

## CARACTERISATION DES PROPRIETES OPTIQUES DE COUCHES MINCES OBTENUES PAR EVAPORATIO SOUS VIDE ET PAR SPUTTERING SUR DU VERRE

Nafissa KHENNAFI-BENGHALEM<sup>1,2</sup>, Mohamed HAMIDOUCHE<sup>1,2</sup> (Doc), Nasma  
DEROUICHE<sup>1,2</sup>,

*Unité de Recherche des Matériaux Emergents, Université Ferhat Abbas Sétif1 Algérie  
Institut d'Optique et de Mécanique de Précision, Université Ferhat Abbas Sétif1 Algérie*

*n\_khanafi@yahoo.fr*

### Résumé

Aujourd'hui l'application des couches minces s'étend sur plusieurs disciplines: optique, mécanique, chimie, biomédicale, microélectronique...etc. Ces couches sont appliquées afin de conférer aux surfaces des pièces des propriétés particulières. Le dépôt physique en phase vapeur est largement utilisé et peut être obtenu par un ensemble de techniques qui conduisent à la formation d'un revêtement, on note par exemple les techniques par pulvérisation ionique (sputtering), par évaporation ou par spray. Ce présent travail sert à étudier les propriétés optiques de couches minces en aluminium déposées par évaporation sous vide et par sputtering sur des substrats en verre. En effet, les couches minces obtenues par les deux méthodes ont une influence sur les propriétés optiques du substrat. Les paramètres influencés sont l'indice de réfraction, le coefficient de transmission, de réflexion et d'absorption de l'éprouvette, les couches déposées sont caractérisées par un faible coefficient de transmission, par un indice de réfraction et un coefficient d'absorption élevés.

**Mots clés** : Couches minces, Evaporation sous vide, Indice de réfraction, Spray, Transmission, Verre.

### Abstract

Today the application of thin layers extends on several disciplines: optics, mechanics, chemistry, biomedical, microelectronic... etc. They are applied in order to confer to the surfaces pieces particular properties. The physical deposit in vapor phase is largely used and can be obtained by a set of techniques which lead to the formation of a coating, it is noted for example: pulverisation, evaporation or spray techniques. This present work is used to study the optical properties of aluminum thin layers deposited by vacuum evaporation and spray technique on glass substrates. Indeed, the thin layers obtained by the two methods affect the optical properties of the substrate. The influenced parameters are the refraction index; the transmission, reflection and absorption coefficient of the piece, the layers deposited are characterized by a low transmission coefficient, a high index of refraction and a high absorption coefficient.

**Key words**: thin films, evaporation, refractive index, spray, transmission, glass

## 1- INTRODUCTION

Les couches minces à propriétés optiques se trouvent aujourd'hui utilisées dans de très nombreux dispositifs optiques afin de manipuler la lumière en jouant sur les propriétés de réfraction et de réflexion des matériaux [1]-[6]. Les propriétés d'une surface d'un substrat ou d'un film mince peuvent être caractérisées par des méthodes optiques [7]. Les facteurs qui influent le plus sur les caractéristiques optiques des couches peuvent d'une manière générale être les paramètres de l'appareil, les facteurs d'environnement après dépôt et enfin les caractéristiques du substrat [8]. Quelle que soit la technique de dépôt utilisée, l'état de surface du substrat avant le dépôt joue un rôle fondamental sur l'adhérence de ce dernier [9]. Les différents défauts «des rayures, des porosités... », définissent la qualité de la surface d'un substrat car c'est là que se produisent les interactions couche déposée/substrat, la rugosité et la planéité de la surface sont des caractéristiques cruciales, si le substrat n'est pas parfaitement plan ces contacts ne se feront pas sur toute la surface mais seulement en certains points, ce qui entrainera une non uniformité de température à la surface du substrat devant recevoir le dépôt [10]. L'aluminium (Al) est le métal le plus léger après le magnésium, sa densité à 20°C étant de 2,70 g/cm<sup>3</sup>. Le point de fusion de l'aluminium est de 658°C et le point d'ébullition est de 1800°C environ, il a la propriété de grande facilité de fusion et de coulée [11]. L'utilisation des sources d'évaporation à effet joule (filaments, nacelles, creusets,...etc.) pour son évaporation et son dépôt sur le substrat, il s'évapore à 1000°C, et il se pulvérise lentement. Le matériau aluminium peut être déposé en couches minces, parmi ses applications comme matériau optique : couches conductrices pour circuits intégrés et couches très réfléchissantes pour miroirs et réflecteurs sur les verres et filtres à interférence [12]-[13]. Bien que le verre transparent n'est pas traversé intégralement par l'énergie lumineuse. La lumière incidente est décomposée en une réflexion et une diffusion sur les faces, une autre partie est

absorbée et se transforme en chaleur, la lumière restante est transmise [14].

## 2- PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

### 2.1 Matériau et éprouvettes

Nous avons déposé de l'aluminium pur sur des lames en verre de même dimension de l'ordre de 76 x 26 x 1 mm. Le dépôt d'évaporation sous vide a été réalisé au niveau du laboratoire du département de physique de l'université Ferhat Sétif 1, quand à la méthode sputtering, elle a été réalisée au niveau du laboratoire de physique de l'université d'Ankara en Turquie. Les éprouvettes étudiées sont énumérées comme suit:

- Eprouvette 1 : verre nu (sans dépôt).
- Eprouvette 2 : couche mince en aluminium déposée sur du verre par évaporation sous vide.
- Eprouvette 3 : couche mince en aluminium déposée sur du verre par la méthode sputtering.
- Eprouvette 4 : verre nu et rugueux.

### 2.2 Conditions d'obtention des dépôts

#### 2.2.1 Dépôt de couches par évaporation sous vide

L'obtention de couches minces déposées sur des lames en verre par évaporation sous vide a suscité de suivre les directives suivantes:

- ✓ Le nettoyage des substrats, nous avons éliminé toute trace de poussière et de graisse. Les substrats ont été rincés à l'eau distillée et après ils ont été séchés.
- ✓ La fixation des échantillons, a été faite à l'aide des vis au porte substrat, l'échantillon a été introduit dans l'enceinte et accroché à une tige de métal, le matériau à évaporer a été placé dans un creuset en tungstène, ensuite la mise sous vide par pompage après la fermeture de l'enceinte.
- ✓ Chauffage du creuset par effet joule qui provoque le chauffage du métal et son évaporation, le dépôt s'effectue sous une

pression d'évaporation constante de l'ordre de  $1.5 \cdot 10^{-5}$  mbar.

✓ Récupération des substrats recouverts par des couches minces en aluminium après il faut isoler l'enceinte du système de pompage pour la faire refroidir.

### 2.2.2 Dépôt de couches par sputtering

Ce type d'éprouvette a été réalisé à l'aide d'un système de dépôt appelé « Gazi. Sputtering System ». Les échantillons sont lavés dans l'éthanol puis séchés. Le vide où le dépôt est réalisé est de l'ordre de  $3.7 \cdot 10^{-6}$  mbar, la vitesse de dépôt est de  $11.2 \text{ \AA/s}$  et l'épaisseur de dépôt est de  $5700 \text{ \AA}$

## 2.3 Appareillages de mesure et d'analyse utilisés

### 2.3.1 Micro densitomètre (MD100) :

C'est un dispositif destiné à la mesure de la transmission optique à travers l'échantillon revêtu est cela pour une longueur d'onde bien déterminée voir fig.1, cet appareil est constitué de :

- Une table porte-échantillon.
- Une platine de verre pour étalonnage.
- Deux objectifs.
- Echelle de galvanomètre
- Cellule photoélectrique.



Fig.1. Un micro-densitomètre

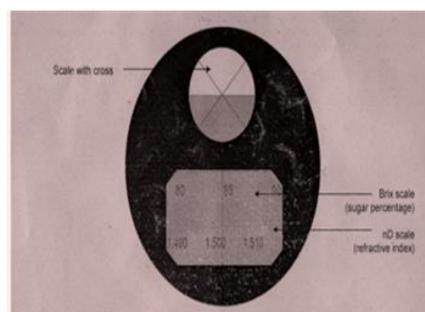
Pour la mesure de la transmission, il faut étalonner l'appareil en réglant la fente de telle manière qu'elle ne laisse passer que 92% de lumière transmise par un échantillon de verre ordinaire. Comme il faut justifier le zéro lorsqu'il n'y a pas de lumière ainsi que le 100% lorsque toute la lumière passe sans échantillon.

### 2.3.2 Réfractomètre d'Abbé

Le réfractomètre d'abbé est un appareil optique permet de mesurer l'indice de réfraction des lames en verre, la fig.2 illustre l'appareil et son système de lecture. Pour réaliser le mesurage des échantillons, il faut calibrer l'échelle de lecture par un verre d'indice  $n=1.51624$  en utilisant le Brono Naphtalin.



a)



b)

Fig.2. : a) Le réfractomètre d'Abbé, b) système de lecture du réfractomètre d'Abbé

### 2.3.3 Microscope

Vu le manque du dispositif qui nous permet de mesurer l'épaisseur de la couche mince directement. On s'est servi du microscope illustré par la figure 3 qui nous a permis d'observer d'une manière très claire l'état de

surface de l'échantillon et de mesurer l'épaisseur de la couche déposée. Ce microscope sert à relever le volume d'un échantillon en fonction de différents points choisis qui sont désignés par la distance. En projetant un faisceau lumineux qui traverse l'objectif jusqu'à l'échantillon, cet échantillon est placé perpendiculairement sur le porte échantillon. L'objectif se déplace suivant l'axe (x) et l'axe (y), l'image apparaisse sur l'écran. Les images obtenues de chaque échantillon sont illustrées sur les figures 4.a-b-c



Fig.3. : Microscope utilisé pour la mesure de l'épaisseur de la couche mince

Les micrographies relevées par le microscope illustrent la présence de pores au niveau superficiel des échantillons. On observe sur l'échantillon de verre sans dépôt illustré par la figure 4.a la présence d'un ensemble de petites et grosses tâches ainsi que de certains pores ou de trous groupés dans la zone centrale.

Dans la figure 4.b, nous pouvons voir sur la partie inférieure de l'éprouvette que la couche mince d'aluminium est non uniforme avec l'apparition de quelques orifices de taille moyenne et bien dispersés.

Dans la figure 4.c, nous remarquons que la couche d'aluminium est uniforme par rapport à la précédente éprouvette et que la présence de pores est moindre. Cette présence de pores est observée uniquement sur la périphérie de l'échantillon.

Le verre nu possédant une surface rugueuse présentant l'échantillon 4, n'a pas

pu être projetée sur l'écran, cela est dû à son état de surface rugueux, cette rugosité favorise la dispersion de la lumière.

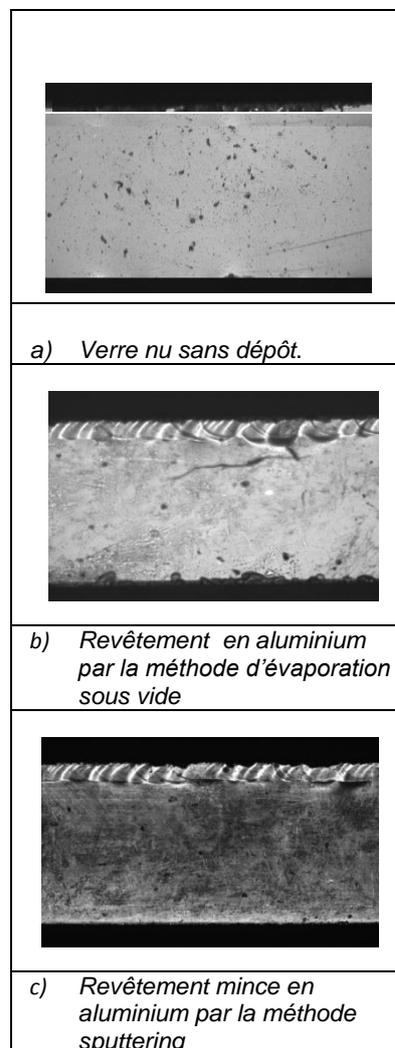


Fig.4. Micrographies optiques du verre nu et revêtu (Éprouvette 1, 2 et 3)

### 2.3.4 Montage de réflexion

La figure 5 montre le montage réalisé afin d'obtenir l'intensité de la lumière réfléchie par l'échantillon qui est fixé sur un porte objet, en projetant au-dessus un faisceau laser d'une longueur d'onde  $\lambda=632.8$  nm. La lumière traverse le détecteur pour afficher la valeur de l'intensité réfléchie  $I_r$  sur l'ampèremètre en fonction de différents angles  $\theta$ .



Fig.5. Montage de mesure de la réflexion.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1 Évolution de la transmission

Nous avons choisi de faire les mesures sur trois différentes zones de l'échantillon, dont le but de vérifier l'uniformité de la couche déposée au centre comme sur les bords tel qu'il est montré sur la figure 6 :

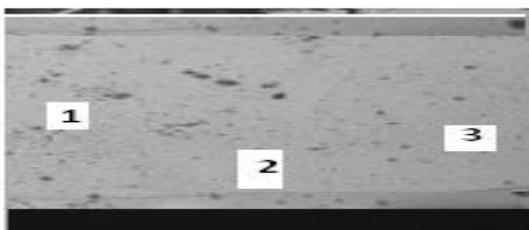


Fig. 6 : Les zones d'exploration des mesures des éprouvettes en verre.

Les tableaux 1 et 2 résument la transmission mesurée en % sur chaque échantillon, sur chaque zone nous avons effectué cinq mesures. Le tableau 1 présente les résultats obtenus sur le premier échantillon « verre nu ».

Tableau 1 : Les transmissions mesurées sur les trois zones de l'échantillon 1

T %	1	2	3	4	5	$\bar{T}$
Zone 1	93	92.2	93.4	93.4	93.3	93.06
Zone 2	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5
Zone 3	93	93	93	93	93	93

Les valeurs de la transmission relevées dans le tableau 1 de la lame de verre (substrat sans dépôt), sont assez similaires variant entre deux limites très serrées (92.2-93.5) avec une moyenne de 93%. Les petites différences entre les valeurs de transmission sur les trois différentes zones de l'échantillon 1, peuvent

être expliquées par la sensibilité de l'ajustage et le réglage de l'appareil de mesure lui-même effectués par l'opérateur.

Tableau 2 : Les transmissions mesurées sur les trois parties de l'échantillon 2.

T %	1	2	3	4	5	$\bar{T}$
Zone 1	23.5	22.8	21.3	21.7	22.7	22.4
Zone 2	24.9	26.4	28	31	31.2	28.3
Zone 3	31	28	27.5	27.6	28.3	28.4

a) Le tableau 2 présente les résultats de mesure sur la lame de verre couverte par une couche mince d'aluminium déposée par évaporation sous vide (échantillon 2). On remarque que la transmission moyenne est tombée de 93.2 à une valeur moyenne de 26.4% avec un grand écart de 66.8% ou un facteur de réduction de la transmission de 3.5X. Par contre, on remarque une transmission de la zone 1 plus faible (22.4%) par rapport aux zones 2 et 3 qui donnent à peu près toutes les deux des valeurs du même ordre

b) La mesure de la transmission de la lame de verre portant une couche mince en Aluminium réalisée par la méthode sputtering (échantillon 3) a donné une valeur nulle égale à 0% sur toutes les parties explorées de l'échantillon. La couche est opaque et elle ne laisse pas passer de la lumière.

Le tableau 3 présente les résultats de mesure sur la lame de verre sans dépôt dont la surface est rugueuse (échantillon 4). La transmission moyenne est de 40%.

Tableau 3 : Les résultats de mesure de la transmission de l'échantillon 4

T %	1	2	3	4	5	$\bar{T}$
Zone1	35	37	41.5	43	44	40.1
Zone 2	/	/	/	/	/	
Zone 3	/	/	/	/	/	

➤ La transmission de la lame en verre (substrat sans dépôt) est constante dans les trois zones avec un taux de transmission moyen de 93%.

➤ La variation de la transmission d'un substrat revêtu d'une couche mince d'aluminium réalisée par évaporation sous vide sur les trois zones explorées est remarquable d'où on observe un changement de transmission sur la zone 1 de 22.4 % avec une réduction de 70% quand aux deux autres parties on remarque qu'elles fournissent des valeurs de transmission identiques de 28.3% ce qui prouve que la couche déposée n'est pas uniforme sur toute la surface de l'échantillon. La différence de transmission sur le même échantillon s'explique par la qualité de la couche déposée, qui s'est abimée à cause des contacts et des contaminations par l'environnement, il ne faut pas aussi oublier les effets dus aux manipulations faites par l'opérateur, on peut déduire que la couche d'aluminium rend le substrat en un réducteur de transmission de la lumière. La couche déposée a pu réduire la transmission à plus d'un quart de la transmission de la lame nue, elle est passée de 93 % à 22.4%.

➤ La mesure de la transmission de l'échantillon 3 « lame de verre portant une couche mince en Aluminium réalisée par méthode sputtering » a donné une valeur égale à 0% sur toutes les zones explorées de l'échantillon, cela signifie que l'échantillon ne transmet pas de la lumière, là on constate que :

la couche déposée par la méthode sputtering peut transformer l'échantillon en un autre qui décrit le phénomène d'un miroir.

➤ La transmission de la lame de verre dont la surface est assez rugueuse et sans dépôt est présente uniquement sur la partie 1 avec un taux moyen de 40%, cette tombée de la valeur de transmission à une valeur au-dessous de la moitié de celle de la transmission d'un verre ordinaire sur l'échantillon revient à la nature de la surface qui fait diffuser une partie de lumière par réflexion.

### 3.2 Mesure de l'indice de réfraction

Nous avons effectué trois mesures de l'indice de réfraction (n) sur chaque échantillon, les

résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4. D'après les valeurs relevées on remarque que :

**Tableau 4** : Les résultats de mesure de l'indice de réfraction des quatre échantillons.

Indice n	E1	E 2	E3	E 4
n <sub>1</sub>	1.511	1.513	/	1.695
n <sub>2</sub>	1.511	1.513	/	1.695
n <sub>3</sub>	1.511	1.513	/	1.695

- L'ordre de la valeur de l'indice de réfraction de nos 4 échantillons de verre étudiés est casé entre les valeurs : 1.511-1.695 comme valeurs extrêmes.

- L'indice de réfraction de l'échantillon qui porte la couche d'aluminium est supérieur à celui du substrat nu qui est égale à 1,511, cela permet la transmission de la lumière du milieu extérieur jusqu'au substrat à travers la couche mince.

- L'indice de réfraction de la couche d'aluminium faite par la méthode sputtering n'a pas pu être déterminé en utilisant le réfractomètre d'abbé, à cause de sa réflexion totale de la lumière (l'échelle de lecture est sombre).

- L'indice de réfraction du verre de la surface rugueuse est supérieur à celui de l'échantillon dont la surface est lisse 1.695 >1.511, cela peut être expliqué par sa transmission de lumière qui est faible par rapport à la transmission du verre dont l'état de surface est meilleur.

### 3.3 Mesure de l'épaisseur

Les mesures des épaisseurs des couches déposées de nos échantillons à l'aide du microscope sont données dans le tableau 5.

**Tableau 5** : Résultats de mesure de l'épaisseur des quatre échantillons.

Epaisseur [mm]	E1	E 2	E3	E 4
e1	0,9962	0,0189	0,0062	/
e2	0,9958	0,0159	0,0095	/
e3	0,9964	0,0224	0,0084	/

### 3.4. Mesure de la réflexion

Après la réalisation du montage de la réflexion figure 7, on mesure la réflexion de chaque

échantillon pour différents angles, les résultats sont résumés dans le tableau 6 qui présente l'intensité réfléchie en fonction de  $\theta$ .

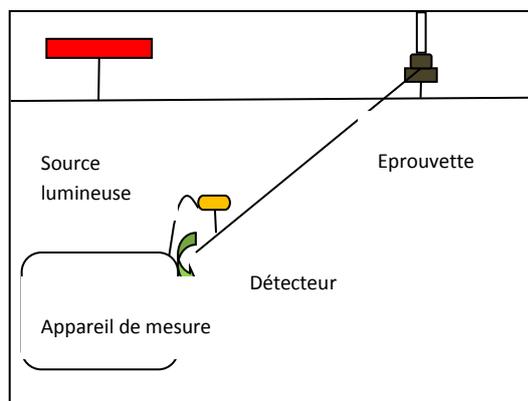


Fig.7: Schéma du montage de réflexion.

Pour obtenir la réflexion R, on mesure ainsi l'intensité du faisceau  $I_0=4.7mA$ , afin d'appliquer la relation :

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2)$$

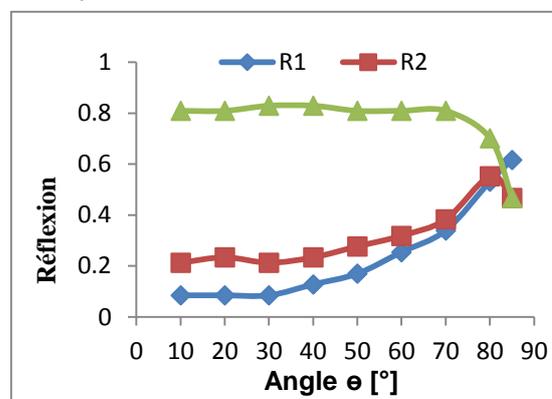


Fig.8 : Evolution de la réflexion des trois échantillons.

Tableau 6: Résultats de mesure de l'intensité réfléchie en fonction de différents angles pour les quatre échantillons.

$\theta(^{\circ})$	10	20	30	40	50	60	70	80	85
$I_r^1$ (mA)	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	2,5	2,9
$I_r^2$ (mA)	1	1,1	1	1,1	1,3	1,5	1,8	2,6	2,3
$I_r^3$ (mA)	3,8	3,8	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,3	2,2
$I_r^4$ (mA)	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau 7: La réflexion R en fonction de l'angle  $\theta$ .

$\theta(^{\circ})$	10	20	30	40	50	60	70	80	85
$R_1$	0,085	0,085	0,085	0,128	0,170	0,255	0,340	0,532	0,617
$R_2$	0,213	0,234	0,213	0,234	0,277	0,319	0,383	0,553	0,489
$R_3$	0,809	0,809	0,829	0,829	0,809	0,809	0,809	0,702	0,468
$R_4$	/	/	/	/	/	/	/	/	/

➤ La figure 8 montre l'évolution de la réflexion des échantillons en fonction de différents angles, on remarque que la réflexion  $R_1$  du verre nu est exprimée par une allure croissante qui commence par une réflexion R aux alentours de 10% de lumière réfléchie et augmente avec la croissance de l'angle  $\theta$ , elle atteint son maximum de réflexion lorsque l'angle  $\theta=85^{\circ}$ .

➤ La réflexion  $R_2$  de la couche mince en aluminium réalisée par évaporation sous vide donne presque une allure supérieure à celle de l'allure du verre nu, dont la réflexion maximale est vers 61%. La partie où l'angle  $\theta$  varie entre  $80^{\circ}$  et  $85^{\circ}$  on remarque la réflexion de l'échantillon 2 décroît cela revient aux erreurs qu'on les a mentionné lors de l'interprétation de des valeurs de la transmission.

➤ La réflexion  $R_3$  de la couche mince de l'aluminium réalisée par méthode sputtering évolue vers une valeur maximale de 80 % de lumière réfléchie, on constate que cet échantillon joue le rôle d'un miroir.

➤ L'échantillon 4 a dispersé la lumière, cela revient à la rugosité de la surface.

### 3.5. L'absorption des échantillons

La mesure de l'absorption se déduit à partir de la relation suivante

$$R+T+A= 1 \quad (3)$$

Où R : la réflexion, T : la transmission et A : l'absorption

Si on compare entre les courbes de transmission et de réflexion de chaque échantillon, on peut établir ce qui suit :

➤ Pour le cas de l'échantillon 1, on a trouvé que sa transmission est vers les 93% et sa réflexion vers 10%, donc l'absorption  $A=0$  c'est à dire qu'il n'y a pas d'absorption au niveau du verre, on constate que ce type de verre est caractérisé comme un corps non absorbant.

➤ Pour l'échantillon 2, la transmission est entre 20% et 30% et la réflexion est proche de 20%, donc son absorption tend vers 50%, on constate que la couche d'aluminium a absorbé une partie de la lumière, ce qui peut traduire que le dépôt de film mince en aluminium a transformé le substrat en verre en un absorbant.

➤ L'échantillon 3, d'après sa transmission qui est nulle et sa réflexion qui tend vers les 80%, le dépôt de l'aluminium par méthode sputtering a pu influencer les caractéristiques optiques de la lame de verre en augmentant son coefficient de réflexion.

Si on compare entre les caractéristiques optiques des deux échantillons revêtus, on trouve que la méthode d'évaporation sous vide et la méthode d'évaporation par sputtering influencent les paramètres optiques du substrat, en leur affectant un coefficient d'absorption différent de zéro.

➤ Pour le cas du verre dont sa surface est rugueuse il a une transmission  $T=40\%$  et R tend vers le zéro, d'où on obtient  $A=60\%$ , cela est expliqué par la nature de la surface qui influe aussi sur les paramètres optiques de la lame de verre on peut en déduire que l'état de surface influe sur le facteur d'absorption, plus la surface est rugueuse plus l'absorption est importante.

#### 4. CONCLUSION

L'objectif principal de ce présent travail était de conférer des propriétés particulières aux surfaces en verre tout en bénéficiant des propriétés massives du substrat, tel que la tenue mécanique par exemple, dans le domaine optique pour la réalisation des

couches réflectrices, antireflets, aussi dans l'électronique que dans l'optique ou la décoration...etc.

Le dépôt des couches minces par évaporation sous vide et par sputtering qui sont révélées au départ de ce travail ont eu pour but d'améliorer l'état de surfaces des lames utilisées et de varier leurs caractéristiques optiques. La qualité de dépôt dépend d'un ensemble de paramètres. Parmi les conditions de la réussite de dépôt des couches minces c'est la propreté du vide d'évaporation, des instruments de mesure, de l'environnement et l'état de surface du substrat.

D'après les résultats obtenus à partir des mesures effectuées, on peut constater que l'état de surface influe sur les coefficients de transmission, de réflexion et d'absorption de l'éprouvette, la mauvaise surface caractérisée par un indice de réfraction élevé par rapport à celui d'une surface lisse, elle diffuse une partie de la lumière comme elle diminue le coefficient de transmission et augmente le coefficient d'absorption, plus la surface est rugueuse plus l'absorption est importante.

La couche mince réalisée par évaporation sous vide varie la transmission du substrat, en réduisant la transmission à plus d'un tiers par rapport à la transmission d'une lame vitreuse sans dépôt. En parallèle, elle augmente la réflexion de la lumière et absorbe une partie de celle-ci, elle est caractérisée par un indice de réfraction inférieur à celui du substrat cela permet la transmission de la lumière jusqu'au support traversant le dépôt.

Par contre, en ce qui concerne l'échantillon obtenu par sputtering, la couche d'aluminium présente un dépôt uniforme, ce qui rend la qualité de la couche superficielle de l'éprouvette meilleure, malgré que son épaisseur est plus mince que celle d'une couche déposée par évaporation sous vide, cette méthode décrit l'échantillon par le phénomène d'un miroir, la couche d'aluminium est non absorbante, d'un très faible coefficient de transmission et d'une réflexion presque totale. La pulvérisation ionique semble être la plus intéressante, aussi bien sur le plan de

l'uniformité de la couche que sur celui de la reproductibilité des dépôts.

En effet, la différence entre la méthode d'évaporation sous vide et la méthode par sputtering, c'est que cette dernière révèle une amélioration meilleure de l'état de surface, ainsi que ces couches sont plus adhérentes que celles obtenues par évaporation sous vide, cette différence liée au fait que dans la méthode spray les substrats sont chauffés ce qui permet une bonne adhérence de l'aluminium sur le substrat.

De cette manière nous avons pu établir l'influence des couches minces sur les propriétés optiques du substrat ce qui explique leurs intérêts dans la vie quotidienne, et prendre connaissance sur les deux méthodes de dépôt ce qui offre la possibilité de savoir contrôler les différents paramètres influençant les couches minces.

## REFERENCES

[1] F. Rebib. « Etude structurale, optique et électrique de couches minces d'oxynitride de silicium déposées par pulvérisation cathodique radiofréquence réactive ». Thèse de doctorat Chimie analytique. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2006.

[2] D.E. Guitoume, « élaboration et étude des couches minces photo-catalytiques à base de  $TiO_2-Fe_2O_3$  », Mémoire de magister en physique, Université Mentouri-Constantine, 2008

[3] S. Charvet. « Etude de la croissance et des propriétés d'émission dans le visible de nano-grains de silicium dans une matrice de silice amorphe : analyse quantitative par ellipsométrie spectroscopique ». Condensed Matter, Université de Caen, 1999

[4] R. Serna, J. C. G. de Sande, J. M. Ballesteros and C. N. Afonso, "Spectroscopic ellipsometry of composite thin films with embedded Bi nanocrystals" Appl. Phys. **84**, 4509, 1998

[5] A. Charef, « Caractérisation optique et structural du silicium nanocristallin déposé par pulvérisation cathodique à radio fréquence à

effet magnétron » thèse de doctorat, université d'Oran1, 2015

[6] Y. Badr, I. K. Battisha, A. M. S. El Nahraw , M. Kamal, « Physical Study of Thin Film and Monolithic Nano Composites  $[SiO_2:11P_2O_5:3Al_2O_3: (1.2) Er (1.2, 1.8 and 3)Yb]$  Prepared by sol gel technique, planar waveguide and co-operative up-conversion », New Journal of Glass and Ceramics, 1, 69-78, 2011

[7] S. Laadoul, « Caractérisation optique des couches minces sur substrats ». Mémoire d'ingénieur, institut d'optique et mécanique de précision, Sétif, 2008

[8] N. Mansouri, « Détermination des propriétés optiques d'une couche mince par les méthodes photométriques et ellipsométriques » Mémoire d'ingénieur, institut d'optique et de mécanique de précision, Sétif (2004).

[9] Machet, J., (2008) « Les dépôts coniques ». Technique de l'ingénieur.

[10] Aime, R. et Isabelle, R., (1998) « Les évaporations sous vide ». INFINE France,

[11] Desmet, G. « La pratique des traitements thermiques des métaux industriels ». DUNOD Paris, (1972)

[12] X. Quelin, D. Mouricaud, et F. Delmotte, « Couches minces optiques, théorie, technologie et composants ». Technique de l'ingénieur, 2008

[13] G. Bernanger, H. Mazille, « Revêtements et traitements de surface ». Institut national des sciences appliquées de Lyon INSA, 2000

[14] N. Khennafi-Benghalem, D. Isaadi, « Amélioration des marquages sur verre par laser  $CO_2$  par dépôt de couches minces », Conférence internationale de mécanique et matériaux ICMM14, Sétif Algérie 16-17 Novembre 2014