

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



جامعة سعد دحطب البلدية

UNIVERSITE BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



*MEMOIRE*

*PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE :*

*MASTER*

*DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIERE*

*FILIERE : PHYSIQUE*

*SPECIALITE : RAYONNEMENT - MATIERE*

*PAR : BOUCHICHA HASSINA*

**Thème :**

**Corrélation du travail de sortie des électrons du  
matériau de contact AgZnO (92/8) avec la composition  
et la microstructure de sa surface**

Soutenu publiquement le 22 /09/2016 devant le jury composé de :

<i>M. A. Benamar</i>	<i>Professeur à l'USDB</i>	<i>Président</i>
<i>M. Sidoumou</i>	<i>MCA à l'USDB</i>	<i>Examineur</i>
<i>M.C. Meziane</i>	<i>MAA à l'USDB</i>	<i>Co-promoteur</i>
<i>M. Akbi</i>	<i>Professeur, ENPEI, Rouiba / UMBB, Boumerdes</i>	<i>Promoteur</i>

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2015-2016

## *Remerciements*

*Louange à Allah Le Très Haut et Le Très puissant pour ses grâces manifestes et intimes, et pour la chance qu'Il m'a accordé pour terminer ce travail, et ma réussite ne dépend que d'Allah, louange à Allah comme il se doit pour la Majesté de Sa Face et Son Magnifique Pouvoir.*

*J'adresse un très grand remerciement et une très grande reconnaissance à Monsieur le Professeur AKBI Mohamed qui a accepté de superviser ce travail, pour ses importantes instructions et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je voudrais remercier également Mr Mohamed Cherif MEZIANE, Maître-assistant à l'Université de Blida 1, co-promoteur, pour son aide et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail et de débattre du sujet présenté dans ce mémoire, et pour toutes les remarques qui permettront de corriger toutes les erreurs faites qu'aucun être humain ne peut y échapper.*

*Un très grand remerciement est adressé à tout le personnel du laboratoire de Physique appliquée pour leur accueil chaleureux.*

*Un très grand remerciement va également au personnel du laboratoire de Physique des matériaux à l'université de Blida pour leur disponibilité et leur courtoisie.*

*J'adresse enfin mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et à la finalisation ce mémoire.*

*Louange à Allah, Seigneur des Univers.*

## *Dédicace*

*Grâce à l'Aide du Dieu Tout-Puissant, ce travail est accompli.*

*Je dédie ce mémoire de fin d'études de Master :*

*A ceux et à celles que j'aime du fond du cœur.*

*A mes très chers parents, pour leurs encouragements, amour et soutien moral, et pour tout ce qu'ils font pour moi.*

*A mes chers frères et mes chères sœurs*

*Je vous aime de tout mon cœur.*

*A toutes mes fidèles amies pour leur aide et leur encouragement.*

*A tous ceux qui ont contribué à ma formation.*

*A toute personne qui aime le bien pour l'islam et les musulmans.*

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **Chapitre 1 : Rappels théoriques de la photoémission**

1.1	Introduction.....	3
1.2	Rappel de la théorie de Fowler .....	8
1.2.1	L'occupation des niveaux d'une bande d'énergie .....	9
1.2.2	Variation du courant photoélectrique avec la fréquence $\nu$ et la température T.....	10
1.2.3	Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler.....	13
1.2.4	Méthode graphique simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}$ ....	17
1.2.5	Méthode graphique simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/3}$ ....	18

## **Chapitre 2 : L'émission électronique des matériaux de contact**

2.1	Introduction.....	21
2.2	L'arc électrique.....	21
2.2.1.	Comportement des matériaux de contact durant un arc électrique.....	23
2.3	Matériaux de contact.....	24
2.3.1	Métaux Purs .....	24
2.3.2	Alliages.....	24
2.3.3	Pseudo-alliages (composites) .....	25
2.3.4	Importance des pseudo-alliages (composites).....	25
2.4	Principe de base pour le choix du matériau de contact.....	25
2.4.1	Lors de la mise en marche (enclenchement).....	25
2.4.2	Lors du passage du courant dans les contacts fermés.....	25
2.4.3	Lors de l'arrêt (ouverture des contacts) .....	25
2.4.4	Caractéristiques .....	26
2.5	Propriétés souhaitables des contacts électriques.....	25
2.5.1	Conductivité électrique et thermique élevées .....	27

2.5.2	Bonne résistance à la fusion.....	27
2.5.3	Résistance à l'usure élevée .....	27
2.5.4	Bonne résistance à la corrosion.....	27
2.5.5	Bonne aptitude au façonnage mécanique.....	27
2.6	Applications industrielles des contacts électriques.....	27
2.6.1	Contacts pour contacteurs-sectionneurs.....	27
2.6.2	Contacts pour engins électriques de manutention.....	28
2.6.3	Contacts pour engins de traction (réseaux ferrés) .....	28
2.6.4	Contacts pour appareillages électriques industriels haute tension.....	28
2.7	Propriétés physiques des matériaux de contact.....	28

### **Chapitre 3 : Observations au MEB et microanalyses par EDX. Analyse des données sur le travail de sortie des matériaux de contact en AgZnO .**

3.1	Introduction.....	31
3.2	Description sommaire du dispositif expérimental .....	32
3.2.1	Microscopie électronique à balayage (MEB).....	32
3.2.2	Four CARBOLITE.....	36
3.3	Influence du traitement thermique (chauffage) sous vide .....	37
3.4	Observations au MEB et microanalyses par EDS.....	38
3.5	Influence de l'arc électrique .....	43

**Conclusion générale.....45**

**Bibliographie.....47**

**Annexe.....48**

# Introduction générale

La nature du matériau de contact joue un rôle clé pour déterminer les caractéristiques physiques des arcs électriques, en particulier celles liées à l'émission électronique. Les propriétés mécanique et thermodynamique ainsi que les propriétés d'émission électronique de ces alliages complexes restent encore inconnues par manque de données expérimentales précises et fiables.

Le but de ce mémoire est de présenter une méthode pour la mesure du travail de sortie photoélectrique des matériaux de contact développée par notre promoteur et l'analyse des résultats concernant l'argent d'oxyde de zinc qu'il nous a gracieusement fournis. Les travaux de sortie des matériaux de contacts en argent et pseudo-alliage à base d'argent AgZnO (92/8), ont été mesurés par effet photoélectrique, en utilisant à la fois la méthode des courbes isothermes de Fowler, la méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler  $(I)^{1/2}$  et nous avons développé pour la première fois dans ce mémoire, sur instruction de notre promoteur, la méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler  $(I)^{1/3}$ .

Le travail de sortie des matériaux de contact n'a pas encore été étudié de manière suffisamment détaillée. On sait très peu de choses sur les changements du travail de sortie du matériau de contact en argent d'oxyde de zinc lorsqu'il est soumis à des cycles de chauffage et de phénomènes d'arc électrique. En outre, des calculs théoriques ont montré combien il est important de connaître les valeurs du travail de sortie du matériau de la cathode, car une variation de 0,1 eV du travail de sortie du matériau de la cathode entraîne une variation de 100 K de la température de la tâche cathodique.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux rappels théoriques de la photoémission. On y exposera les différentes méthodes de Fowler.
- Le deuxième chapitre intitulé « émission électronique des matériaux de contact » se présente en deux parties :
  - La première partie est consacrée à la description des arcs électriques apparaissant dans les disjoncteurs ou les contacteurs.
  - Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présentons en détail les propriétés physiques (électrique et mécanique, etc.) des principaux matériaux de contact, spécialement l'argent et les pseudo-alliages.

- L'essentiel de notre travail porte sur l'analyse de données du travail de sortie des pseudo alliages à base d'argent  $\text{AgZnO}(92/8)$  selon les différents traitements industriels (thermique et électromécanique), ainsi que sa variation en fonction de la composition de la surface du contact. C'est l'objet du troisième chapitre. Rappelons que ces données expérimentales sont fournies par notre encadreur.

Par ailleurs, nous avons mené une étude expérimentale sur des échantillons d'argent-oxyde de zinc. Ce travail consistait à faire subir des traitements thermiques à nos échantillons et à les observer et les analyser ensuite au microscope électronique à balayage. Malheureusement l'EDX du MEB du laboratoire FUNDAPL est tombé en panne au milieu de notre stage, ce qui nous a empêché de terminer nos investigations dont la finalité est de trouver une corrélation entre le travail de sortie des électrons du matériau de contact  $\text{AgZnO}$  (92/8) avec la composition et la microstructure de sa surface, titre de ce mémoire. Celles-ci seraient reprises au courant de l'année 2016-2017, une fois le MEB réparé.

# Chapitre 1

## Rappels théoriques de la photoémission

### 1.1 Introduction

L'effet photoélectrique est par définition l'émission d'électrons par un métal sous l'action de radiations lumineuses. Plus généralement, l'effet photoélectrique recouvre plusieurs phénomènes d'interactions de la lumière et de la matière, où des photons cèdent leur énergie à des électrons. On distingue ainsi l'effet photoélectrique externe, appelé aussi photoémission, et l'effet photoélectrique interne qui comprend la photoconductivité, l'effet photovoltaïque et la photo-ionisation. L'effet photoélectrique fut découvert en 1887 par Heinrich Hertz, lors de ses travaux sur l'électromagnétisme. En 1900, le physicien allemand Lenard montra que seules les radiations de faible longueur d'onde peuvent provoquer la photoémission, quelle que soit l'intensité du rayonnement incident. Cette caractéristique du phénomène ne pouvait s'expliquer à la lumière de la physique classique, qui considère le rayonnement électromagnétique comme une onde.

Mais en 1905, Albert Einstein parvint à interpréter ces résultats grâce à la théorie des quanta formulée quelques années plus tôt par Max Planck. Il proposa en effet de concevoir la lumière comme un flux de particules (les photons), dotées d'une énergie dépendant de la longueur d'onde du rayonnement, et non de son intensité. Ainsi, chaque photon possède une énergie  $E$ , telle que  $E = h\nu$ , où  $h$  est la constante de Planck et  $\nu$  la fréquence du rayonnement. Einstein comprit que l'effet photoélectrique se traduit par l'absorption de certains photons par le métal : si l'énergie d'un photon est supérieure à l'énergie liant un électron à un atome du métal, cet électron peut alors quitter son orbitale atomique, acquérant une énergie cinétique et créant un courant électrique. Grâce à ses travaux sur l'effet photoélectrique, Einstein reçut le prix Nobel de physique en 1921 et contribua fortement, par ses explications, au développement de la théorie quantique.

Depuis sa découverte par Hertz au XIX<sup>ème</sup> siècle, la photoémission n'a cessé d'être liée au développement de la physique et à celui des techniques et technologies de l'industrie électronique. En effet, si elle a été découverte par l'un des derniers grands physiciens classiques, alors qu'on ignorait encore l'électron, elle fût associée directement à la naissance

de la physique moderne grâce à Einstein qui introduisit la notion révolutionnaire de photon et de seuil photoélectrique.

L'effet photoélectrique consiste en une libération d'un électron lorsqu'un photon doté d'une énergie supérieure au travail de sortie arrive sur le métal. La différence entre l'énergie du photon incident et le travail de sortie est fournie à l'électron sous forme d'énergie cinétique. Le travail de sortie photoélectrique est :

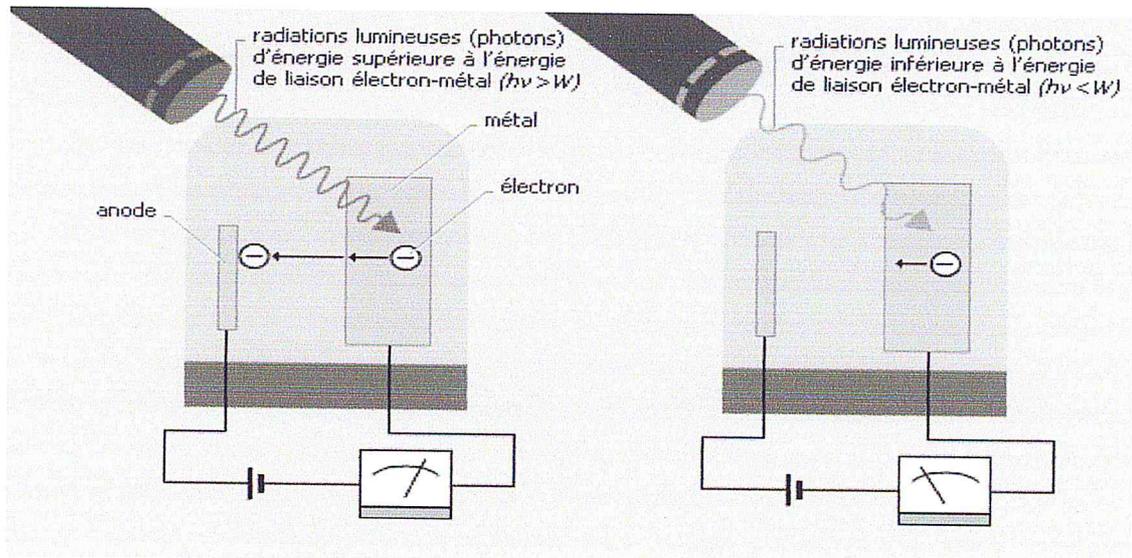
$$\Phi = h\nu_0 \quad (1.1)$$

où  $h$  est la constante de Planck et  $\nu_0$  est la fréquence minimum du photon à partir de laquelle l'émission photoélectrique se produit. Le travail de sortie est également un concept important dans la théorie de l'émission thermoélectronique. Dans ce cas, l'énergie communiquée à l'électron provient d'un échange thermique au lieu d'une interaction avec un photon. En physique, en mécanique quantique, le travail de sortie est l'énergie minimum, mesurée en électronvolts, nécessaire pour arracher un électron depuis le niveau de Fermi d'un métal jusqu'à un point situé à l'infini en dehors du métal (niveau du vide). Le travail de sortie est approximativement la moitié de l'énergie d'ionisation d'un atome libre du même métal.

L'effet photoélectrique externe trouve sa principale application dans la cellule photoélectrique : des électrons y sont émis par un pôle, appelé la photocathode, lorsque celui-ci reçoit des radiations lumineuses. Sous l'influence d'un champ électrique, les électrons migrent alors vers l'autre pôle, appelé anode. La cellule photoélectrique permet de mesurer des variations d'intensité lumineuse. Le premier modèle fut construit en 1890.

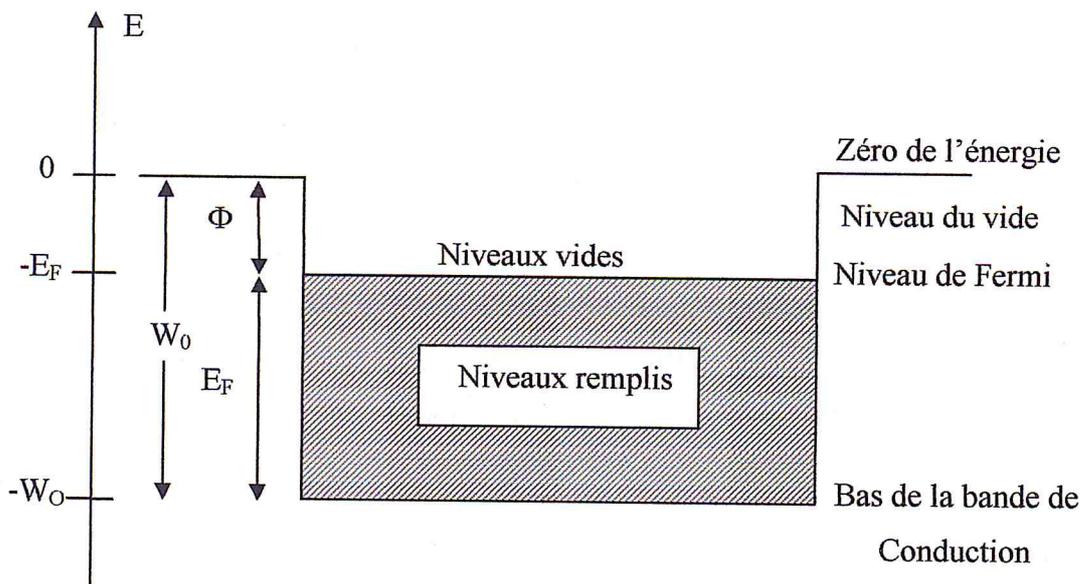
La cellule photoélectrique est une application directe de l'effet photoélectrique : lorsque l'énergie des radiations lumineuses (photons) est supérieure à l'énergie de liaison des électrons de valence des atomes du métal, ceux-ci acquièrent une énergie cinétique et sont émis du métal, créant ainsi un courant électrique ; en revanche, lorsque l'énergie des photons incidents est inférieure à l'énergie de liaison électron-métal, les électrons restent liés aux atomes du métal, et aucun passage de courant n'est observé (Figure 1.1).

Il convient de définir le travail de sortie des électrons d'un métal à partir du modèle des électrons libres [1]. Dans un métal, un électron de la bande de conduction, en raison de l'attraction de tous les ions répartis régulièrement dans le cristal, n'est soumis en moyenne à aucune force; aussi le volume du métal peut-il être considéré comme équipotentiel et le traitement de l'électron unique plongé dans un potentiel constant représente assez bien le cas de l'électron libre du métal.



**Figure 1.1 :** Principe de fonctionnement d'une cellule photoélectrique

Dès que l'électron s'approche de la surface du métal, la compensation des forces attractives n'est plus parfaite et leur résultante tend à retenir l'électron dans le métal, d'autant plus qu'il est plus près de la surface. Il y a donc, près de la surface, un champ électrique dirigé vers l'extérieur, dont l'effet est de contenir les électrons à l'intérieur du métal. Pour franchir cette barrière de potentiel (Figure 1.2), un électron doit prendre une énergie cinétique égale à ce gain d'énergie potentielle :  $\Phi = e V_S$ . Les quantités positives  $\Phi$  et  $V_S$  sont appelées travail et potentiel de sortie ou d'extraction.



**Figure 1.2 :** Distribution de l'énergie des électrons de conduction d'un métal dans le modèle des électrons libres

Trois méthodes fondamentales permettent la détermination du travail de sortie des métaux:

### 1. L'émission thermoélectronique :

Lorsque la surface conductrice est portée à haute température, on constate que des électrons sont expulsés dans l'espace voisin. Le phénomène est dû à l'intensité considérable que prend l'agitation thermique lorsque la température du corps s'élève.

Dans un métal, le nombre des électrons qui sont capables de franchir la barrière de potentiel et de sortie dans le vide augmente rapidement avec l'élévation de la température  $T$ , en accord avec l'équation de Richardson-Dushman :

$$I = A T^2 e^{-\frac{W_s}{kT}} \quad (1.2)$$

Par conséquent le travail de sortie,  $\Phi$  peut être tiré de la pente de la droite obtenue en traçant  $\ln \frac{1}{T^2}$  en fonction de  $\frac{1}{T}$ . Pour obtenir des déterminations précises de  $\Phi$ , des corrections doivent être faites pour tenir compte des faibles variations de  $\Phi$ , avec la température, de l'influence du champ électrique accélérateur permettant à l'anode de collecter les électrons (effet Schottky). Cette méthode s'applique principalement pour les métaux à points de fusion élevés. Ce n'est pas le cas de l'argent et de ses composites.

### 2. L'émission photoélectrique

Lorsque la surface conductrice est soumise à l'action d'un faisceau lumineux d'énergie suffisant ( $h\nu > \Phi$ ), on observe une émission suffisante consécutive au bombardement des photons.

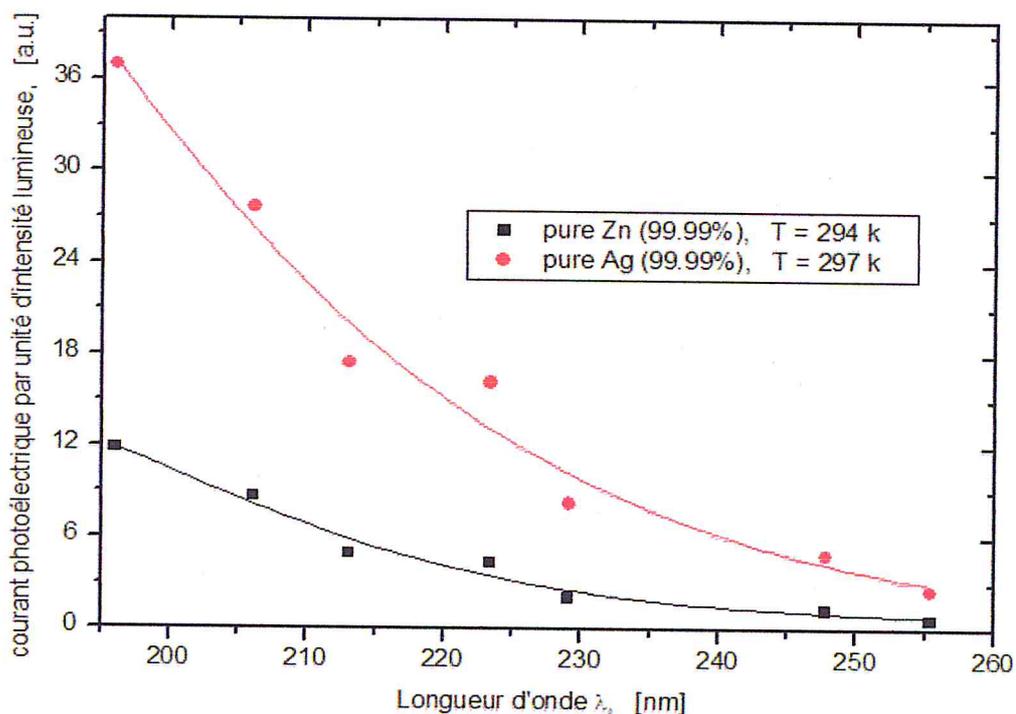
Par ailleurs, on distingue trois méthodes différentes pour la détermination du travail de sortie  $\Phi$  à partir des mesures de photoémission :

#### a) Mesure de la réponse spectrale dans la région du seuil photoélectrique

Par définition, le travail de sortie est égal à l'énergie du photon dont la longueur d'onde correspond au seuil photoélectrique  $\left[ \Phi = h\nu_s = \frac{hc}{\lambda_s} \right]$ . Cependant en raison de la distribution de l'énergie des électrons à l'intérieur du métal, la courbe de réponse spectrale approche asymptotiquement l'axe des abscisses, plutôt que de le couper en un point précis qui correspondrait à la longueur d'onde de seuil du métal utilisé, comme le montre la figure 1.3.

Des courbes typiques de distributions spectrales du courant photoélectrique par unité d'intensité lumineuse pour des contacts vierges d'argent (pureté 99,99%) et de zinc (pureté

99,99%) à la température ambiante, ayant subi un dégazage et un traitement thermique sous ultravide sont donnés dans la Figure 1.3. En première approximation, on peut supposer que les courbes observées représentent la sensibilité photo-électrique du métal aux températures mentionnées ci-dessus en fonction d'une radiation monochromatique de différentes longueurs d'ondes.



**Figure 1.3 :** Courbes de distribution spectrales du courant photoélectrique par unité d'intensité lumineuse pour des contacts vierges d'argent (pureté 99,99%) et de zinc (pureté 99,99%), ayant subi un dégazage et un traitement thermique sous ultravide, à la température  $T=294\text{ K}$ ,  $T = 297\text{ K}$  respectivement et une pression des gaz résiduels  $P = 1.4 \times 10^{-7}\text{ mbar}$  [6].

### b) Mesure du rendement quantique en fonction de la température

Par extension de la théorie de Fowler, DuBridge [2] a développé une méthode qui permet de déterminer  $\Phi$  en mesurant le rendement quantique pour une longueur d'onde proche du seuil photoélectrique en fonction de la température (courbe isochromatique).

### c) Mesure de l'énergie cinétique maximale des photoélectrons

Pour une radiation monochromatique d'énergie  $h\nu$ , l'énergie cinétique maximale des électrons émis est égale à  $h\nu - \Phi$ . A partir des valeurs de  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , et de celles mesurées des

potentiels d'arrêt, on peut, par extrapolation, déterminer le travail de sortie  $\Phi$ .

### 3. Mesure de la différence de potentiel de contact

Lorsque la surface conductrice est portée à un potentiel suffisamment négatif, on observe une émission indépendante de la température, qui peut être expliquée dans le cadre de la mécanique quantique par la pénétration des électrons à travers une barrière de potentiel.

Comme on l'a vu précédemment, la différence de potentiel de contact entre deux métaux est égale à la différence de leurs travaux de sortie. Par conséquent le travail de sortie d'un métal peut être déterminé à partir des mesures de DPC, si le travail de sortie de l'autre métal est connu. L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'une erreur commise sur la valeur  $\Phi$  du métal de référence conduit à des résultats erronés. La différence de potentiel de contact peut être mesurée par diverses méthodes. La plus utilisée est la méthode de Kelvin dans laquelle les deux métaux constituent les armatures d'un condensateur.

## 1.2 Rappel de la théorie de Fowler

L'effet de la température sur l'émission photoélectrique a été traité de façon détaillée par R.H. Fowler [3] sur la base de la théorie de Sommerfeld. Il a fait les hypothèses suivantes :

- i. Les électrons dans le métal obéissent à la statistique de Fermi-Dirac. La courbe de distribution de l'énergie de ces électrons n'est presque pas affectée par la température sauf au voisinage du maximum d'énergie (figure 1.4).
- ii. Le nombre des électrons émis par unité d'énergie lumineuse est proportionnel au nombre d'électrons dont l'énergie cinétique, normale à la surface et augmentée de  $h\nu$  est suffisante pour franchir la barrière de potentiel de surface.

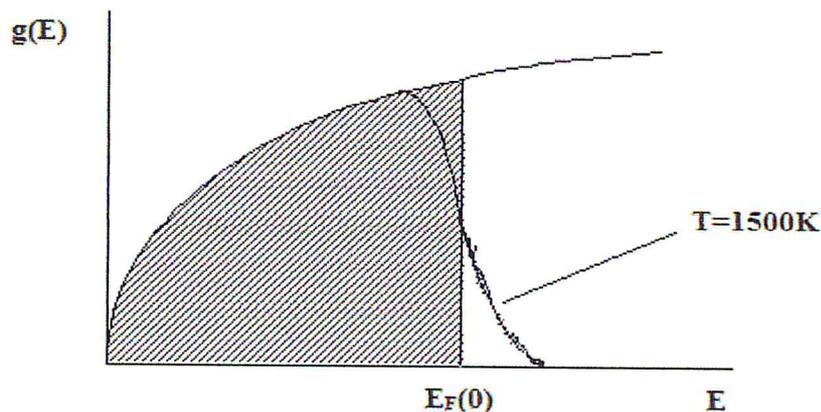


Figure 1.4 : Densité d'état en fonction de l'énergie.

### 1.2.1 L'occupation des niveaux d'une bande d'énergie

La fonction d'occupation de Fermi-Dirac donne pour un cristal à l'équilibre thermique la probabilité  $f(E)$  qu'a le niveau d'énergie  $E$  d'être occupé par les électrons :

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}} \quad (1.3)$$

avec :

$k$  : constante de Boltzmann

$T$  : température absolue

$E_F$ : niveau de Fermi

Dans la théorie de Sommerfeld, on représente le métal par un puits d'énergie rempli de niveaux énergétiques permis aux électrons. L'énergie de ces derniers est quantifiée. En effet l'équation de Schrödinger, dans le solide de volume  $\tau$  s'écrit :

$$-\left(\frac{\hbar^2}{2m}\right) \cdot \nabla^2 \Psi = E\Psi \quad (1.4)$$

En supposant les électrons de conduction entièrement libres, on peut admettre que leur fonction d'onde est de la forme :

$$\Psi = Cte \cdot e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} \quad (1.5)$$

où le vecteur d'onde  $\vec{k}$  est tel que :

$$|\vec{k}| = k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.6)$$

Pour que la fonction d'onde  $\Psi$  soit solution acceptable du problème, il faut qu'elle vérifie deux conditions :

- La condition de normalisation  $\int_{\tau} \Psi\Psi^* d\tau = 1$  qui conduit à :

$$\Psi = \left(\frac{1}{\tau}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} \quad (1.7)$$

- des conditions aux limites raisonnables, admettons que le solide soit un cube d'arête  $L$  et imposons à  $\Psi$  d'être périodique, de période  $L$ , suivant  $x$ ,  $y$  et  $z$ . Cette condition donne :

$$k_1 = \frac{2\pi n_x}{L}, \quad n_x = 0, \pm 1, \dots$$

et des valeurs analogues pour  $k_2$  et  $k_3$ . Donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi(x, y, z) = C \cdot e^{\frac{i2\pi(n_x x + n_y y + n_z z)}{L}} \\ n_x, n_y, n_z = 0, \pm 1, \dots \end{array} \right.$$

D'où :

$$\Psi(x, y, z) = L^{-\frac{3}{2}} \cdot e^{\frac{i2\pi(n_x x + n_y y + n_z z)}{L}} \quad (1.8)$$

Comme :

$$k_1^2 + k_2^2 + k_3^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$$

C'est-à-dire : 
$$\left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) = \frac{2m}{\hbar^2} \cdot E$$

L'énergie se calcule donc aisément :

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) = n^2 \frac{\hbar^2}{2m\tau^{2/3}} \quad (1.9)$$

où  $\tau = L^3$  et  $n^2 = n_x^2 + n_y^2 + n_z^2$ .

La distribution des énergies  $E_n$  étant admise quasi-continue, Le nombre des électrons qui peuvent occuper la bande d'énergie  $E, E+dE$  est :

$$dn = 2 f(E) g(E) dE$$

$f(E)$  est la fonction d'occupation de Fermi-Dirac et  $g(E)$  est la densité des états pour l'énergie considérée. On montre que le nombre d'états par unité de volume pour une énergie  $E$  donnée est :

$$g(E) = \frac{2\pi}{h^3} (2m^*)^{3/2} E^{1/2} \quad (1.10)$$

Le nombre d'électrons situés entre le niveau d'énergie  $E$  et  $E+dE$  est :

$$\frac{4\pi}{h^3} (2m^*)^{3/2} E^{1/2} \frac{dE}{1+e^{(E-E_F)/kT}} \quad (1.11)$$

Le nombre des électrons par unité de volume dont la vitesse est comprise entre  $v$  et  $v+dv$  est donné par :

$$dn = \frac{8\pi m^3}{h^3} v^2 \frac{1}{1+e^{(\frac{1}{2}mv^2-E_F)/kT}} dv \quad (1.12)$$

Compte tenu de :  $4\pi v^2 dv = dv_x dv_y dv_z$

On obtient :

$$dn = 2 \left(\frac{m}{h}\right)^3 \frac{dv_x dv_y dv_z}{e^{\frac{[\frac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2+v_z^2)-E_F]}{kT}} + 1} \quad (1.13)$$

### 1.2.2 Variation du courant photoélectrique avec la fréquence $\nu$ et la température $T$

Soit dans le métal, un électron de vitesse  $\vec{v}$  de composante  $v_x$  suivant l'axe  $Ox$  perpendiculaire à la surface émissive. L'électron est extrait du métal lorsqu'un photon qui lui cède son énergie  $h\nu$ , lui confère une énergie cinétique suffisante suivant  $Ox$  telle que :

$$\frac{1}{2}mv_x^2 + h\nu \geq \Phi + E_f \quad (1.14)$$

Les électrons qui sortent de la surface, en une seconde, sont ceux qui ont des vitesses  $v_y$  et  $v_z$  quelconques, dont la vitesse  $v_x$  satisfait à la relation (13) :

$$n = 2 \left(\frac{m}{h}\right)^3 \int_{v_{x \min}}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{v_x dv_x dv_y dv_z}{e^{\frac{[\frac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2+v_z^2)-E_F]}{kT}} + 1} \quad (1.15)$$

$$\text{Avec : } v_{x \min} = \sqrt{\frac{2(\Phi + E_f - hv)}{m}}$$

En utilisant les coordonnées polaires  $(\rho, \theta)$  pour les intégrales portant sur  $v_y$  et  $v_z$ , le nombre des électrons par unité de volume pour une vitesse normale à la surface entre  $u$  et  $du$  s'écrit :

$$\begin{aligned} n &= 2 \left(\frac{m}{h}\right)^3 \int_{v_{x \min}}^{\infty} v_x dv_x \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \frac{\rho d\rho d\theta}{e^{\left\{\frac{1}{2}m(v_x^2 + \rho^2) - E_f\right\}/kT} + 1} \\ &= \frac{4\pi kT}{m} \left(\frac{m}{h}\right)^3 \int_{v_{x \min}}^{\infty} \ln \left\{1 + e^{\left(E_f - \frac{1}{2}mv_x^2\right)/kT}\right\} v_x dv_x \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\text{En posant : } \omega = \exp \left[ \frac{E_f - \frac{1}{2}mv_x^2}{kT} \right]$$

$$\text{On obtient : } -\frac{d\omega}{\omega} = \frac{mv_x}{kT} dv_x = \frac{dE_x}{kT},$$

$$\text{Avec : } E_x = \frac{1}{2}mv_x^2 \geq \Phi + E_f - hv$$

$$\text{Alors n s'écrit : } n = \frac{4\pi mkT}{h^3} \int_{E_{x \min}}^{+\infty} \ln \left\{1 + \exp \left(\frac{E_f - E_x}{kT}\right)\right\} dE_x \quad (1.17)$$

Notons  $w_0$  la valeur de  $w$  pour  $E_{x \min} = \frac{1}{2}mv_{x \min}^2$

$$w_0 = \exp \left[ \frac{hv - \Phi}{kT} \right] = \exp \left[ \frac{h(v - v_0)}{kT} \right] \quad (1.18)$$

$$\text{Donc } n = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^3} \int_0^{w_0} \frac{\ln(1+\omega)}{\omega} d\omega \quad (1.19)$$

La densité de courant est :

$$J_x = \gamma en = \gamma \frac{4\pi em(kT)^2}{h^3} \int_0^{w_0} \frac{\ln(1+\omega)}{\omega} d\omega \quad (1.20)$$

où  $\gamma$  représente la probabilité qu'à chaque électron du métal d'interagir avec les photons du rayonnement incident.

$$\text{On pose : } \mu = \frac{h(v - v_0)}{kT}, \quad \text{alors } \omega_0 = e^\mu$$

$$\text{et : } y = \frac{1}{kT} \left[ -(W_s + E_f) + hv + \frac{1}{2}mV_x^2 \right],$$

avec  $y > 0$  d'après l'équation (13)

$$\text{alors } \omega = e^{\mu - y} \text{ et } d\omega = -dy e^{\mu - y} = -\omega dy$$

Donc :

$$f(\mu) = \int_0^{\omega_0} \frac{\ln(1+\omega)}{\omega} d\omega = \int_0^{\infty} \ln(1 + e^{\mu - y}) dy \quad (1.21)$$

La fonction universelle  $f(\mu)$  se calcule aisément en considérant deux cas :

a.  $\mu < 0$  ( $v < v_0$ ) : ce qui entraîne  $e^{\mu - y} < 1$  et on utilise un développement en série du logarithme :

$$\ln(1 + e^{\mu - y}) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} e^{n(\mu - y)}$$

On obtient :

$$f(\mu) = e^\mu - \frac{e^{2\mu}}{2^2} + \frac{e^{3\mu}}{3^2} - \dots \quad (1.22)$$

b.  $\mu > 0$  ( $v > v_0$ ) :

$$I_1 = \int_0^\infty \ln(1 + e^{-y+\mu}) dy = \int_0^\mu \ln(1 + e^{-y+\mu}) dy + \int_\mu^\infty \ln(1 + e^{-y+\mu}) dy$$

Pour  $y < \mu$  on peut écrire :

$$\ln(1 + e^{-y+\mu}) = (\mu - y) + \ln(1 + e^{y-\mu})$$

alors :  $I_1 = \int_0^\mu \ln(1 + e^{-y+\mu}) dy = \int_0^\mu (\mu - y) dy + \int_0^\mu \ln(1 + e^{y-\mu}) dy$

en posant :  $y' = \mu - y$ , on a  $dy' = -dy$

Alors on obtient :

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{2}\mu^2 + \int_0^\mu \left[ e^{-y'} - \frac{1}{2}e^{-2y'} + \frac{1}{3}e^{-3y'} - \dots \right] dy' \\ &= \frac{1}{2}\mu^2 + \left[ \frac{1-e^{-\mu}}{1} - \frac{1-e^{-2\mu}}{2^2} + \frac{1-e^{-3\mu}}{3^2} - \dots \right] \\ &= \frac{1}{2}\mu^2 + \frac{\pi^2}{12} - \left\{ e^{-\mu} - \frac{e^{-2\mu}}{2^2} + \frac{e^{-3\mu}}{3^2} \right\} \end{aligned}$$

Soit :  $I_2 = \int_\mu^\infty \ln(1 + e^{-y+\mu}) dy = \int_0^\infty \ln(1 + e^{-y''}) dy''$

De la même façon, on obtient :

$$I_2 = \left[ -e^{-y''} + \frac{1}{2^2}e^{-2y''} - \frac{1}{3^2}e^{-3y''} + \dots \right]_0^\infty = \frac{\pi^2}{12}$$

Finalement, on trouve :

$$f(\mu) = \frac{1}{2}\mu^2 + \frac{\pi^2}{6} - \left\{ e^{-\mu} - \frac{e^{-2\mu}}{2^2} + \frac{e^{-3\mu}}{3^2} - \dots \right\} \quad (1.23)$$

La densité de courant s'écrit alors :

$$J_x = \gamma \frac{4\pi em(kT)^2}{h^3} f(\mu) = \gamma A_0 T^2 f\left(\frac{h(v-v_0)}{kT}\right) \quad (1.24)$$

où :  $f(\mu) = e^\mu - \frac{e^{2\mu}}{2^2} + \frac{e^{3\mu}}{3^2} - \dots \quad (\mu < 0)$

$$= \frac{1}{2}\mu^2 + \frac{\pi^2}{6} - \left[ e^{-\mu} - \frac{e^{-2\mu}}{2^2} + \frac{e^{-3\mu}}{3^2} - \dots \right] \quad (\mu > 0)$$

et :  $A_0 = 1,2 \times 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$

On remarque que lorsque  $v = 0$

$$J_x = \gamma A_0 T^2 \left[ e^{-\frac{hv_0}{kT}} - \frac{e^{-\frac{2hv_0}{kT}}}{2^2} + \frac{e^{-\frac{3hv_0}{kT}}}{3^2} - \dots \right] \quad (1.25)$$

Si on néglige les termes d'ordre supérieurs on obtient :

$$J_x \approx \gamma A_0 T^2 e^{-\frac{hv_0}{kT}} = AT^2 e^{-\frac{\Phi}{kT}} \quad (\text{Équation de Richardson}) \quad (1.26)$$

### 1.2.3 Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler :

La méthode expérimentale est basée sur la théorie de Fowler [3]. Fowler a développé une théorie de la distribution d'énergie des électrons, basée sur l'hypothèse que les électrons libres dans un métal obéissent à la statistique de Fermi-Dirac. Si une cathode métallique est éclairée par de la lumière ultraviolette de fréquence  $\nu$ , alors la théorie de Fowler de l'effet photoélectrique de surface des métaux conduit à l'équation suivante pour le photocourant  $I$  qui atteint l'anode filiforme en platine :

$$I = \gamma \cdot \frac{4\pi em (kT)^2}{h^3} \cdot f(\mu) = \gamma A_0 T^2 f\left(\frac{h(\nu-\nu_0)}{kT}\right)$$

$$= \gamma A_0 T^2 f\left(\frac{\pi^2}{6} + \frac{1}{2}\mu^2 - \left(e^{-\mu} - \frac{e^{-2\mu}}{2^2} + \frac{e^{-3\mu}}{3^2} - \dots\right)\right) \quad (1.27)$$

où  $A_0$  est la constante thermoioniques de Dushman,  $T$  la température absolue de la surface émettrice,  $\gamma$  est la probabilité de photoionisation, et  $f(\mu)$  est une fonction croissante de la variable :

$$\mu = \frac{h(\nu-\nu_0)}{kT} \quad (1.28)$$

À partir des résultats expérimentaux, on utilise l'équation (1.27) pour la détermination d'une part, du travail de sortie  $\Phi = h\nu_0$  de la surface de la cathode en métal et de la constante  $A = \gamma A_0$ , d'autre part. A cet effet, la méthode de Fowler peut être utilisée pour l'analyse graphique des courbes expérimentales. En prenant les logarithmes de l'équation (1.27), on a :

$$\left. \begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{I}{T^2}\right) &= \text{Log } A + \text{Log } f(\mu) \\ &= B + F(\mu) \end{aligned} \right\} \quad (1.29)$$

où  $B$  est une constante indépendante de la fréquence  $\nu$  et de la température  $T$ . La constante  $B$  représente le rendement photoélectrique de la surface; il dépend de l'absorption optique de l'échantillon et le rendement photoélectrique de la surface ainsi que de la probabilité d'échappement des photoélectrons.  $F(\mu) = \text{Log } f(\mu) = \text{Log } f\left(\frac{h(\nu-\nu_0)}{kT}\right)$  est une fonction universelle de  $\mu$ ; elle a la même forme pour tous les métaux et toutes les températures.

La courbe théorique de Fowler est tracée en fonction de  $\mu$ . Lorsque les valeurs observées du photocourant  $I$  sont tracées sous la forme de  $\text{Log}\left(\frac{I}{T^2}\right)$  en fonction de  $\frac{h\nu}{kT}$ , elles devraient donner une courbe ayant la même forme que la courbe théorique  $F(\mu)$  par rapport à  $\mu$ . Ces deux courbes sont de formes similaires; la courbe expérimentale  $\text{Log}\left(\frac{I}{T^2}\right)$  doit, après un déplacement parallèle à elle-même, coïncider avec la courbe théorique  $F(\mu)$ .

La translation verticale nécessaire pour faire coïncider les deux courbes donne B, mais elle est peu importante, alors que la translation horizontale, égale à  $\frac{h\nu_0}{kT}$ , donne la fréquence de seuil  $\nu_0$  et par conséquent le travail de sortie  $\Phi$  de la surface du métal. La détermination du décalage horizontal permet de trouver la fréquence de seuil et par conséquent la longueur d'onde de seuil  $\lambda_0$ . Toutefois, cette procédure dépend de l'appréciation et du bon jugement de l'observateur ainsi que de son tact et de son sens intuitif de ce qui est juste ou appropriée.

Afin de minimiser ces erreurs et d'exploiter rapidement les résultats de nos mesures, une méthode informatisée a été développée [4]. Le logiciel créé transfère les dépendances spectrales expérimentales des photocourants vers la courbe théorique de Fowler en utilisant la méthode des moindres carrés.

A cet effet, il est nécessaire d'introduire dans le programme d'ordinateur les données expérimentales suivantes: la température de l'échantillon (qui doit être maintenue fixe au cours de l'expérience), la longueur d'onde du rayonnement incident et le photocourant correspondant. Ensuite, il serait possible de superposer les deux courbes, et d'obtenir le travail de sortie et la constante de Fowler B. Le déplacement vertical permet de trouver B alors que le déplacement horizontal donne le travail de sortie  $\Phi$  et par conséquent la longueur d'onde de seuil  $\lambda_s$ . La forme de la courbe théorique et la méthode de translation de la courbe observée sont indiquées par la figure 1.5.

La méthode graphique de Fowler (Figure 1.5) permet d'utiliser la totalité des points observés près du seuil, pour toute température pour déterminer le « vrai » seuil photoélectrique. On entend par « vrai » seuil celui qui serait obtenu si le métal se trouvait au zéro absolu. Le nombre important de résultats expérimentaux obtenus par plusieurs auteurs démontre que la méthode de Fowler de courbes isothermes est largement utilisée et appliquée. Le dispositif expérimental permettant la détermination photoélectrique du travail de sortie des matériaux de contact suivant leur utilisation industrielle est décrit ailleurs [4, 5, 8]. Nous avons rassemblé dans le tableau 1.1 toutes les données à partir desquelles une telle analyse peut être faite.

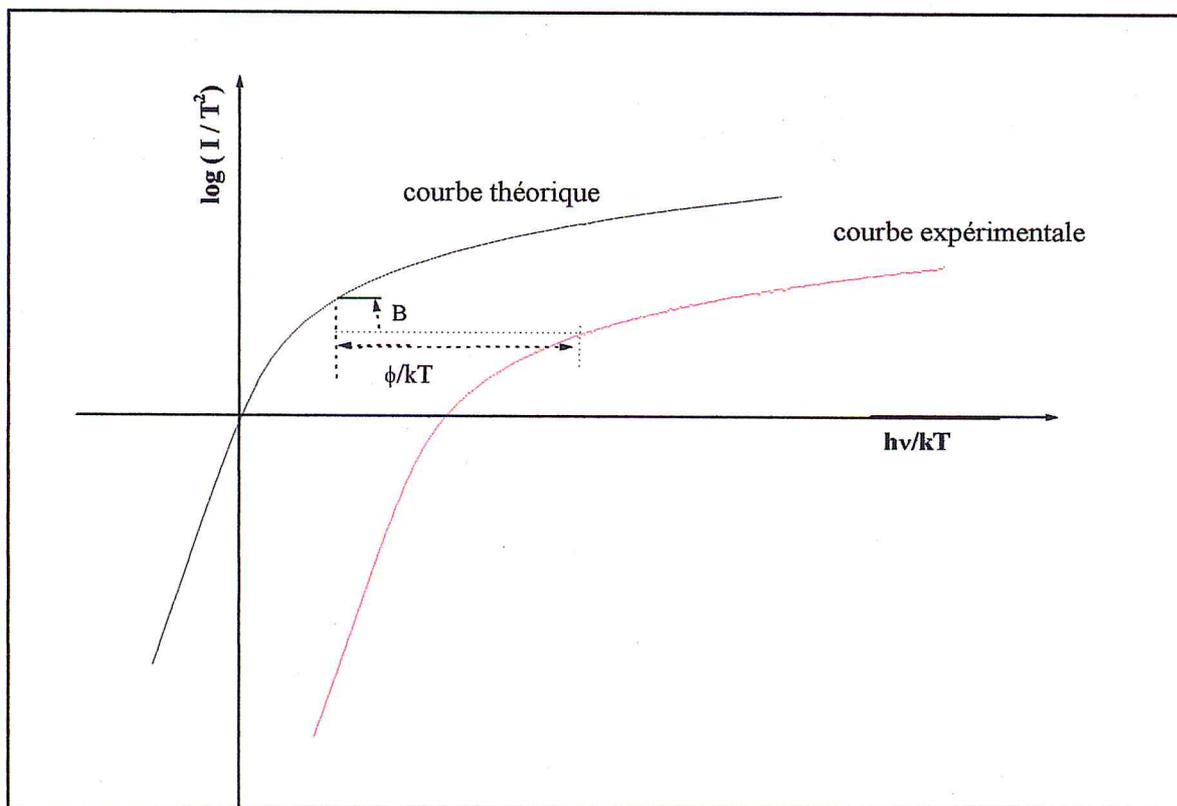
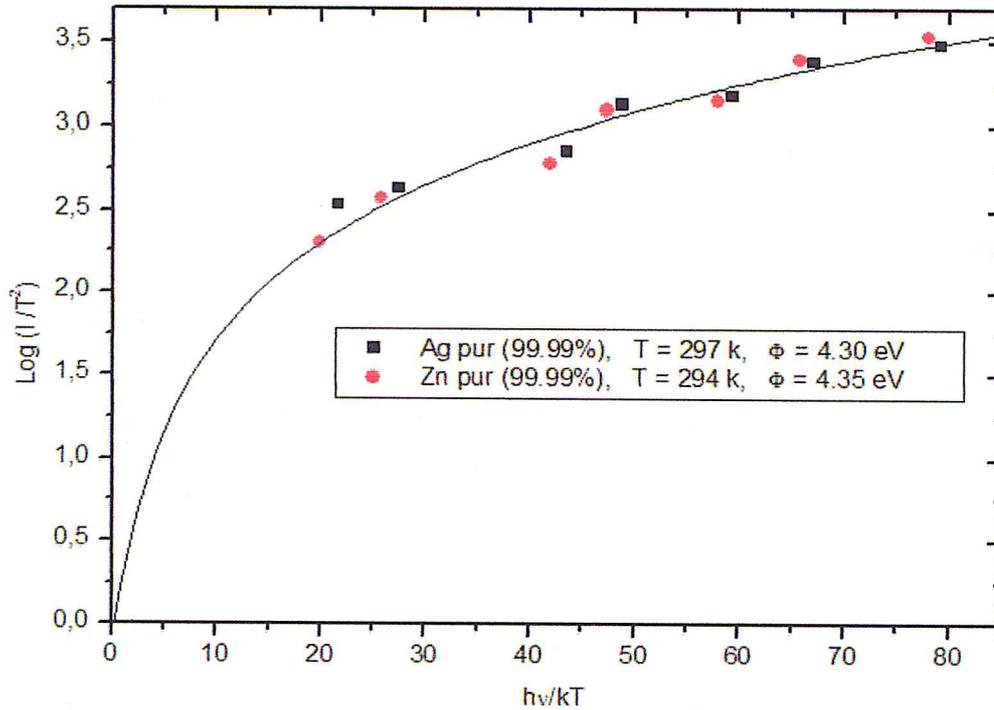


Figure 1.5 : Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler.

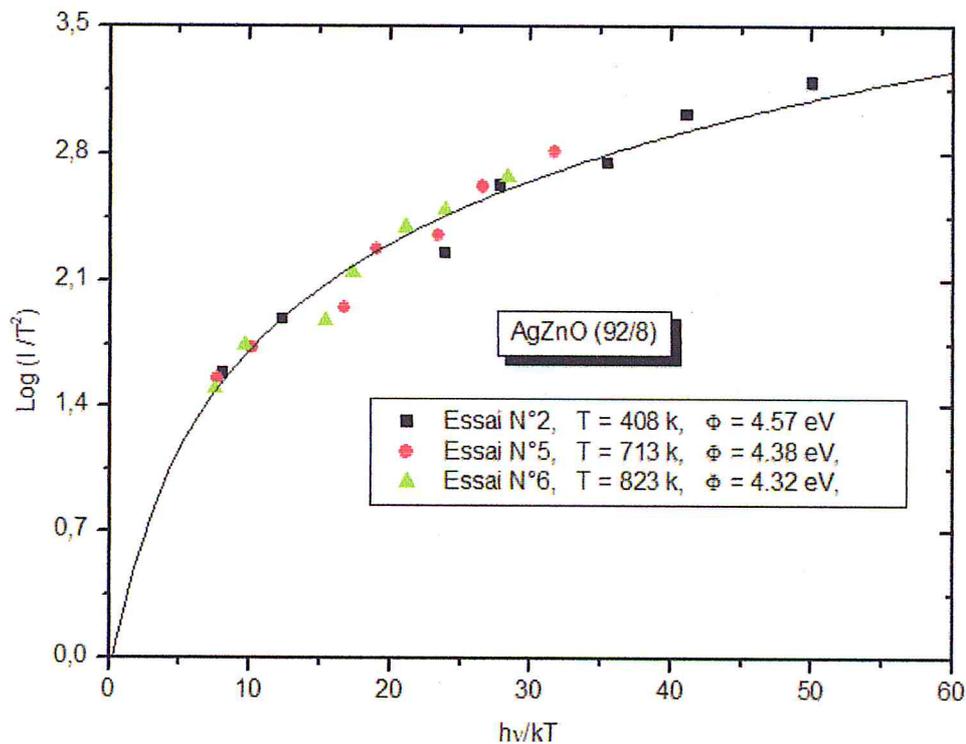
Nature de la pastille de contact	Température (K)	$\lambda$ (nm)	Courant photoélectrique (pA)	$h\nu/kT$	$\text{Log}(I/T^2)$	$h\nu_0/kT$	$\lambda_0$ (nm)	$\Phi$ (eV)
Argent pur (99,99%)	297	196	37	247.4	-15.4	168	288.6	4.3
		206.1	27.7	235.2	-15.5			
		213.1	17.5	227.3	-15.7			
		223.4	16.2	216.8	-15.75			
		229.1	8.3	211.3	-16.03			
		247.8	4.9	195.7	-16.25			
		255.4	2.6	189.8	-16.55			
Zinc pur (99,99%)	294	196	11.8	249.7	-15.86	171.69	285.3	4.35
		206.1	8.7	237.4	-15.99			
		213.1	5.0	229.6	-16.23			
		223.4	4.4	219.0	-16.29			
		229.1	2.1	213.6	-16.61			
		247.8	1.3	197.4	-16.82			
		255.4	0.7	191.6	-17.09			

Tableau 1.1: Mesure du courant photoélectrique pour Ag et Zn [5].

Les courbes de Fowler correspondantes, pour Ag et Zn, sont représentées sur la figure 1.6.



**Figure 1.6 :** Comparaison de la courbe théorique de Fowler obtenue avec l'équation (1.27), avec les mesures effectuées à  $T = 297\text{ K}$ ,  $T = 294\text{ K}$  et  $P = 1.4 \times 10^{-7}\text{ mbar}$ , pour les matériaux de contact en ■ : Ag , ● : Zn [5].



**Figure 1.7 :** Comparaison de la courbe théorique de Fowler obtenue avec l'équation (1.27), avec les mesures effectuées à  $T = 408\text{ k}$ ,  $T = 713\text{ k}$ ,  $T = 823\text{ k}$  et  $P = 1.4 \times 10^{-7}\text{ mbar}$ , pour le matériau de contact AgZnO(92/8) en ■ :Essai N°2, ● : Essai N°5 , ▲ :Essai N°6 [5].

### 1.2.4 Méthode graphique simplifiée des courbes linéarisées de Fowler (I)<sup>1/2</sup>

Pour les grandes valeurs de  $\mu$ , donc pour  $T \rightarrow 0$  et  $(h\nu - \Phi) > 0$ ,

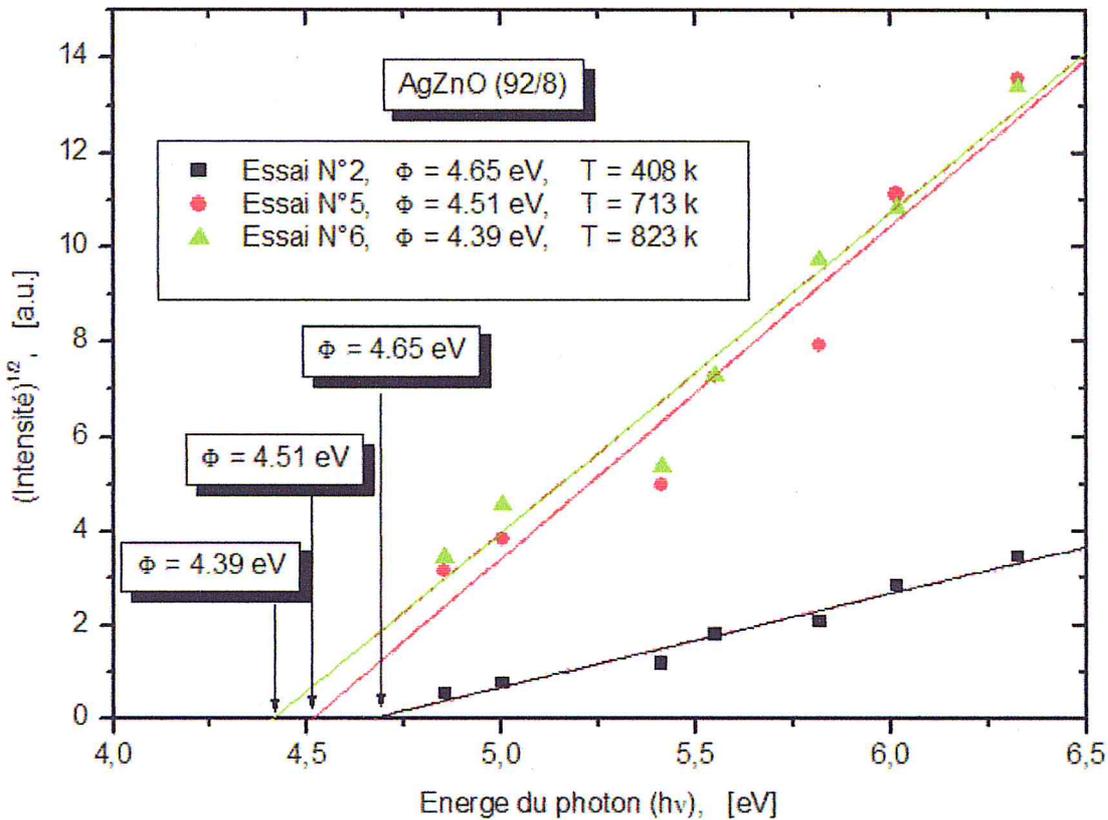
$$\lim_{T \rightarrow 0} \left( \frac{\pi^2}{6} + \frac{1}{2}\mu^2 - \left( e^{-\mu} - \frac{e^{-2\mu}}{2^2} + \frac{e^{-3\mu}}{3^2} - \dots \right) \right) = 0 \quad (1.30)$$

de sorte que l'équation simplifiée conduit à :

$$I = \gamma \cdot \frac{4\pi em}{h^3} \cdot \frac{1}{2} (h\nu - \Phi)^2 = M (h\nu - \Phi)^2 \quad (1.31)$$

où  $M$  est défini comme la constante photoélectrique. Elle ne contient que des constantes fondamentales, à l'exception de  $\gamma$ , c'est à dire la probabilité qu'un électron absorbe un quantum  $h\nu$ . Les mesures effectuées au cours de cette investigation ont été déterminées, en utilisant l'équation (1.31), sous la forme

$$\sqrt{I} = \sqrt{M} \cdot (h\nu - \Phi) \quad (1.32)$$



**Figure 1.8 :** Courbes linéarisées de Fowler (obtenues avec l'équation (1.32)) de la racine carrée du courant photoélectrique en fonction de l'énergie d'un photon à  $T = 408\text{K}$ ,  $T = 713\text{ k}$ ,  $T = 823\text{ k}$  et  $P = 1.4 \times 10^{-7}\text{ mbar}$ , pour le matériau de contact en échantillon A de  $\text{AgZnO (92/8)}$  ■ :Essai N°2, ● : Essai N°5, ▲ :Essai N°6 [5].

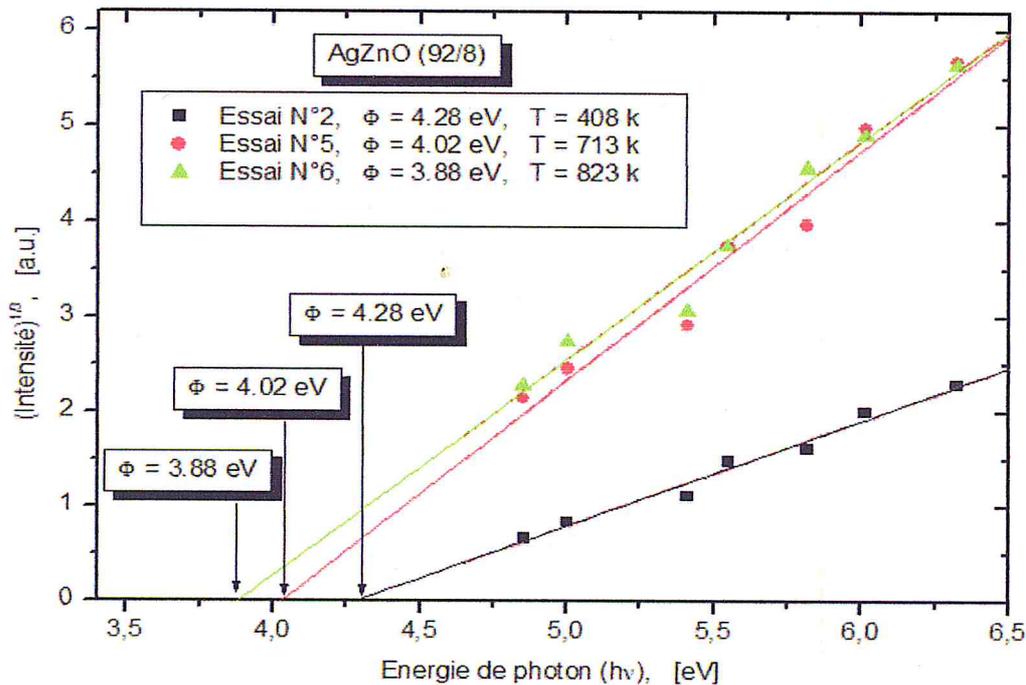
Ainsi, cette méthode alternative de Fowler permettant d'obtenir le travail de sortie photoélectrique consiste à mesurer le photocourant  $I$  en fonction de l'énergie des photons  $h\nu$  juste au-dessus du seuil photoélectrique et en extrapolant la racine carrée du courant photoélectrique à zéro.

L'utilisation de la forme  $T = 0$  K de l'équation de Fowler est maintenant systématique. Dans la pratique, on peut représenter graphiquement la racine carrée de l'intensité du courant photoélectrique, en unités arbitraires, en fonction de l'énergie du photon  $h\nu$ , en eV, et tracer une ligne droite correspondant à ces données photoélectriques. L'intersection de cette droite avec l'axe des abscisses étant bien définie, elle correspond au travail de sortie  $\Phi = h\nu_0$ , tandis que la pente fournit la valeur de la constante photoélectrique  $M$ .

### 1.2.5 Méthode graphique simplifiée des courbes linéarisées de Fowler ( $I$ )<sup>1/3</sup>

Les mesures effectuées au cours de cette investigation ont été déterminées, en utilisant l'équation (1.31), sous la forme

$$\sqrt[3]{I} = \sqrt[3]{M} (h\nu - \Phi)^{2/3} \quad (1.33)$$



**Figure 1.9 :** Courbes linéarisées de Fowler (obtenues avec l'équation (1.33)) de la racine cubique du courant photoélectrique en fonction de l'énergie d'un photon à  $T = 408$  K,  $T = 713$  k,  $T = 823$  k et  $P = 1.4 \times 10^{-7}$  mbar, pour le matériau de contact en échantillon A de AgZnO (92/8) ■ :Essai N°2, ● : Essai N°5, ▲ :Essai N°6 [5].

Ainsi, cette nouvelle méthode alternative de Fowler permettant d'obtenir le travail de sortie photoélectrique consiste cette fois-ci à mesurer le photocourant  $I$  en fonction de l'énergie des photons  $h\nu$  juste au-dessus du seuil photoélectrique et en extrapolant la racine cubique du courant photoélectrique à zéro.

On remarque que :

- ◆ le travail sortie obtenu par la méthode graphique des courbes isothermes de Fowler et par la méthode graphique simplifiée des courbes linéarisées de Fowler  $(I)^{1/2}$  sont proches.
- ◆ L'utilisation du tracé de la racine cubique du courant photoélectrique en fonction de l'énergie du photon incident ne convient pas pour nos échantillons en raison de la faible proportion d'oxyde métallique contenu dans les pseudo-alliages à base d'argent étudiés, à savoir l'argent oxyde de zinc Ag-ZnO(92/8).

# Chapitre 2

## L'émission électronique des matériaux de contact

### 2.1 Introduction

Un contact électrique est un système permettant le passage d'un courant électrique à travers deux éléments de circuit mécaniquement dissociables. C'est un des éléments principaux des composants électromécaniques : contacteur, relais, interrupteur, disjoncteur. Il est aussi la clé de tous les systèmes de connectique.

Le contact électrique est caractérisé par sa résistance de contact, sa résistance à l'érosion, sa résistance à l'oxydation. Afin d'optimiser ses caractéristiques, les surfaces destinées à assurer la fonction de contact sont recouvertes par plaquage, ou comportent une partie massive ajoutée, d'un matériau particulier tel que l'or, le platine (palladium) et le tungstène. Le contact électrique a deux états par défaut: NO : Normalement Ouvert (Open), NF : Normalement Fermé (NC : Closed)

Les fabricants de contact électriques ont le défi permanent pour réduire les coûts et améliorer les performances des appareillages de coupure avec un meilleur matériel. De nombreuses pratiques historiques de la sélection des contacts en ce qui concerne l'érosion, la soudure et la résistance de contact doivent être revues pour trouver des lignes directrices mises à jour[17]

Au cours des dernières années, le matériau de contact Ag-CdO a été progressivement remplacé par de nouveaux types de matériaux de contact tels que Ag-SnO<sub>2</sub> et Ag-ZnO . Parce que le processus de fabrication et l'utilisation de Ag-CdO en basse tension des appareils électriques est préjudiciable à l'environnement et le corps humain . Par conséquent, il est nécessaire de développer un nouveau matériau de contact Ag-MeO ayant de meilleures performances [18].

Le matériau de contact doit avoir des performances telles que résistance à la soudure, l'anti-érosion à l'arc et la résistance de contact doivent être faible. Les résultats montrent que les additifs de matériaux de contact doivent avoir les rôles suivants:

1. L'oxyde métallique est facile à se décomposer dans l'intervalle de la température de fusion de Ag et la décomposition de celui-ci va consommer de l'énergie pour rendre plus facile

l'extinction de l'arc. Outre la température de décomposition de l'oxyde métallique, la taille des particules affecte également la facilité de sa décomposition. En général, plus la taille de particules est petite, plus la décomposition est facile sous l'action de l'arc. Par conséquent, étudier les oxydes métalliques ultra-fins devient la direction du développement pour les additifs de matériaux de contact.

2. Du fait de l'action d'un arc électrique, le métal l'oxyde sera rapidement vaporisé ou sublimé, donc les additifs devraient également avoir une stabilité thermique similaire. La suspension des particules d'oxyde métallique dans le bain de fusion d'argent va augmenter sa viscosité et réduire l'érosion des éclaboussures d'Ag [19-22]. En outre, seules les particules d'oxyde humidifiées peuvent être mises en suspension dans le bain d'Ag fondu. Afin d'être mouillés par la fusion de Ag, nous avons besoin d'ajouter des additifs pour de nombreuses applications d'arc parce que les additifs d'oxydes métalliques peuvent modifier la tension superficielle de l'argent fondu et par conséquent d'améliorer la mouillabilité.
3. Après l'extinction de l'arc, lors de la solidification de l'argent, les oxydes en suspension dans la solution d'Ag sont réaffectés à la matrice d'Ag. De cette façon, il ne se créera pas une couche d'oxyde sur la surface de contact, et ne fera pas augmenter la résistance de contact

Les contacts contiennent des matériaux plus ou moins oxydables selon le choix de fabrication. La classe de protection des personnes choisie lors de la conception oblige à garantir le maintien de ce niveau de sécurité tout au long de la vie du contact. La conception et fabrication doivent donc être pensées pour éviter au maximum l'entretien préventif et conserver les caractéristiques de basculement et de conductivité. La technique la plus simple pour l'entretien hors tension des contacts électriques est le brossage des surfaces de contact grâce à une brosse métallique ou du papier abrasif jusqu'à disparition des oxydes.

Par ses applications industrielles, l'arc électrique constitue le domaine le plus important de la physique des plasmas. Ses applications en électrotechnique (éclairage, soudage, appareils de coupure) ont précédé à une bonne connaissance des mécanismes fondamentaux de la décharge, celles-ci demeurent l'objet de recherches intensives et ininterrompues [11].

## **2.2 L'arc électrique**

L'arc électrique peut être défini comme une décharge électrique lumineuse à fort courant traversant un gaz entre deux conducteurs présentant une différence de potentiel

suffisante par rapport à l'énergie d'ionisation des gaz, la décharge étant stable et autoentretenue.

L'arc électrique se caractérise par le passage dans un milieu initialement isolant, d'un point de vue électrique (gaz à température ambiante), d'un fort courant électrique qui entraîne une élévation très importante de la température (quelques 10000 K) due à l'apport énergétique par effet Joule. Cet échauffement provoque l'ionisation du gaz qui devient conducteur, et permet de maintenir de façon stationnaire un courant de forte intensité pour une faible différence de potentiel (d.d.p.) [12].

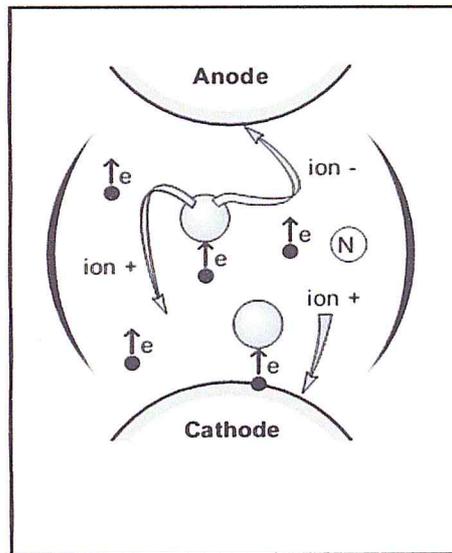


Figure 2.1 : l'arc électrique, son phénomène physique [12]

On classe habituellement les divers types d'arcs en fonction des mécanismes de l'émission cathodique, ce qui montre l'importance et le caractère spécifique des phénomènes aux électrodes dans ce type de décharge, On distingue généralement trois types d'émission :

- ◆ L'émission par effet thermoélectronique (émission T) : caractéristique des matériaux cathodiques à point de fusion élevé (graphite, tungstène). Elle a lieu pour une gamme de température élevée et des champs électriques faibles, généralement inférieurs à  $10^9 \text{ V.m}^{-1}$ .
- ◆ L'émission par effet de champ (émission F) : pour des domaines de fort champ électrique et de faible température. Cette émission est caractéristique des matériaux cathodiques à bas point de fusion.
- ◆ L'émission thermoélectronique à effet de champ (émission TF) : en pratique l'émission de champ se superpose souvent à l'émission thermoélectronique. En effet, le champ surfacique est produit par des charges statistiquement distribuées dans la zone cathodique [13].

Les processus d'émission sont dans une large mesure dépendants de l'état de surface de la cathode ou des impuretés qui la recouvrent. Ces derniers conduisent à une grande augmentation de l'émission thermoélectronique par diminution du travail de sortie des électrons du matériau constituant la cathode.

L'émission thermoélectronique est caractéristique des arcs dont les cathodes sont constituées de matériaux à point de fusion élevé; l'échauffement du spot jusqu'à une température pouvant dépasser 3500 K est produit par le bombardement des ions positifs. Dans ce type d'arc, l'évaporation ne joue aucun rôle, car la température de la cathode est très inférieure à la température d'ébullition, ce mécanisme consiste à élever l'énergie des électrons de valence dans la cathode d'une quantité au moins égale à  $\Phi$  travail de sortie du matériau [11].

Ces électrons sont la cause d'un spot (arc électrique) sur la surface de la cathode, qui est l'origine d'une érosion qui modifie l'état de la surface de l'électrode, et à son tour modifie le travail de sortie des électrons.

### 2.2.1. Comportement des matériaux de contact durant un arc électrique

L'arc électrique a de nombreux effets sur les contacts. Le matériau est alors soumis à de très fortes contraintes thermomécaniques, à des changements d'état violents ou à des décompositions (figure 2.2).

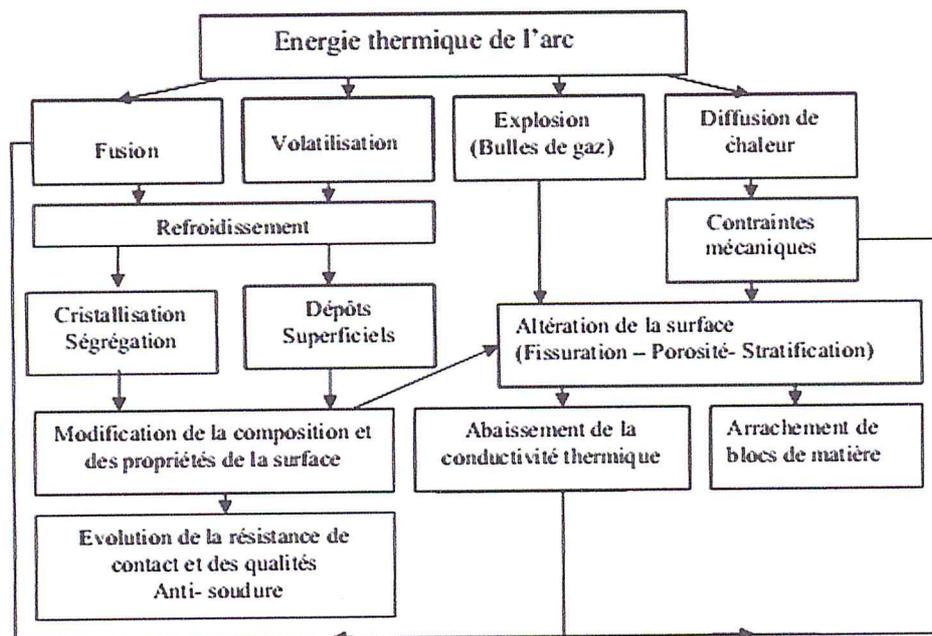


Figure 2.2 : Effet de l'arc électrique sur un contact en matériaux composites [10]

L'arc est utilisé dans plusieurs domaines, on peut citer :

- la soudure à l'arc ;
- la découpe à l'arc ;
- la production d'acier ;
- la coupure du courant dans les disjoncteurs.

### 2.3 Matériaux de contact

les matériaux de contact électrique sur la base des composites d'oxyde d'argent-métal sont des matériaux fonctionnels très importants qui sont couramment utilisés dans différents dispositifs de commutation en basse tension tels que les contacteurs, les relais, les disjoncteurs et les interrupteurs [23-26]. Comme les matériaux de contact électrique sont utilisés dans des conditions d'exploitation diverses, différents types de matériaux de contact à base d'argent ont été développés afin de répondre aux exigences des différentes applications. L'utilité d'un matériau de contact électrique est donc déterminée par une variété de propriétés électriques et mécaniques, d'exploitation et des conditions de charge [26-28]. Les propriétés essentielles de ces matériaux du point de vue de la performance sont la conductivité électrique et thermique élevée, de bonnes propriétés mécaniques ainsi que le comportement anti-soudure et la résistance à l'oxydation, ce qui permettrait d'assurer la prévention de l'érosion et de soudage du contact par arc électrique généré lors des opérations de commutation.

Depuis que les matériaux de contact Ag-SnO<sub>2</sub> et Ag-ZnO ont émergé comme un substitut écologique pour Ag-CdO, ils ont été constamment améliorés en ce qui concerne leur performance et leur applicabilité. La production commerciale et l'application des matériaux de contact AgSnO<sub>2</sub> est limitée par leur assez pauvre comportement en température en raison de la résistance de contact élevée provoquée par la coalescence des particules de SnO<sub>2</sub> dans les couches de surface et une faible maniabilité résultant de la dureté élevée et de la plus grande taille des particules de SnO<sub>2</sub> en raison du processus de fabrication traditionnel [29]. De nos jours, il est connu que les propriétés fonctionnelles des matériaux de contact électrique Ag-SnO<sub>2</sub> peuvent être améliorées par l'addition d'un second composant d'oxyde métallique tel que In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO ou WO<sub>3</sub> qui augmentent la dispersion des oxydes principaux (SnO<sub>2</sub>) dans la matrice d'argent et contribuent à l'activation du processus de frittage [30,31]. On a constaté que l'addition de petites quantités de In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à Ag-SnO<sub>2</sub> provoque une amélioration des propriétés mécaniques tout en conservant les bonnes valeurs de conductivité électrique. Alternativement, l'addition de WO<sub>3</sub> améliore la frittabilité et la mouillabilité de SnO<sub>2</sub> dans l'argent fondu Ag fondu et améliorer ainsi le comportement anti-soudure [31]. D'autre part,

les matériaux d'Ag-ZnO utilisent le point de fusion élevé de ZnO, du fait de sa décomposition est plus difficile que celle de SnO<sub>2</sub>, dans les mêmes conditions d'exploitation, ce qui empêche ainsi l'apparition de trous, ainsi que le fait que les particules de ZnO protègent efficacement contre la pulvérisation de l'argent [32]. Cependant, en dehors de posséder une faible résistance de contact, les matériaux de contact en Ag-ZnO ont une résistance de soudage insatisfaisante et une plus grande tendance à l'usure par contact [33].

En plus de la composition chimique, la microstructure joue le rôle le plus important dans la détermination des propriétés des matériaux de contact électrique. Par conséquent, un cours général d'action est porté pour améliorer le comportement anti-soudure et la résistance de ces matériaux et d'obtenir une dispersion uniforme de particules d'oxyde de métal dans une matrice d'argent doux. D'une manière générale, lorsque les additifs sont utilisés pour modifier l'interaction d'une matrice et de la base d'argent-oxydes métalliques altérant ainsi les propriétés des matériaux, des microstructures plus fines sont plus favorables. Bien que l'influence de la taille des particules d'oxyde sur le comportement de commutation n'est pas encore bien défini, il est généralement admis que les particules d'oxyde métalliques de taille inférieure favorisent la formation des caractéristiques anti-soudure sur la surface de contact exposée à l'arc lors de la solidification de l'Ag fondu. En outre, dans certaines conditions, le taux d'érosion peut être diminué par une diminution de la taille des particules d'oxyde métallique. Lors de l'utilisation de plus petites particules d'oxydes, en cas de mouillage suffisant par l'Ag fondu pour éviter la formation de couches d'oxyde, la résistance de contact peut être considérée comme pas critique [39]. Cependant, il existe une limite à la réduction de la taille des particules étant donné que si l'espacement entre les particules est de l'ordre du parcours moyen des électrons de conduction, une réduction significative de la conductivité apparente des électrons libres peut être attendue. On a constaté que la microstructure optimale peut être obtenue par une répartition homogène des particules d'oxyde métallique avec des diamètres dans la gamme de 50-200 nm [39].

L'influence de nanoparticules d'oxyde métallique sur la microstructure et les propriétés physiques telles que la densité, la porosité, la dureté et la conductivité électrique de Ag-ZnO.

On a étudié les matériaux de contact électrique SnO<sub>2</sub> et Ag-SnO<sub>2</sub>/ In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Les propriétés des nanoparticules d'argent composites d'oxydes métalliques obtenus sont discutées et présentées par rapport à leurs homologues d'oxyde de microparticules métalliques, ainsi que l'équivalent Ag-SnO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> et matériaux de contact AgZnO.

La classification est basée sur la composition et la structure métallurgique des

matériaux de contact. On distingue :

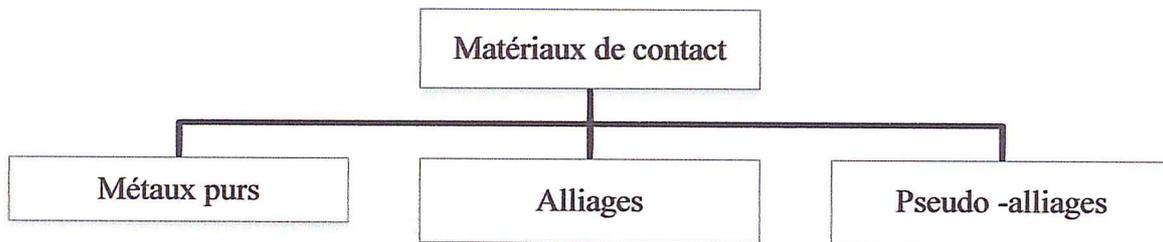


Figure 2.3 : La classification des matériaux de contact

Parmi les matériaux les plus utilisés, on cite l'argent, le cuivre, le tungstène et l'argent associé aux oxydes, tels que l'oxyde de cadmium (AgCdO), l'oxyde de zinc (AgZnO), et l'oxyde d'étain (AgSnO<sub>2</sub>).

### 2.3.1 Métaux Purs:

- L'argent a la plus grande importance pour les dispositifs de commutation dans la technologie d'énergie élevée
- L'or et le platine sont employés dans les applications pour la technologie de l'information sous forme de couches minces.
- Le tungstène est employé pour quelques applications spéciales, par exemple les contacts des véhicules automobiles.
- Le cuivre pur est rarement employé seul mais il est généralement combiné avec un matériau de contact à base d'argent.

### 2.3.2 Alliages:

- Ils sont fabriqués par la technologie de fonte ;
- Ils améliorent les propriétés de l'argent par l'ajout d'un second matériau moins coûteux
- Par exemple : AgCu, AgW.

### 2.3.3 Pseudo-alliages (composites):

- Leurs propriétés sont d'une grande importance pour les contacts électriques;
- Ils sont formés par des composants ne présentant aucune inter miscibilité aussi bien dans l'état liquide ou solide, que dans des systèmes hétérogènes composés d'une matrice avec de fines inclusions d'une autre phase qui sont fermement incluses dans la matrice mais ne réagissent pas avec elle.
- Par exemples : l'oxyde de cadmium (AgCdO), l'oxyde de zinc (AgZnO), et l'oxyde d'étain (AgSnO<sub>2</sub>).

### **2.3.4 Importance des pseudo-alliages (composites):**

- Leur composition hétérogène assure une combinaison additive des propriétés conférées aux matériaux par leurs constituants de phase individuels.
- Par exemple, le composite de W-Cu donne un bon point de fusion et une résistance à l'érosion par arc avec une bonne conductivité électrique du cuivre.
- Par exemple, le pseudo-alliage Ag-CdO, l'oxyde de cadmium en tant que phase dispersée dans une matrice d'argent, ajoute l'effet de dispersion-durcissement et de capacités de suppression de l'arc, aux conductivités électriques et thermiques de l'argent [14].

## **2.4 Principe de base pour le choix du matériau de contact**

Pour la sélection de matériaux de contact, il convient de prendre en considération les problèmes survenant lors des opérations de mise en marche/arrêt ainsi que ceux survenant lors du passage du courant dans les contacts fermés.

### **2.4.1 Lors de la mise en marche (enclenchement)**

- Erosion due à l'arc électrique provenant de l'enclenchement ;
- Soudage dû à l'arc électrique provenant de l'enclenchement ;
- Usure mécanique provenant du rebond des contacts.

### **2.4.2 Lors du passage du courant dans les contacts fermés**

- Résistance de contact et échauffement à charge nominale ;
- Soudage provenant d'une trop grande résistance de contact lors d'une surcharge et d'un court-circuit ;
- Soudage provenant d'arcs engendrés par des décollements dynamiques.

### **2.4.3 Lors de l'arrêt (ouverture des contacts)**

- Erosion due à l'arc électrique engendré par l'ouverture ;
- Déplacement de l'arc électrique dans le champ magnétique ou dans le flux d'extinction ;
- Extinction de l'arc ;
- Usure mécanique.

Lors de la mise en marche, la tendance au soudage engendrée par les arcs électriques est le problème majeur. La protection maximale contre cette tendance au soudage est assurée par l'Ag/C ; viennent ensuite les argents-oxydes de métaux dans l'ordre de la liste suivante (voir Figure 2.4).

Les trois groupes (Ag/C, Ag/MeO, autres) se différencient dans leur niveau de protection contre le soudage par ordre de grandeur décroissant. La résistance des contacts fermés est responsable de la montée de la température à courant nominal ainsi qu'en surcharge et court-circuit, elle peut ainsi conduire au soudage. L'argent étant le matériau le plus conducteur, il a la plus faible résistance au contact, comme résumé dans le tableau (voir Figure 2.5).

Ag/C
Ag/SnO <sub>2</sub> SPW
Ag/ZnO SP
Ag/CdO SP
Ag/WC
Ag/W
AgNi
AgCu
Cu
Ag

Figure 2.4

Ag
Fk-Ag
AgNi 10
AgCu
Ag/SnO <sub>2</sub> SPW
Ag/CdO
Ag/ZnO
Ag/C
Ag/WC
Ag/W

Figure 2.5

#### 2.4.4 Caractéristiques

Les fonctions des contacts électriques sont d'assurer :

- une liaison électrique fiable,
- une tenue mécanique et thermique la meilleure possible dans des conditions de fonctionnement diverses,
- une grande stabilité face aux influences extérieures [15].

#### 2.5 Propriétés souhaitables des contacts électriques

- Conductivités électriques et thermiques élevées ;
- Bonne résistance à la fusion ;
- Résistance à l'usure élevée ;
- Bonne résistance à la corrosion
- Bonne aptitude au façonnage mécanique [15].

##### 2.5.1 Conductivité électrique et thermique élevées:

La capacité calorifique du support du contact est faible, la zone de dissipation de la chaleur est très limitée; ainsi, le matériau de contact électrique doit avoir une grande capacité pour assurer la montée en température admissible pendant le fonctionnement. Cela permettra de réduire la possibilité de tout type de dommage à l'isolation sans affecter les performances électriques.

### **2.5.2 Bonne résistance à la fusion:**

Lorsque deux contacts fusionnent, la chaleur générée par la résistance de contact et par l'arc électrique va augmenter la température de surface du contact électrique atteignant son point de fusion et ensuite provoquer le collage. Par conséquent, pour résister à la fusion, nous devons avoir un point de fusion élevé et un matériau à faible résistance de contact.

### **2.5.3 Résistance à l'usure élevée:**

Le matériau de contact électrique doit avoir la dureté appropriée, car sous fort courant, le chauffage électrique et l'arc électrique peuvent provoquer la fusion du contact électrique, son éclaboussure et même son évaporation.

### **2.5.4 Bonne résistance à la corrosion:**

Le matériau de contact doit être stable de sorte que même à des températures élevées, ils ne réagissent pas avec les agents environnementaux tels que l'oxygène et le soufre et ne formant pas une couche mince de ces composés.

### **2.5.5 Bonne aptitude au façonnage mécanique:**

Le matériau de contact devrait être facile à riveter et à souder [14].

## **2.6 Applications industrielles des contacts électriques**

### **2.6.1 Contacts pour contacteurs-sectionneurs**

Pièces de contact pour constructeurs et utilisateurs de contacteurs-sectionneurs et de commutateurs électriques.

### **2.6.2 Contacts pour engins électriques de manutention**

Pièces de contact pour constructeurs et utilisateurs d'engins électriques de manutention.

### **2.6.3 Contacts pour engins de traction (réseaux ferrés)**

Pièces de contact pour constructeurs et utilisateurs d'engins électriques de traction.

### **2.6.4 Contacts pour appareillages électriques industriels haute tension**

Éléments de contact pour constructeurs d'appareillages électriques industriels haute tension (à partir de 6 kV) [15].

## 2.7 Propriétés physiques des matériaux de contact

Les propriétés de la surface d'un solide (réactivité chimique, dureté, conductivité, émissivité, compacité, travail de sortie électronique) vont donc déterminer en grande partie la réponse du matériau aux sollicitations extérieures (frottement, usure, corrosion).

Le tableau 2.1 résume les principales propriétés physiques des matériaux de contact les plus utilisés dans le domaine d'appareillages électriques industriels à haute tension.

Matériaux	Ag	AgZnO (92/8)	AgCdO (88/12)	AgSnO <sub>2</sub> (88/12)
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	10.5	10,2	10,2	9,8
Point de fusion (°C)	961	961	961	961
Point l'ébullition (°C)	2200	*	*	*
Dureté recuit (HV)	30	60	60	72
Dureté écroui (HV)	80	95	95	100
Charge à la rupture recuit (N/mm <sup>2</sup> )	200	250	225	235
Charge à la rupture écroui (N/mm <sup>2</sup> )	360	470	460	480
Allongement recuit (%)	30	30	32	28
Conductibilité thermique a 20 °C (W/K.m)	419	335	325	315
Conductibilité électriques (m/Ω mm <sup>2</sup> )	62	49	47	42

**Tableau 2.1 : Propriétés physiques des matériaux de contact.**

- Pour les alliages la température donnée correspond au solidus ; pour les matériaux frittés, c'est le point de fusion du composant fondant à la plus basse température.
- C'est le point d'ébullition du composant venant à ébullition à la plus basse température.
- Les compositions sont données en % massique.
- Pour les pseudo-alliages argent-oxyde métallique, la température de sublimation des oxydes est significative quant à l'érosion (CdO : 1390 °C ; ZnO : 1750 °C ; SnO<sub>2</sub> : 1800 °C)
- Pour l'argent Ag :
  - La plus haute conductibilité électrique et thermique ;
  - Résistant à l'oxydation ;
  - Formation de sulfure ;
  - Tendance du matériau à la migration ;

- Très bonne mise en œuvre.
- Pour AgZnO (92/8) :
  - Sécurité contre le soudage à l'enclenchement de contacteurs à condensateurs ;
  - Résistance à l'érosion moins bonne que l'Ag-CdO pour des courants inférieurs à 3000 A, mais meilleure que l'Ag-CdO pour des courants supérieurs à 3000 A ;
  - Les autres propriétés sont comparables à celles de l'Ag-CdO SP [15].

# Chapitre 3

## Observations au MEB et microanalyses par EDX. Analyse des données sur le travail de sortie des matériaux de contact en AgZnO.

### 3.1 Introduction

Pendant de nombreuses années, les principales applications de l'oxyde de zinc (ZnO) se sont situées dans les domaines de l'industrie chimique et pharmaceutique. Actuellement de nouvelles voies de recherches en optoélectronique, microélectronique, et spintronique suscitent un très vif intérêt pour ce matériau car ses propriétés sont multiples: grande conductivité thermique, grande capacité calorifique, constante diélectrique moyenne, haute résistivité, faible absorption d'eau etc. Il est important de noter que sous sa forme pigmentaire, il diffuse et absorbe fortement les rayonnements ultraviolets. Le ZnO est un semiconducteur à large gap, transparent dans le visible et dans le proche infrarouge. Il présente un ensemble de propriétés lui permettant son utilisation dans un certain nombre d'applications comme, par exemple, des varistances employées pour limiter de grandes coupures de tension (dispositifs électroniques en céramique polycristallin possédant des caractéristiques courant-tension non linéaires).

En raison des propriétés importantes de l'oxyde de zinc, il joue un rôle important dans le contact électrique qui peut être résumée aux trois fonctions :

- Les particules d'oxyde de zinc sont dispersées dans la matrice d'argent, ce qui a pour effet d'augmenter la dureté du matériau et par conséquent d'accroître la résistance à l'usure mécanique du contact électrique.
- Elles augmentent la viscosité du matériau en fusion, et donc diminuent les pertes par écoulement.
- La décomposition des oxyde dispersés dans la matrice d'argent absorbe de l'énergie de l'arc électrique et diminue les pertes par évaporation du matériau de base.

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux du travail de sortie des contacts en AgZnO (92/8) fournis par notre encadreur [4]. Les chiffres entre parenthèses

désignent les proportions massiques de l'argent Ag et de l'oxyde de zinc ZnO, respectivement. Le programme informatique (ORIGIN) que nous avons utilisé, nous a permis de tracer les courbes expérimentales à partir desquelles nous avons obtenu les valeurs du travail de sortie. Nous avons pour cela utilisé les méthodes de Fowler suivantes :

1. La méthode des courbes isothermes de Fowler ;
2. La méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler qui consiste à tracer la racine carrée du courant photoélectrique en fonction de l'énergie du photon incident correspondant. Comme une variante à cette méthode, nous avons également tracé la racine cubique du courant photoélectrique en fonction de l'énergie du photon. Cette dernière méthode s'applique particulièrement pour les oxydes métalliques et les semi-conducteurs [4].

Ensuite, nous allons analyser ces données suivant les différentes conditions expérimentales, en étudiant notamment l'influence de la température et de l'arc électrique. Notre travail consiste à analyser et interpréter autant que faire se peut ces différents résultats expérimentaux obtenus par Mr Akbi en corrélation avec les observations au MEB et les microanalyses par EDX.

L'analyse de ces données a été effectuée en fonction des conditions physiques (température, conditionnement électromécanique,...) et de la composition chimique de la surface des contacts en AgZnO. Dans ce chapitre, on commencera d'abord par la description sommaire du dispositif expérimental, en l'occurrence le microscope électronique à balayage (MEB), puis on abordera l'influence du traitement thermique (chauffage) sur la composition chimique et la morphologie de la surface, ainsi que l'influence de l'arc électrique. Les observations au MEB et les microanalyses par EDS nous permettront de mieux comprendre l'évolution du travail de sortie du matériau de contact soumis aux différents traitements de surface.

## **3.2 Description sommaire des dispositifs expérimentaux**

### **3.2.1 Microscopie électronique à balayage (MEB)**

La microscopie électronique à balayage est une technique de caractérisation non destructive qui permet d'obtenir des renseignements sur la morphologie de l'échantillon à analyser, de son mode de cristallisation, d'estimer parfois les tailles des cristallites qui forment l'échantillon et d'accéder à l'épaisseur de l'échantillon par une vue latérale.

Le principe du MEB consiste à balayer ligne par ligne la surface de l'échantillon avec un faisceau d'électrons puis à transmettre le signal du détecteur à un écran cathodique dont le balayage est exactement synchronisé avec le faisceau électronique incident.

L'interaction du faisceau d'électrons incident (dit faisceau d'électrons primaires) avec la surface de l'échantillon à analyser va provoquer plusieurs phénomènes comme la production des RX, la diffusion élastique et inélastique des électrons ainsi que la transmission d'électrons [16]. A côté de ces phénomènes, il est également à noter la production d'électrons Auger, secondaires et rétrodiffusés.

Un électron primaire qui passe près d'un atome cède une partie de son énergie cinétique à l'atome de l'échantillon, provoquant son ionisation par éjection d'un électron dit 'secondaire'. Un électron primaire peut aussi interagir avec un atome par collision, il sera de ce fait dispersé ou 'rétrodiffusé' avec une profondeur généralement supérieure à celle des électrons secondaires. Donc, ces électrons vont contribuer beaucoup plus à la création de contraste, contrairement aux électrons secondaires qui sont destinés à l'imagerie [17]. Les électrons rétrodiffusés et secondaires émis par l'échantillon sont recueillis sélectivement par des détecteurs qui transmettent un signal à un écran cathodique.

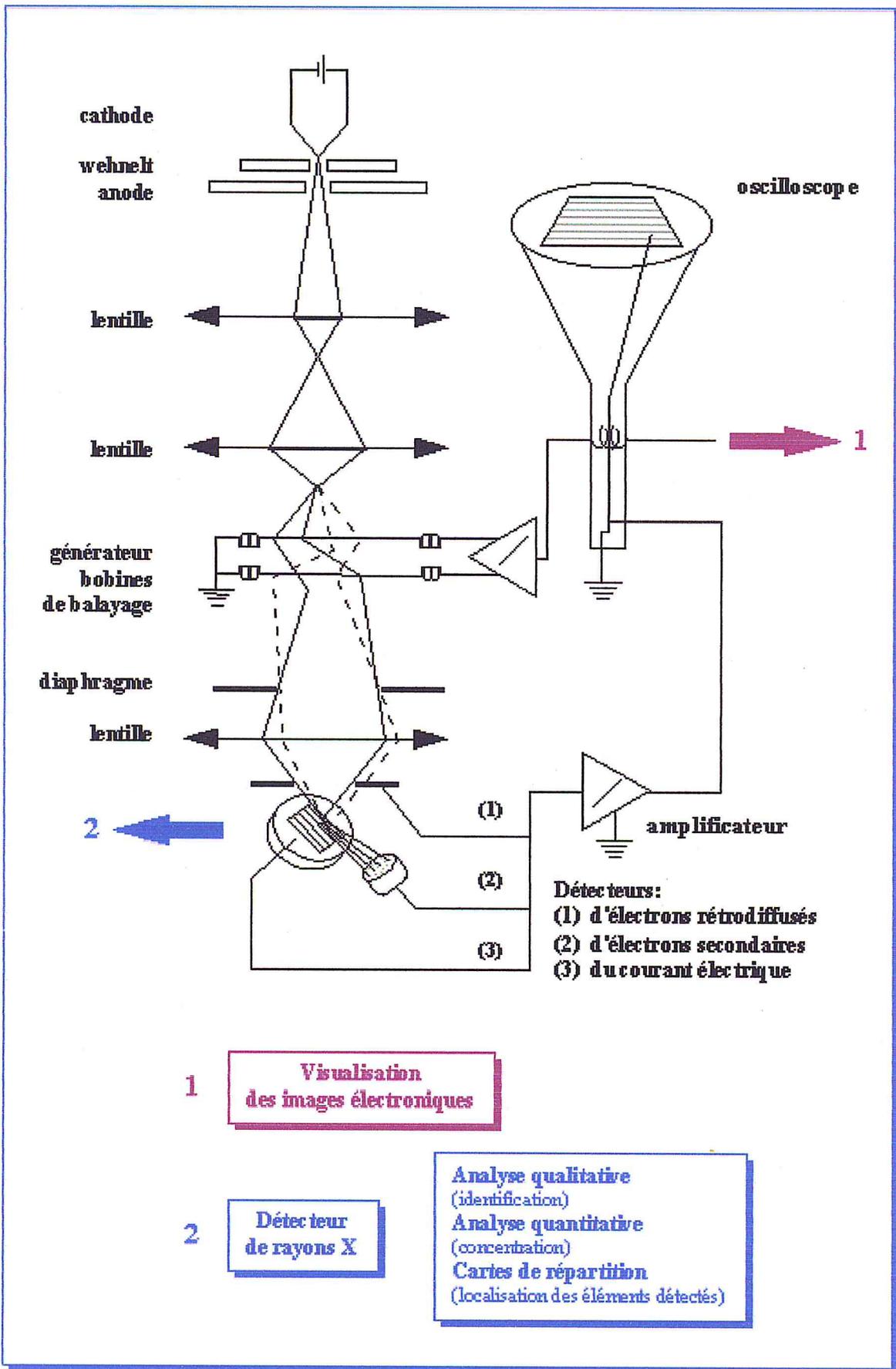


Figure 3.1 : Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage équipé d'un microanalyseur de rayons X.

La morphologie de la surface du matériau de contact en AgZnO a été étudiée par microscopie électronique à balayage (MEB) au laboratoire de physique fondamentale et appliquée (FUNDAPL), Université de Blida 1. L'appareil utilisé est de type FEI Quanta FEG 650 de la compagnie tchèque TESCAN couplé à un microanalyseur de rayons X (Figure 3.2). Il est constitué d'une enceinte sous vide secondaire où les électrons sont émis par un filament de tungstène porté à une température de l'ordre de 2000 °C dans un canon à électrons. Dans ce canon, les électrons sont accélérés par une tension de l'ordre de 0.5 à 30 kV. Le flux d'électrons est ensuite focalisé sur la surface de l'échantillon à l'aide de lentilles. Le détecteur EDX (Energie Dispersive X-ray) est équipé d'un monocristal en silicium dopé au lithium et polarisé. Il est muni d'une fenêtre ultra fine qui permet de détecter les éléments les plus légers. Le détecteur des photons X est refroidi par effet Peltier (effet thermoélectrique)



**Figure 3.2 :** Microscope électronique à balayage au laboratoire FUNDAPL, Université de Blida.

### 3.2.2 Four CARBOLITE

Nous avons utilisé le four à haute température série LHT (figure 3.3), se trouvant au laboratoire LASICOM (USDB).

Les étuves de laboratoire haute température série LHT, comprennent 3 tailles d'étuves de paillasse, chacune disponible avec une température maximale d'opération de 600°C. Ces étuves offrent de hautes températures qui sont typiques des étuves industrielles, et se caractérisent par une conception compacte qui peut aller sur une paillasse.

#### Caractéristiques standards

- 400°C, 500°C ou 600°C températures d'opération maximum ;
- 30, 60 ou 120 litres volumes de chambre ;
- Régulateur PID R38 ;
- Gros ventilateur de convection forcée ;
- Isolation faible densité thermique pour une grande efficacité énergétique ;
- Résistant à la corrosion, intérieur en acier inoxydable brossé ;
- 2 Etagères multi-position ;
- Convient pour un fonctionnement en continu ;
- Revêtement résistant à l'usure, extérieur zingué recouvert d'un enduit époxy polyester thermolaqué .



Figure 3.3: Four CARBOLITE type LHT

### 3.3. Influence du traitement thermique (chauffage) sous vide

Nous étudions dans ce paragraphe, les variations du travail de sortie d'un pseudo-alliage métallique polycristallin, à base d'argent, AgZnO(92/8) en fonction des traitements thermiques de la surface.

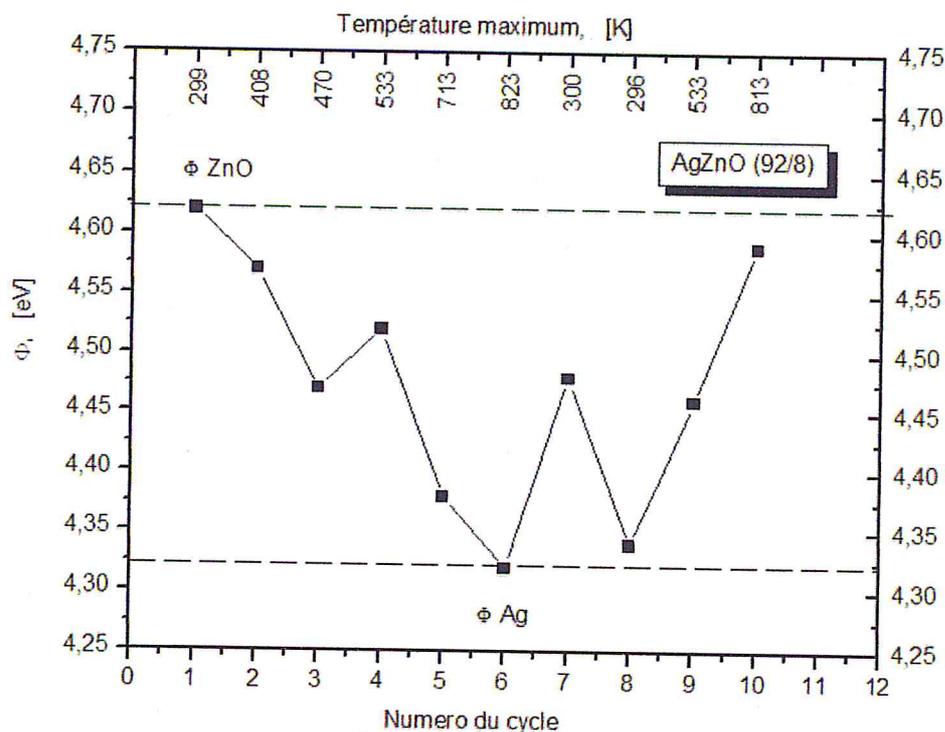
Cycle	Traitement de surface	Durée du chauffage, [heures]	Température maximale, [°C]	Température de mesure, [K]	$\Phi$ , [eV]
1	Sans chauffage	–	-	299	4.62
2	Chauffage N°1	3 h.	408	408	4.57
3	Chauffage N°2	4 h.	470	470	4.47
4	Chauffage N°3	16 h.	533	533	4.52
5	Chauffage N°4	4 h.	713	713	4.38
6	Chauffage N°5	3 h	823	823	4.32
7	Sans Chauffage	–	300	300	4.48
8	Chauffage N°6	18 h.	750	296	4.34
9	Chauffage N°7	4 h.	533	533	4.46
10	Chauffage N°8	4 h.	813	813	4.59

**Tableau 3.1 :** Travail de sortie du contact en AgZnO (92/8), échantillon A.  
 $P = 1.4 \times 10^{-7}$  mbar ;

Le même processus recommence; ainsi, si on continue à augmenter la température, on trouve cette fois des valeurs proches de celle de l'argent.

Le phénomène régissant le changement du travail de sortie pour le pseudo-alliage AgZnO est la ségrégation aux joints de grains résultant de la redistribution du soluté (ajout contrôlé ou impureté) entre les cristaux et les joints lors du traitement thermique. Pour tout matériau polycristallin, l'enrichissement en soluté aux joints a des conséquences importantes sur les propriétés structurelles et fonctionnelles: fragilité ou consolidation, corrosion intergranulaire, glissement intergranulaire, modification des propriétés électriques.

On voit alors que les traitements thermiques deviennent un moyen de moduler les propriétés physiques d'un pseudo-alliage donné, parfois dans des proportions très importantes.

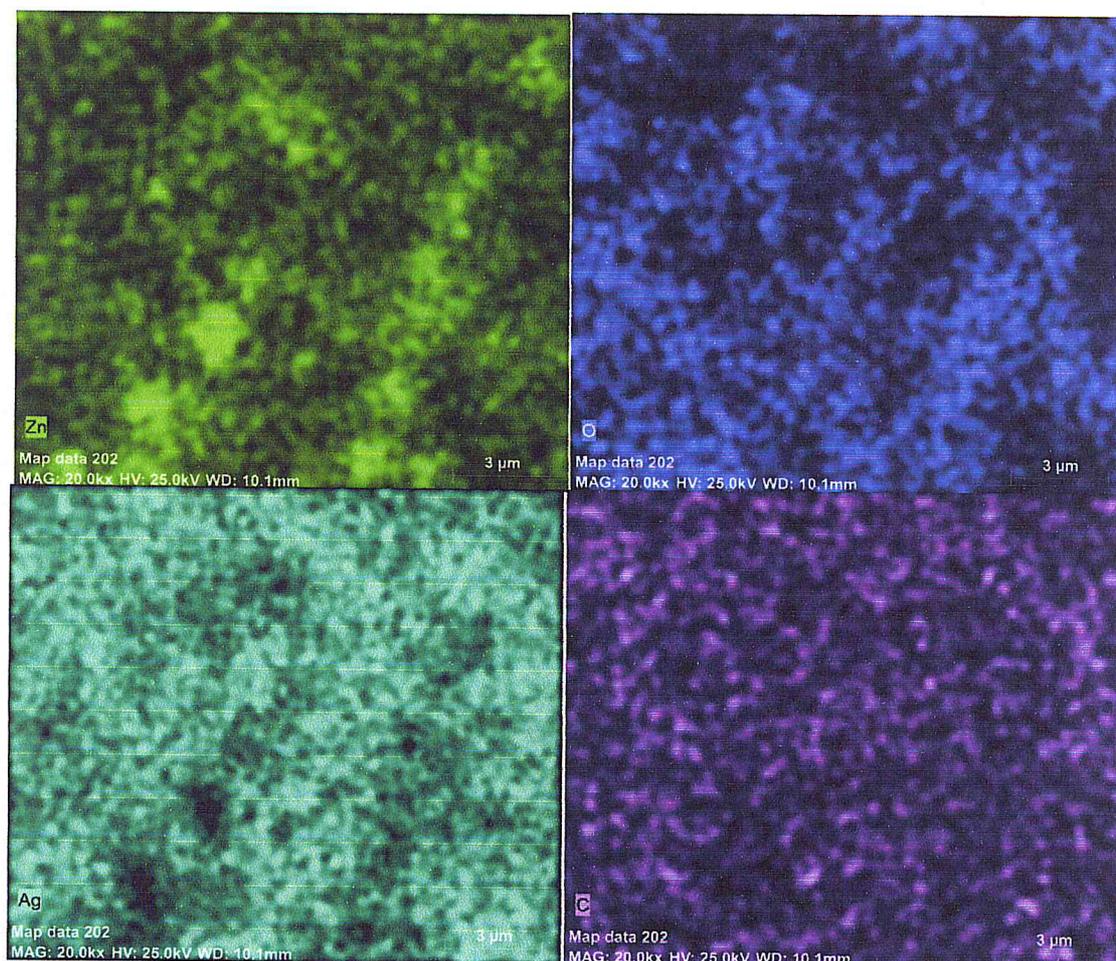


**Figure 3.4 :** Travail de sortie en fonction de la température de chauffage pour le contact en AgZnO (92/8), échantillon A, à température ambiante.

Cette diminution du travail de sortie est due au drainage d'une majorité d'atomes d'argent vers la surface du contact. On peut en déduire que cette étude révèle l'influence de la température sur le travail de sortie des contacts électriques en AgZnO. Ce paramètre physique est en effet très sensible à l'état de surface qui change radicalement après la vaporisation et la diffusion des atomes d'argent Ag, et d'oxyde de zinc ZnO, en raison du temps de chauffage relativement long, réalisé dans le vide. Les valeurs obtenues sont comprises dans l'intervalle [ $\Phi$  (Ag) = 4.32 eV et  $\Phi$  (ZnO) = 4.62 eV].

### 3.4 Observations au MEB et microanalyses par EDS

L'image en contraste de phase dépend du numéro atomique de l'élément. Les zones de l'échantillon avec numéro atomique élevé seront donc plus claires que celles ayant un numéro atomique faible seront sombres. La caractérisation structurale des matériaux permet d'identifier les phases qui y sont présentes, de déterminer leur degré de cristallinité, de mettre en évidence leur morphologie et d'établir leur composition chimique. La composition chimique nous permet de connaître avec exactitude le pourcentage du dopant dans notre matériau, en l'occurrence l'oxyde de zinc ZnO.



**Figure 3.5 :** Cartographies X , répartition chimique élémentaire sur une image d'un matériau de contact en AgZnO (92/8).

Spectrum: AgZnO

Element	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	Error (3 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
argent	L-series	125404	71.47	77.03	6.83
zinc	K-series	3582	4.33	4.66	0.48
phosphore	K-series	3109	1.41	1.52	0.27
oxygène	K-series	3032	13.40	14.44	7.01
carbone	K-series	1036	2.18	2.35	1.54
Total:		92.78	100.00	100.00	

**Tableau 3.2 :** les proportions massiques et atomiques des éléments chimiques de la surface du contact en AgZnO (92/8).

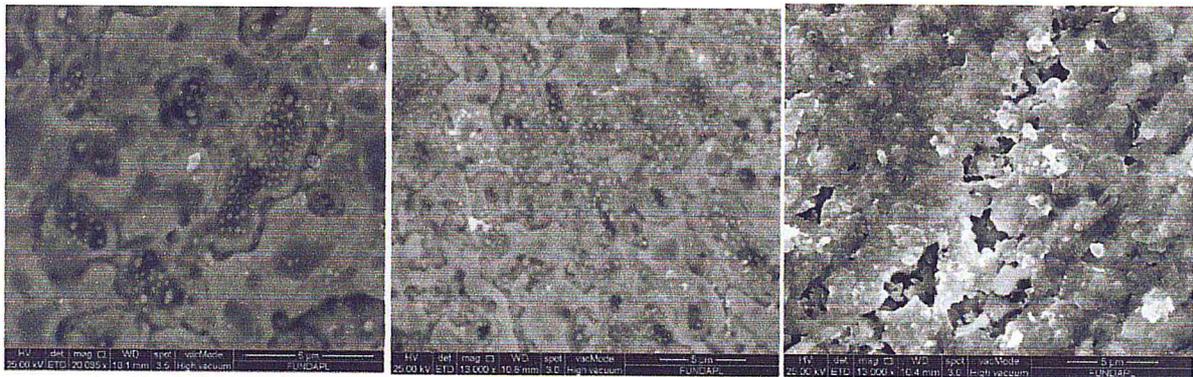
En vue d'étudier l'influence de la température sur la surface de contact électrique d'argent oxyde de zinc AgZnO (92/8), ce dernier a été introduit dans le four et chauffé à des différentes températures (200°C et 400°C), avec des durées de chauffage constantes (1 h).

La morphologie de la surface avant le chauffage montre des granulations de particules

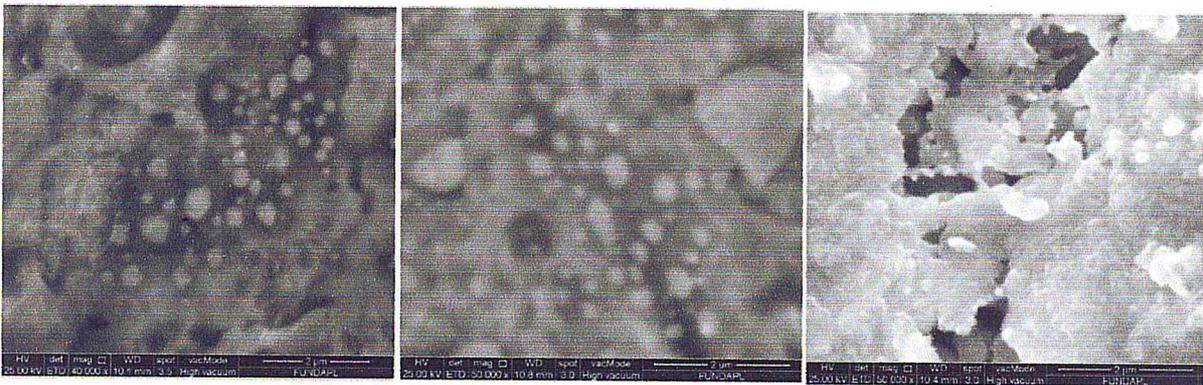
d'argent à différents endroits de la surface du contact. Après chauffage à 200 °C, on remarque une fragmentation de ces grains, ainsi qu'une diffusion et une redistribution dans le réseau cristallin dues à l'agitation thermique (voir Figure 3.6 ).

On a remarqué une variation de l'état de surface du contact en fonction de la température. Après un chauffage à 400°C, la morphologie de la surface a changé en devenant plus rugueuse et en présentant de multiples porosités. En outre, la surface du contact est devenue plus claire, ce qui indique que la surface est probablement recouverte exclusivement de particules d'argent. La disparition du zinc serait due à sa fusion et sa vaporisation, sachant que la température de fusion du zinc est égale à  $T_f = 692.73^\circ \text{C}$ .

Le comportement de la surface du contact en AgZnO varie en fonction de la température. Ainsi, après un chauffage à 200°C, on remarque la présence de particules blanchâtres de diamètres différents en plus grand nombre en comparaison avec la surface du contact avant chauffage. Ces particules blanchâtres seraient probablement en argent, alors que les plages plus sombres majoritaires sur la surface du contact seraient en zinc.



(a) Avant chauffage (b) Après chauffage à 200 °C (c) Après chauffage à 400 °C



(a) Avant chauffage (b) Après chauffage à 200 °C (c) Après chauffage à 400 °C

**Figure 3.6 :** Micrographie M.E.B d'une surface de contact en AgZnO(92/8),

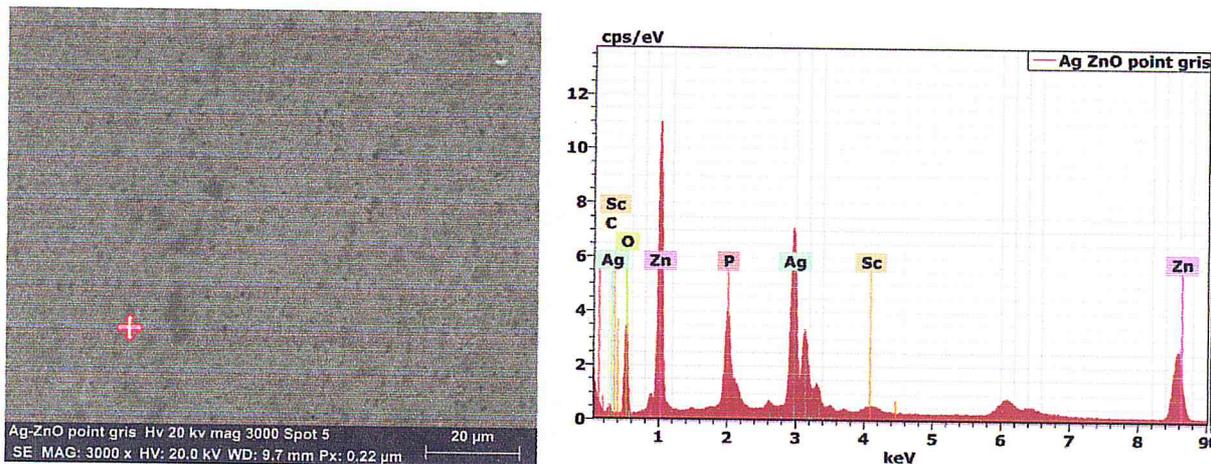
Grossissement : (a) :X20035 ;(b) :X1300 ;(c) :X1300 ;(d) :X40000;(e) :X50000 ;(f) :X50000.)

Les spectres d'analyses par rayons X du contact AgZnO, pour différents points situés à la surface du contact, présentent plusieurs pics. La connaissance de l'énergie correspondante aux différentes raies émises permet de caractériser la nature des éléments contenus dans le point analysé. Ces spectres présentent en abscisse l'énergie de la raie principale et celles des raies secondaires (keV) et en ordonnée le courant mesuré sur le détecteur (en nombre de coups/nA.s) correspondant à chacune des raies. .

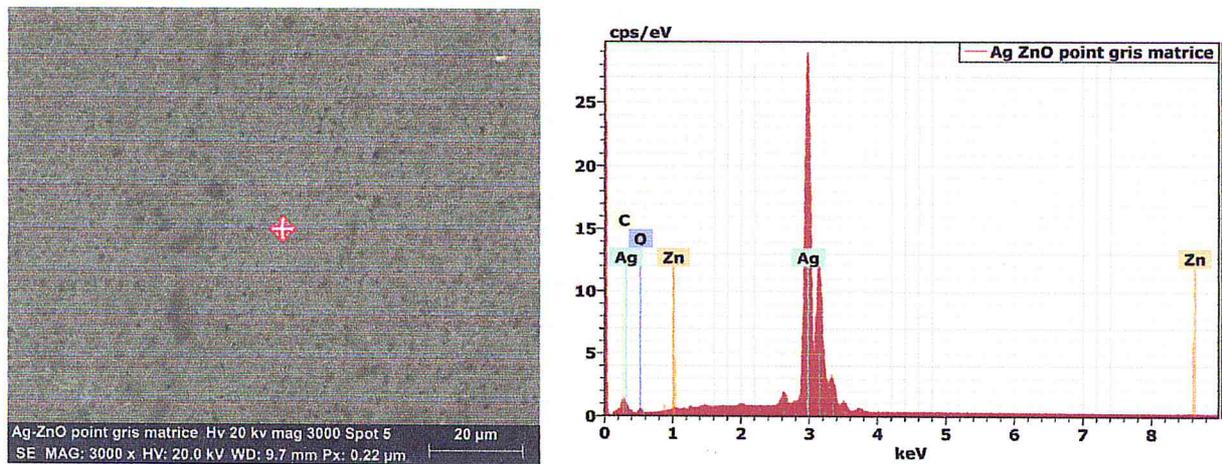
Les spectres d'analyse des différents points situés sur la surface du contact, sont représentés par les (figures 3.7.a et 3.7.b). Les zones de l'échantillon ayant un numéro atomique élevé seront donc plus claires que celles ayant un numéro atomique faible seront sombres. Par conséquent, la zone claire correspond à l'argent dont le numéro atomique est 47, et la zone sombre est relative au zinc dont le numéro atomique est égal à 30.

Le premier point analysé situé dans une zone plus sombre de l'échantillon renferme différents éléments en quantités variables (Figure 3.7.a) à température ambiante. Ceci a été révélé par plusieurs pics correspondants à différents éléments. Par ordre d'importance, on peut citer le zinc, l'argent, l'oxygène, le carbone et le phosphore

Le deuxième point analysé situé dans une zone claire du contact d'AgZnO (Figure 3.7.b) présente un faible taux de Zn et une prédominance de la raie de l'Ag, montrant ainsi qu'il s'agit essentiellement de l'argent.



(a)



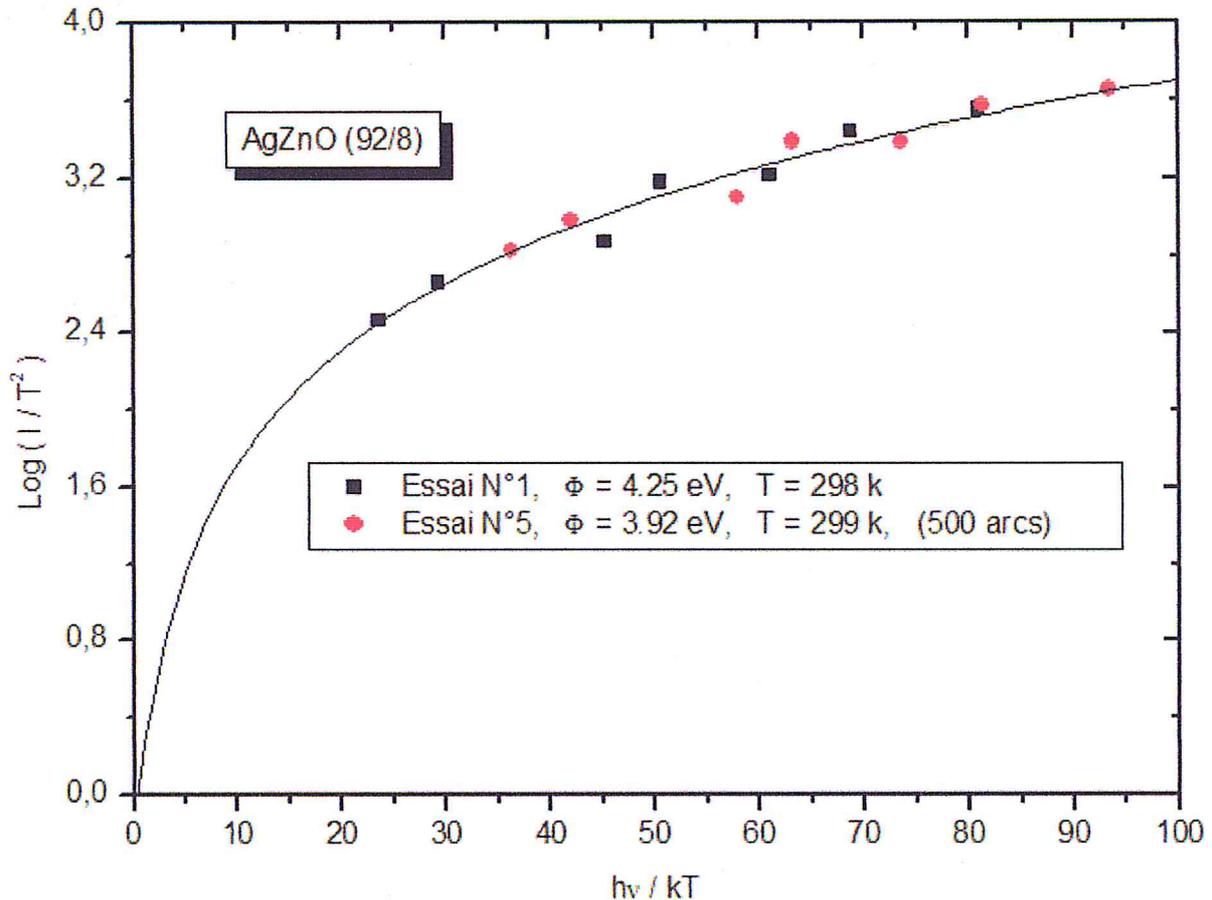
(b)

**Figure 3.7 :** Spectre d'analyse par EDX d'un contact vierge en Argent-oxyde de Zinc (92/8). Avant chauffage. Deux points situés dans différents endroits ont été analysés M.E.B. grossissement : (a) et (b) X3000.

### 3.5. Influence de l'arc électrique

Dans ce paragraphe, nous étudions la variation du travail de sortie d'un contact en AgZnO (92/8) ayant subi 500 arcs d'ouverture. Le travail de sortie des électrons de surface d'un contact en AgZnO (92/8) déterminé à température ambiante a été trouvé égal à  $\Phi = 4.25$  eV (figure 3.8). Après un conditionnement électromécanique par 500 arcs d'ouverture, le contact présente un travail de sortie de  $\Phi = 3.92$  eV (voir la figure 3.8).

Les résultats montrent une diminution du travail de sortie du pseudo-alliage AgZnO(92/8) conditionnée par 500 arcs d'ouverture de 4,25 eV à 3,92 eV.



**Figure 3.8 :** Comparaison de la courbe théorique de Fowler avec les mesures effectuées à  $T = 298 \text{ K}$ ,  $T = 299 \text{ K}$  et  $P = 1.4 \times 10^{-7} \text{ mbar}$ , pour un contact en argent d'oxyde de zinc  $\text{AgZnO (92/8)}$  conditionné par 500 arcs d'ouverture.

Dans l'ensemble, le travail de sortie de l'oxyde métallique est supérieur à celui du métal correspondant en raison de la variation du niveau de Fermi. Comme le métal est oxydé, il perd des électrons en faveur de l'oxygène, ce qui conduit au faible niveau de Fermi.

C'est le contact composite dont les oxydes métalliques agissent assez peu sur le plan de la stabilisation hydrodynamique du bain fondu créé par l'arc. En effet, on a observé sur différents contacts érodés par l'arc, des coulées du matériau composite fondu émanant du centre du contact

Au moment de l'ouverture du contacteur, lorsqu'un arc jaillit entre les contacts, l'explosion du pont métallique liquide projette dans l'espace sous forme de gouttelettes une première quantité de métal fondu tandis qu'une deuxième est volatilisée dans le plasma porté à haute température. Les surfaces en regard récupèrent, par dépôt et condensation, une partie de ce métal mais l'autre est irrémédiablement perdue. Les pseudo-alliages à base d'argent, présentent, en microgrammes par arc de coupure, des taux d'érosion réduits. Il semble que

cette propriété soit due à un effet mécanique du squelette d'oxyde qui stabilise les pieds d'arc et limite l'éjection des particules de métal en fusion.

Les propriétés physiques, la composition et la structure des matériaux de contacts, la forme et les dimensions des pastilles, l'intensité du champ magnétique de soufflage, les réallumages d'arcs, la catégorie d'emploi du contacteur et la valeur du courant coupé, etc... interviennent ensuite pour accroître ou diminuer l'usure.

# Conclusion générale

Ce travail est basé essentiellement sur une analyse des données des travaux de sortie des pseudo-alliages à base d'argent  $\text{AgZnO}$  (92/8), utilisés dans la fabrication des pastilles de contact pour les équipements électriques tels que les disjoncteurs et les contacteurs qui subissent de forts courants lors des fermetures et des ouvertures dans les circuits électriques.

L'analyse et l'interprétation des différentes données nous a permis d'affirmer que les changements d'état de la surface des pseudo-alliages utilisés conditionnent pour une bonne partie les performances des contacts en présence de l'arc électrique. La naissance du spot cathodique dépend du travail de sortie du matériau de contact.

La connaissance de la variation du travail de sortie de  $\text{AgZnO}$  permet de comprendre l'origine des phénomènes physiques présents, particulièrement l'évolution de la composition de la surface de travail de sortie en fonction des différentes conditions physiques. La variation du travail de sortie en fonction de la composition chimique reste l'un des objets de recherches actuelles.

Par ailleurs, nous avons mené une étude expérimentale sur des échantillons d'argent-oxyde de zinc. Ce travail consistait à faire subir des traitements thermiques à nos échantillons et à les observer et les analyser ensuite au microscope électronique à balayage. Malheureusement l'EDX du MEB du laboratoire FUNDAPL est tombé en panne au milieu de notre stage, ce qui nous a empêché de terminer nos investigations dont la finalité est de trouver une corrélation entre le travail de sortie des électrons du matériau de contact  $\text{AgZnO}$  (92/8) avec la composition et la microstructure de sa surface, titre de ce mémoire. Celles-ci seraient reprises au courant de l'année 2016-2017, une fois le MEB réparé.

D'une manière générale, des mesures sont encore nécessaires pour établir une relation exacte entre le travail de sortie d'une part, la composition chimique en surface, les propriétés d'évaporation et de diffusion, ainsi que la température d'autre part. La compréhension de ces caractéristiques devrait conduire au développement de nouveaux matériaux pour des contacts électriques ayant une plus grande durée de vie couplés avec de meilleures caractéristiques fondamentales (perte de masse à la cathode, énergie totale de l'arc, résistance de contact, ...) conduisant à des contacteurs électromagnétiques plus efficaces.

Enfin, la recherche de matériaux de contact de plus en plus performants pour des prix de plus en plus compétitifs font que les problèmes de comportement à l'usure des matériaux de contacts électriques sont plus que jamais d'actualité. Aussi, les recherches actuelles s'intéressent-elles aux pseudo-alliages à base d'argent ( $\text{AgCdO}$ ,  $\text{AgZnO}$ ,  $\text{AgSnO}_2$ , ...) dont les performances sont nettement meilleures sans que les industriels comprennent les raisons de cela.

# Bibliographie:

- [1] Prutton M. "Surface Physics", Oxford University Press, G.B. (1993).
- [2] DuBridge L. A., Phys. Rev. 39 (1932), 108–118.
- [3] Fowler R.H., Phys. Rev. 38, (1931), 45-56.
- [4] Akbi M., "Détermination photoélectrique du travail de sortie des matériaux de contact suivant leur utilisation industrielle ", Thèse de doctorat d'université N°570, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, (1993).
- [5] Akbi M., Lefort A., Journal of Physics D: Appl. Phys. 31, (1998), 1301-1308.
- [6] Akbi M., Bouchou A., Ferhat-Taleb M., Vacuum 101 (2014), 257 - 266.
- [7] Akbi M., Bouchou A., Zouache N., Appl. Surf. Sci. 303 (2014), 131-139.
- [8] Akbi M., "A Method for Measuring the Photoelectric Work Function of Contact Materials Versus temperature", accepted, IEEE Transactions on Compon. Packag., Manuf. Technol., (2014).
- [10] Bouharkat K., "Utilisation des alliages monotectiques dans l'élaboration des contacts électriques", Thèse de magister, Université de Batna, (2007).
- [11] Vacquié S., "L'arc électrique ", Techniques d'ingénieur, d324, (1980).
- [12] Théoleyre S., "Techniques de coupure en moyenne tension ", Techniques d'ingénieur, d4705, (2013).
- [13] Baudoin F., "Contribution à la modélisation d'un arc électrique dans les appareils de coupure basse tension", Thèse de doctorat d'université N°1517, Université Blaise Pascal–Clermont II, (2004).
- [14] Frantsevich.I.N, Contacts Électriques Produits Par Des Méthodes De Powder Metallurgy
- [15] "Contacts et pièces de connexion versez le électrique de la technique de l'énergie " Schunk train et la technologie industrielle Ltd, Allemagne, [www.schunk-group.com](http://www.schunk-group.com) .
- [16] Viccaro E., « pratique de la microscopie électronique à balayage », les éditions de physique, A1 (1985).
- [17] Leung Chi, Bergemann Thorsten, Bourda Christine, ."An evaluation of Ag/W and Ag/Metal Oxide arcing contact combinations for circuit breaker applications." ( 27th International Conference on Electrical Contacts, June 22 – 26, 2014), 26-26.

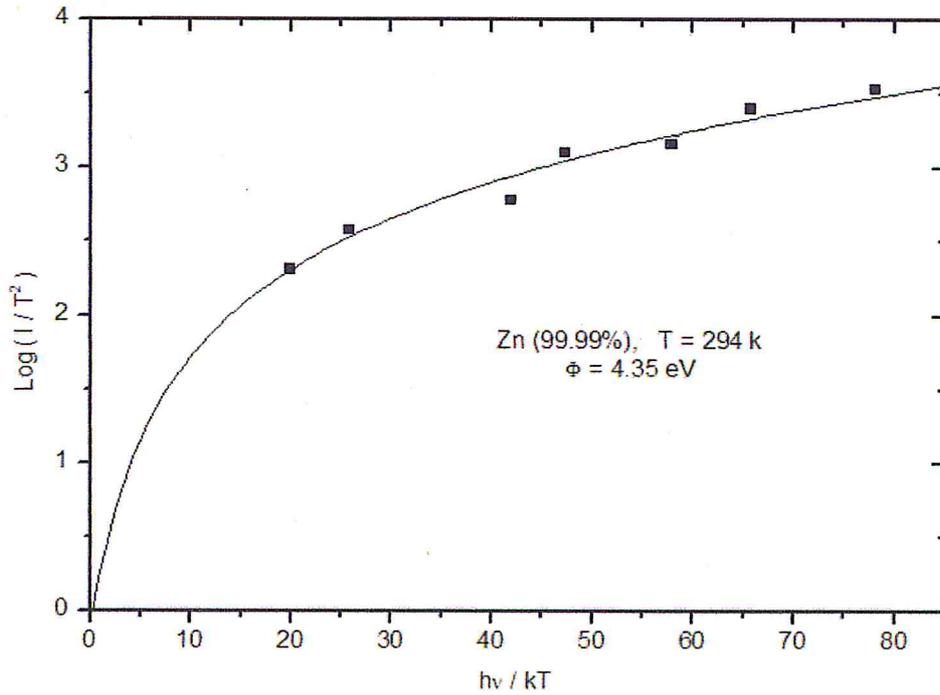
- [18] Wang JQ. .,"Study on the Behavior of Silver-Rare Earth Oxide Contact Material". Rare Metal Materials and Engineering. Jun 2001, No.3, 205- 207
- [19] Wang Jingqin, Wang Haitao, Wen Ming, Zhu Yancai .,"Testing results analysis of contact materials electrical contact performance.". Journal of Zhenjiang University SCIENCE A.Vol.8, No.3, Mar, 459-463
- [20] Wang Haitao,Wang Jingqin,Zhu Yancai et al.,"Study on Electrical Performance Testing for the Rare Earth Alloy Contact Material for Low Voltage Electrical Apparatus[J] .". Low Voltage Electrical Apparatus. 2006, No.10,3-5
- [21] Lei Jingxuan, Ma Xueming, Yu Haifeng .," Progresses in Preparation of Electrical Contact Materials by Mechanical Alloying.". Journal of Materials Science and Engineering. 2002, No.3, 457-460
- [22] Wang Baozhu, Wang Jingqin, Lu Yushen et al .,"Influences of Additives Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Microstructure of AgSnO<sub>2</sub> Contact material.". Electrical Engineering Materials. 2000, No.3, 7-10
- [23] Sato M., Hijikata M., JIM Trans, 23(5) (1982) 267.
- [24] Wingert P.C., Leung C.H., IEEE Trans CHMT, 12(1) (1989) 16.
- [25] Pandey.A., Verma P., Pandey O.P., Indian J. Eng. Mater. Sci., 15 (2008) 236.
- [26] M. Braunović, N.K. Myshkin, V.V. Konchits, Electrical contacts: Fundamentals, Applications and Technology, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2007.
- [27] Shen Y.S., Lattari P., Gardner J., Wiegard H., ASM Handbook, Powder Metal Tehnologies and Applications, 1998, 7, 1025
- [28] Holm R., Electrical Contacts: Theory and Applications, Springer, 4th Ed., 1999.
- [29] Zheng Ji, Songlin LI, Fyqi DOU, Tonghui LI, Rare Metals, 28(1) (2009) 19.
- [30] K. Wojtasik, W. Missol, Metal Powder Report, 59 (7) (2004), 34-35.
- [31] Lungu M., Gavriiliu,S. Canta T., Lucaci M., Enescu E., J Opto electron Adv M, 8 (2006), 576-578.
- [32] Wang Y., Zhang F., Qi, L. L.Z.. , L.C Wang. Cheng, Key Eng. Mat., 280-283 (2005) 1917-1918.
- [33] Joshi P.B., Rao V.J., Rehani B.R., Pratap A., Indian J “ Silver-Zinc oxide electrical contact materials by mechanochemical synthesis route ”,. Pure. Appl. Phys. 45 (2007), 9-10.

# ANNEXE

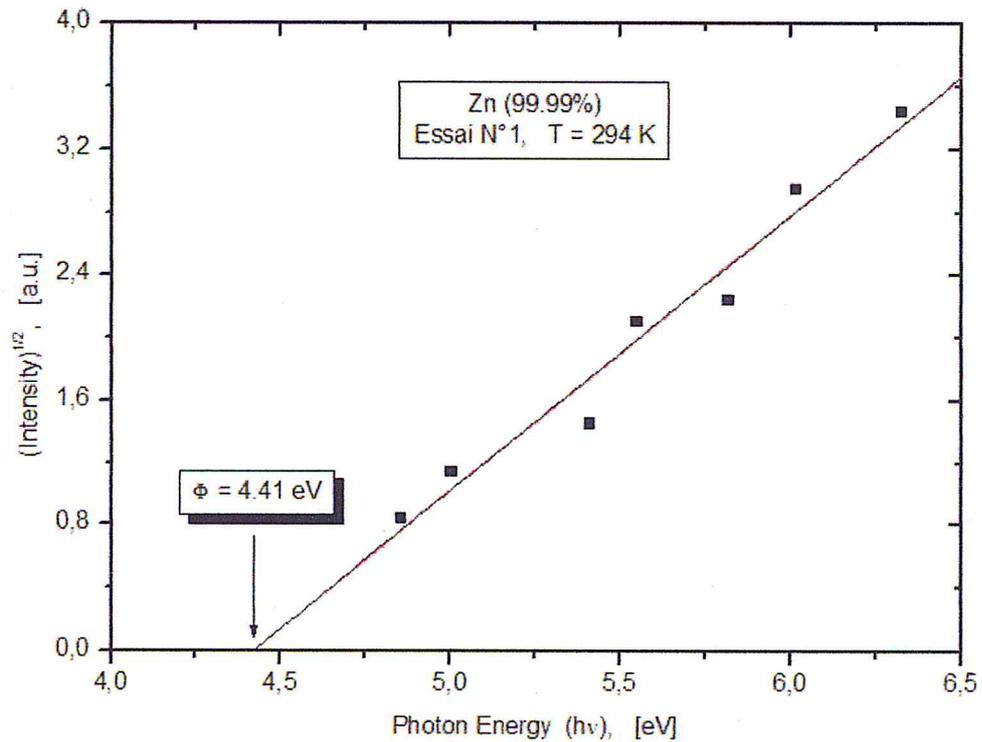
Echantillon : Zn pur (99.99%)

Essai N°1, Température de mesure :  $T = 294 \text{ K}$

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



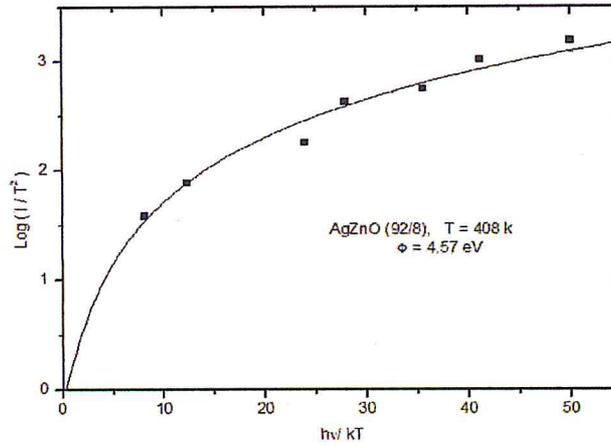
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler



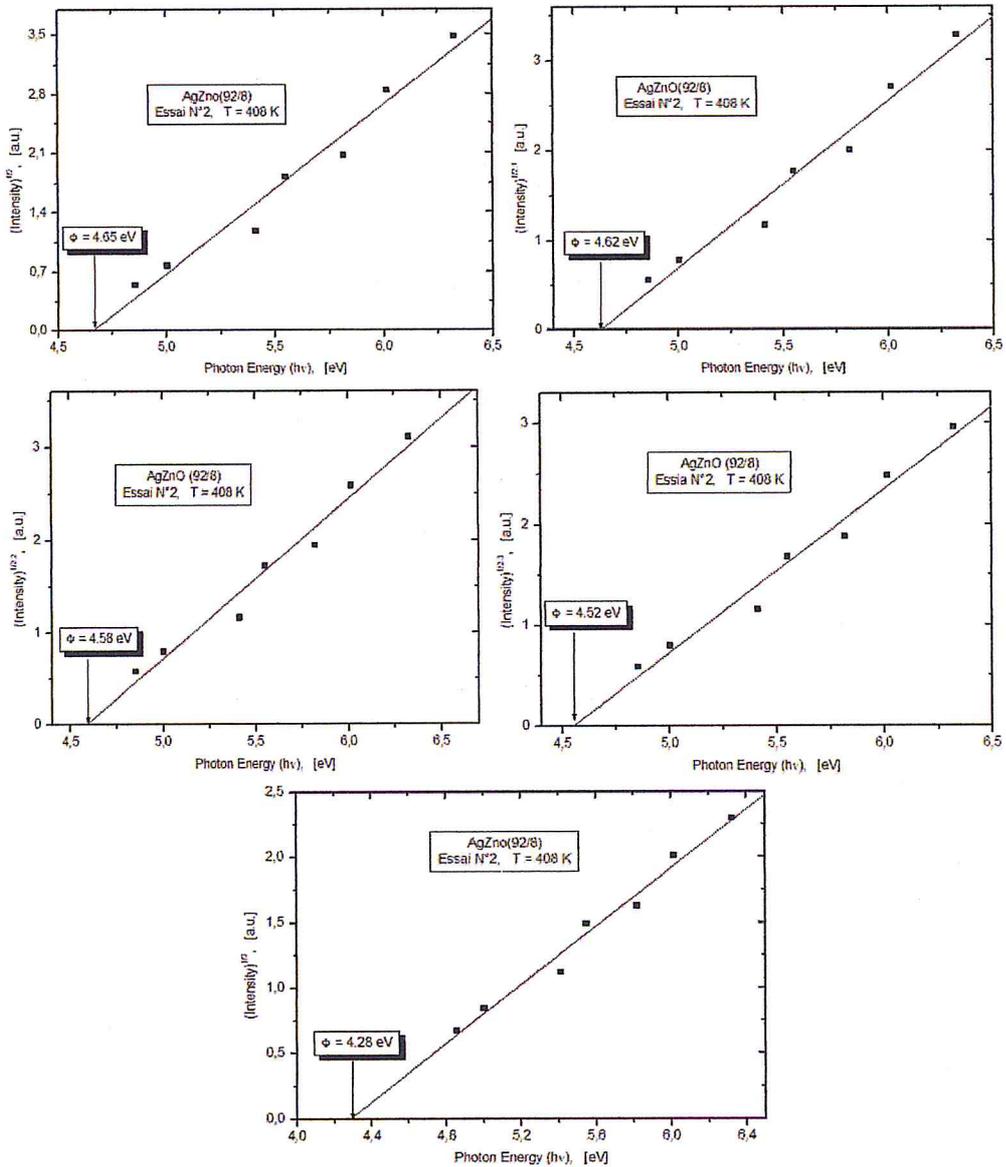
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°2, Température de mesure : T = 408 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler

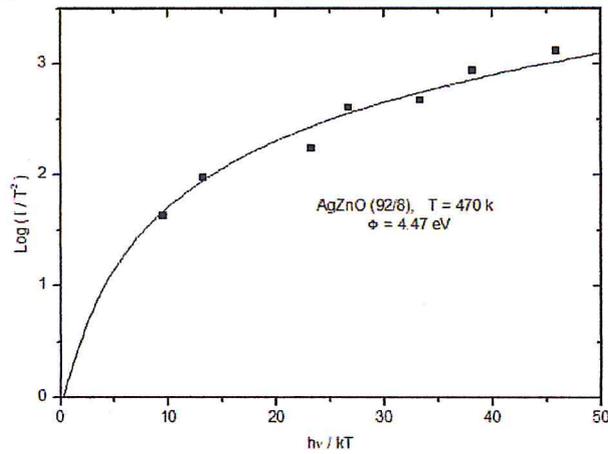


## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}$ , $(I)^{1/2.1}$ , $(I)^{1/2.2}$ , $(I)^{1/2.3}$ , $(I)^{1/3}$ .

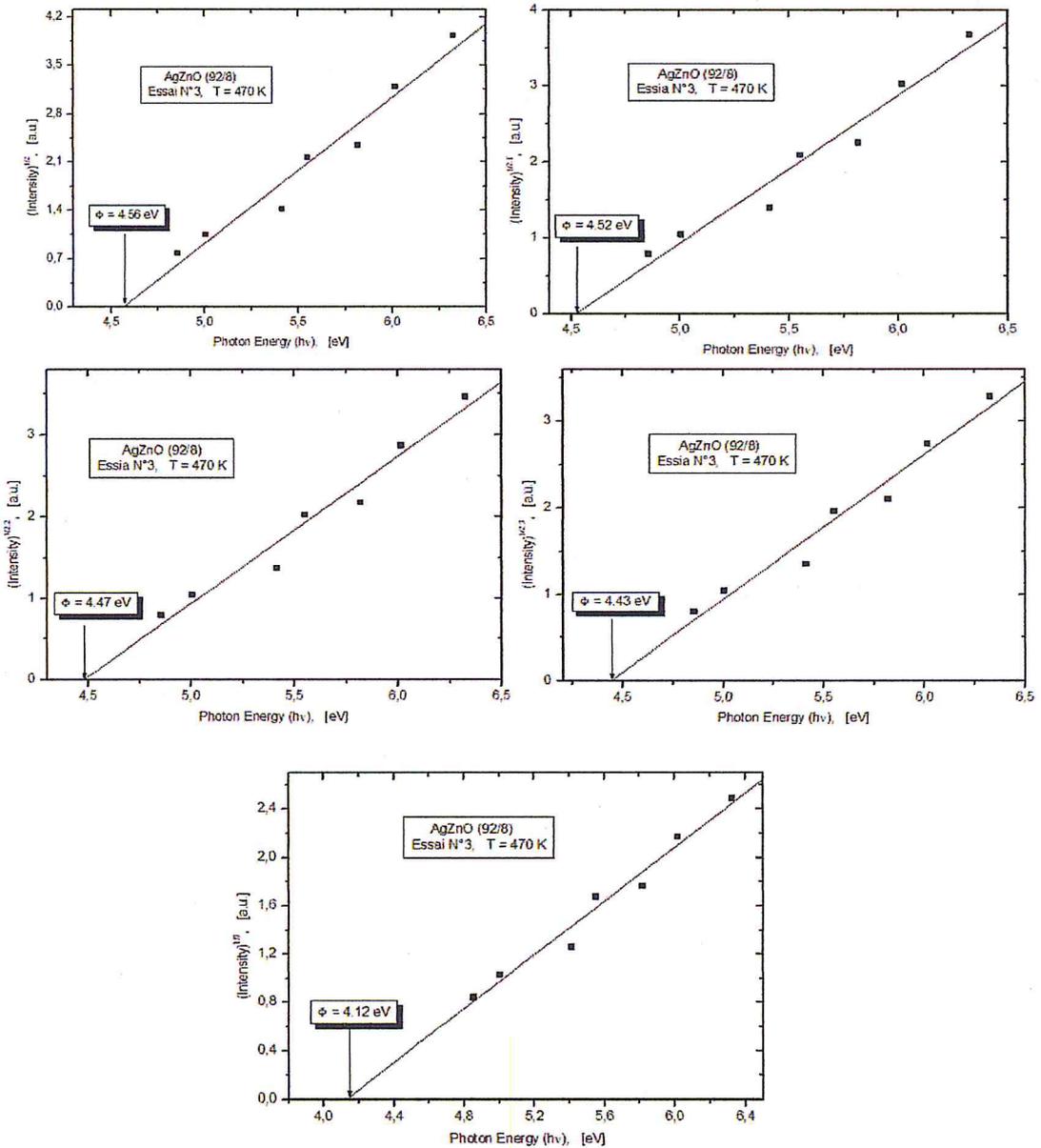


**Echantillon A : AgZnO (92/8)**  
 Essai N°3, Température de mesure : T = 407 K

**I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler**



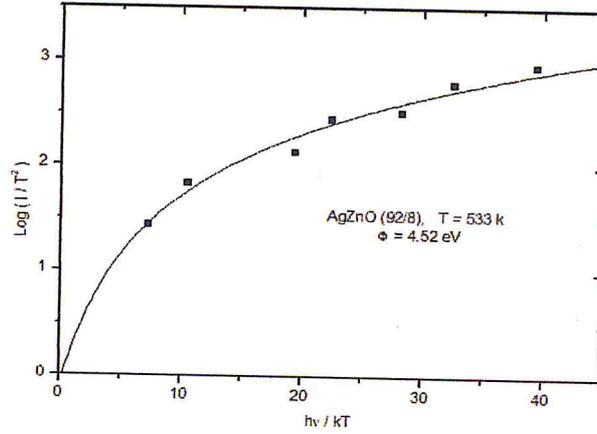
**II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler  $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .**



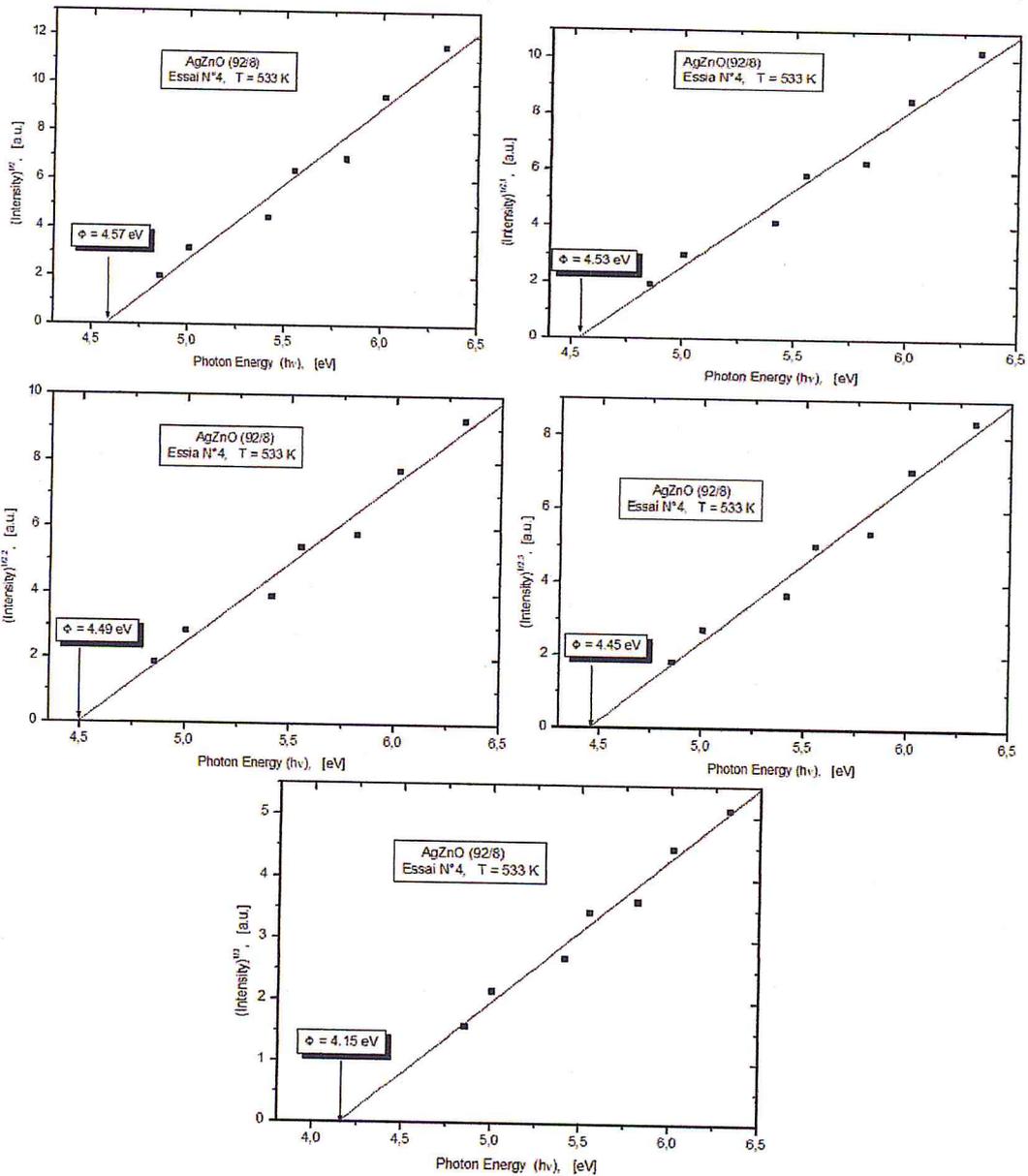
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°4, Température de mesure : T = 533 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



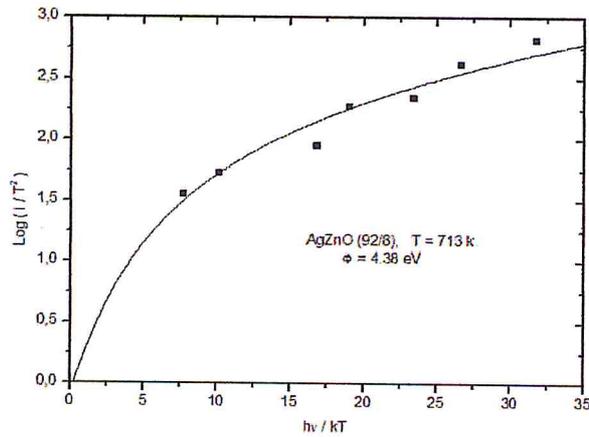
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



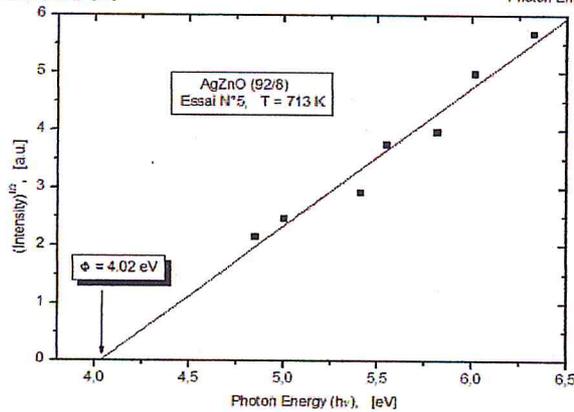
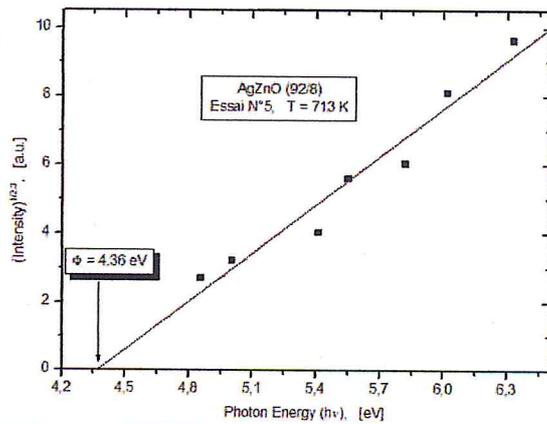
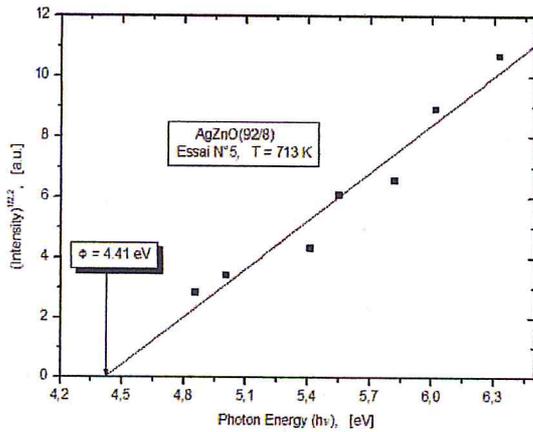
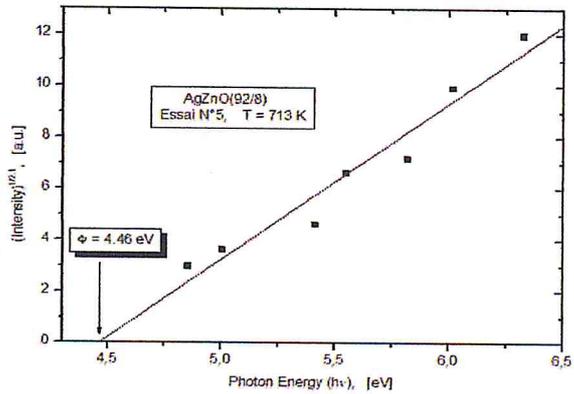
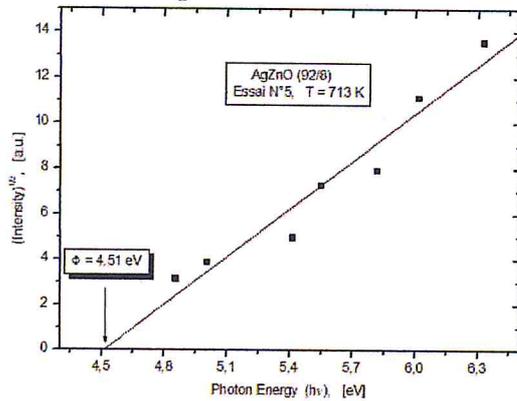
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°5, Température de mesure : T = 713 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



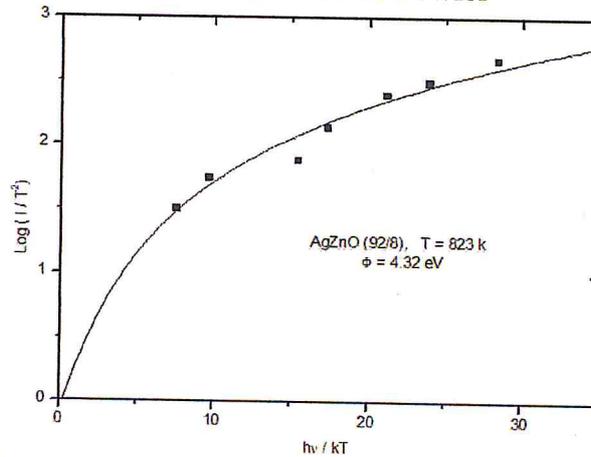
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



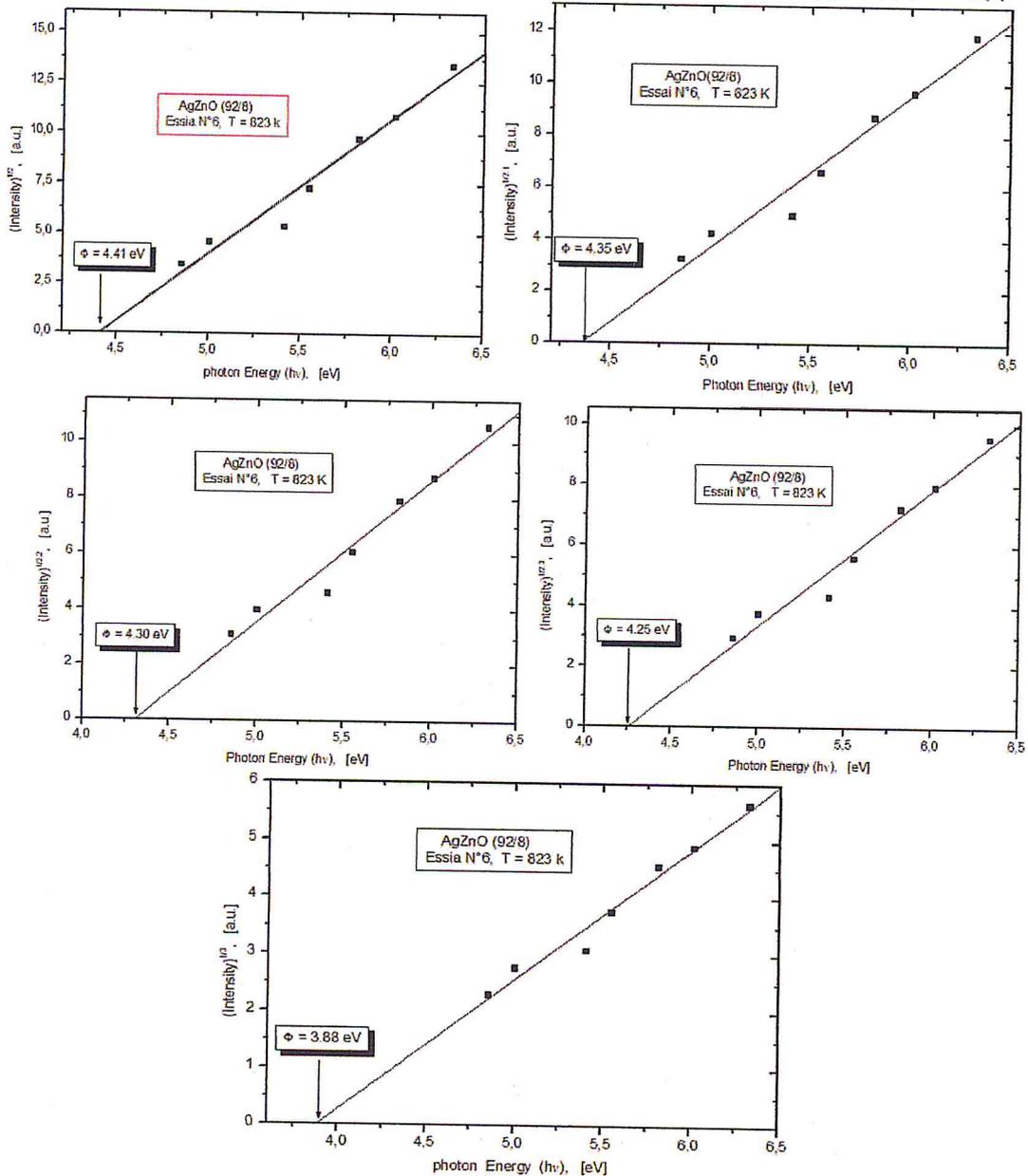
## Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°6, Température de mesure : T = 823 K

### I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



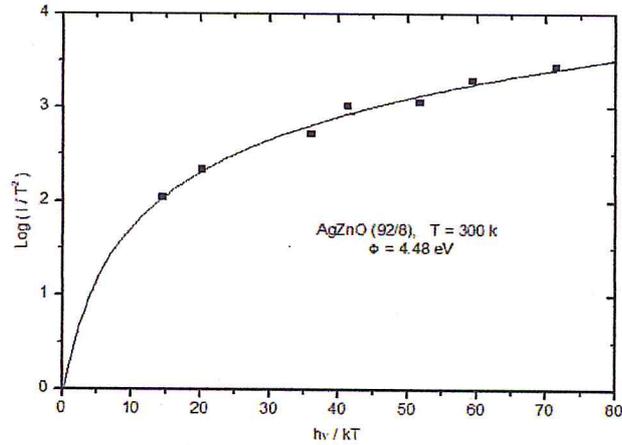
### II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$



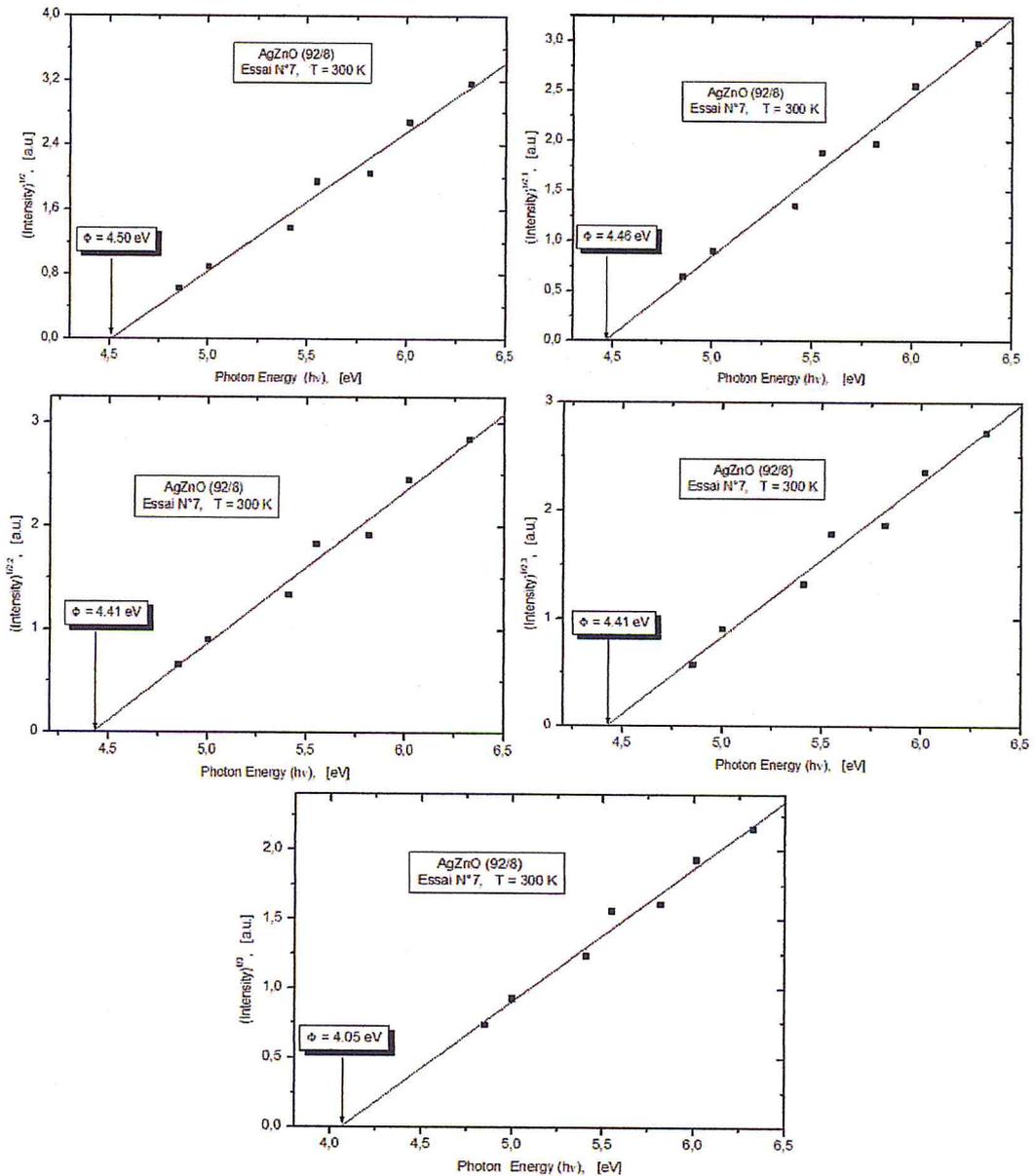
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°7 , Température de mesure : T = 300 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



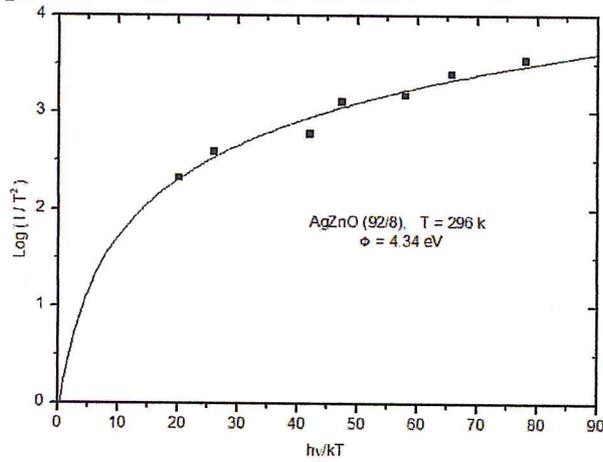
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



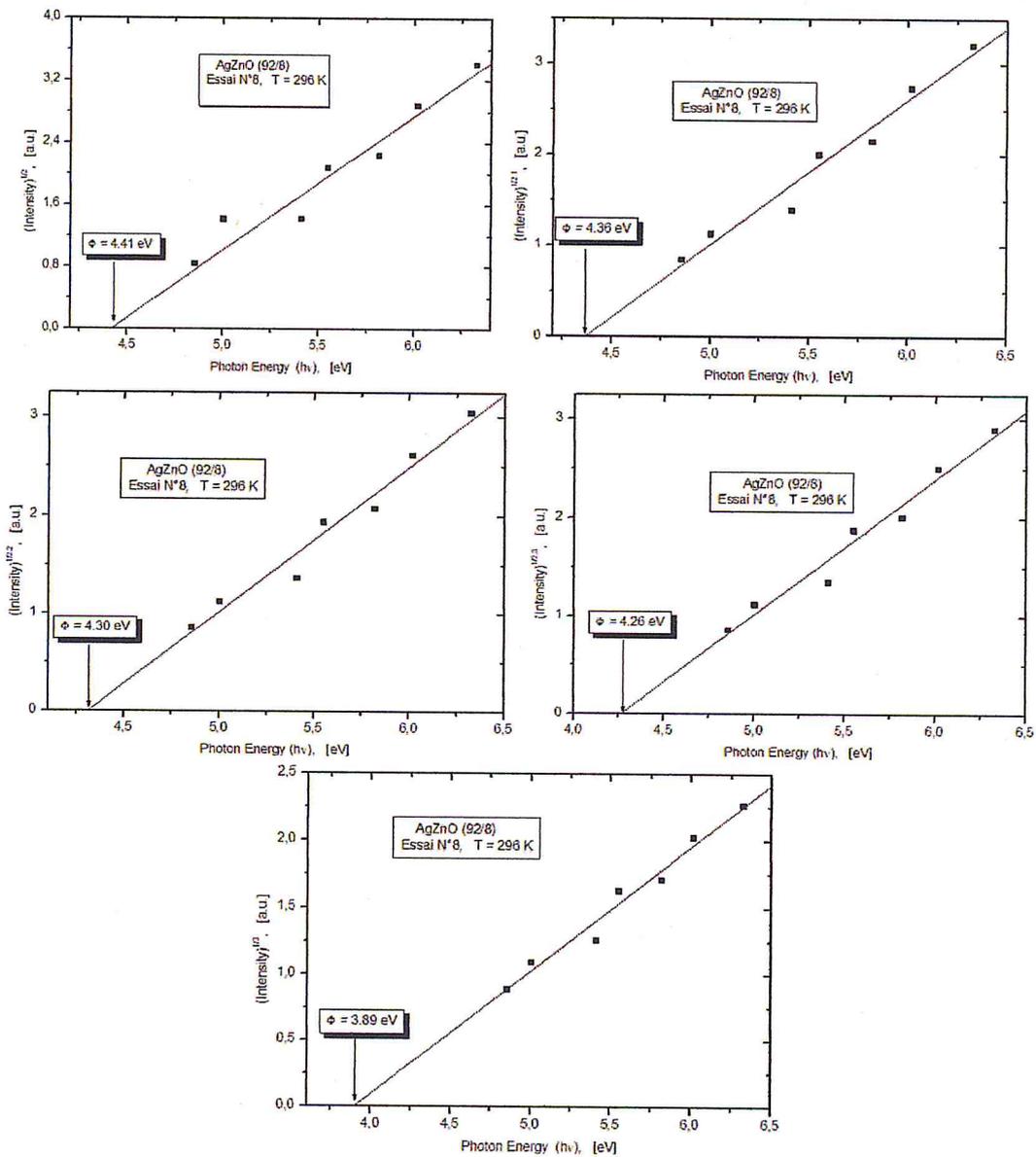
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°8, Température de mesure : T = 296 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



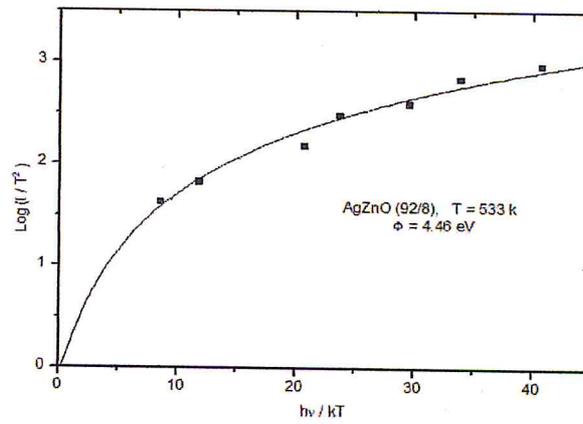
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



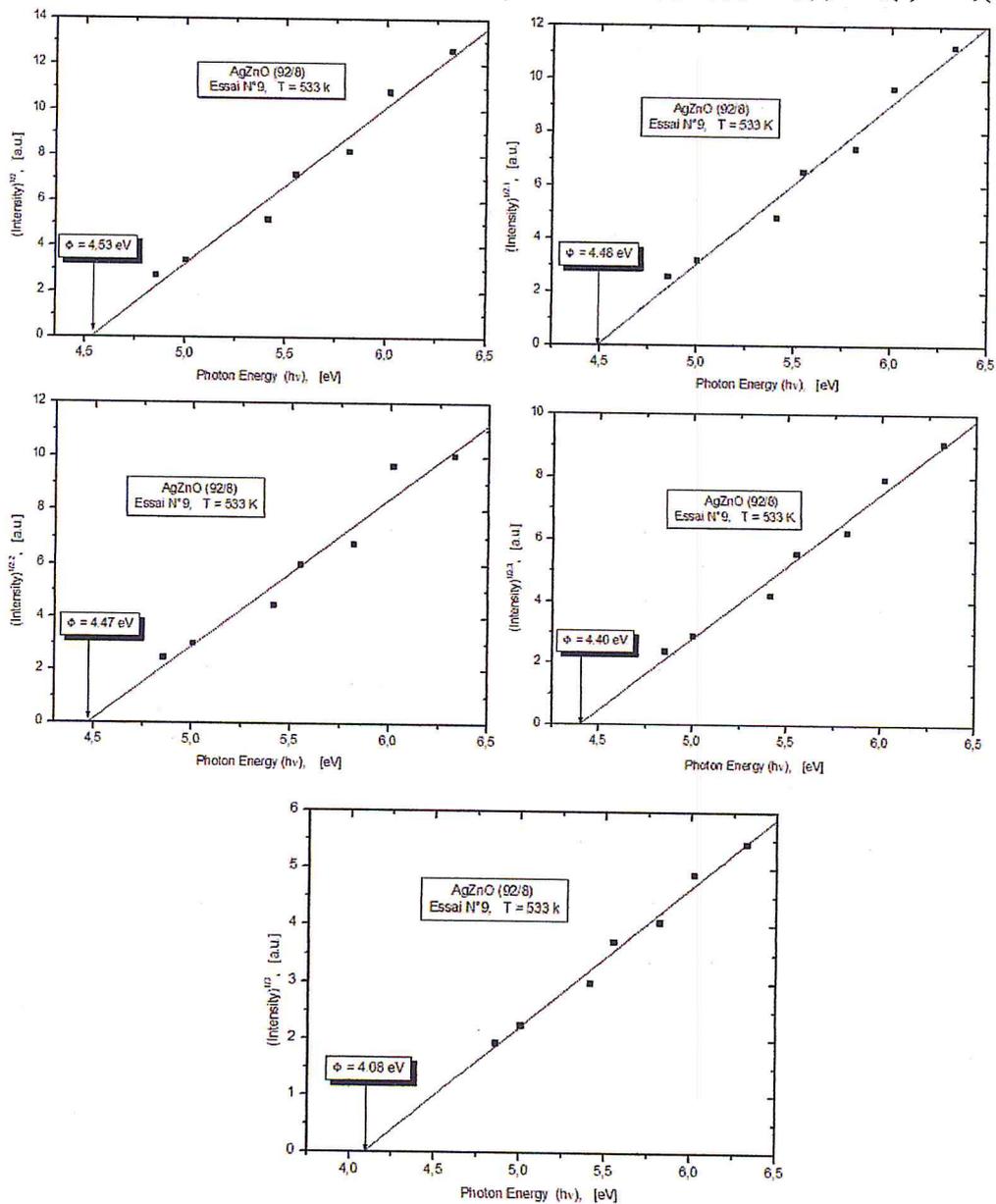
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°9 , Température de mesure : T = 533 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



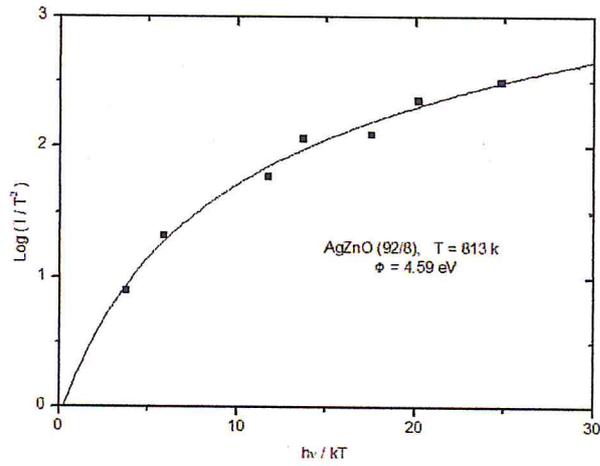
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



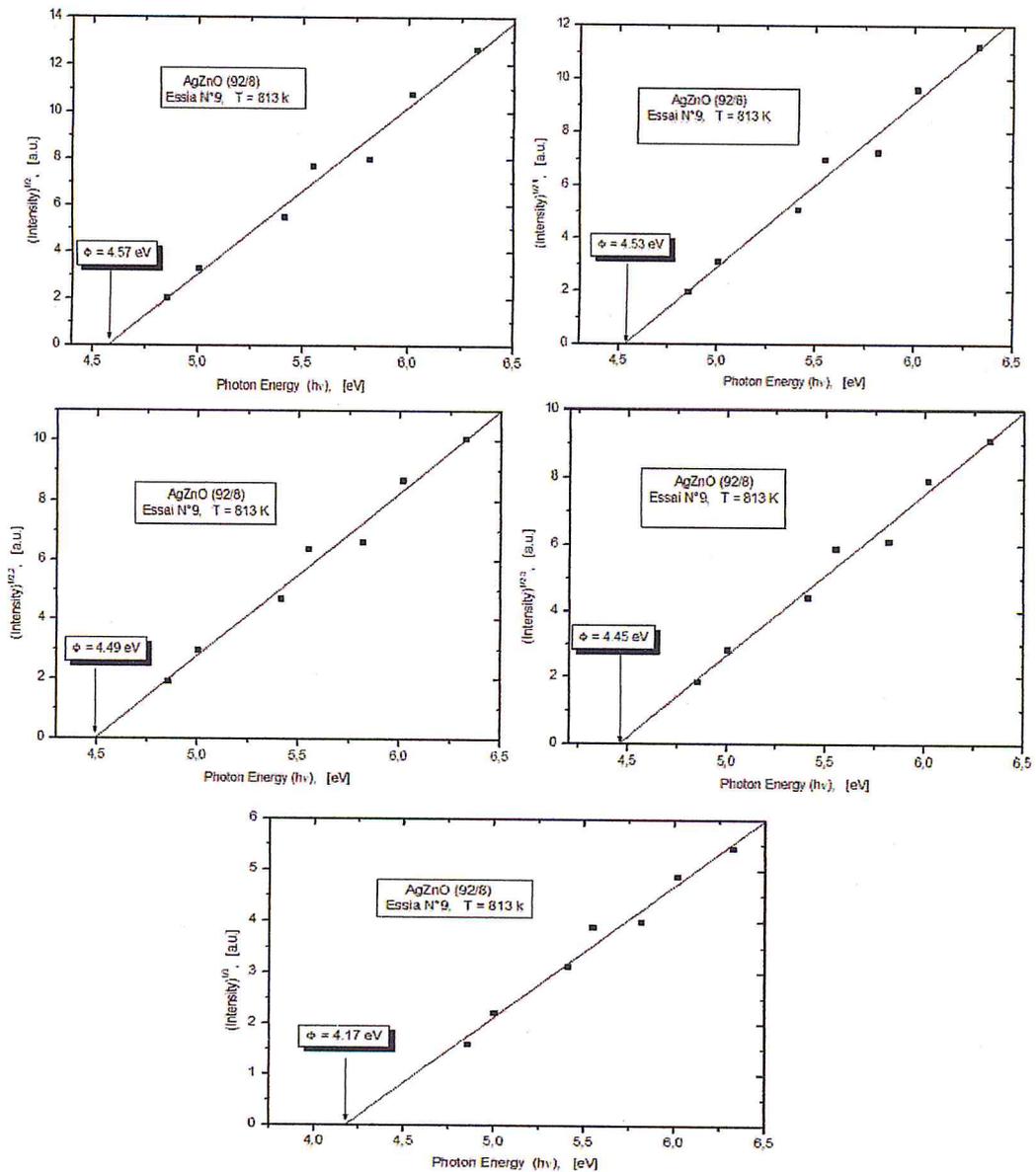
# Echantillon A : AgZnO (92/8)

Essai N°9, Température de mesure : T = 813 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



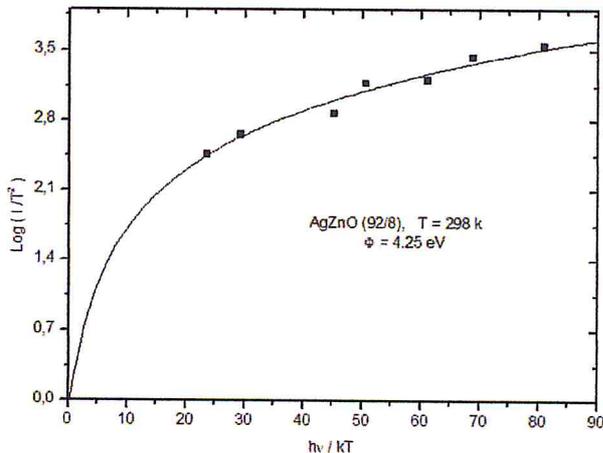
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



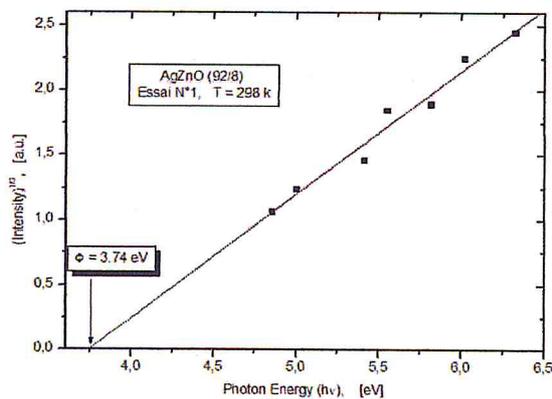
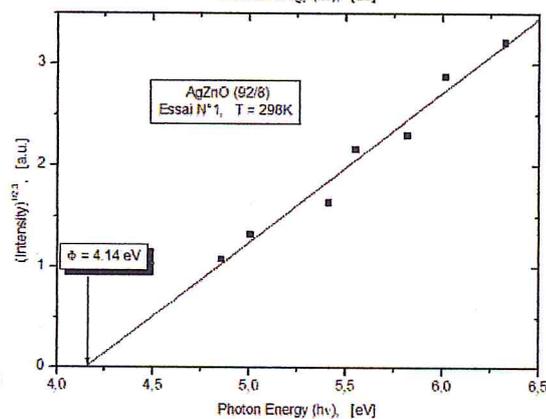
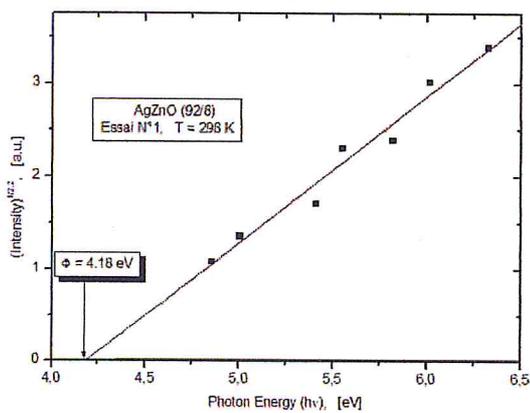
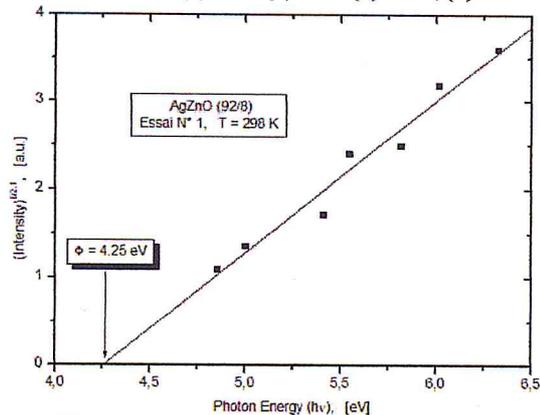
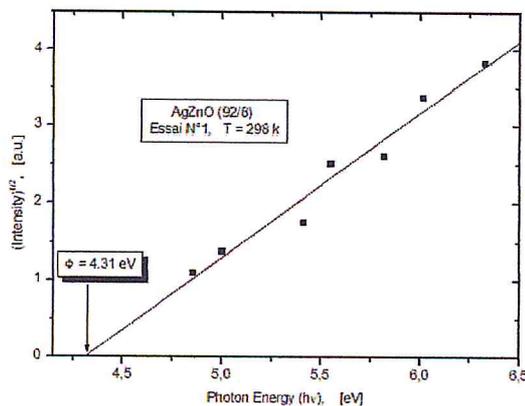
# Echantillon B : AgZnO (92/8)

Essai N°1, Température de mesure : T = 298 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



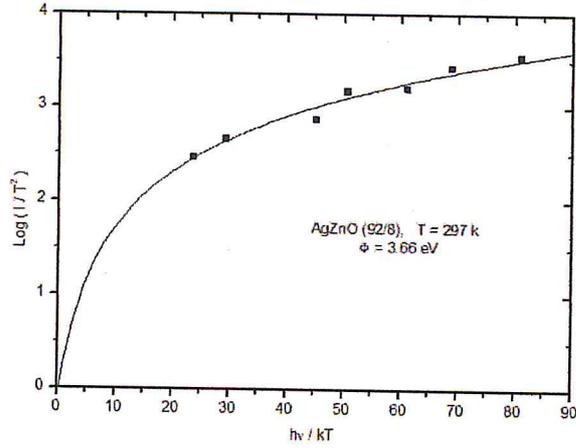
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



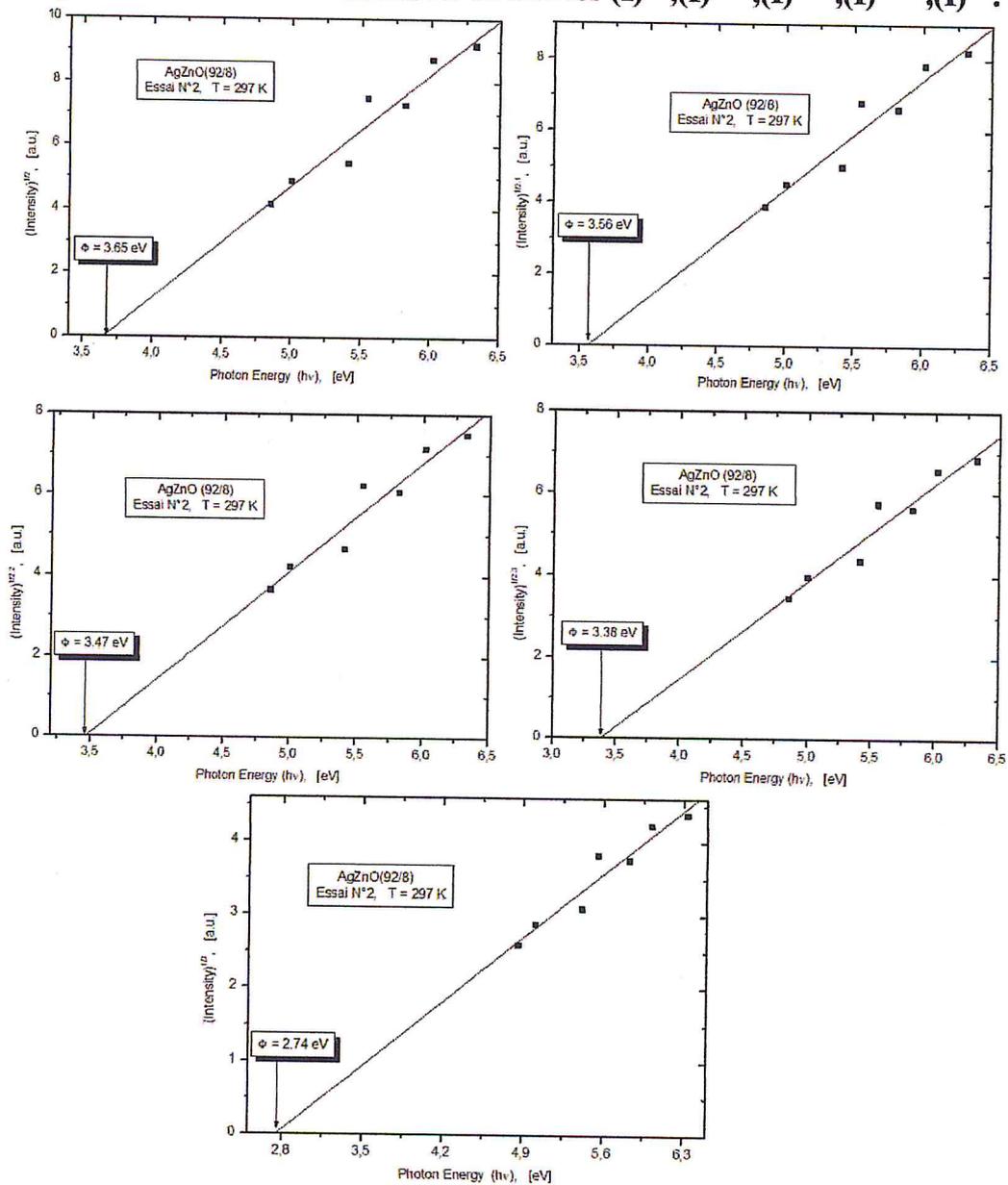
## Echantillon B : AgZnO (92/8)

Essai N°2, Température de mesure : T = 297 K

### I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



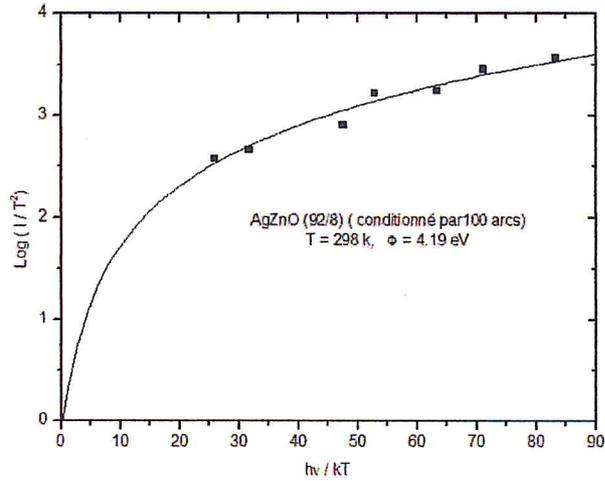
### II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}$ , $(I)^{1/2.1}$ , $(I)^{1/2.2}$ , $(I)^{1/2.3}$ , $(I)^{1/3}$ .



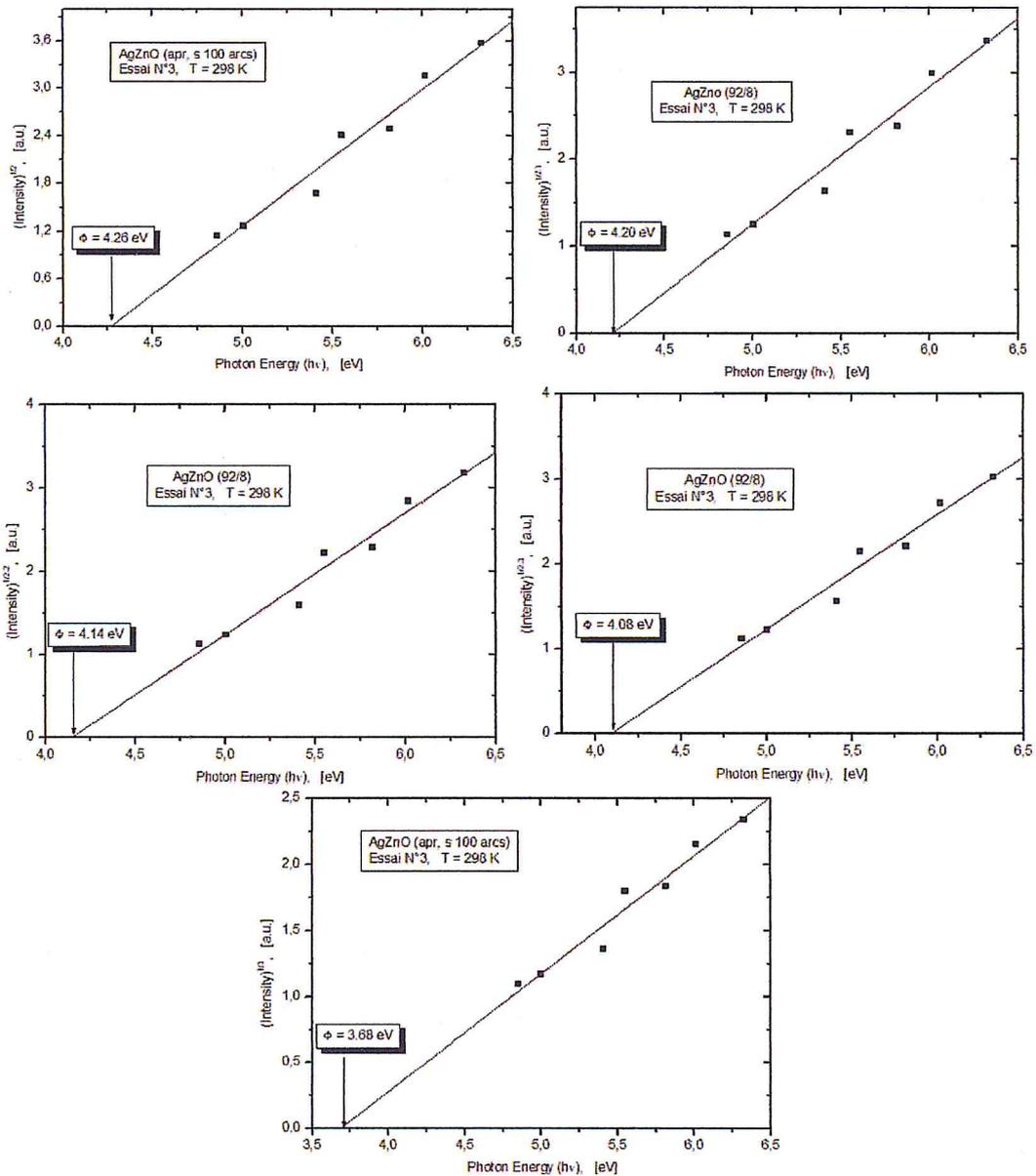
## Echantillon B : AgZnO (92/8)

Essai N°3, Température de mesure : T = 298 K

### I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



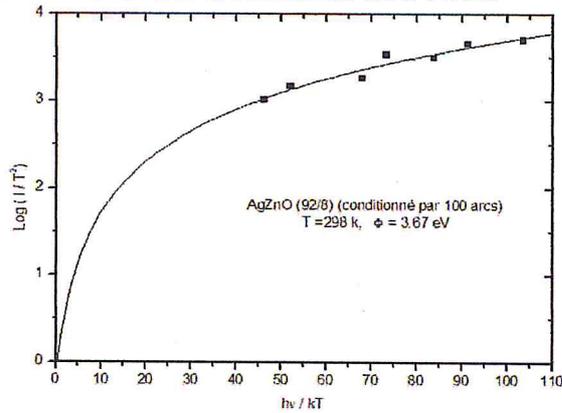
### II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}$ , $(I)^{1/2.1}$ , $(I)^{1/2.2}$ , $(I)^{1/2.3}$ , $(I)^{1/3}$ .



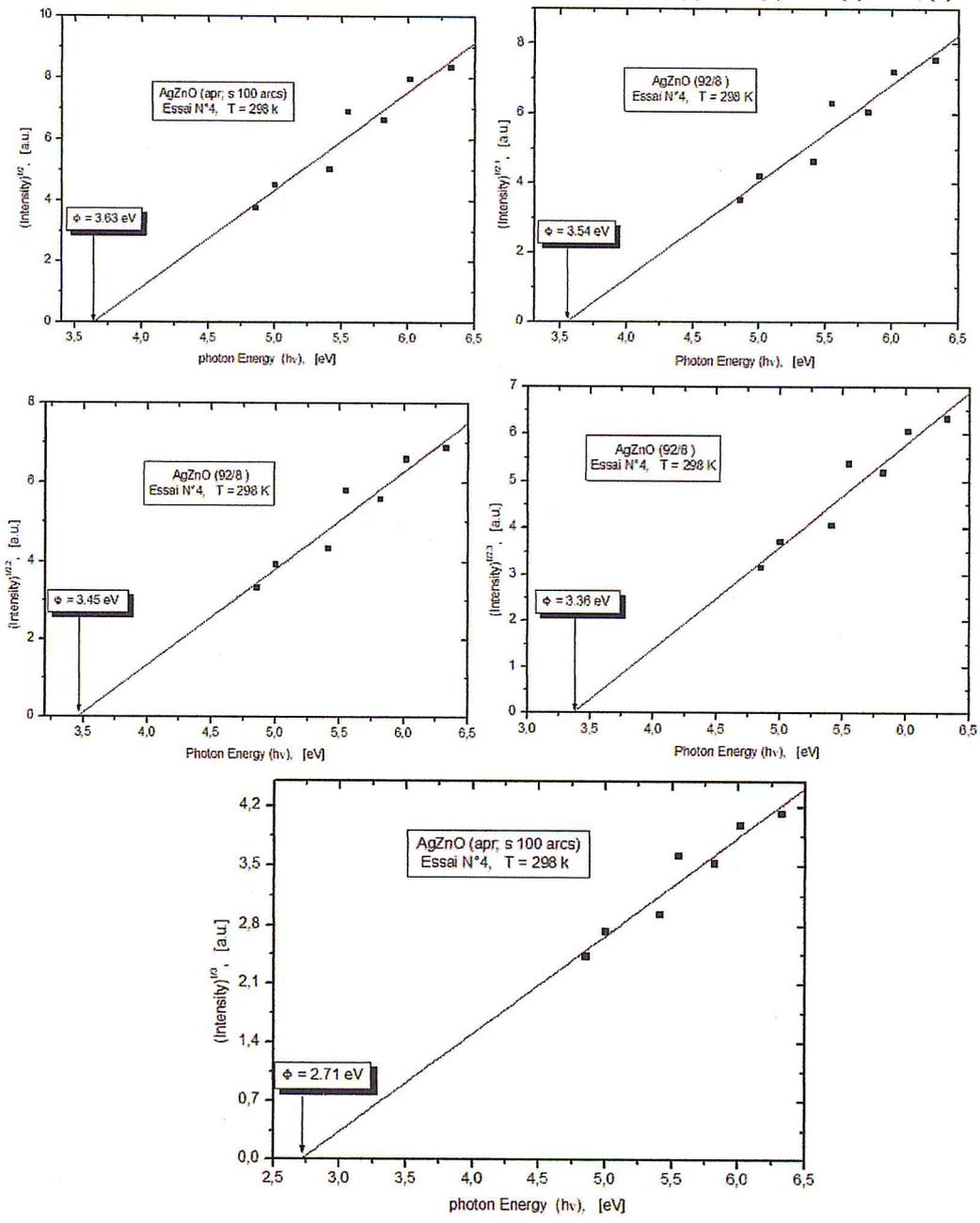
**Echantillon B : AgZnO (92/8), (100arcs)**

Essai N°4, Température de mesure : T = 298 K

**I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler**



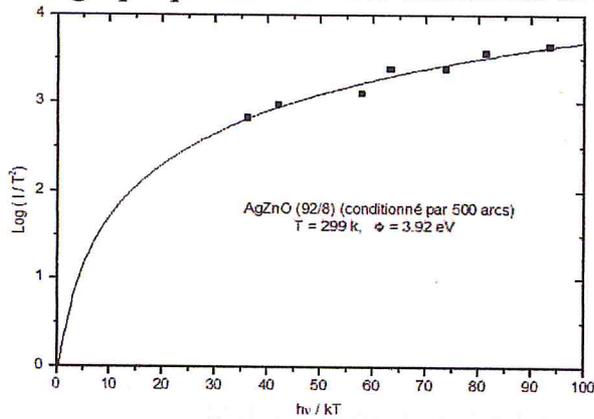
**II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler  $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .**



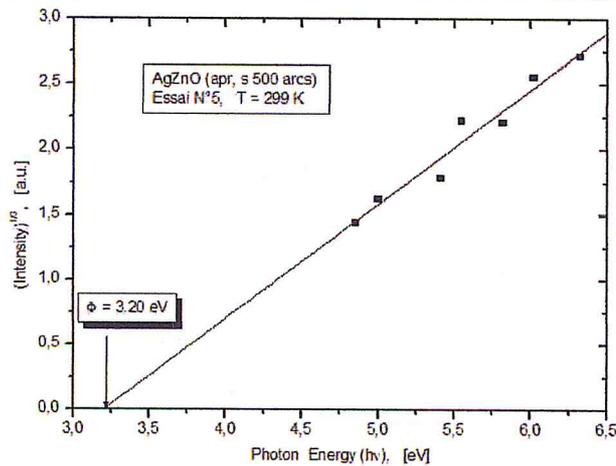
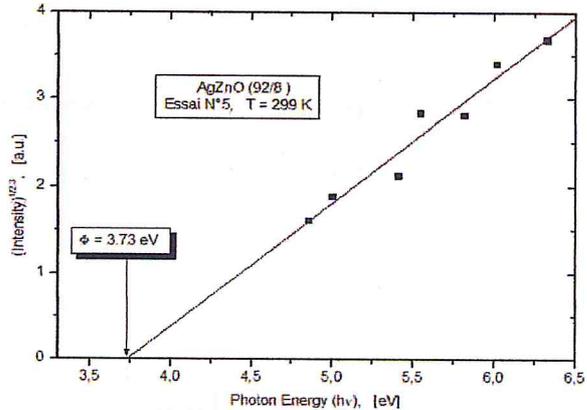
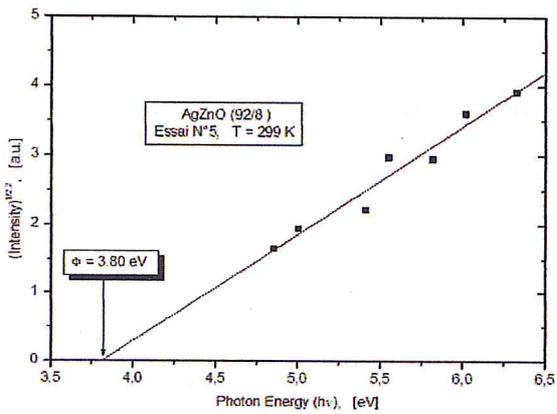
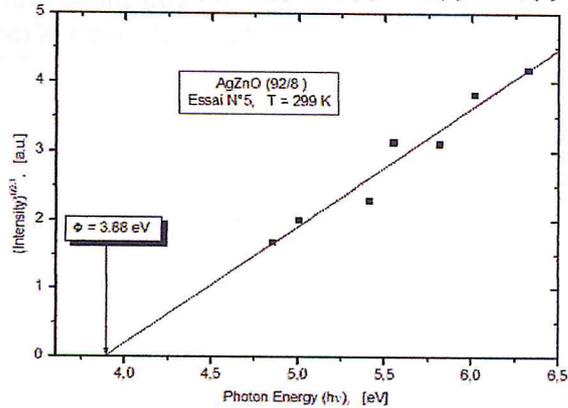
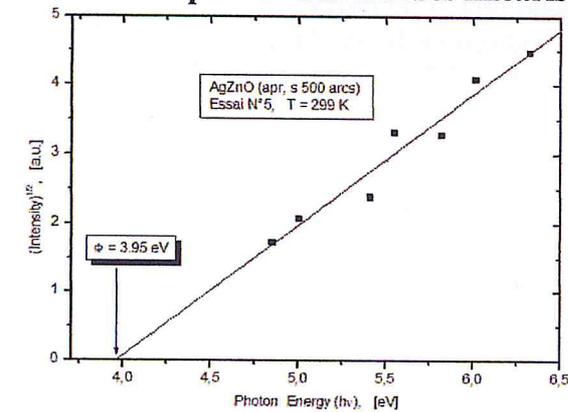
# Echantillon B : AgZnO(92/8),(500arcs)

Essai N°5, Température de mesure : T = 299 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



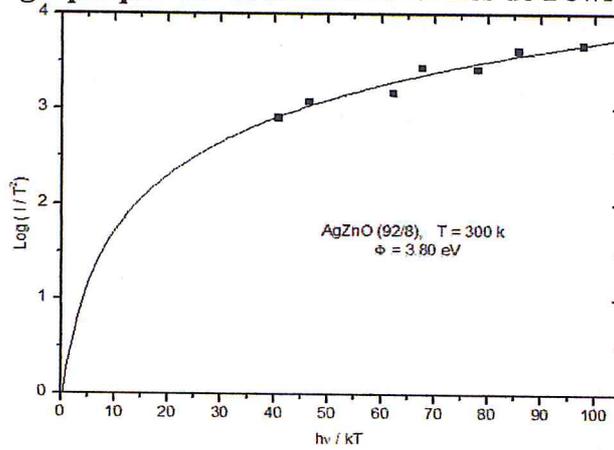
## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



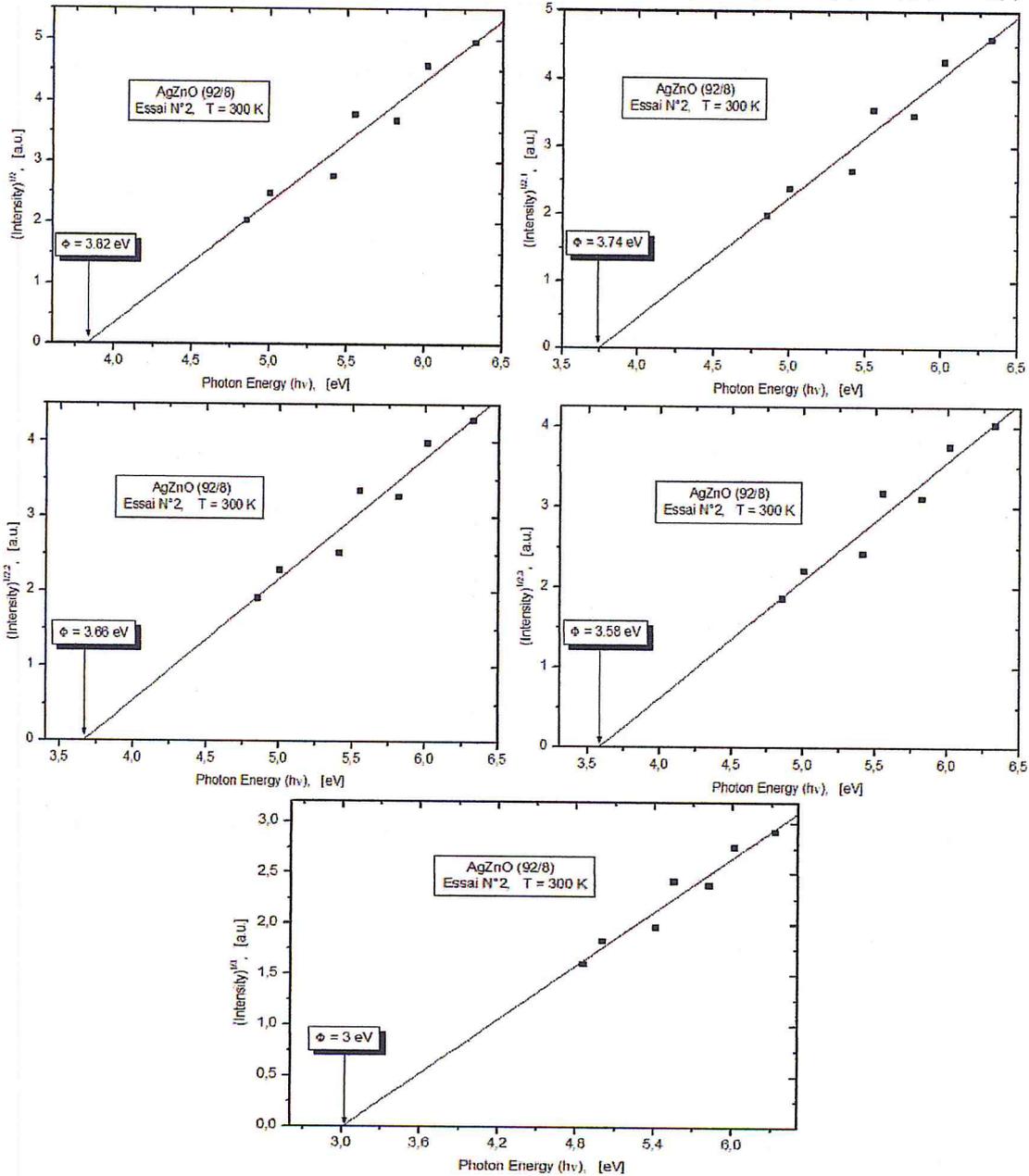
## Echantillon C : AgZnO (92/8)

Essai N°2, Température de mesure : T = 300 K

### I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



### II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}, (I)^{1/2.1}, (I)^{1/2.2}, (I)^{1/2.3}, (I)^{1/3}$ .



## ملخص

لاختيار مواد التلامس الكهربائية يجب ان نأخذ في عين الاعتبار مشاكل التي تحدث اثناء عمليات الفتح والإغلاق او اثناء مرور التيار الكهربائي . لذلك قمنا بدراسة دالة الشغل لمواد التلامس الكهربائية الفضة لأكسيد الزنك

يتمحور عملنا حول تأثير الحرارة علي دالة الشغل و سطح (تشكل , مكونات) مواد التلامس الكهربائية

لقد تام تسخين عينة في درجة حرارة مختلفة (200 و 400 درجة مئوية) مدة ساعة كاملة ومشاهدة مكونات وشكل السطح قبل تسخين وبعده باستعمال جهاز المجهر الإلكتروني الماسح .

بعد المعالجة الحرارية تغيرت دالة الشغل لمواد التلامس الكهربائية الفضة لأكسيد الزنك بسبب تغير حالة السطح ( التبخر وانشور ذرات الفضة و زنك). ويرجع ذلك إلى وقت طويل نسبيا للتسخين. ومنه دالة الشغل لمواد التلامس الكهربائية الفضة لأكسيد الزنك حساسة جدا لحالة السطح .

وبسبب العطل الذي اصاب جهاز المجهر الإلكتروني الماسح لم يسمح لنا نصل الي النتائج المراد الوصول اليها .

## Résumé :

Pour la sélection des matériaux des contacts électriques, on doit tenir compte des problèmes qui se produisent lors de l'ouverture et de fermeture ou pendant le passage du courant électrique. Donc, nous avons étudié la variation du travail sortie des matériaux contacts électriques argent-oxyde de zinc  $AgZnO$  (92/8).

Nous avons étudié les variations du travail de sortie d'un pseudo- alliage métallique polycristallin, à base d'argent,  $AgZnO$ (92/8) en fonction des traitements thermiques de la surface. Pour cela, nous avons chauffé l'échantillon à des températures différentes (200 à 400 ° C) pendant une heure et nous avons par la suite effectué des observations au microscope électronique à balayage afin d'observer l'évolution de la morphologie et de la composition de la surface du contact.

Le travail de sortie des contacts électriques  $AgZnO$  (92/8) est très sensible à l'état de surface qui change radicalement après la vaporisation et la diffusion des atomes Ag et Zn.

Nous n'avons pas pu effectuer les microanalyses de nos échantillons en raison de la panne survenue à l'EDX. C'est la raison pour laquelle, nous n'avons pas pu atteindre les objectifs fixés par notre promoteur.

## Abstract :

For the selection of materials for electrical contacts, one must consider the problems that occur when opening and closing or during the passage of electric current. So we studied the variation of work output electrical contacts materials zinc oxide silver  $AgZnO$  (92/8).

We studied the changes in the output work of a pseudo polycrystalline metal alloy, silver-based,  $AgZnO$  (92/8) according to the thermal treatment of the surface. For this, we heated the sample at different temperatures (200-400 ° C) for one hour and we subsequently made observations with a scanning electron microscope to observe the evolution of morphology and composition of the contact surface.

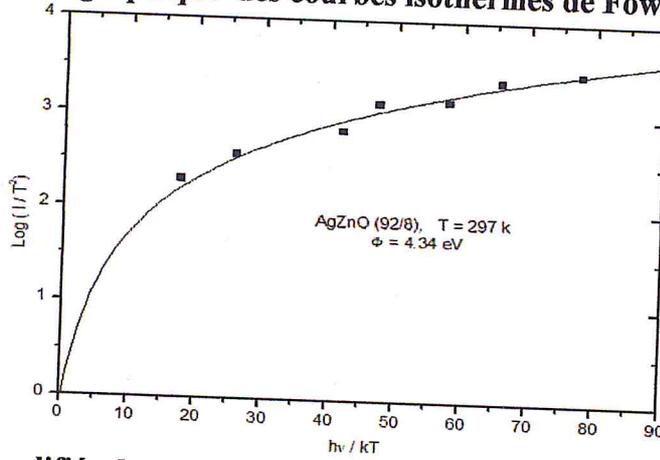
The work function of  $AgZnO$  electrical contacts (92/8) is very sensitive to changing surface conditions drastically after the vaporization and diffusion of Ag and Zn atoms.

We did not perform the microanalysis of our samples due to the outage at EDX. That's why we could not achieve the goals set by our sponsor.

# Echantillon C : AgZnO (92/8)

Essai N°3, Température de mesure : T = 297 K

## I. Méthode graphique des courbes isothermes de Fowler



## II. Méthode simplifiée des courbes linéarisées de Fowler $(I)^{1/2}$ , $(I)^{1/2.1}$ , $(I)^{1/2.2}$ , $(I)^{1/2.3}$ , $(I)^{1/3}$ .

