

N° d'ordre :

N° de série :

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**  
**ET DES SCIENCES DE LA MATIERE**



**Département des Sciences de la Matière**

**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine: Sciences de la Matière

Filière: Physique

Spécialité: Rayonnement et Spectroscopie et Optoélectronique

Présenté par: **BARIR Rafia**

**Thème**

**Etude de propriétés thermiques en phase  
gazeuse lors de la déposition dans les  
procédés LCVD**

Soutenu publiquement

Le : 24/06/2013

Devant le jury composé de :

<b>Dr BOUKRAA Aomar</b>	<b>MCA</b>	<b>président</b>	<b>U K M Ouargla</b>
<b>Mme LEMKEDDEM Soumaya</b>	<b>MAA</b>	<b>Examineur</b>	<b>U K M Ouargla</b>
<b>Pr. KHELFAOUI Fethi</b>	<b>Prof.</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>U K M Ouargla</b>
<b>Mme BABAHANI Oum-El-Kheir</b>	<b>MAA</b>	<b>Co-encadreur</b>	<b>U K M Ouargla</b>

Année Universitaire : 2012/2013

## *Remerciements*

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant, de m'avoir permis d'arriver à ce niveau d'études, et aussi pour m'avoir donné beaucoup de patience et de courage.

J'adresse mes vifs remerciements à mon Encadreur Pr Fethi KHELFAOUI et mon Co-Encadreur Mme Oum-El-Kheir BABAHANI, pour m'avoir constamment guidé tout long de mon projet et pour les précieux conseils qu'ils m'ont donnés, et pour leurs serviabilités, leurs disponibilités et leurs conseils constructifs.

Je tiens à remercier, le président de jury, Dr Aomar BOUKRAA, et l'examineur, Mme Soumaya LEMKEDDEM, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Je remercie également tout les membres du laboratoire de Rayonnement et Plasmas et Physique des Surfaces (LRPPS), où j'ai accompli ce travail, pour leurs aides et leurs conseils.

J'adresse aussi mes sincères reconnaissances à tous les enseignants de l'Université Kasdi Merbah Ouargla pour leurs aides, soutiens et leurs conseils, sans oublier tout le staff administratif du département.

Je tiens à présenter mes remerciements à ma mère, mes frères, mes sœurs, toute ma famille et mes amies.

# SOMMAIRE

Introduction générale	01
-----------------------	----

## **Chapitre I: Généralités sur les couches minces par les procédés LCVD**

I. Introduction:	02
I.1. Définition des couches minces:	02
I.1.2. Méthodes générales de dépôt de couche mince:	02
I.1.2.1. Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD):	03
I.1.2.2. Les étapes de la déposition CVD:	03
I.1.2.3. Différents type des lasers CVD:	04
I.1.2.4. Les différents de procédées CVD:	04
I.2. Le dépôt LASER CVD (LCVD):	04
I.2.1. Caractéristiques du laser dans la déposition des couches minces:	04
I.2.2. Les conditions expérimentales lors de la déposition laser CVD: .....	05
I.2.3. Les avantages des procédés LCVD:	05
I.2.4. Les mécanismes de dépôt LCVD:	05
I.2.5. Principe des techniques LCVD	05
I.3. Phénomènes physiques intervenant lors de déposition LCVD:	06
I.3.1. La mécanique des fluides et équation de conservation de l'énergie:	06
I.3.2. Équation de diffusion:	06
I.3.3. Quelques réactions chimiques dans les procédés LCVD:	07
I.3.3.a). Modèle de surface –réaction de (Si-H <sub>X</sub> ):	07
I.3.3.b). Modèle de surface –réaction de (Ti -N):	07
I.3.3.c). Réactions chimiques en phase gazeuse:	07
I.4. Effet et influence de la température sur la déposition des couches minces:	08
I.4.1. Effet de la température sur les réactions chimiques en phase gazeuse:	08
I.4.2.Effet de la température sur les probabilités de réactions des radicaux avec la surface :	09

---

## Chapitre II: Modélisation Numérique

II Introduction:	11
II.1.Description du dispositif expérimental:	11
II.2.Définition du phénomène physique:	12
II 3. Définition du modèle mathématique:	12
II.3.1. Les conditions initiales et les conditions aux limites:	13
II.4.Modélisation numérique pour le calcul de la distribution des températures dans le milieu	13
II.4.1.Formes générales des dérivées :	13
II 4.2. Résolution de l'équation de la chaleur par conduction à la surface (à l'état solide):	15
II.4.3. Résolution de l'équation de la chaleur par la convection dans le gaz:	16
II.4.4.Organigramme pour le calcul des températures :	18

## Chapitre III: Résultats et Discussion

III.1. Résultats et Discussion :	20
III.1.2. Profils de température dans le cas général :	20
III.2. Profils de température dans le cas des différentes puissances:	22
III.2.1.Variation de la température en fonction du puissance :	25
III.3. Profils de température en fonction du dans le cas:	26
III.3.1 Profils de température en fonction du dans le cas à haut du milieu (surface):	27
Conclusion générale et Perspectives.....	37
Référence.....	40

## *Introduction générale*

Les couches minces peuvent être élaborées par des procédés chimiques en phase vapeur (Chemical Vapor Deposition ou CVD) ou par des procédés physiques en phase vapeur (Physical Vapor Deposition ou PVD) [1]. Les dépôts chimiques en phase vapeur assisté par laser (LCVD) est un procédé qui consiste à utiliser un laser comme une source de chaleur pour une réaction CVD [2]. Par des procédés LCVD, on peut déposer sélectivement un ou plusieurs matériaux : C, B, Si, SiC, Sb, TiN, TiC, en utilisant un gaz réactif dans la chambre [2].

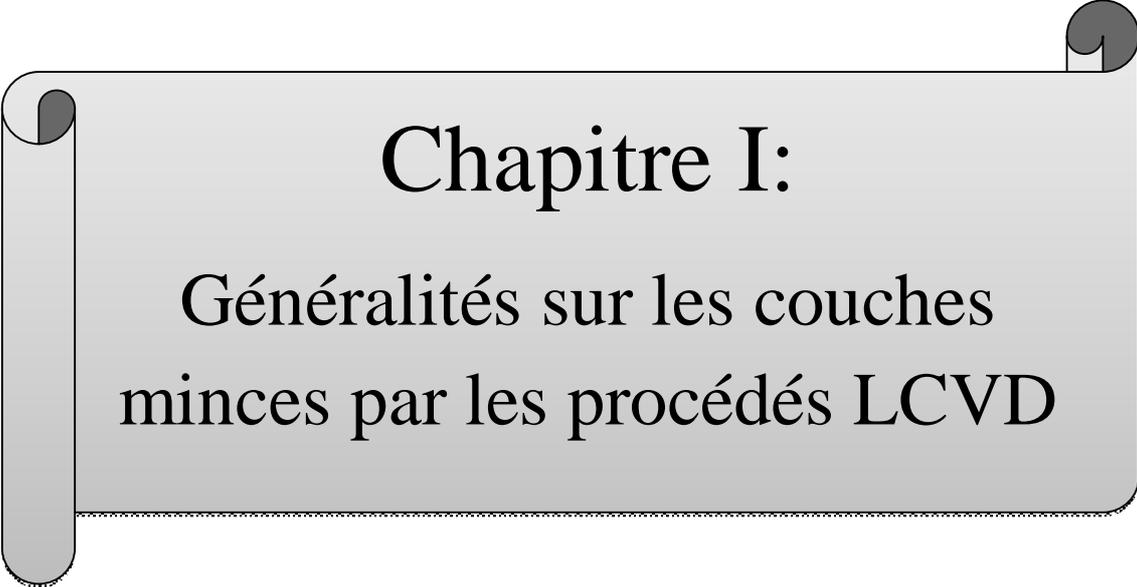
Dans ce mémoire nous allons étudier les propriétés thermiques en phase gazeuse lors de la déposition des couches minces dans les procédés LCVD. Nous allons résoudre l'équation de diffusion de la chaleur au niveau de la surface et du gaz lors de l'interaction du faisceau laser avec la surface du substrat. Le problème est à géométrie cylindrique, et nous allons choisir la technique numérique adéquate pour la résolution du problème.

Le premier chapitre est une présentation générale de la déposition par procédés CVD et LCVD lors de la déposition sur couches minces. Après une présentation des caractéristiques, on présente les équations nécessaires au traitement fluide du problème. Dans ce chapitre on présente aussi un aperçu sur les réactions chimiques et les effets de la température sur les réactions chimiques en phase gazeuse et sur la déposition des couches minces. La chambre de déposition peut contenir un mélange gazeux ( $\text{SiH}_4$  et  $\text{H}_2$ ) ou de ( $\text{Ar}$ ,  $\text{CH}_4$ , et  $\text{TiCl}_4$ ) ou un autre mélange.

Le deuxième chapitre est une présentation de la modélisation numérique pour le calcul de la température au niveau de la surface et du gaz. Le faisceau laser utilisé est considéré fixe et ponctuel. Les données sont relatives aux travaux de G. N. Koutlasa et al. [4]. Pour la résolution numérique des équations différentielles, nous allons choisir la méthode des différences finies.

Le troisième chapitre est destiné à la présentation et l'analyse des résultats de la modélisation. Nous avons considéré un mélange gazeux  $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$  utilisé pour la déposition d'une couche mince a-Si H.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générales et les perspectives.



# Chapitre I:

Généralités sur les couches  
minces par les procédés LCVD

**Chapitre I:*****Généralités sur les couches minces élaborées par les procédés LCVD*****I. Introduction**

Ce chapitre est une introduction aux méthodes de déposition des couches minces par les procédés de déposition chimique en phase vapeur (Chemical Vapor Deposition ou CVD).

Nous présentons la déposition par Laser CVD (LCVD), le traitement et les distributions de températures sur les surfaces du substrat et dans les gaz. Nous présentons aussi les phénomènes physiques et les réactions chimiques dans les couches minces dans les procédés LCVD.

**I.1.Définition d'une couche mince. [5] .**

Une couche mince d'un matériau donné est un élément de ce matériau dont l'une des dimensions qu'on appelle l'épaisseur a été fortement réduite de telle sorte qu'elle s'exprime en Angstrom. La différence essentielle entre le matériau à l'état massif et celui en couches minces est liée au fait que dans l'état massif on néglige généralement, avec raison, le rôle des limites dans les propriétés, tandis que dans une couche mince ce sont au contraire les effets liés aux surfaces limites qui sont prépondérants. Il est assez évident que plus l'épaisseur est faible et plus cet effet de bidimensionnelle est important. Lorsque l'épaisseur d'une couche mince dépasse un certain seuil l'effet d'épaisseur devient minime et le matériau retrouve les propriétés bien connues du matériau massif.

**I.1.2.Méthodes générales de dépôt de couche mince [6].**

- Les principales méthodes utilisées pour fabriquer des couches minces sous vide font appel à la technique de dépôt chimique en phase vapeur (Chemical Vapor Deposition ou CVD) et physique en phase vapeur (Physical Vapor Deposition ou PVD). La classification des méthodes est présentée par:

-Processus physique (PVD):

- Processus thermique : faisceau d'électrons, laser,

-Processus cathodique: DC, RF diode DC, RF triode....etc.

- Processus chimique(CVD) :

-laser CVD, plasma CVD,.....etc.

### I.1.2.1.Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) [7].

Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) est un procédé au cours duquel un film solide est formé sur un substrat, via une ou plusieurs réactions chimiques, à partir d'une phase gazeuse. Des composés volatils contenant les atomes constitutifs du matériau à élaborer, les précurseurs, sont transportés sous forme de vapeurs, par un gaz porteur neutre comme l'azote ou l'argon vers un substrat chauffé.

### I.1.2.2.Les étapes de la déposition CVD [1] .

La déposition par les procédés CVD suit les étapes suivantes :

- 1/- Diffusion du réactif vers la surface du substrat.
- 2/- L'adsorption du réactif.
- 3/- La réaction chimique.
- 4/- La désorption des gaz produits.
- 5/- Diffusion des gaz hors de la surface du substrat.

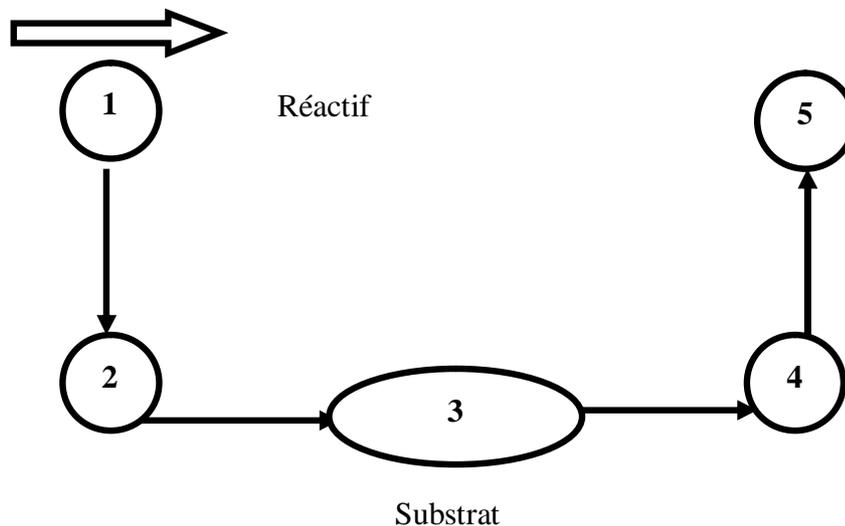


Figure. I.1.2.2.: Les étapes d'une déposition CVD [1]

**I.1.2.3. Différents type des lasers [8] .**

- Ø Lasers solides
- Ø Lasers à gaz
  - -visible : laser He-Ne
  - Infrarouge : Laser CO<sub>2</sub>
- Ø Semi-conducteur ou diode laser [6].

**I.1.2.4. Les différents des procédées CVD.**

-Il existe plusieurs types de dépôt CVD :

Le dépôt par LPCVD (Low Pressure Chemical Vapeur Déposition) [9].

- Le dépôt LCVD « Laser Enhanced Chemical Vapor Déposition » CVD assistée par Laser [10].
- Le dépôt PECVD « Plasma Enhanced Chemical Vapor Déposition » CVD assistée par Plasma [11].

Le dépôt LASER CVD (ou LCVD) est une méthode très récente (1999). Elle utilise un jet du gaz et un faisceau LASER. Le substrat est chauffé à de très hautes températures (500 à 2500°C) [1].

**I.2.1. Le dépôt LASER CVD (LCVD)**

La CVD assistée par laser ou LCVD est un procédé permettant de déposer toutes sortes de matériaux [12]. Le laser est utilisé pour chauffer localement une petite zone du substrat à la température requise pour le dépôt. Le dépôt chimique en phase vapeur se fait alors à l'interface gaz-substrat. Lorsque la température augmente et que la réaction se produit, une fibre germe au point d'impact du laser et croit dans la direction du rayon laser. Comparée aux méthodes de synthèse par arc électrique et ablation laser [13].

**I.2.2. Caractéristiques du laser dans la déposition des couches minces**

1. Les lasers en régime continu ou d'impulsions 'longues' (> ns) sont 'monochromatiques' [6].
2. Une cohérence spatiale : la lumière se propage dans la même direction [13].
- 3- Une cohérence temporelle : les ondes sont en phases.

4- une grande énergie concentrée dans une petite surface.

Il y a deux types laser : thermiques et photochimiques

### **I.2.3. Les conditions expérimentales lors de la déposition laser CVD [13].**

-Source laser: LCVD IR, UV, VIS.

-Intensité ( $W/cm^2$ ): 10<sup>2</sup>- 10<sup>6</sup>.

-Taux de déposition (m/sec): 0.1- >100.

-Couches déposées Si<sub>6</sub>, TiO<sub>2</sub>, TiC<sub>8</sub>, ....etc.

### **I.2.4. Les avantages des procédés LCVD [14].**

L'utilisation des techniques CVD assisté par Laser donne plusieurs avantages :

1. Résolution spatiale et contrôlée [15].
2. Localisation de chauffage dans les traitements thermiques hautes températures par Laser photochimiques déposition 'LPD'.
3. Pureté accrue des dépôts.

### **I.2.5. Les mécanismes de dépôt LCVD [16].**

Les mécanismes du LCVD sont identiques à ceux de dépôt CVD classique. Néanmoins l'aspect thermique localisé du chauffage par laser fait de la LCVD un outil particulièrement bien adapté aux micros dépôts en microélectronique (résolution latérale micrométrique). C'est ainsi qu'on réalise le dépôt par LCVD d'or, de tungstène, d'aluminium, .....etc. Les vitesses de dépôt par LCVD peuvent atteindre 1m/s. Le procédé de dépôt peut être néanmoins délicat à contrôler si la température du substrat varie au cours du traitement (cas lors de la connexion de lignes métalliques sur un substrat non métallique : les pertes thermiques par diffusion hors de la zone irradiée seront beaucoup plus importantes au moment où la jonction métallique avec la ligne existante est réalisée).

### **I.2.6. Principe des techniques LCVD [17].**

Les procédés LCVD peuvent être des cas particuliers des procédés Photo-CVD. Ces techniques (LCVD et Photo-CVD) utilisent l'effet des photons pour induire la décomposition du gaz réactif. Dans ces techniques la radiation incidente (les photons) est absorbée par des atomes ou des molécules. Ces atomes passent de l'état fondamental à l'état excité. Les atomes

excités transfèrent par collisions une partie ou la totalité de leur énergie aux molécules du gaz précurseur qui se décompose et forme le film déposé.

### I.3. Phénomènes physiques intervenant lors de déposition LCVD.

#### I.3.1. La mécanique des fluides et équation de conservation de l'énergie.

Pour la modélisation fluide dans l'étude de la déposition par LCVD, le mélange gazeux introduit dans le réacteur obéit aux équations de conservations. Il s'agit des équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie.

Dans notre mémoire nous nous intéressons à l'équation de l'énergie [18]. Les équations en termes de propriétés de transport pour un fluide Newtonien de masse volumique  $\rho$  et de conductivité thermique  $\lambda$  est :

$$\rho(T)C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda(T) \nabla T)$$

T: est la température en K

$C_p$ : est la chaleur spécifique moyenne mesurée en J/kg K

$\rho$ : est la masse volumique moyenne mesurée en kg/m<sup>3</sup>

$\lambda$  :est la conductivité thermique moyenne mesurée en W/m K

#### I.3.2. Equation de diffusion [19] :

Un autre phénomène est la diffusion des différentes espèces présentes dans le volume. L'équation de diffusion en variations des concentrations. Pour un problème à une dimension l'équation de diffusion (la loi de Fick) s'écrit :

$$\frac{\partial}{\partial X} \left( D_K \frac{C_K}{\partial X} \right) + R_K = 0$$

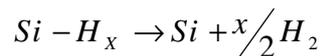
$D_K$ : est la diffusivité.

$R_K$  : est le taux de production (ou de consommation) en volume.

$C_K$  : est la concentration de chaque espèce (radical ou molécule).

**I.3.3. Quelques réactions chimiques dans les procédés LCVD .****I.3.3. a)-Modèle de surface –réaction de (Si-H<sub>x</sub>) [3].**

Dans la déposition des couches minces a:Si-H, on utilise un mélange gazeux (Si-H<sub>x</sub>+H<sub>2</sub>) par la réaction :



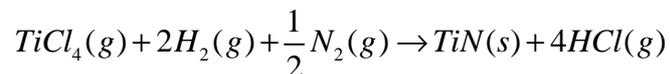
Par exemple modèle de surface-réaction de SiH<sub>3</sub> et de H:

Comme le modèle de surface – réaction, on considère toujours seulement deux espèces, SiH<sub>3</sub> et H, et deux types d'emplacement sur la surface (Présence de l'atome d'H ou présence de liaison de Si).

Avec la surface il y a d'autres réactions faisant intervenir les énergies cinétiques des particules (ou température du gaz) et les énergies d'activation des réactions chimiques.

**I.3.3. b)-Modèle de surface –réaction de (Ti -N).**

Pour avoir une couche mince (a-Ti -N), on prend en considération la réaction suivant [20].

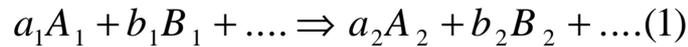
**I.3.3. c)-Réactions chimiques en phase gazeuse [19] .**

Pour l'étude du mélange SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>, O. Babahani et al. [21].ont considéré sept réactions entre électrons, molécules SiH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>et Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> et radicaux (SiH<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>, SiH, H, etc. ....). Les constantes d'équilibre sont calculées pour une température T et une pression totale P. Les équations de la cinétique chimique permettent le calcul les taux de production ou de consommation pour chaque radical.

**I.4. Effet et influence de la température sur la déposition des couches minces****I.4.1. Effet de la température sur les réactions chimiques en phase gazeuse**

La température du gaz influence le mécanisme des collisions dans le volume. [4]

Soit la réaction chimique



Où:

$A_1, B_1, \dots$ , sont les réactifs et  $A_2, B_2, \dots$ , sont les produits  $a_i, b_i, \dots$ , sont les coefficients stœchiométriques. La forme générale de la vitesse de réaction est donnée par :

$$R_{\text{rx}} = K(T)[A]^a[B]^b \dots\dots\dots(1)$$

Où:

$K(T)$  est la constante de vitesse de la réaction ;

$[A], [B]$  sont les concentrations des espèces, et  $a, b, \dots$ , sont des constantes.

La vitesse de réaction peut prendre plusieurs formes fonction de la nature de la réaction chimique:

$$K(T) = K_0 \exp[-\Delta G / (RT)] \dots\dots\dots(3)$$

La constante de réaction chimique entre deux composés A et B est telle que:

$$R_{\text{rx}} = K_0 [A]^a [B]^b \exp[-\Delta G / (RT)] \dots\dots\dots(4)$$

$K_0$  : est la constante de vitesse de la réaction.

$[A], [B]$  : Concentrations molaires.

$E_a$  : Constante des gaz parfaits.

T: La température du gaz.

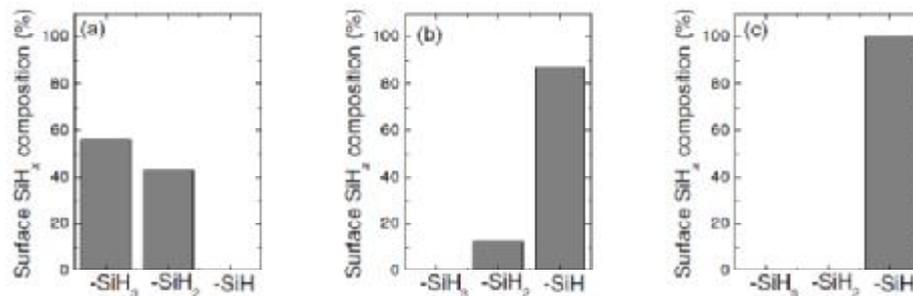
### I.4.2.Effet de la température sur les probabilités de réactions des radicaux avec la surface

Les différentes probabilités de réaction à la surface sont : le taux de réflexion ( $r$ ), la probabilité de réaction avec la surface (réactivité)  $\beta$  et le coefficient de collage ( $s$ ). Ces probabilités vérifient les relations suivantes [22].

$$r + \beta = 1 \quad \text{et} \quad \beta = s + \gamma$$

La variation de la température du substrat à une grande influence sur la croissance de la couche mince. La figure suivante [23] montre l'influence de la température du substrat sur la probabilité de la réaction à surface.

(a) :  $T = 100^\circ\text{C}$ ; (b) :  $T = 250^\circ\text{C}$ ; (c) :  $T = 400^\circ\text{C}$



**Figure .I.4.2.1. :** Probabilité de la réactivité à la surface du radical SiH<sub>3</sub> [23].

- ✓ Pour  $T = 100^\circ\text{C}$  la composition de surface en SiH<sub>3</sub> est 58% et en SiH<sub>2</sub> est 42% et en SiH est 0%.
- ✓ Pour  $T = 250^\circ\text{C}$  la composition de surface en SiH<sub>3</sub> est 0% et en SiH<sub>2</sub> est 15% et en SiH est 84%.
- ✓ Pour  $T = 400^\circ\text{C}$  la composition de surface en SiH<sub>3</sub> est 0% et en SiH<sub>2</sub> est 0% et en SiH est 100%.

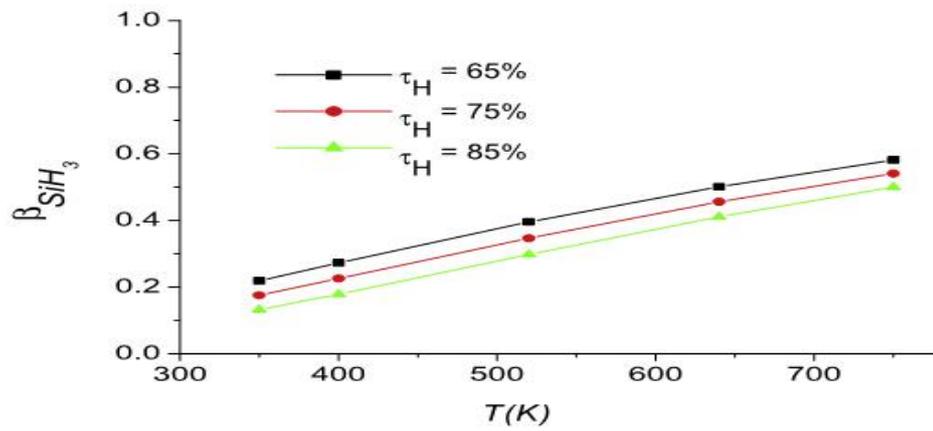
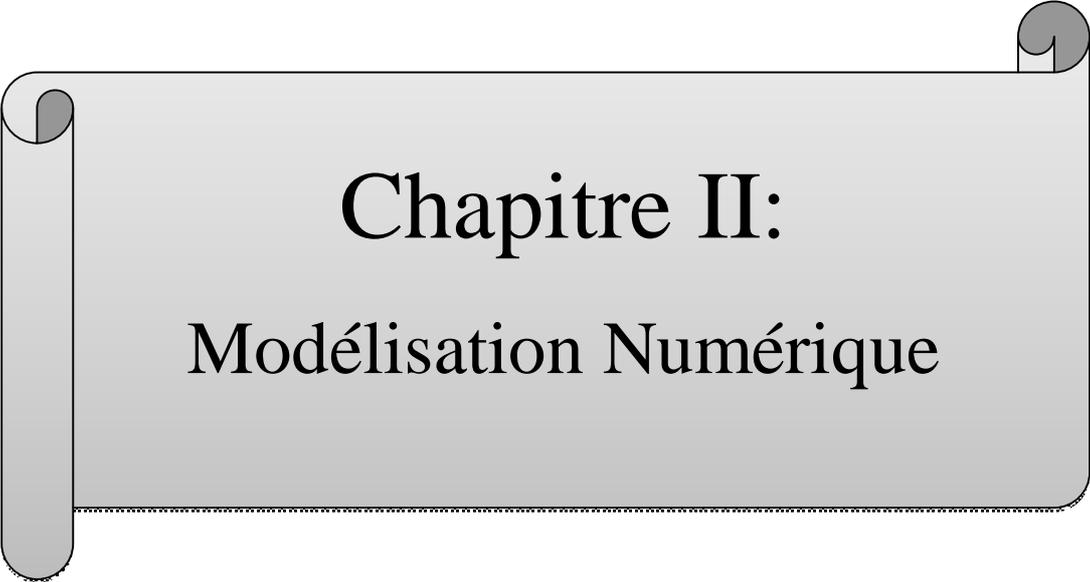


Figure .I.4.2.2:L'influence de la température du gaz sur la probabilité de la réaction [24].

.





# Chapitre II:

## Modélisation Numérique

**Chapitre II:**  
***Modélisation Numérique***

**Introduction**

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la distribution de la température du gaz et du substrat lors de déposition procédé LCVD. Une source laser étant considérée, nous étudions la distribution de température à la surface par le phénomène de conduction et la distribution de la température dans le gaz par la convection. Pour la déposition LCVD, nous avons considéré la déposition d'une couche mince a –Si : H. Après la description du phénomène physique, la modélisation mathématique de l'équation de conservation de l'énergie, nous présentons la méthode numérique de résolution du problème par la Méthode des Différences Finis.

**II.1.Description du dispositif expérimental**

On s'intéresse à l'interaction d'un faisceau laser avec un substrat de forme circulaire. La chambre est évacuée puis on introduit le mélange gazeux nécessaire à la déposition de la couche mince

Le substrat utilisé est d'un rayon  $R_{\max}$ , la hauteur du gaz est  $Z_{\max}$ . Pour les cas de faisceau laser fixe, le centre du faisceau laser est situé au centre de la surface supérieure du substrat. Le spot du laser utilisé, de puissance  $P$ , est considéré ponctuel. Le coefficient de transfert thermique par convection surface-gaz est  $h$ . La chaleur spécifique moyenne est  $C_p$  (J/Kg k) et la masse volumique mesurée est  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>).

La conductivité thermique moyenne mesurée est  $k$  (W/m K).

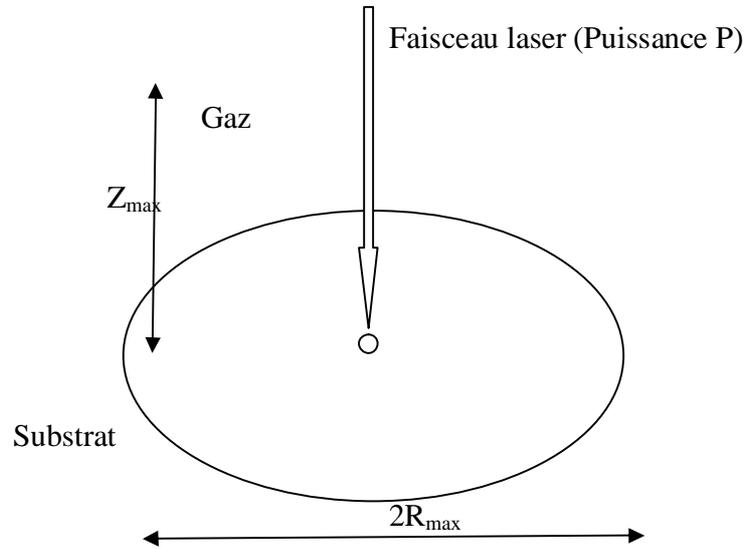


Figure .1 : Principe expérimental.

## II.2. Définition du phénomène physique

Nous nous intéressons à la diffusion de la chaleur au niveau de la surface .Le laser utilisé permet de chauffer localement le substrat. Il y a diffusion de la chaleur par conduction à la surface et par convection dans le gaz. La distribution de la température ainsi obtenu peut influencer les réactions de l'état gazeux : excitation, absorption, recombinaison, réflexion...etc.

## II.3.Modélisation mathématique

### II.3.1. Définition du modèle mathématique

Pour la résolution de la distribution de la température, nous proposons la résolution de l'équation de la chaleur à deux dimensions .Nous utilisons les coordonnées cylindriques.

L'équation en générale pour de la convection et la conduction est [25].

$$Q = d_{is} r c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-K \cdot \nabla T + r c_p m \cdot \nabla T) \dots \dots \dots (1)$$

$Q$  : Source de chaleur (W/m<sup>2</sup>)

$d_{ts}$  : coefficient de scalaire du temps

$r$  : La masse volumique mesurée en Kg/m<sup>3</sup>

$C_p$  : La chaleur spécifique moyenne mesurée en J/kgK

$T$ : Température en K

$K$  : La conductivité thermique moyenne mesurée en W/ m K

$m$  : Viscosité dynamique en (Nm<sup>2</sup>/K)

### II.3.2. Les conditions initiales et les conditions aux limites

Pour  $t = 0$  et  $i = 1, i_{max}$

$$T_{milieu}(i, 1, t) = T_{milieu}(i, 1, 0) = T_0$$

$$T_0 = 300K^\circ$$

$$T_{milieu} r \rightarrow \infty_i = T_0 \quad \forall t$$

$$T_{i_{max}} = T_0$$

## II.4. Modélisation numérique pour le calcul de la distribution des températures dans le milieu

### II.4.1. Formes générales et dérivées

Nous allons utiliser la méthode des différences finies pour calculer la distribution des températures lors de la déposition des couches minces par le procédé LCVD. Cette méthode consiste à approximer les dérivées partielles d'une équation au moyen des développements du Taylor.

Dérivation par rapport à l'espace [26].

$$f(x \pm hx, y) = f(x, y) \pm h_x f'(x, y) + \frac{(hx)^2}{2!} f''(x, y) \pm \dots$$

$$f(x, y \pm hy) = f(x, y) \pm h_y f'(x, y) + \frac{(hy)^2}{2!} f''(x, y) \pm \dots$$

$$f_{(i \pm 1, j)}^{n+1} = f_{(i, j)}^n \pm h_x \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^{n+1} + \frac{(hx)^2}{2!} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^{n+1} \pm \dots$$

$$f_{(i,j\pm 1)}^{n+1} = f_{(i,j)}^n \pm h_y \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^{n+1} + \frac{(h_y)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right)^{n+1} \pm \mathbf{K} \mathbf{K}$$

Dérivation par rapport au temps

$$f_{(i,j)}^{n+1} = f_{(i,j)}^n + h_t \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^n + \frac{(h_t)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial t^2}\right)^n \pm \mathbf{K} \mathbf{K}$$

On considère les indices (i ,j ,n)

i : indice suivant r ; i=1, ....., i<sub>max</sub>

j : indice suivant la hauteur du gaz ; j=1, ....., j<sub>max</sub>

n : indice suivant le temps ; n=1, ....., n<sub>max</sub>

On a les trois approximations de la dérivée partielle première de T(r ,t) par :

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}$$

S(r,t) : Terme source présentant l'apport d'énergie du faisceau laser en W/m<sup>2</sup>

$$rc \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = K \Delta T(r,t) + S_r(r,t) \cdot dS \dots\dots\dots(4)$$

$$rc \frac{T_{i,1}^{n+1} - T_{i,1}^n}{\Delta t} = K \left[ \left( \frac{1}{r} \frac{T_{i+1,1}^{n+1} - T_{i,1}^n}{\Delta r} \right) + \frac{T_{i+1,1}^{n+1} - 2T_{i,1}^{n+1} + T_{i-1,1}^{n+1}}{\Delta r^2} \right] + (S_r \cdot dS)^{n+1} \dots\dots\dots(5)$$

$${}_g T_{i-1}^{n+1} + {}_b T_i^{n+1} + {}_g T_{i+1}^{n+1} = B_i \dots\dots\dots(6)$$

$$B_i = qI_i^n + (S')^{n+1}$$

$$dS = 2 \cdot dr \cdot r_i \cdot dj$$

$$S_r = P_l \cdot dt$$

$$P_l = \frac{P}{s}$$

$$\Delta t = \frac{t_{\max}}{n_{\max} - 1}$$

### II4.2. Résolution de l'équation de la chaleur par conduction à la surface (Etat solide)

Au niveau de la surface  $j=1$ .

Le terme  $Q_{i,1}$  présente le transfert de chaleur du substrat vers le gaz ( $T_{i,1}$  à  $T_{i,2}$ )

$$Q_{i,1} = -h (T_{i,1} - T_{i,2}) \text{ (w m}^{-2}\text{)}$$

$$rc \frac{T_{i,1}^{n+1} - T_{i,1}^n}{\Delta t} = K + (S_r(r, z, t) \cdot dS) + (Q_{i,1}(r, z, t) \cdot dS) \dots \dots \dots (1)$$

$$rc \frac{T_{i,1}^{n+1} - T_{i,1}^n}{\Delta t} = K \left[ \left( \frac{1}{r} \frac{T_{i+1,1}^{n+1} - T_{i,1}^n}{\Delta r} \right) + \frac{T_{i+1,1}^{n+1} - 2T_{i,1}^{n+1} + T_{i-1,1}^{n+1}}{\Delta r^2} \right] + (S_r \cdot dS)^{n+1} + (Q_{i,1}(r, z, t) \cdot dS)^{n+1} \dots \dots \dots (2)$$

$$g_i T_{i-1}^{n+1} + b_i T_i^{n+1} + d_i T_{i+1}^{n+1} = q T_i^n + \left( \frac{S_r}{K} (2 \cdot r(i) \Delta r \Delta r^2) \right)^{n+1} + \left( \frac{Q_{i,1}}{K} (2 \cdot r(i) \Delta r \Delta r^2) \right)^{n+1} \dots \dots \dots (3)$$

$$g_i = 1$$

$$b_i = \left( -2 \frac{dr}{r} - \frac{a \cdot dr^2}{dt} \right)$$

$$d_i = \left( \frac{dr}{r} + 1 \right)$$

$$q = \left( - \frac{a \cdot dr^2}{dt} \right)$$

Cas :  $i=1$ ; la condition est telle que: les équation de la chaleur (dans unité de volume) égale:

$$mC_p (T_1 - T_2) = \Delta Q$$

En final:

$$T_1 = T_2 + \frac{S \cdot dt}{rC_p + h \cdot dt}$$

$$g T_{1,j} + b T_{2,j} = a$$

$$g T_{1,j}^{n+1} + b T_{2,j}^{n+1} = a$$

$$g'' = 1$$

$$b'' = -1$$

$$a = \left( \frac{S \cdot dt}{rCp + h \cdot dt} \right)$$

Cas :  $i=2$ ; la condition est telle que: en mesurant la valeur moyenne :

$$b'''T(1, j) + d'''T(2, j) + l'''T(3, j) = 0$$

$$b''' = 1$$

$$d''' = -2$$

$$l''' = 1$$

$$q''' = 0$$

### II.4.3. Résolution de l'équation de la chaleur par la convection dans le volume (état gazeux)

Dans le cas:  $j=2, j_{\max-1}, i=i_{\max-1}$ :

$$d_{is} rc_p \frac{\partial T}{\partial t} = -rc_p m \cdot \Delta T - rc_p \nabla \cdot m \cdot \nabla T \dots\dots\dots(1)$$

$$d_{is} rc_p \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t} = -rc_p \cdot m \left[ \left( \frac{1}{r} \frac{T_{i+1,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta r} \right) + \frac{T_{i+1,j}^{n+1} - 2T_{i,j}^{n+1} + T_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta r^2} \right]$$

$$-rc_p \cdot m \left[ \frac{T_{i,j+1}^{n+1} - 2T_{i,j}^{n+1} + T_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta z^2} \right] \dots\dots\dots(3)$$

$$l_2 T_{i-1,j}^{n+1} + b_2 T_{i,j}^{n+1} + c_2 T_{i+1,j}^{n+1} = q_2 T_{i,j}^n + d_2 (T_{i,j+1}^{n+1} + T_{i,j-1}^{n+1}) \dots\dots\dots(4)$$

$$l_2 = m \cdot \left( -\frac{1}{Dr^2} \right)$$

$$b_2 = m \cdot \left( \frac{1}{r \cdot Dr} + \frac{2}{Dr^2} + \frac{2}{Dz^2} + \frac{dt}{Dt} \right)$$

$$c_2 = m \cdot \left( -\frac{1}{r \cdot Dr} - \frac{2}{Dr^2} \right)$$

$$d_2 = m \cdot \left( \frac{1}{Dz^2} \right)$$

-Cas : la condition est telle que:  $i=1, j$ :la valeur moyenne  $[j+1, j-1]$  suivant l'axe z

$$b_3 T_{2,j}^{n+1} + g_3 T_{1,j}^{n+1} = q_3 [T_{2,j} + T_{1,j}] \dots\dots\dots(1)$$

$$b_3 = \left[ m \cdot \left( -\frac{dts \cdot rCp}{2 \cdot Dt} - \frac{2 \cdot rCp}{Dr^2} \right) \right]$$

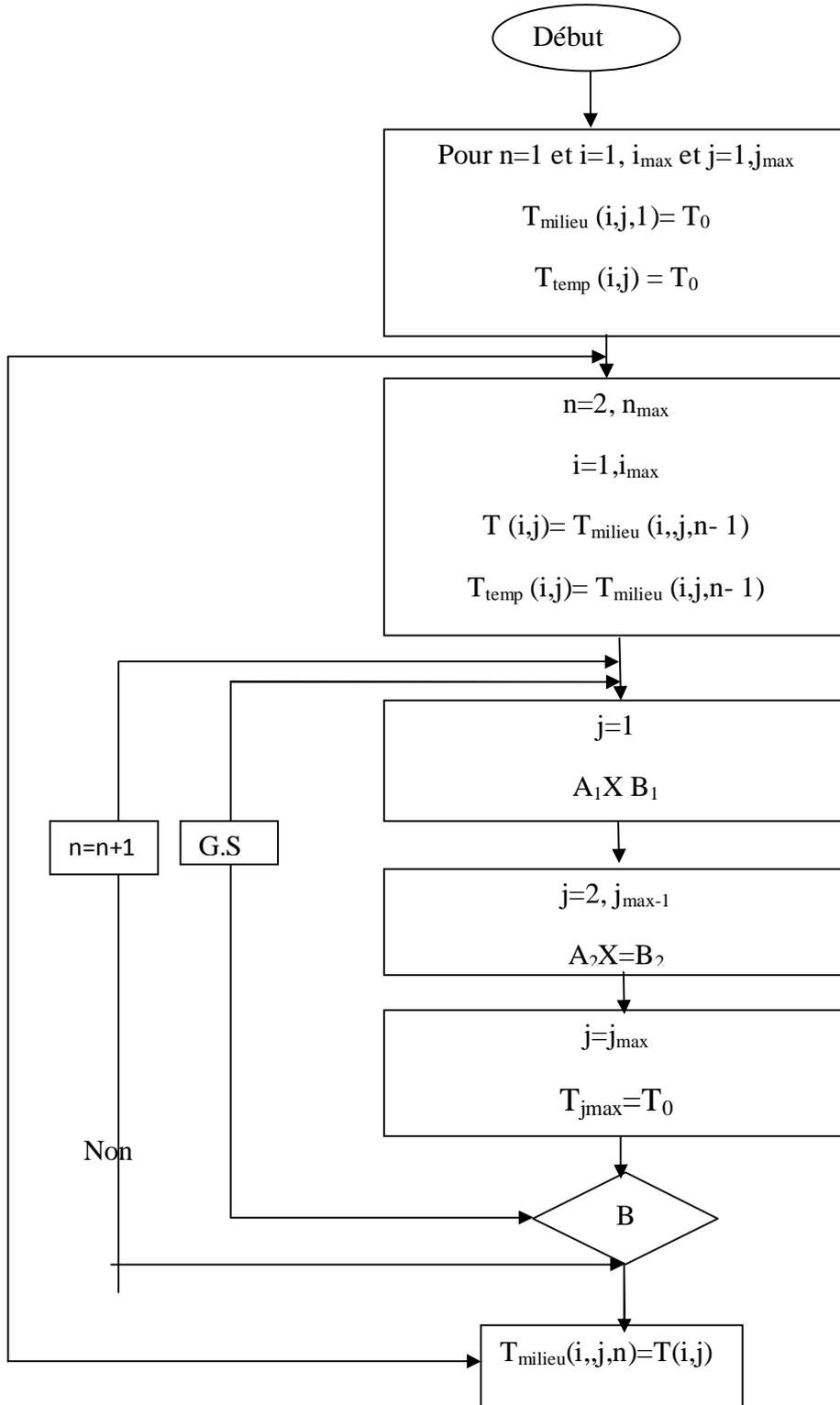
$$g_3 = \left[ m \cdot \left( -\frac{dts \cdot rCp}{2 \cdot Dt} + \frac{2 \cdot rCp}{Dr^2} \right) \right]$$

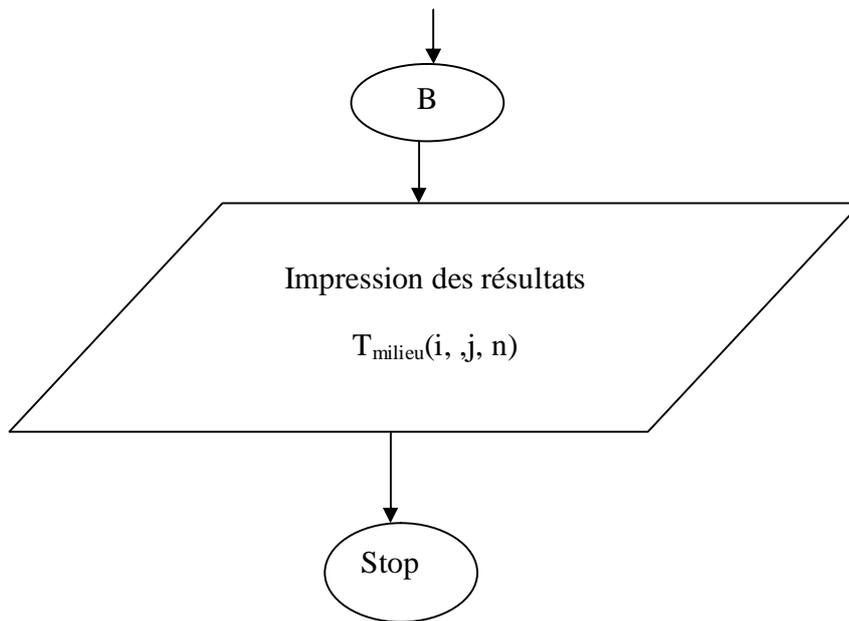
$$q_3 = \left[ -\frac{dts \cdot rCp}{2 \cdot Dt} \right]$$

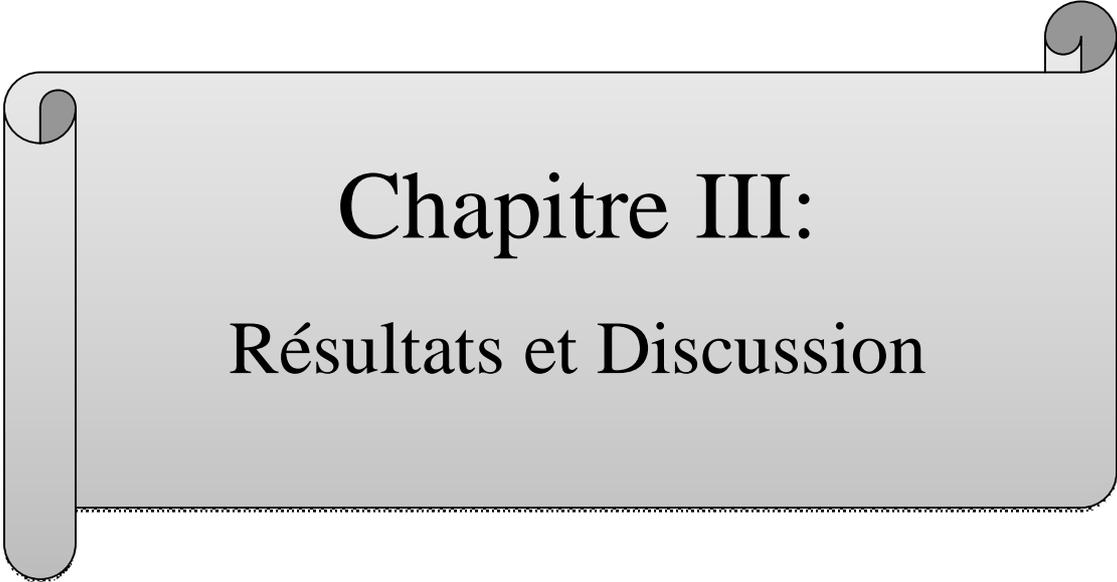
On est amené à la résolution du système d'équations matricielles ( $A \cdot X = B$ ) pour la résolution des températures  $T_{i,j}^{n+1}$ . Nous appliquons la méthode itérative de Gauss-Seidel [1]. Où en général, nous avons les formes suivantes pour  $j=1$ , pour  $j=2$  à  $Jmax-1$  et pour  $j=Jmax$  :

- Pour  $i = 1$ : les termes non nuls  $A_{1,1}$  ,  $A_{1,2}$  et  $B_1$  ;
- Pour  $i = 2$  à  $Jmax-1$ : les termes non nuls  $A_{i-1,i}$  ,  $A_{i,i}$  ,  $A_{i+1,i2}$  et  $B_i$  ;
- Pour  $i = Jmax$ : les termes non nuls  $A_{imax, imax} = 1$  et  $B_{imax} = T_0$ ;

II.4.4. Organigramme pour le calcul des températures







# Chapitre III:

## Résultats et Discussion

**Chapitre III:*****Résultats et Discussion*****III.1. Résultats et Discussion**

Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux résultats du modèle numérique développé pour l'étude de la déposition LCVD.

Le spot laser a un diamètre  $R_1 = 9$  mm et fonctionne en mode continu par une Puissance de 30W. Le Diamètre du substrat est  $R = R_{\max} = 80$  mm ; La chaleur spécifique moyenne mesurée est

500 J / kg K, la masse volumique mesurée est 7850 kg / m<sup>3</sup>, la conductivité thermique moyenne mesurée est 50 W/ m k. le coefficient d'échange de surface. 200 Wm<sup>-2</sup>/k<sup>-1</sup>

Pour la discrétisation du système, nous utilisons  $n_{\max}=201$  et  $i_{\max}=201$ .  $j_{\max}=101$

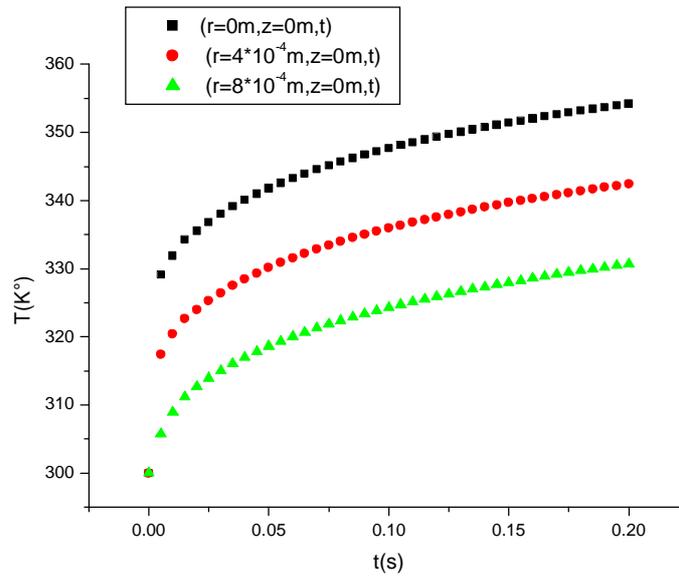
Le pas de temps et le pas dans l'espace sur la surface en variant avec (r) et sur le gaz avec (z) sont:

$$\Delta t = \frac{t_{\max}}{n_{\max} - 1}; \Delta r = \frac{R_{\max}}{i_{\max} - 1}; \Delta z = \frac{Z_{\max}}{j_{\max} - 1}$$

**III.1.2. Profils de température dans le cas général**

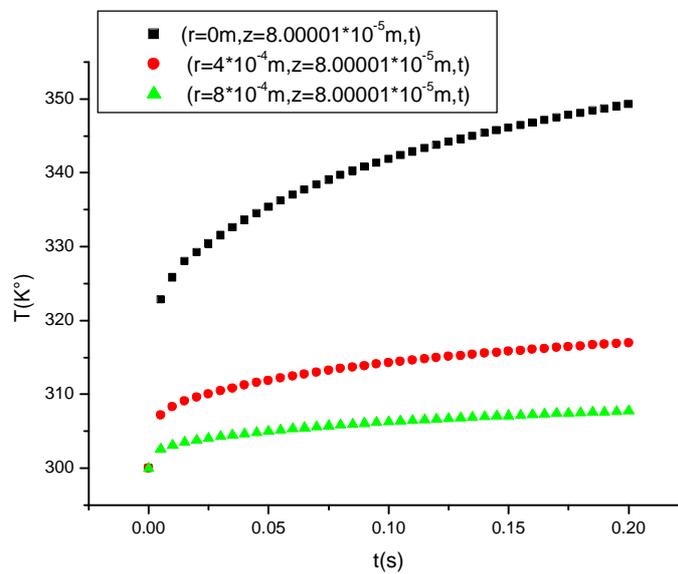
Les figures de (1. 2. 3) présentent la variation de la température à la surface en fonction de plusieurs paramètres et  $z=40$ mm. Le Diamètre du substrat est 80mm et la puissance du laser est 30W et le coefficient d'échange de la chaleur entre la surface et le gaz 200 (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>)

$h = 200$  (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>),  $P = 30$  W,  $R_{\text{milieu}} = 80$ mm,  $Z_{\max} = 40$  mm.



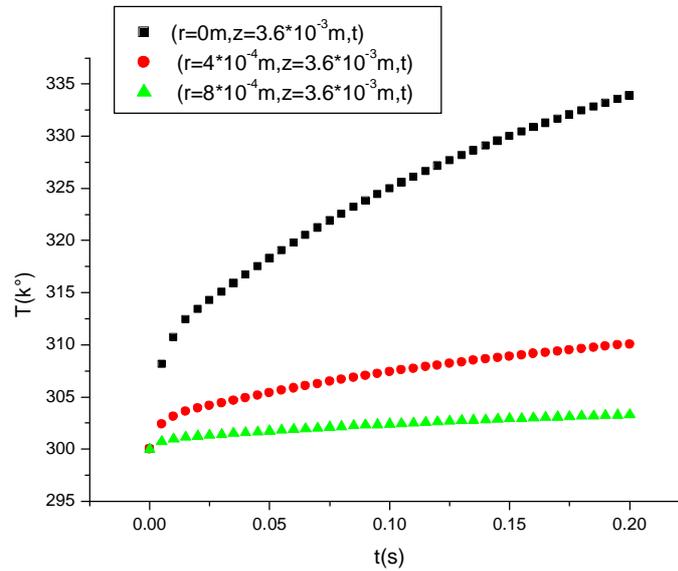
**Figure III .1 :** Profil de la température en fonction du temps pour la position

$(r = 0 m , r = 4*10^{-4} m , r = 8*10^{-4} m , z = 0m , t)$



**Figure .III.2:** Profil de la température en fonction du temps pour la position  $(r = 0 m ,$

$r = 4*10^{-4} m , r = 8*10^{-4} m , z=8.00001*10^{-5} m , t)$



**Figure 11I.3 :** Profil de la température en fonction du temps pour la position

$$(r = 0 \text{ m}, r = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}, r = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}, z = 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ m}, t)$$

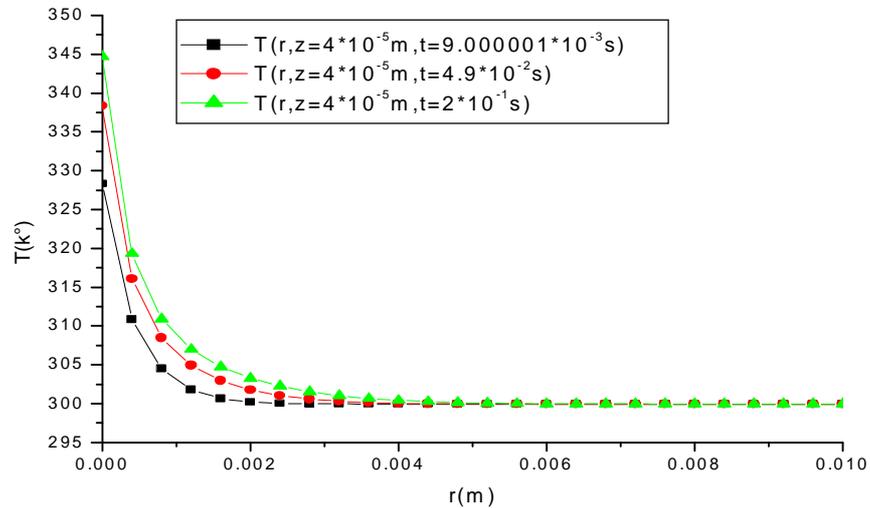
### Discussions:

-**Figures III .(1.2.3):** remarque le température augmente en fonction du temps

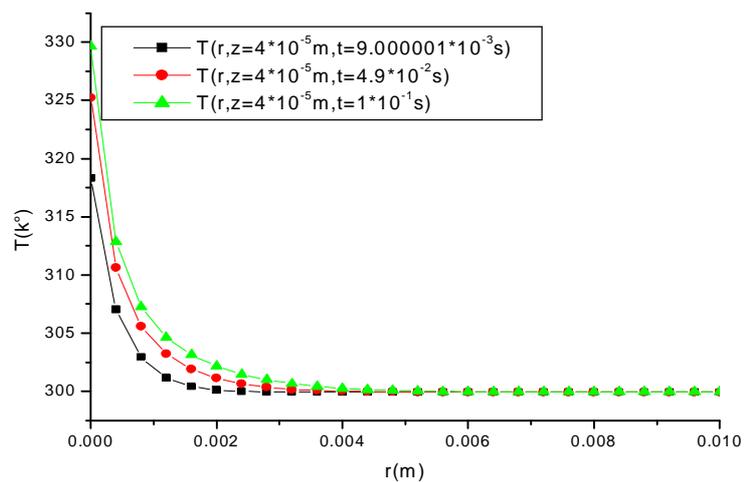
à  $(r=0, r=4 \cdot 10^{-4} \text{ m}, r = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}, z=0 \text{ m}, t)$ . Dans le surface en centre de spot laser.

### III.2.Profils de température dans le cas des différentes puissances

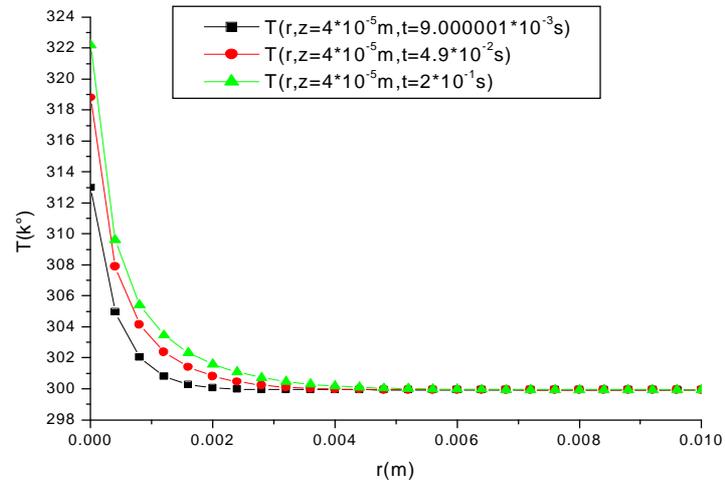
$h = 200 \text{ (Wm}^{-2} \text{K}^{-1}\text{)}, R_{\text{milieu}} = 80 \text{ mm}, Z = 40 \text{ mm}.$



**Figure.III.4:** Profil de la température en fonction du temps pour la position  $(r, z = 4 \times 10^{-5} \text{ m}, t = 9.000001 \times 10^{-3} \text{ s}, t = 4.9 \times 10^{-2} \text{ s}, t = 2 \times 10^{-1}, P = 30 \text{ W})$

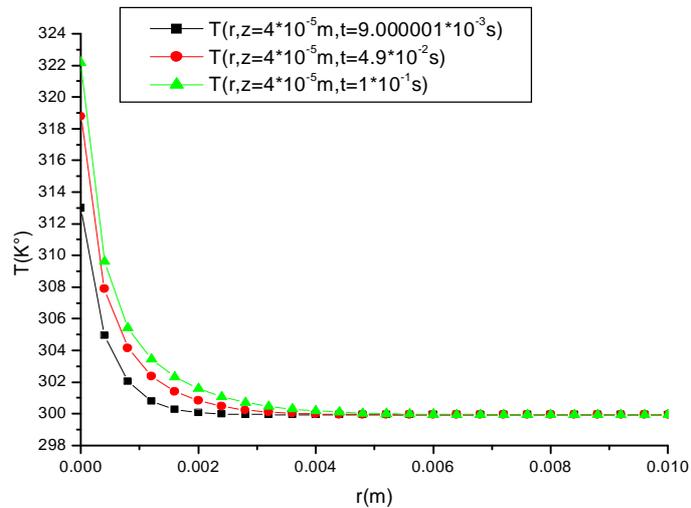


**Figure .III.5:** Profil de la température en fonction du temps pour la position  $(r, z = 4 \times 10^{-5} \text{ m}, t = 9.000001 \times 10^{-3} \text{ s}, t = 4.9 \times 10^{-2} \text{ s}, t = 2 \times 10^{-1}, P = 20 \text{ W})$



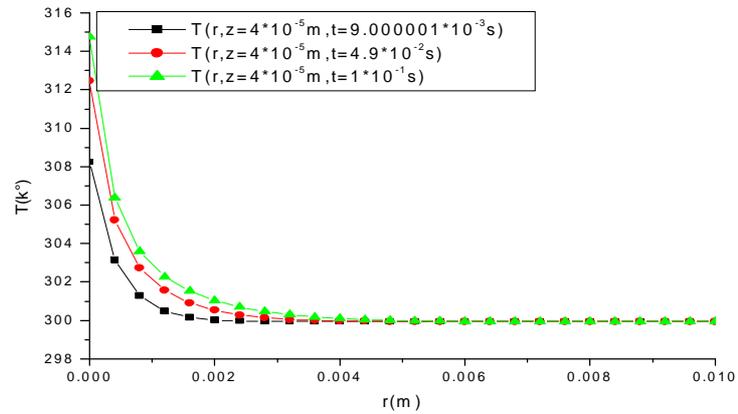
**Figure .III.6:** Profil de la température en fonction du temps pour la position

$(r, z = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}, t = 9.000001 \cdot 10^{-3} \text{ s}, t = 4.9 \cdot 10^{-2} \text{ s}, t = 2 \cdot 10^{-1} \text{ s}, P = 15 \text{ W})$



**Figure .III.7:** Profil de la température en fonction du temps pour la position

$(r, z = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}, t = 9.000001 \cdot 10^{-3} \text{ s}, t = 4.9 \cdot 10^{-2} \text{ s}, t = 2 \cdot 10^{-1} \text{ s}, P = 10 \text{ W})$



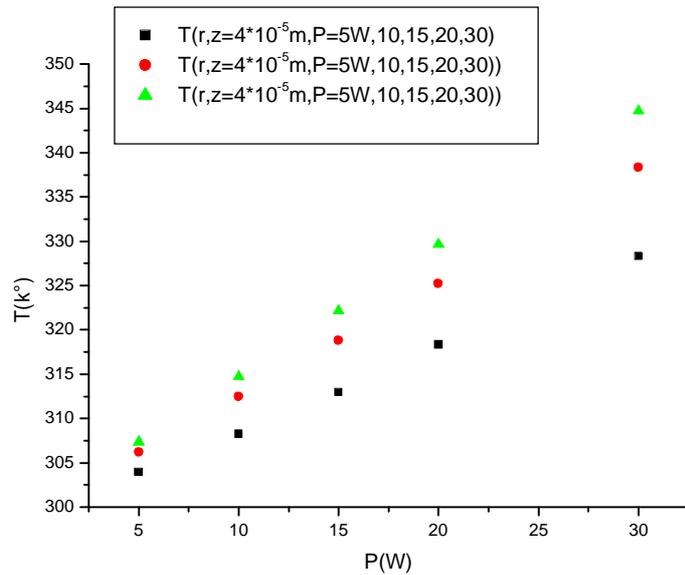
**Figure III.8:** Profil de la température en fonction du temps pour la position

$(r, z = 4 \times 10^{-5} \text{ m}, t = 9.000001 \times 10^{-3} \text{ s}, t = 4.9 \times 10^{-2} \text{ s}, t = 2 \times 10^{-1} \text{ s}, P = 5 \text{ W})$ .

### III.2.1. Variation de la température en fonction de la puissance

Tableau III.1 : Variation de la température maximale en fonction de la puissance.

Puissance (W)	5W	10W	15W	20W	30W
$T(1, 2, 9.000001 \times 10^{-3} \text{ s})$	303.9	308.2	312.9	318.3	328.3
$T(1, 2, 4.9 \times 10^{-2} \text{ s})$	306.2	312.4	318.7	325.2	338.3
$T(1, 2, 2 \times 10^{-1} \text{ s})$	307.3	314.7	322.1	329.6	344.7



**Figure .III.9:** Profil de la température en fonction de puissance

(  $r, z = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ ,  $P = 5 \text{ W}, 10 \text{ W}, 15 \text{ W}, 20 \text{ W}, 30 \text{ W}$ )

### **-Discussions :**

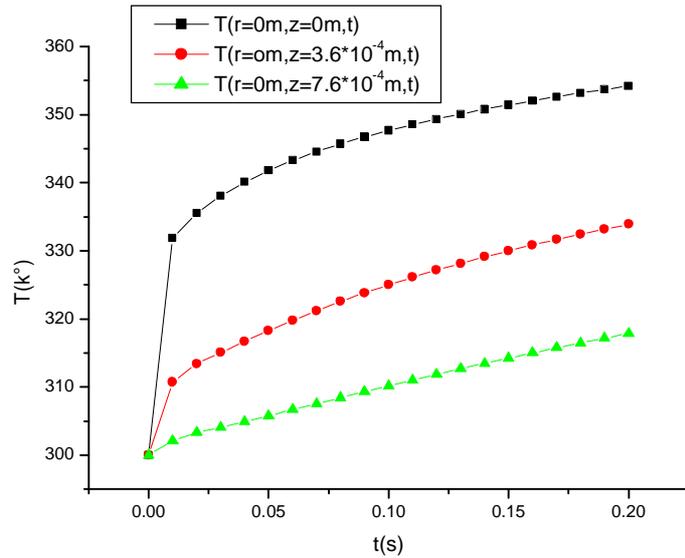
-Les températures diminuent en fonction du temps ( $r, z = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ ,  $t = 9.000001 \cdot 10^{-3} \text{ s}$   
 $t = 4.9 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ ,  $t = 2 \cdot 10^{-1}$ ,  $P = 5 \text{ W}, 10 \text{ W}, 15 \text{ W}, 20 \text{ W}, 30 \text{ W}$ ), et les courbes des températures  
 ( $P = 30 \text{ W}$ ) ils sont constantes à haute de ( $r = 0.004 \text{ m}$ ) mais ( $P = 20 \text{ W}, 15 \text{ W}, 10 \text{ W}, 5 \text{ W}$ )

-Les températures augment en fonction des puissances, remarques:  $T(P) \cong aP + b$ .

### III.3. Profils de température en fonction du dans le cas

( $r=0\text{m}, z=0\text{m}, z=3.6*10^{-4}, z=7.6*10^{-4}\text{m}$ ), dans les condition

$-h = 200 \text{ (W m}^{-2} \text{ K}^{-1})$  ,  $R_{\text{milieu}} = 80 \text{ mm}$ ,  $Z = 40 \text{ mm}$ .



**Figure .III.10:** Profil de la température en fonction les positions

( $r = 0$  , pour les hauteurs  $z = 0 \text{ m}$  ,  $z = 3.6*10^{-4} \text{ m}$  ,  $z = 7.6*10^{-4} \text{ m}$  ,  $t$ )

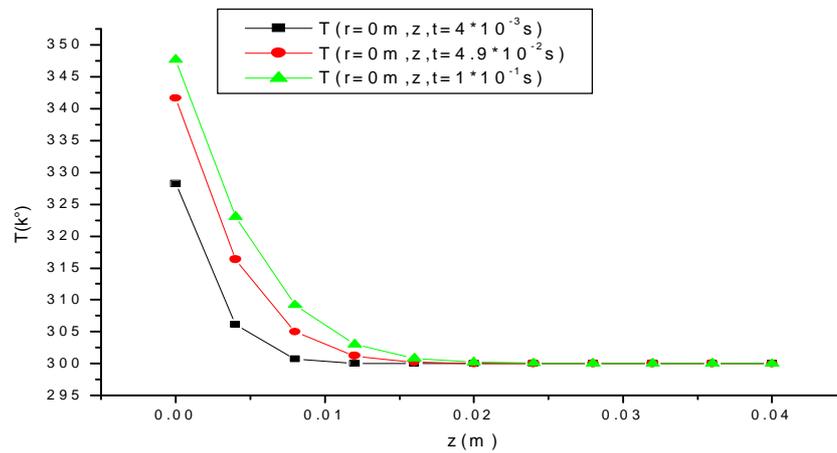
#### -Discussions.:

-Les températures augmentent en fonction du temps, dans le cas:(  $r=0\text{m}, z=0\text{m}, t$ )

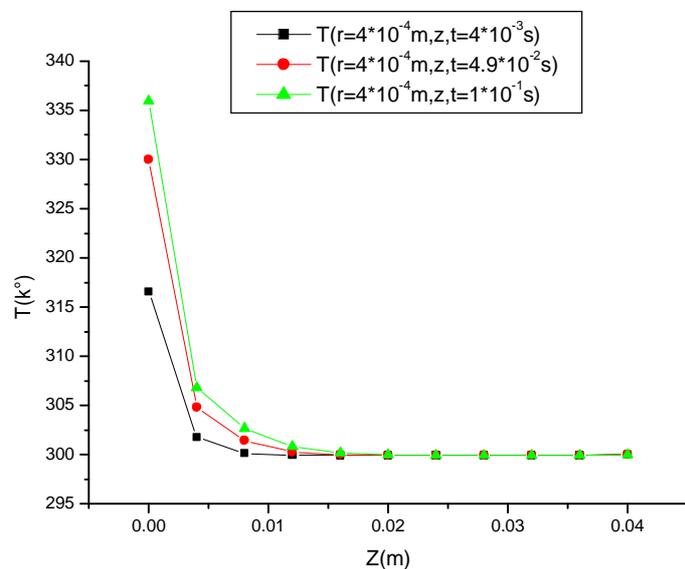
On a dans le centre du spot laser la température augmente rapidement parce que le milieu est très chaud (le terme source augmente dans la surface, faisceau laser, puissance,...etc.).

### III.3.1 Profils de température en fonction du dans le cas à haut du milieu (surface)

-Dns les mêmes conditions initiales retrouves les courbes des températures en fonction du temps:( $r=0\text{m}, 4*10^{-4}\text{m}, 8*10^{-4}\text{m}, z, t=4*10^{-3}, 4.9*10^{-2}, 1*10^{-1}\text{s}$ )



**Figure .III.11:** Profil de la température en fonction du temps pour la position ( $r=0$  ,  $z, t= 0$  s , $t= 4*10^{-3}$ s,  $t= 4.9*10^{-4}$  s,  $t=1*10^{-1}$ s)



**Figure .III.12 :** Profil de la température en fonction du temps pour la position ( $r =4*10^{-4}\text{m}$  , $z, t= 0$  s , $t= 4*10^{-3}$ s,  $t= 4.9*10^{-4}$  s,  $t=1*10^{-1}$ s)

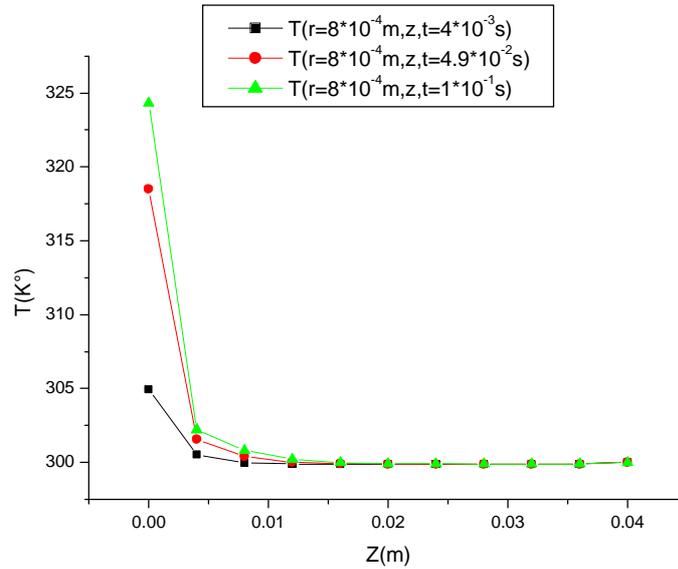


Figure .II.13 : Profil de la température en fonction du temps pour la position

$$(r = 8 \cdot 10^{-4}, z = 0, t = 4 \cdot 10^{-3} \text{ s}, t = 4.9 \cdot 10^{-2} \text{ s}, t = 1 \cdot 10^{-1} \text{ s})$$

**Discussions.:**

-Remarques les températures dimini

Tableau III.2 : la température. (maximal) variation de valeurs des r

T(z, t) K/r(m)	r= 0m	r=0.004m	r=0.008m
T(z, t=4*10 <sup>-3</sup> s)	347.6	323.04	309.2
T(z, t=4.9*10 <sup>-2</sup> s)	341.6	316.3	305.01
T(z, t=1*10 <sup>-1</sup> )	328.2	306.1	300.6

Tableau III.3 : la température.(maximal)variation de valeurs des r

T(z, t) K/r(m)	r=0m	r=0.004m	r=0.008m
T(z, t=4*10 <sup>-3</sup> s)	324.3	302.2	300.8
T(z, t=4.9*10 <sup>-2</sup> s)	318.4	301.5	300.3
T(z, t=1*10 <sup>-1</sup> )	304.9	300.5	299.9

Tableau III.4 : Variation de la température maximale suivant les de valeurs de r

T(z, t) K/r(m)	r= 0m	r=0.004m	r=0.008m
T(z, t=4*10 <sup>-3</sup> s)	335.9	306.8	302.6
T(z, t=4.9*10 <sup>-2</sup> s)	329.9	304.8	301.4
T(z, t=1*10 <sup>-1</sup> )	316.5	301.7	300.1

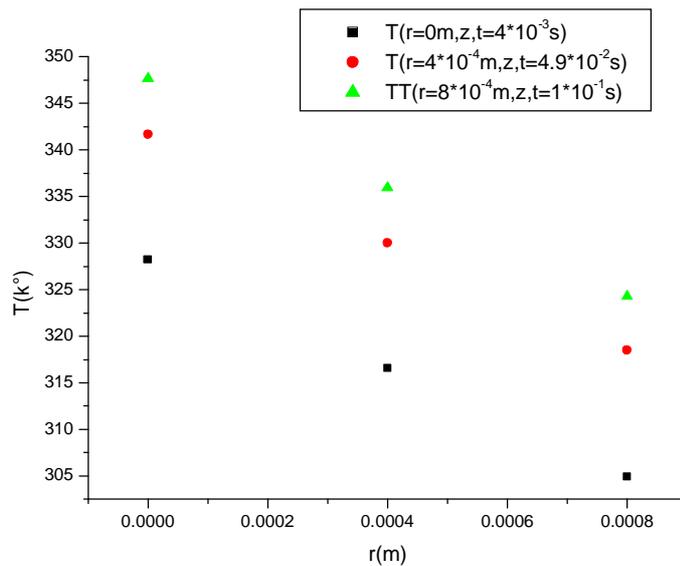


Figure .III.14 : Profil de la température maximale en fonction des valeurs de r

**-Remarque:**

- Les températures maximales diminuent en fonction de la valeur z
- Les températures maximales diminuent en fonction de valeur de r

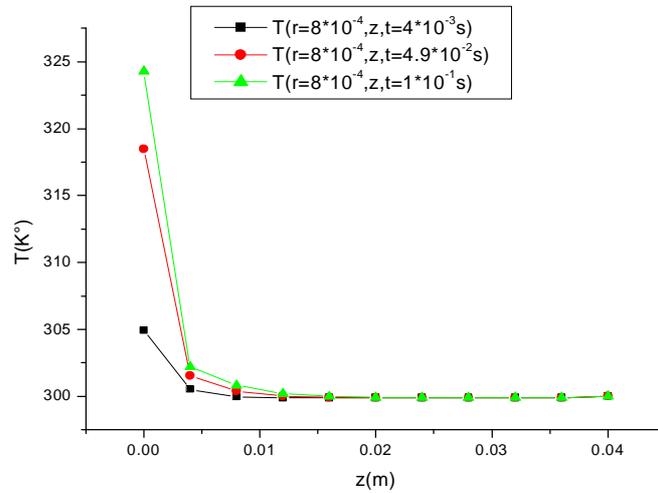


Figure .III.15 : Profil de la température en fonction des valeurs de z

Dans le cas

1-  $h = 0, R_{\text{milieu}} = 80 \text{ mm}, Z = 40 \text{ mm}, P = 30 \text{ W}$  :

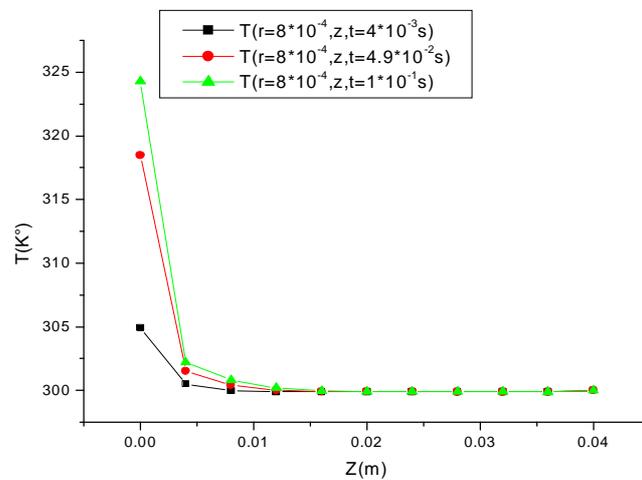


Figure III.16 : Profil de la température en fonction des valeurs de z

2-  $h=25$ ,  $R_{\text{milieu}}=80\text{mm}$ ,  $Z=40\text{mm}$ ,  $P=30\text{W}$ :

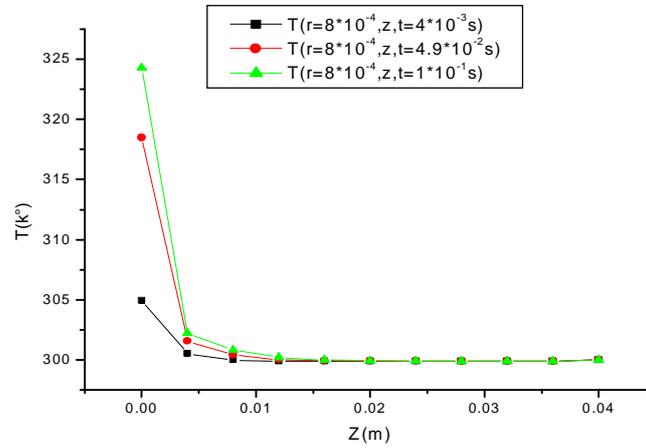
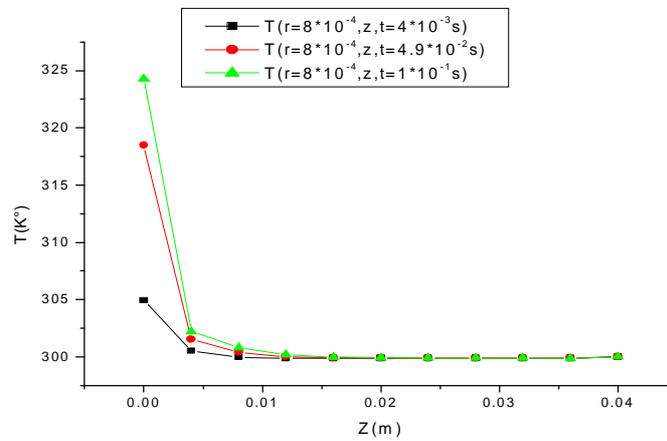
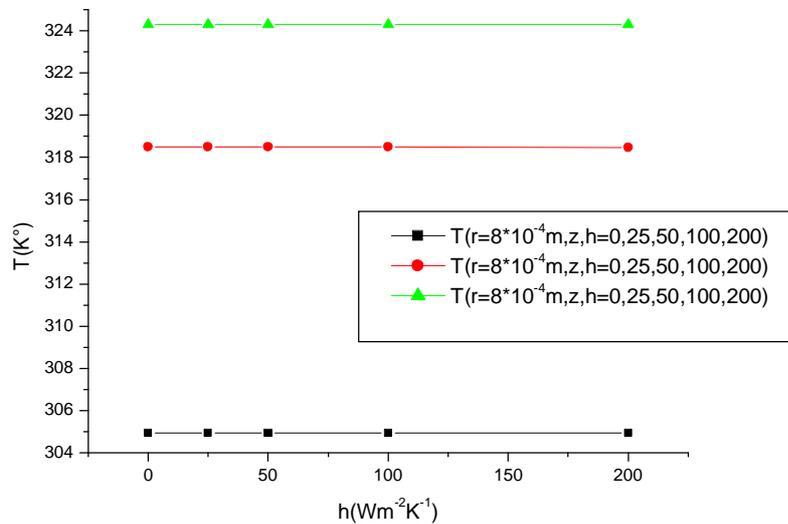


Figure .III.17 : Profil de la température en fonction des valeurs de z

3 -  $h=50$ ,  $R_{\text{milieu}}=80\text{mm}$ ,  $Z=40\text{mm}$ ,  $P=30\text{W}$ :

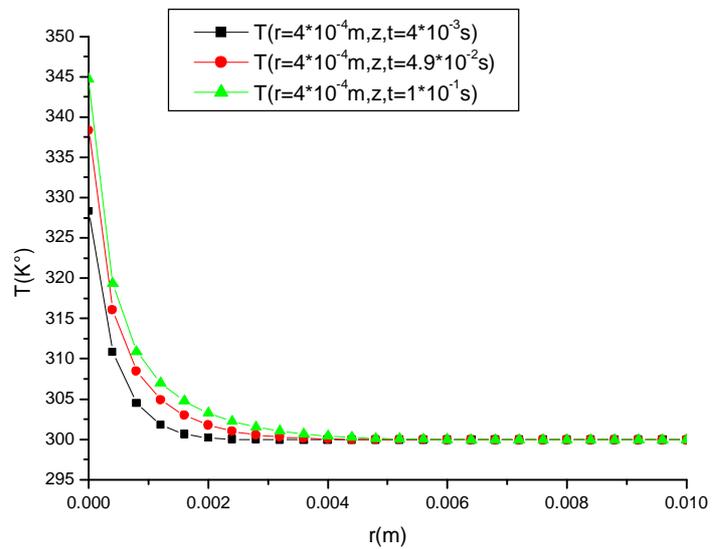


- **Figure III.18** :Profil de la température en fonction des valeurs de z



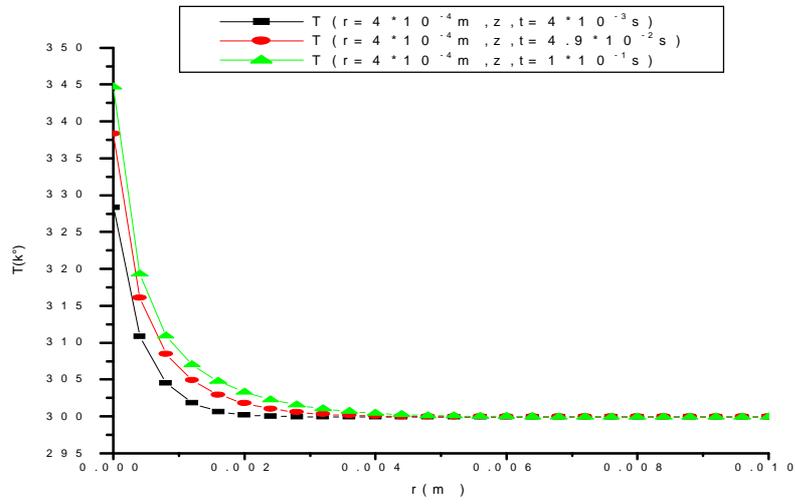
**Figure III.19 :** Profil de la température en fonction des coefficients de  $h$

**Remarque:-** le coefficient d'échange de la chaleur varie plus faiblement  $\sim$  constant  $h=0$ ; pour les mêmes conditions initiales.



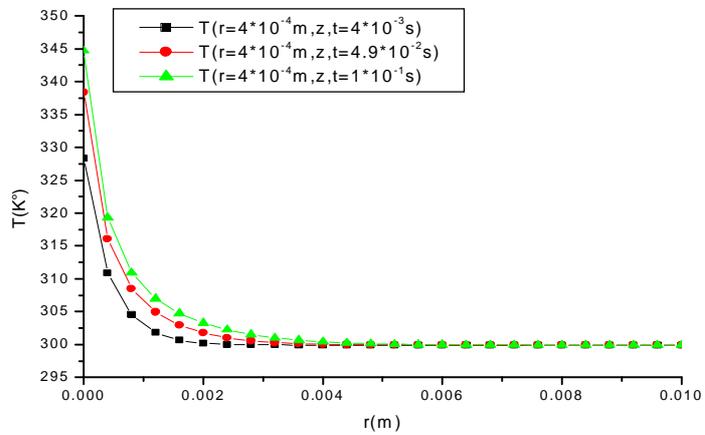
**Figure III.20 :** Profil de la température en fonction de valeur de  $r$

$h = 25 \text{ (Wm}^{-2}\text{/k}^{-1}\text{)}$



**Figure III.21:** Profil de la température en fonction des valeurs de z

$h = 50 \text{ (Wm}^{-2}\text{/k}^{-1}\text{)}$



**Figure III.22:** Profil de la température en fonction des valeurs de r

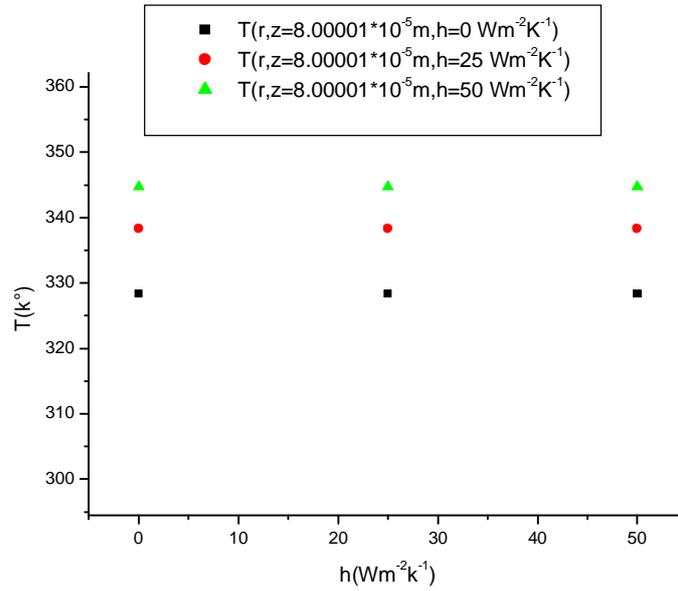


Figure III.23 : Profil de la température en fonction de coefficient h

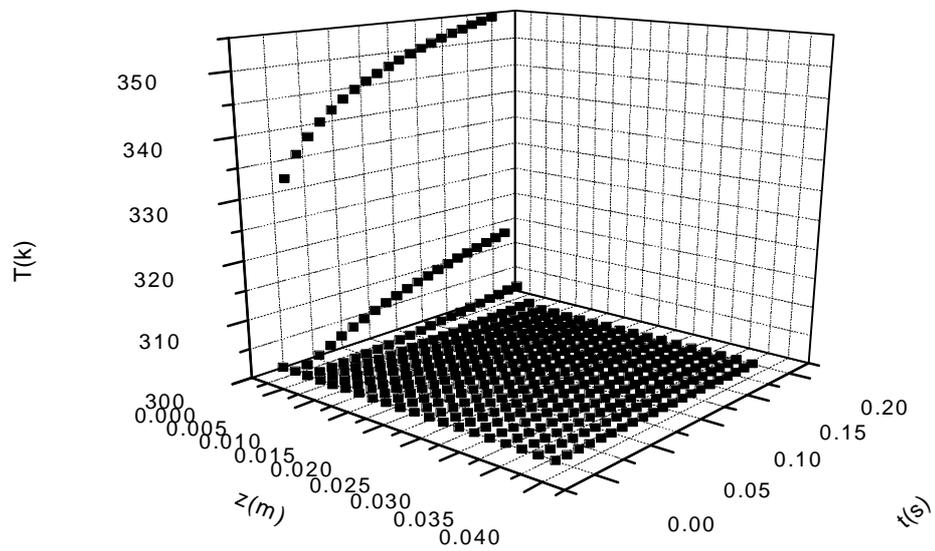
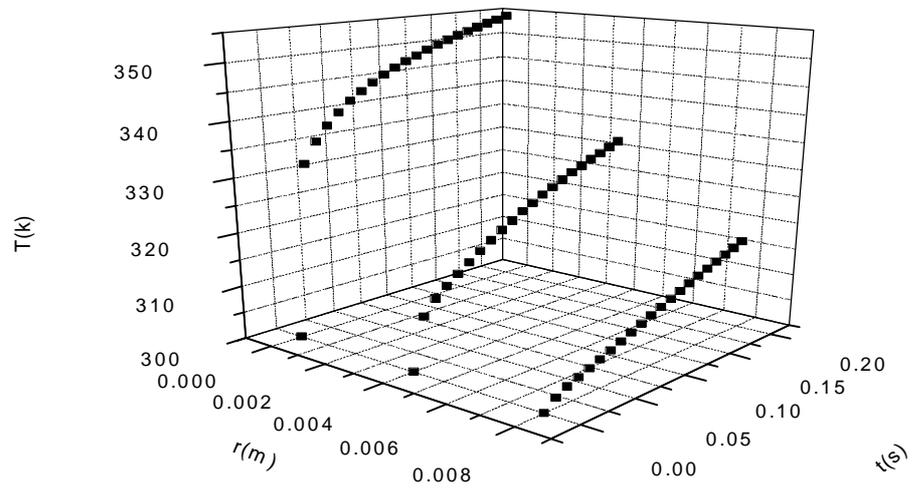


Figure III.24 : Profil de la température en fonction des positions, z, t



**Figure III.25 :** Profil de la température en fonction des positions,  $r$ ,

### ***Conclusion générale et Perspectives:***

Les couches minces sont utilisées dans divers domaines industriels comme dans la fabrication des cellules solaires et des écrans plats. Les techniques d'élaboration des couches minces ont connu lors de ces dernières décennies un développement considérable. Les matériaux, Si, Ti et c, font un immense succès pour la réalisation des couches minces.

Ils possèdent des propriétés électriques et des structures mécaniques très convenables ; ils se réalisent en général soit par procédés physiques en phase vapeur (PVD), soit par procédés chimiques en phase vapeur (CVD).

-Le travail étudie les propriétés thermiques par les procédés LCVD, nous traiterons les problèmes à trois dimensions du milieu gazeux.

Après nous présenterons des principaux résultats du modèle numérique développé par la méthode la différence finie, et l'algorithme itérative de Gauss- Seidel. Nous avons montré que la diffusion de la température dépend de la puissance et des dimensions des milieux

1. Quand la puissance augmente de 5W ,10W, 15W, 20W, 30W à la diffusion de la température augmente

2. Les coefficients (h) de changes de la surface, ils ne varient pas plus grand les courbes des températures à l'état de gaz. ( $r, z= 8 \cdot 10^{-5}$  m) et dans mêmes du temps.

Mais lorsque ( $r = 8 \cdot 10^{-4}$  m,  $z, t$ ) les courbes sont constantes.

3. Les Courbes des variations températures en fonction des puissances prend de :  $T(P) \cong a P+b$

4. Les températures en fonction des valeurs de Z: augment des valeurs maximales

et diminuent à haut  $\sim 0.02$  m, et dans  $r \sim 0.004$ .

### ***Perspectives:***

-Nous étudions des phénomènes physiques dans les gaz et l'effet des températures dans les réactions chimiques de chaque radical.

-Nous étudions de l'influence de la température sur la concentration des radicaux ou des molécules pour calculer le rapport des probabilités dans les couches minces.

# Références.

- [1] O.K. Babahani; "Contribution à l'étude des plasmas lors de déposition sur couches minces par procédés CVD" ; Mémoire de magister, Université de Ouargla (2004).
- [2] Q .J. Chen and S .D .Allen ; "Laser direct writing of aluminum conductor Lines from a liquid precursor " , University New Orleans, Vol **397** (1995).
- [3] A. Barhdadi ; 'A propos de la préparation et la croissance de couches minces de a-Si:H à basse température par la technique Hg-Photo-CVD' ; Afrique Science, Vol. **01**, pp 15–30 (2005).
- [4] G. N. Koutlasa and N. S. Vlachosb; " Numerical modeling of pyrolytic laser-induced chemical vapor deposition" , Vol **93** , pp 3049 – 3056 (2003).
- [5] S. Guitouni; "Corrélation entre les propriétés thermophysiques des gouttelettes et les propriétés des couches minces déposées par le procédé spray" ; Mémoire magister, Université de Constantine (2010).
- [6] S. Forget. 'Les lasers et leurs application' .laboratoire de physique des lasers " ;Université Paris-Nord., Thèse doctorat.
- [7] F .Ynineb ; "Contribution à l'élaboration de couches minces d'oxydes transparents conducteurs (TCO) " ; Mémoire de magister, Université de Constantine (2010).
- [8] N .Ferrier. "Le laser et son application en interférométrie " ; Mémoire de thèse doctorat, Université de Paris (2005)
- 9] O. Babahani et F. Khelfaoui; "Le laser dans les dépositions couches minces par les procédés LCVD " Université de Ouargla, p 02, (2009).
- [10] H. Abed, D. Tonneau, S. Nitsche, D. Chaudanson, H. Dallaporta, V. Safarov, H. Jamgotchian ; "Growth of silicon nanowires by laser assisted CVD of silane" , Vol:**94** , pp6005-6012 (2005).
- [11]. Bernd Stannowski and Ruud E.I. Schropp ; "Performance of VHF-PECVD and hotwire CVD amorphous silicon thin film transistors a comparative study" ; Box 80.000, NL-3508 TA Utrecht

- [12] S. D. Allen, R. Y. Jan, R. H. Edwards, S. H. Mazuk and S. D. Vernon; "Optical and thermal effects in chemical vapor deposition"; Vol 17, USA, P1112.
- [13] S-Young Chung, Ch Park, K-Youl Min and UngKim; "Epitaxial growth single crystal silicon by CO<sub>2</sub> Laser CVD using SiH<sub>4</sub> Gas"; Vol 22, No 2, pp120- 749; (1989).
- [14] J. Lackey, D. Rosen, C. DutyJean, S. Bondi, T. Elkhatab, R. Johnson. Jiang, JIAN. Mi, M. Jiang, J. Gillespie and R. Harvey; "Laser CVD System Design, Operation, and Modeling" .p (2003).
- [15] E. Garrido.; "Fonctionnalisation de nanotubes de carbone pour leur incorporation dans matrices métalliques"; Docteur Université de Bordeaux, (2010).
- [16] P. Laurens., C. Dubouchet. et K. Didier; " Application des lasers aux traitements de surface"; Docteur de l'Université Paris, Page02.
- [17] S.N. Bondi, W. J. Lackey, R. W. Johnson, X. Wang and Z.L Wang; "Laser assisted chemical vapor deposition synthesis of carbon nanotubes and their characterization"; Carbon 44:1393-1403 (2006).
- [18] H. Walter. Graf e et M.S. Alitiakar; "Hydrodynamique"; Eyrolles Paris (1991)
- [19] O. Babahani et F. Khelifaoui; "Calcul des concentrations de molécules et de radicaux lors de déposition de couches minces a-Si:H par procédés PECVD"; Annales des Sciences et Technologie Vol. 4, N° 2, Novembre 2012.
- [20] Y. Zhang. et A. Faghri; "Thermal modeling of selective area laser deposition of titanium nitride on a finite slab with stationary and moving laser beams"; Journal of Heat and Mass Transfer 43: 3835-3846 (2000).
- [21] L. Layeillon, P. Duverneuil, J.P. Couderc et B. Despax; "Analysis and modelling of plasma enhanced CVD reactors, Part I: two dimensional treatment of a-Si:H deposition"; Plasma Sources Sci. Technol., Vol. 3, pp 61-71, (1994).
- [22] H.O. Kebaili, O. Babahani et F. Khelifaoui; "Calcul par simulation numérique de la dynamique moléculaire du taux de dépôt lors de croissance de couches minces a-Si:H par procédé PECVD"; SIPP'2013, 11 - 14 March/Mars 2013.
- [23] W.M.M. Kessels, Y. Barrell, P.J. van den Oever, J.P.M. Hoefnagels, and M.C.M. van de Sanden; "The a-Si:H growth mechanism: Temperature study of the SiH<sub>3</sub> surface reactivity and the surface silicon hydride composition during film growth"; Vol. 762. (2003).
- [24] O. Babahani et al; "Analytical calculation of site and surface reaction probabilities of SiH<sub>x</sub> in PECVD process"; Eur. Phys. J. Appl. Phys. Vol 62, p10301 (2013).

[25] J. Lakatos, J. Cuntala, A. Kondelova; "Simulation of heat transfer and electromagnetic fields of protected microcomputers"; Advances in electrical and electronic engineering, pp 281-282.

[26] M. Sibonyet et J – Claude Mardon ; "Approximations et équations différentielles", HERMANN(1982).

## ملخص:

من أجل دراسة الخصائص الحرارية بواسطة التوضع الكيميائي المدعم بالليزر , بالتوضع المركب مطبق على LASER CVD لطبقة رقيقة من التيتانيوم او السيلسيوم الكربون.....الخ

توضع الطبقة الرقيقة عند المواد تعالج بطريقة التوضع, نقترح نموذج من أجل حساب أشكال انتشار الحرارة في LASER CVD الوسيط في حالة سطح تتوزع درجة الحرارة بتوصيل وتنتقل فوق السطح بالحمل عند الغاز.

نعالج هذه الدراسة بمعادلة انتشار الحرارة المطبقة بطريقة التفاضل المتناهي باستعمال خوارزمية غوص-صيدل. درجات الحرارة ملخصة في النتائج التجريبية.

## الكلمات الدالة :

التوضع, طبقة رقيقة, توضع LCVD, CVD, طرق التفاضل المتناهي , التفاعلات الكيميائية الحرارية.

## Résumé :

Afin d'étudier la propriété thermique dans les procédés LCVD L'exemple d'application correspond à la déposition de composés de titane, de silicium, de carbone, ou autre. La déposition d'une couche mince par les matériaux à procédé par des LCVD, nous nous proposons un modèle pour le calcul des profils des diffusions des températures des milieux (à la surface de substrat) augment à l'état de gaz par la conduction en surface et par convection dans les gaz. Nous avons résolu l'équation du chaleur par le méthode différence finis et utilise l'algorithme de Gus-Seidel .Les températures sont proches résultats expérimentaux

**Mots de clefs :** Déposition, couche mince, procédé CVD, LCVD, équation de la chaleur, méthodes des différences finies, réaction chimiques, thermiques.

## Summary :

To study the thermal property in processes LCVD the sample application is the deposition of titanium compounds, silicon, carbon, or other. The deposition of a thin layer materials in process by LCVD, we proposed a model for the calculation of the profiles broadcasts temperatures environments (to the substrate surface) to augment the state of the gas conduction convection surface and in the gas. We solved the equation of heat by the finite difference method and use the Gus-Seidel algorithm. Temperatures are close experimental results

**Key words :** Deposition, thin film CVD, LCVD, heat equation, finite difference methods, chemical reaction, heat.