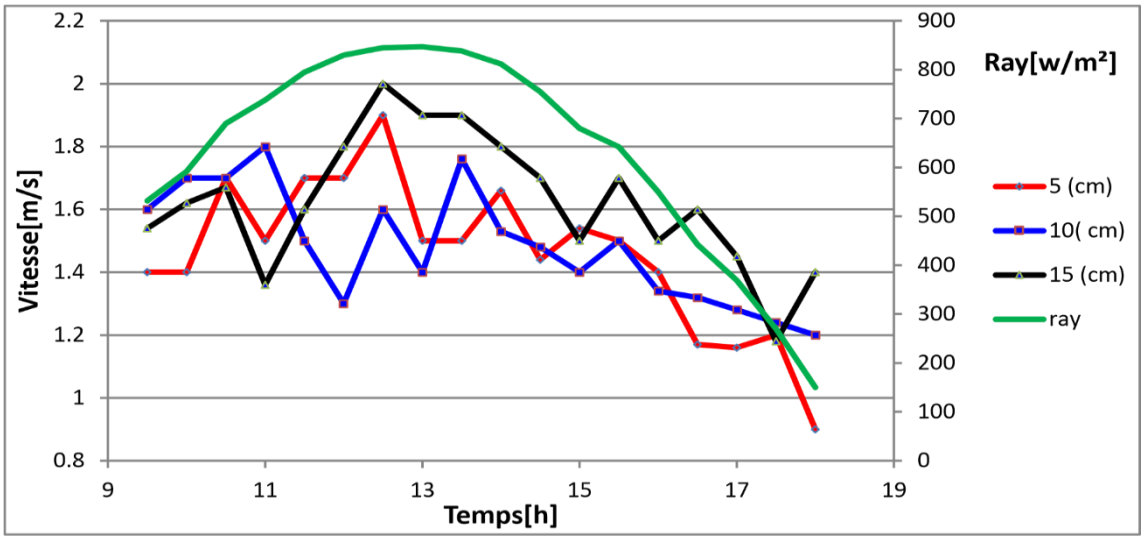
ANNEXES

Dans ce qui suit on va présenter les courbes à partir desquelles nous avons dérivé les résultats expérimentaux tirés du mémoire intitulé: "Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire". Soutenue en 2017 par les étudiants MEHIRI Ahmed Yacine et BEN MAZOUZIA Mohamed Fares. [23]

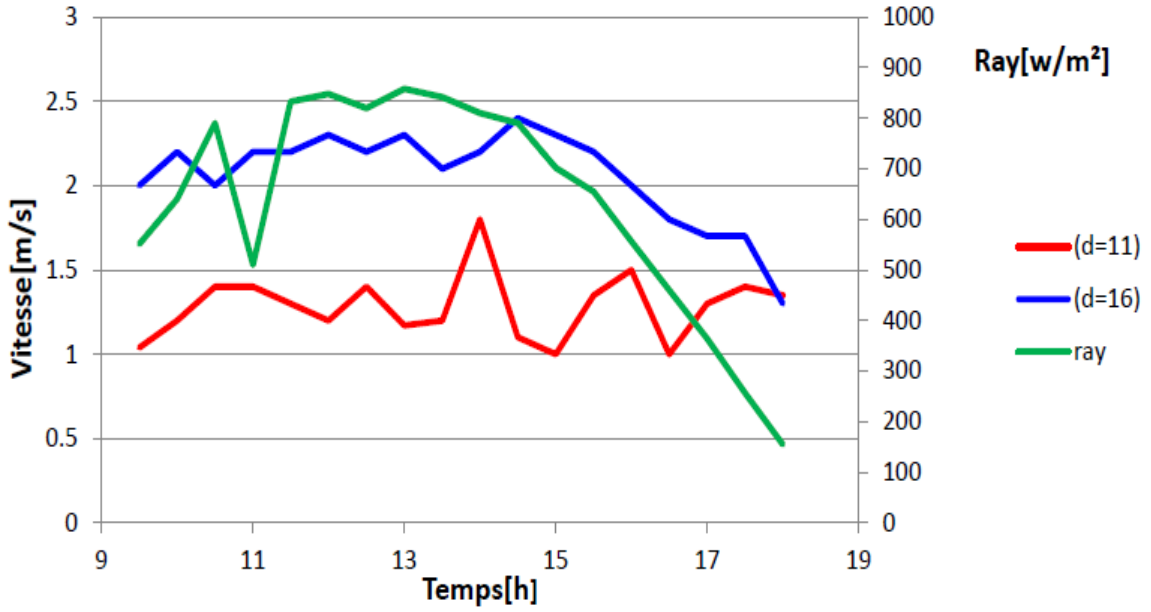
- ✓ **Variation de la vitesse d'écoulement d'air en fonction du temps à l'entrée de la cheminée avec 400cm de la hauteur et de 16cm du diamètre pour les entrances 5,10 et 15cm:**



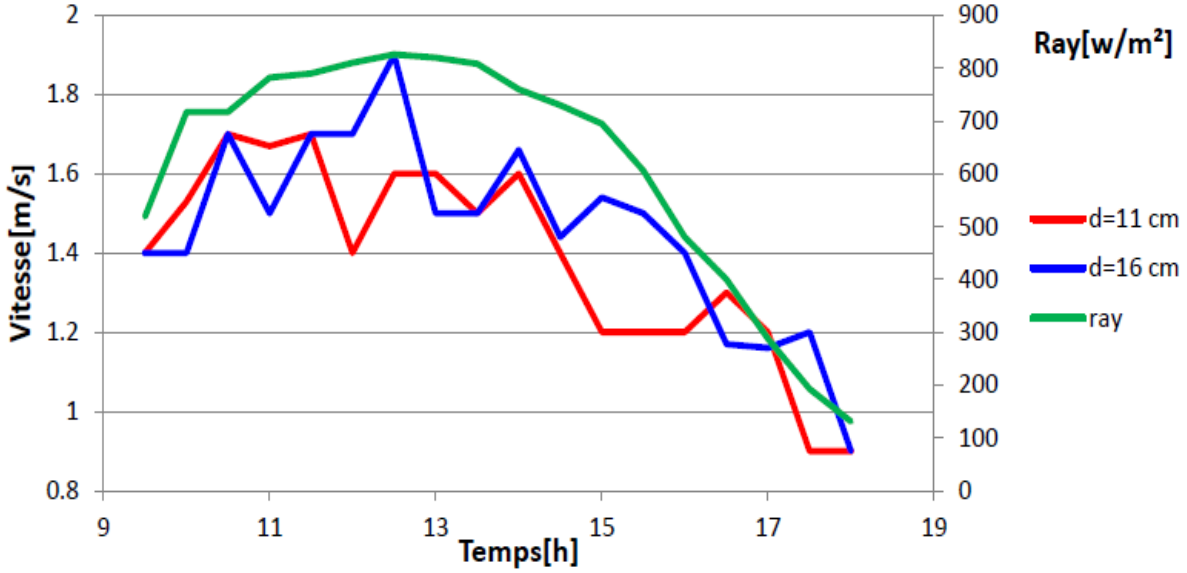
- ✓ **Variations des vitesses d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée de (300cm) de la hauteur et (16cm) du diamètre en fonction du temps pour les entrances (5,10 et 15 cm):**



- ✓ **Variation des vitesses à l'entrée de la cheminée (400 cm) de hauteur et (5cm) d'entrance en fonction du temps pour les diamètres d=11 et d=16 cm:**



- ✓ **Variation des vitesses à l'entrée de la cheminée en fonction du temps avec 300cm de hauteur et de 5cm d'entrance pour les diamètres d=11 et d=16 cm.**



Résumé :

La cheminée solaire est considérée parmi les installations les plus importantes produisant de l'électricité solaire, susciter l'intérêt des chercheurs et des techniciens de ce domaine pour développer des méthodes pour optimiser l'efficacité et le rendement de la cheminée solaire, l'une des plus importantes de ces méthodes est le choix optimal des dimensions géométriques de la cheminée solaire en utilisant la méthode du plan d'expériences.

Nous avons utilisé les résultats expérimentaux obtenus par l'exploitation du prototype conçu au niveau de l'Université de Ouargla comme support pour la méthode du plan d'expérience, ce qui nous permet de choisir les dimensions géométriques optimales de l'installation et d'obtenir ainsi une productivité et une efficacité supérieures.

Mots-clés : Cheminée solaire, Paramètres géométriques, Vitesses d'écoulement, Plans d'expériences.

Abstract:

The solar chimney is considered among the most important installations producing solar electricity, Raise the interest of researchers and technicians in this field to develop methods to optimize the efficiency and performance of solar chimney, one of the most important of these methods is the optimal choice of the geometrical dimensions of the solar chimney using the method of the design of experiments.

We used the experimental results obtained by exploitation of the prototype conceived at the University of Ouargla as support for the experimental design method this allows us to choose the optimal geometric dimensions of the installation and thus obtain higher productivity and efficiency.

Key words: Solar chimney, Geometrical parameters, Flow velocities, Design of experiments.

ملخص.:

تعتبر المدخنة الشمسية من اهم المنشأت التي تنتج الكهرباء الشمسية, ما اثار اهتمام الباحثين والتقنيين في هذا المجال لتطوير طرق لتحسين كفاءة وأداء المدخنة الشمسية ,واحدة من أهم الاساليب هي الأختيار الأمثل للأبعاد الهندسية للمدخنة الشمسية باستخدام طريقة مخطط التجارب.

استخدمنا النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من خلال استغلال النموذج الأولي المصمم في جامعة ورقلة كدعم لطريقة مخطط التجارب هذا يسمح لنا باختيار الابعاد الهندسية المثلى للنموذج وبالتالي الحصول على انتاجية و كفاءة أعلى.

الكلمات المفتاحية: المدخنة الشمسية, أبعاد هندسية,سرعة الجريان, مخطط التجارب