

ETUDE DES TRANSFORMATIONS THERMIQUES ET DES PROPRIETES ELECTRIQUES DES VERRES DU SYSTEME $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$ ($0 < x < 1$) EN FONCTION DE LA COMPOSITION.

Ambroise Diby*, Gabrielle Kra, Dénise Houphouet-Boigny

Laboratoire de Chimie des Matériaux Inorganiques, UFR Sciences des Structures de la Matière et Technologie, Université de COCODY
22 B P 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire).

(Reçu le 11/08/2006 – Accepté après corrections le 07/08/2007)

Summary : Glasses of $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$ system has been prepared by cooling homogenous liquid phases obtained from silver (Ag), germanium (Ge) and tellurium (Te).

The glass former region of this system has been determined by X-ray powder diffraction method. Significant structural modifications, when the silver amount increased, are observed. The high values of glass transition temperature (T_g), measured by Differential Scanning Calorimetry (DSC), pointed to the thermal stability of the amorphous phases studied. The influence of the composition (the amount of silver content) on the electrical properties is emphasized by complex impedance measurements.

Key-words: glasses, glass transition, electrical conductivity, polarization, activation energy.

Résumé : Dans cette étude, des mesures de permittivité complexe sont effectuées pour la caractérisation des verres du système $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$ avec $0 < x < 1$.

La diffraction des rayons X révèle, avec l'apparition de pics lorsque la teneur en argent croît, que le degré d'organisation (cristallinité) de ces systèmes croît avec la teneur en argent (la composition x) et qu'une modification importante de la structure a lieu.

Les résultats des mesures de DSC mettent en évidence la stabilité des phases amorphes étudiées avec des valeurs élevées de la température de transition vitreuse.

L'étude de la conductivité en courant continu révèle une conduction thermiquement activée.

Sous l'action d'un champ électrique (alternatif de pulsation ω), il apparaît dans les matériaux étudiés, une conductivité de polarisation $\sigma'(\omega)$. L'analyse des résultats obtenus par le modèle C.B.H. (Correlated Barrier Hopping) indique, grâce à l'évolution du paramètre S en fonction de la température, que le transport du courant alternatif, dans ce système, est assuré par des sauts discrets d'électrons entre sites localisés.

Le paramètre S permet, en outre, une représentation de la microstructure de ce système telluré, à travers les valeurs de l'énergie potentielle W_M des sites participant à la conduction. De faibles valeurs de W_M sont liées à une meilleure organisation de la structure du matériau et c'est le cas lorsque la teneur en argent augmente.

Mots clés : Verres, transition vitreuse, conductivité électrique, polarisation, énergie d'activation

I. INTRODUCTION

Cette étude consiste à déterminer, dans le système binaire $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$

mesurées en courant continu et en courant alternatif. L'influence de la composition et de la température sur la structure et les propriétés électriques des verres est examinée.

($0 < x < 1$), l'étendue de la zone de formation des verres, les transformations thermiques des verres obtenus et leurs propriétés électriques,

II- TECHNIQUES EXPERIMENTALES

2.1- Synthèse des matériaux

La synthèse des composés binaires GeTe et Ag_2Te est réalisée à partir de l'argent, du germanium et du tellure de pureté garantie

* Auteur de correspondance: e-mail : dibyka@yahoo.fr

(99,99%), mélangés dans les conditions stoechiométriques. Le tellure (Te) est introduit en léger excès pour limiter les écarts à la stoechiométrie provoqués par sa vaporisation lors du scellement du tube, en raison de sa forte tension de vapeur.

Sur le système $(Ag_2Te)_x(GeTe_2)_{1-x}$ les échantillons sont préparés à partir des deux composés binaires GeTe et Ag_2Te mélangés en proportions stoechiométriques et finement broyés. Les mélanges réactionnels sont introduits dans des ampoules de silice scellées sous vide (10^{-5} Torr) ; celles-ci sont portées à $1000^\circ C$ pendant 12 heures. Une trempe rapide dans un mélange eau-glace est par la suite effectuée.

2.2- Méthodes d'analyse

2.2.1- Radiocristallographie

Les diffractogrammes de poudres sont obtenus avec le rayonnement $K\alpha$ du cuivre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) à l'aide d'un diffractomètre (PW 1050). Ils permettent de distinguer les verres des phases cristallisées selon qu'ils présentent ou non les halos caractéristiques de l'état vitreux.

2.2.2- Analyse calorimétrique différentielle

Dans un calorimètre différentiel à balayage du type DSC 2910 (T.A. instrument, USA), les échantillons à étudier (10 à 20 mg de poudre) sont chauffés à une vitesse constante de $10^\circ C / \text{minute}$. Les changements de flux de chaleur, par rapport à une référence en alumine sont mesurés.

La DSC permet de confirmer l'état vitreux des échantillons grâce à la manifestation de la température de transition vitreuse T_g .

2.2.3- Propriétés électriques

2.2.3.1- Mesures en courant continu

Les expériences de conductivité en courant continu sont effectuées par mesure directe avec un multimètre numérique Keithley du type 617 d'impédance d'entrée $200 \text{ M}\Omega$. L'échantillon à étudier se présente sous forme de pastille (poudre compactée sous une pression de 3,5 kbars) de section 132 mm^2 et d'environ 1 mm d'épaisseur.

2.2.3.2- Mesures en courant alternatif

Le dispositif utilisé permet de mesurer la conductivité dans un domaine de température compris entre 180 K et 450 K et est constitué d'une cellule reliée à un impédance-mètre automatique HP 4192A (impédance d'entrée $10 \text{ M}\Omega$, sensibilité $\sim 0,1 \text{ pF}$) couvrant une gamme de fréquence variant de 5 Hertz à 13 MHz. Le principe expérimental consiste en l'application d'un champ électrique alternatif à une pastille obtenue à partir de la poudre comprimée, placée entre deux électrodes dans la cellule de mesure, sous vide.

L'ensemble échantillon et électrodes peut être représenté par un circuit RC parallèle. L'analyse du signal produit par l'analyseur d'impédance fournit les valeurs de la conductance G et de la capacité C de l'échantillon; on accède ainsi aux parties réelle et imaginaire de la permittivité complexe puis à la conductivité.

III- RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Détermination de la zone de formation des verres

L'état vitreux, caractérisé par l'absence de raies de diffraction sur les diffractogrammes de rayons X, est constaté pour les compositions x variant de 0,1 à 0,55. Les diffractogrammes obtenus présentent des halos de diffusion dont l'emplacement correspond approximativement à celui des raies intenses des produits cristallisés correspondants.

L'apparition de quelques raies caractéristiques du composé défini Ag_8GeTe_6 sur les diffractogrammes des échantillons de composition x variant de 0,6 à 0,75 indique un début de cristallisation. Ces diffractogrammes qui présentent en effet à la fois des halos et quelques raies de diffraction, indiquent la présence d'un mélange de verres et de cristaux.

Les diffractogrammes des échantillons de composition x égale ou supérieure à 0,8 présentent des pics de diffraction qui sont caractéristiques des composés définis Ag_8GeTe_6 , $GeTe_4$, et du tellure. Ces échantillons ne forment pas de verre. Ramesh et al.,^[1] ont montré que l'intensité du pic de la phase Te décroît lorsque la concentration en

argent augmente. Ainsi, l'augmentation de la teneur en argent accroît la présence de Ag_8GeTe_6 réduit la présence de $GeTe_4$ et du tellure.

En conclusion d'après notre étude, la zone de formation des verres sur le système $(Ag_2Te)_x(GeTe_2)_{1-x}$ s'étend dans le domaine de compositions variant de $x = 0,1$ à $x = 0,55$.

3.2. Mesures de la température de transition vitreuse (Tg) des verres.

Les mesures de DSC ont été effectuées dans un domaine de température variant de la température ambiante à 500 °C avec une vitesse de chauffe de 10 °C par minute dans le cas des verres, (échantillons de composition $x = 0,1$ à $x = 0,55$) afin de déterminer la température de transition vitreuse (Tg). Celle-ci se manifeste par un décrochement de la ligne de base dans le sens endothermique dû à une variation brusque de la chaleur spécifique.

Le tableau I présente les valeurs de Tg obtenues en fonctions de la compositions des échantillons.

Tableau I: Valeurs des températures de transitions vitreuses (Tg)

X	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Tg (°C)	323	320	316	312	305

L'analyse des valeurs obtenues laisse apparaître une baisse de la température de transition vitreuse Tg quand la composition en argent augmente. Les valeurs élevées de Tg indiquent que les verres sont stables, cette stabilité diminue quand la teneur en argent augmente.

Il est admis que l'ossature de la structure d'un verre est constitué d'un ensemble de microdomaines, eux-mêmes constitués de motifs de base. La température de transition vitreuse Tg mesure alors la fluidité de ces microdomaines les uns par rapport aux autres et correspond à l'étape de rupture des liaisons les plus faibles (liaisons entre deuxièmes voisins) entre les microdomaines [2]. La valeur du Tg est donc un indicateur de la rigidité du verre. Ramesh et al. [1] ont montré que le système Ag-Ge-Te possède un large domaine vitreux et que la liaison covalente est

prédominante entre les atomes, ce qui sur le système $(Ag_2Te)_x(GeTe_2)_{1-x}$ se traduit par des valeurs élevées de Tg.

La structure du verre devient moins rigide lorsque la teneur en argent augmente, avec une plus grande mobilité des microdomaines formés les uns par rapport aux autres. Cette diminution du Tg avec l'augmentation de la concentration du modificateur de réseau argent résulterait de la rupture des ponts tellurés, ce qui rendrait la structure moins rigide.

3.3 -Propriétés électriques

3.3.1-Mesures de conductivité effectuées en courant continu

L'étude de la conductivité en courant continu consiste à observer les mouvements des porteurs de charge dans un spécimen (solide) soumis à un champ électrique. Il s'agit de vérifier si les échantillons sont des semiconducteurs et l'applicabilité de la loi d'Arrhénius qui est du type :

$$\sigma = \sigma_0 \exp - \frac{\Delta E_a}{kT}$$

où σ est la conductivité à une température T, et σ_0 est la conductivité limite de σ .

3.3.1.2- Résultats obtenus

Le tableau II présente les valeurs mesurées de σ et les valeurs de σ_0 à la température 300 K.

L'analyse de ce tableau montre que l'augmentation de la concentration en argent entraîne une augmentation de la conductivité. Le système devient plus conducteur lorsque des formes cristallisées apparaissent dans les échantillons comme le montrent les valeurs plus importantes du logarithme de la conductivité à partir des échantillons de composition $x = 0,6$.

Tableau II: Valeurs de $\log\sigma$ et de $\log\sigma_0$ pour le système $Ag_{2x}Ge_{1-x}Te_{2-x}$ à T = 300K (V = verre, C = cristallisé).

Composition x	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9
Nature	V	V	V	V	V + C	V + C	C
$\log\sigma$ ($\Omega.m$) ⁻¹	-8,12	-7,15	-6,05	-5,45	-4,10	-3,50	-2,82
$\log\sigma_0$ ($\Omega.m$) ⁻¹	-0,31	-0,40	0,09	0,10	0,41	0,38	0,99

La figure 1 présente la variation du logarithme de la conductivité en fonction de la température (entre 125 K et 425 K) pour les différentes valeurs de la composition x.

Les courbes $\log\sigma_{dc} = f(10^3 / T)$ sont des droites qui permettent de constater que la conductivité augmente d'une part avec la teneur en argent et d'autre part avec la température tout en obéissant à la loi d'Arrhénius. L'augmentation de la conductivité avec la température traduit une modification de la structure du matériau [3].

L'allure des courbes traduit bien l'hypothèse de Mott [4] qui stipule que la conduction, dans ces matériaux, est thermiquement activée. Le comportement des échantillons préparés est caractéristique de matériaux semiconducteurs.

L'analyse de ce tableau montre que l'énergie d'activation ΔE_a diminue quand la composition en argent x augmente. Des changements au niveau des propriétés électriques des échantillons, comme l'illustre la diminution de ΔE_a , traduisent le fait que des modifications structurales interviennent lorsque la composition change. Mott [4] attribue cela au fait que la position de la bande de conduction (et du niveau de Fermi) varie lorsque la composition en argent change.

L'analyse, à une température donnée (T = 300 K), de l'évolution de $\log\sigma$ en fonction de l'énergie d'activation pour différentes compositions x, est illustrée sur la figure 2.

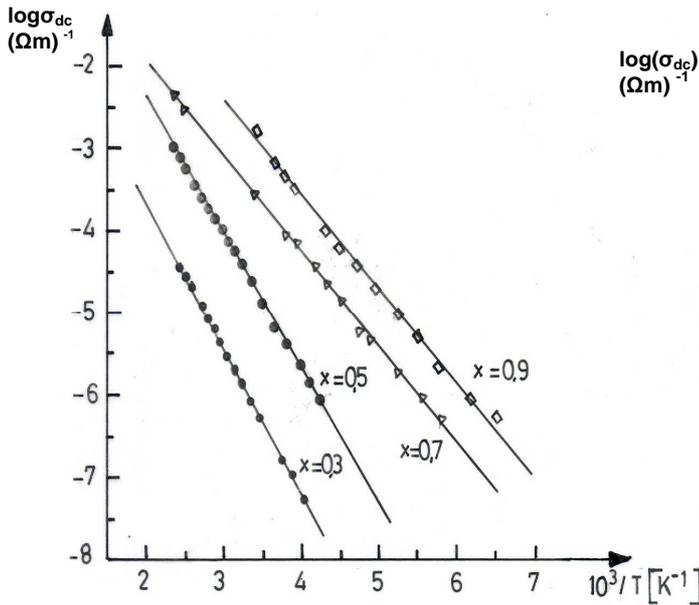


Figure 1 : Evolution de la conductivité, à différentes compositions, en fonction de la température du système $Ag_{2x}Ge_{1-x}Te_{2-x}$.

Par ailleurs les valeurs de l'énergie d'activation ΔE_a ont été calculées. Elles sont rassemblées dans le tableau III.

Tableau III: Evolution de ΔE_a en fonction de la composition x, (V = verre, V+C = verre partiellement cristallisé et C = cristallisé).

X	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Nature de l'échantillon	v	v	v	v	v	V+C	V+C	C	C
ΔE_a , (eV)	0,41	0,38	0,35	0,34	0,33	0,28	0,27	0,23	0,22

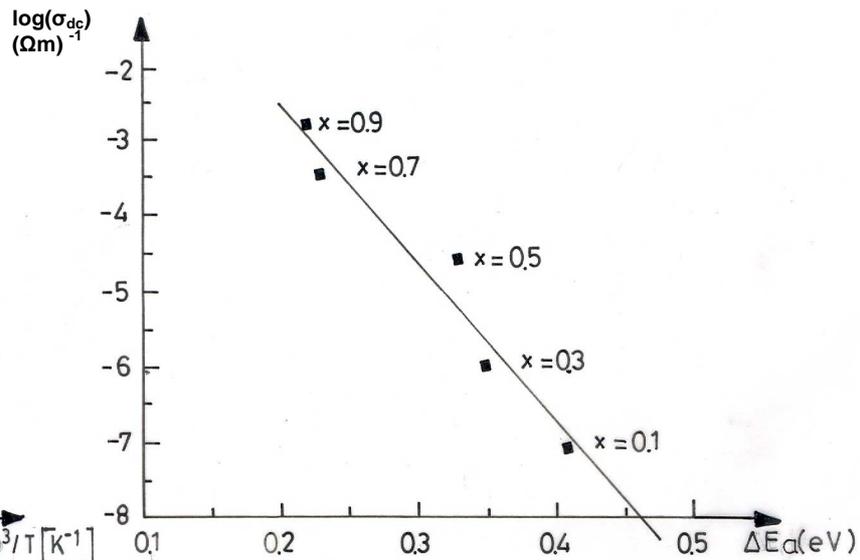


Figure 2 : Variation de la conductivité, en échelle semi-logarithmique, en fonction de l'énergie d'activation.

On constate que quand la composition en argent x augmente, la conductivité augmente et l'énergie d'activation ΔE_a diminue. Ceci s'explique par l'augmentation de la densité des porteurs quand x croît.

En conclusion nous remarquons que la conductivité dépend de la concentration x en argent. Cet élément semble être le principal responsable de la conduction.

3.3.2- Mesures de conductivité effectuées en courant alternatif

3.3.2.1 – Rappel théorique

Au sein des composés semi-conducteurs, une partie ou la totalité des porteurs de charge sont localisés dans des sites où leur déplacement vers un site voisin se réduit à des sauts sur de courtes distances. Ce système est représenté par une population de dipôles orientés au hasard avec un moment dipolaire nul.

L'application d'un champ électrique agit sur ces porteurs qui ont tendance à s'orienter préférentiellement dans la direction de celui-ci. Chaque élément de volume est polarisé par séparation des barycentres des charges positive et négative, initialement confondues, formant ainsi un dipôle. La polarisation induit un courant électrique dit de polarisation engendré par «des charges liées». Il existe par conséquent deux types de conductivité en compétition, l'une résultant de la conductivité en courant continu (σ_{dc}) assurée par les « charges libres » et l'autre due à la conductivité de polarisation $\sigma'(\omega)$ engendrée par les charges liées. En général ces deux processus coexistent dans la plupart des semi-conducteurs et la conductivité totale mesurée, $\sigma_{ac}(\omega)$ s'écrit sous la forme :

$$\sigma_{ac}(\omega) = \sigma_{dc} + \sigma'(\omega)$$

où $\sigma_{ac}(\omega)$ est la conductivité totale, σ_{dc} la conductivité en courant continu et $\sigma'(\omega)$ est la conductivité de polarisation.

La conductivité en courant alternatif, en particulier la composante de polarisation, est engendrée par des transferts de porteurs de charge entre sites localisés.

Dans la gamme de fréquence explorée, Elliot [5], en s'inspirant des travaux de Pollak

[6] et de Jonscher [7], a proposé un modèle de conduction « Correlated Barrier Hopping » (CBH) pour expliquer ce comportement. Dans ce modèle, il est admis que le mouvement des porteurs de charge s'effectue par sauts au-dessus d'une barrière d'énergie W_M séparant deux sites.

La conductivité de polarisation $\sigma'(\omega)$ peut être décrite par une loi de la forme:

$$\sigma'(\omega) = A(\omega, T) \cdot \omega^{S(\omega, T)} \quad \text{où}$$

$$A(\omega, T) = \left[\frac{N^2 \pi^2 \epsilon}{24} \right] \cdot \left[\frac{8e^2}{W_M \epsilon} \right]^\beta \cdot (1/\tau)^\beta$$

avec $\beta = 1-S$, N est le nombre de sites occupés, ϵ la permittivité, τ le temps de relaxation lié au saut sur une distance R. L'exposant S de la fréquence est un paramètre généralement compris entre 0 et 1 et qui décroît lorsque la température augmente.

L'évolution caractéristique de la conductivité globale en courant alternatif est modélisée par la courbe de la figure 3. Cette allure traduit l'hypothèse d'une conduction par sauts entre sites localisés au sein du spécimen.

Les résultats sont analysés à travers le comportement de la conductivité de polarisation $\sigma'(\omega)$ grâce à l'exposant S qui est la pente de la droite $\log \sigma'(\omega)$ en fonction de $\log(\omega)$.

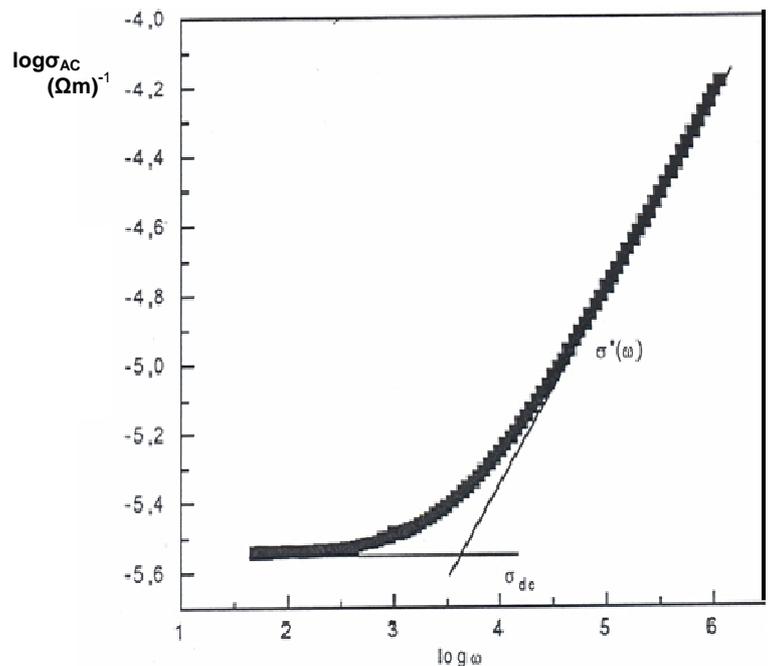


Figure 3 :Variation typique de la conductivité (A.C) en fonction de la fréquence.

Dans le modèle Correlated Barrier Hopping (CBH), le paramètre S est lié à W_M par l'équation suivante proposée par Long [8] :

$$S = 1 - \frac{6kT}{W_M + kT \ln(\omega\tau_0)}$$

Soit

$$\frac{T}{1-S} = \frac{W_M + kT \ln(\omega\tau_0)}{6k}$$

où k est la constante de Boltzmann, T la température, ω la pulsation τ_0 et le temps de relaxation limite.

La courbe représentant T / 1 - S en fonction de T est une droite permettant d'obtenir W_M . Ce modèle permet ainsi de déterminer l'énergie potentielle W_M des porteurs de charge piégés dans les sites.

3.3.2.2 Résultats obtenus

Les mesures de conductivité en fonction de la fréquence ont été effectuées, pour chaque composition, en fonction de la température.

Les figures 4.1 à 4.3 illustrent l'évolution caractéristique de la conductivité en courant alternatif σ_{ac} en fonction de la pulsation ω du champ électrique, à différentes températures et pour quatre échantillons de compositions différentes en argent appartenant au système $Ag_{2x}Ge_{1-x}Te_{2-x}$. Les concentrations ont été choisies de telle sorte que la nature de l'échantillon diffère :

- compositions x = 0,5 (verre),
- composition x = 0,7 (verre partiellement cristallisé),
- composition x = 0,9 (cristaux).

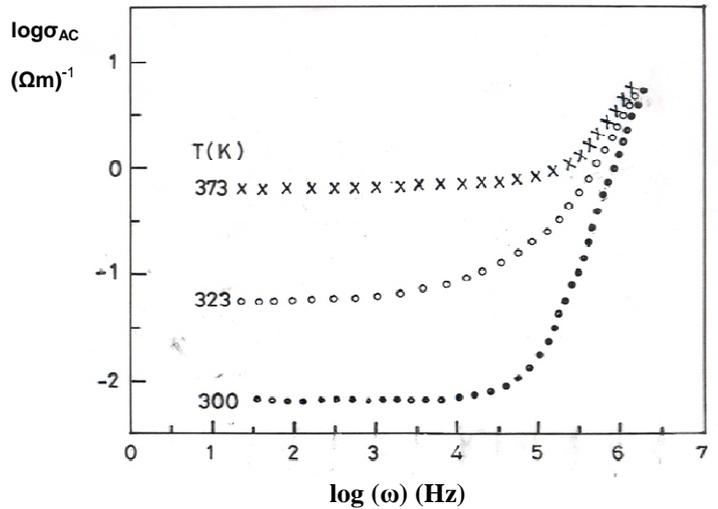


Figure 4.2 : Evolution de la conductivité pour $(Ag_2Te)_{0,7} (GeTe_2)_{0,3}$ (x = 0,7 : verre partiellement cristallisé).

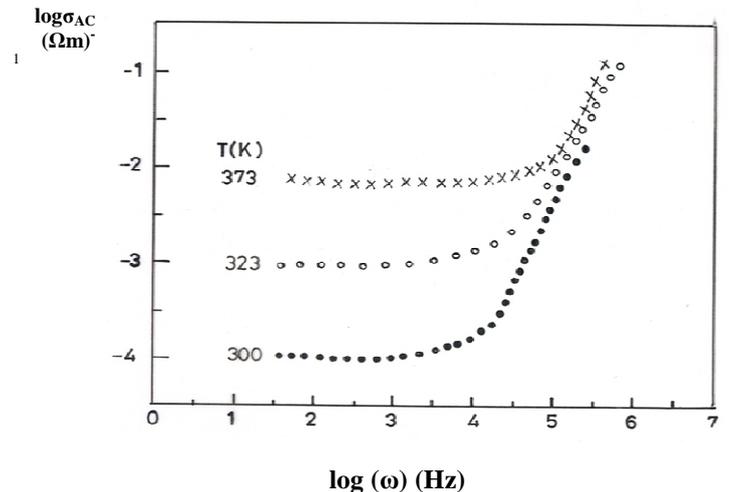


Figure 4.3: Evolution de la conductivité pour $(Ag_2Te)_{0,9} (GeTe_2)_{0,1}$ (x = 0,9 : cristaux).

Ces courbes présentent deux régions distinctes selon le domaine de fréquence. La conductivité suit bien une loi décrite par une équation de la forme:

$$\log \sigma_{ac}(\omega) = \log \sigma_{dc} + \log \sigma'(\omega)$$

dans laquelle le terme $\log \sigma_{dc}$, obtenu à basse fréquence, est dû à la conduction de bande et le terme $\log \sigma'(\omega)$, pour les hautes fréquences, est dû à la polarisation. De façon globale la conductivité croît avec la température, quel que soit le domaine de fréquence, pour une composition donnée.

L'évolution de la conductivité avec la composition de l'échantillon, quand la teneur

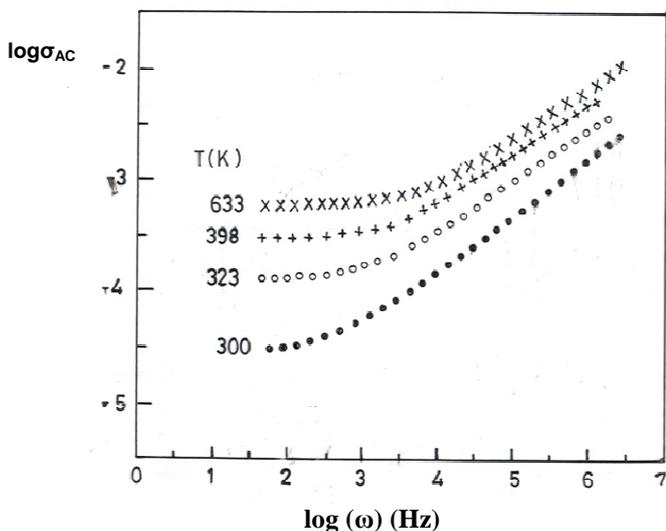


Figure 4.1 : Evolution de la conductivité pour $(Ag_2Te)_{0,5} (GeTe_2)_{0,5}$ (x = 0,5 : verre)

x en argent augmente permet de faire les remarques suivantes :

- dans le cas de l'échantillon vitreux de composition $x = 0,5$, la conductivité augmente faiblement aux basses fréquences et le changement de pente se fait à partir de la fréquence 10^3 Hz (Fig. 4.1).

- dans le cas des échantillons partiellement cristallisé de composition $x = 0,7$ ou totalement cristallisé de composition $x = 0,9$ on n'observe pas de variation notable de la conductivité aux basses fréquences. Par ailleurs le palier est plus important dans le cas de la composition totalement cristallisée ($x = 0,9$; Fig. 4.3) avec un changement de pente à des fréquences plus élevées (à partir de 10^5 Hz).

Le changement de pente est plus rapide quand on passe du verre au composé partiellement cristallisé et à l'échantillon totalement cristallisé.

A une température donnée, quelle que soit la composition, aux basses fréquences, on observe une évolution très faible de la conductivité tandis qu'aux fréquences élevées la conductivité croît rapidement avec la fréquence. A l'analyse on constate, par ailleurs, que le changement de pente se fait à des fréquences de plus en plus élevées, prouvant que des modifications dans l'organisation de la structure, interviennent à plus haute fréquence, quand on augmente la température.

Les résultats obtenus montrent que les échantillons de compositions $x = 0,1$ et $0,3$ sont caractérisés par une faible variation de S

avec la température (Fig. 5), ce qui suggèrerait la possibilité d'une conduction par « effet tunnel ».

Mais selon Elliot ^[9] ce type de modèle de transport aurait impliqué des valeurs de S de l'ordre de 0,8 et une indépendance totale vis-à-vis de la température; ce qui n'est pas le cas dans nos résultats. L'on peut donc admettre que le modèle CBH est valable. En effet les valeurs de S sont bien comprises entre 0 et 1 et baissent légèrement avec la température.

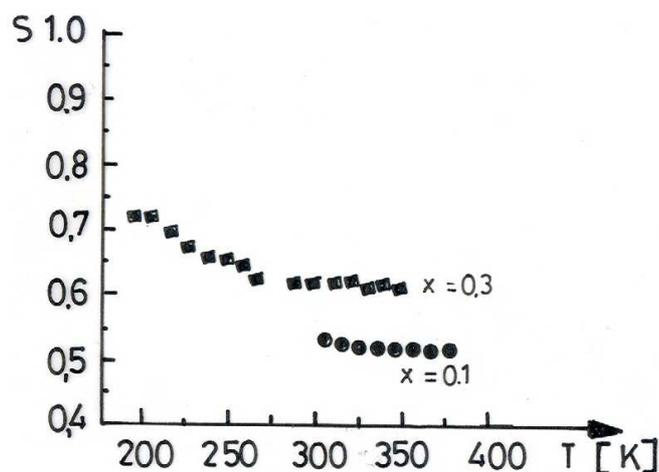


Figure 5 : Variation du paramètre S en fonction de la température pour $x = 0,1$ et $x = 0,3$ du système $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$.

Pour les échantillons de composition $x = 0,7$ et $x = 0,9$, les deux courbes traduisant, pour chaque composition, la variation de S en fonction de T (Fig. 6), montrent que S diminue lorsque la température T augmente; ce qui rend le modèle de saut corrélé de barrière (C.B.H.) applicable.

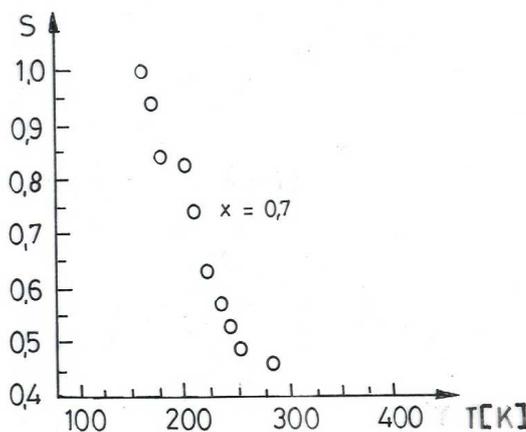
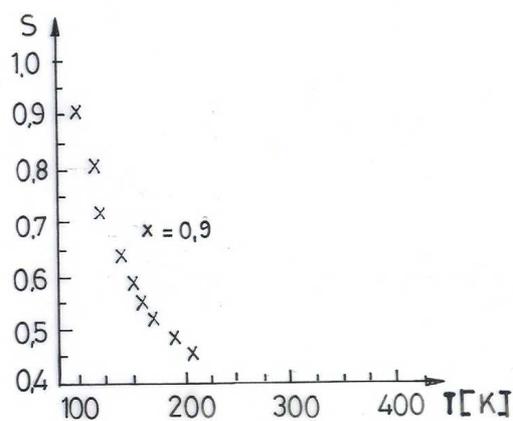


Figure 6: Variation du paramètre S en fonction de la température pour $x = 0,7$ et $x = 0,9$ du système $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$.

Sur la figure 7 les valeurs de $T / (1 - S)$ calculées pour différents types de matériaux (échantillons vitreux de composition $x = 0,3$ et $x = 0,5$; partiellement cristallisé de composition $x = 0,7$ et cristallisé de composition $x = 0,9$), sont tracées en fonction de la température.

Tableau IV : Valeurs W_M de à différentes compositions x .

x	0,3	0,5	0,7	0,9
	V	V	V + C	C
$W_M \cdot 10^{-3} (eV)$	1,88	1,48	1,08	0,72

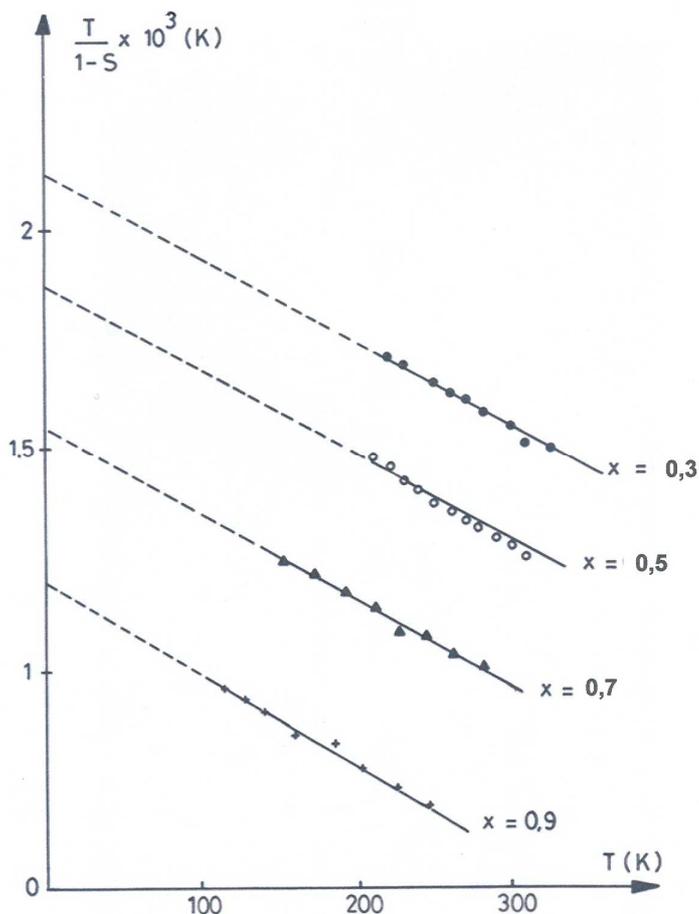


Figure 7 : Evolution de $T / (1-S)$ en fonction de la température pour quatre compositions

On observe une variation linéaire, qui confirme la validité du modèle de C.B.H. L'ordonnée à l'origine permet de calculer la valeur de W_M pour chaque composition ; W_M est plus faible pour les échantillons ayant la plus forte concentration en argent comme l'illustre le tableau IV.

Les échantillons ayant les plus fortes concentrations en argent cristallisent et ont une structure mieux organisée. Pour une représentation microscopique du milieu, le paramètre S (par suite W_M) est un indicateur à prendre en compte. Les mesures de conductivité en courant alternatif sont plus sensibles au changement de l'ordre local du système qui est lié à la composition comme le montre l'évolution de W_M .

La grandeur W_M étant une évaluation de l'énergie potentielle des sites participant à la conductivité électrique, est également considérée comme un moyen d'avoir des informations sur la structure du milieu. En effet lorsque W_M diminue, l'on peut supposer que l'environnement local des sites est profondément modifié et c'est le cas avec l'augmentation de la concentration en argent, cet élément intervenant comme modificateur de la structure. Les faibles valeurs de W_M sont liées à une meilleure organisation de la structure du matériau; W_M est donc lié à la nature du solide (cristallisé ou vitreux).

IV. CONCLUSION

Sur le système $(Ag_2Te)_x (GeTe_2)_{1-x}$, l'étude par diffraction des rayons X et DSC indiquent que le domaine vitreux est limité à la composition $x = 0,55$, domaine sur lequel la mobilité et le nombre des micro-domaines varient peu.

Les résultats obtenus par rayons X et de la conductivité semblent révéler que la microstructure est étroitement liée à la teneur en modificateur (argent) dans le système.

L'augmentation de la teneur en argent réduit certes la stabilité thermique des verres mais accroît le nombre de porteurs et la conductivité. Cette augmentation réduit en outre l'énergie d'activation ; ce qui est en accord avec le caractère métallique plus important de cet élément.

Les mesures électriques ont révélé que la loi d'Elliot est suivie et que la conduction s'effectue par sauts électroniques entre sites localisés dans ce système. La linéarité du logarithme de la conductivité en courant continu, en fonction de la température, a conduit, sur la base de la notion des états localisés d'énergie, à conclure que le transport

électronique est thermiquement activé. En plus l'étude de la conductivité en courant alternatif a montré qu'il est possible de caractériser ce système par l'intermédiaire de l'énergie potentielle W_M liée à la microstructure intrinsèque des composés. L'élément structural qui influe, de façon significative, sur la conductivité est l'argent.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]- Ramesh K., Asokan S., Sangunni K. S. and Gopal E.S. R., *Eur. Phys. J.* (1998) B6, 207-212.
- [2]- Metha N., Shukla R.K., Kumar A., *Chalcogenide Letters*, Oct 2004, Vol.1, n°10.
- [3]- Kalzuny J., Lezal D., Mariani E., Zavadil J., *Chalcogenide Letters*, Feb (2004) Vol.1, n°2.
- [4]- Mott S. N., *The Metallic and Non-metallic States of Matter*, Taylor & Francis Edition, 1985, Oxford.
- [5]- S. R. Elliot, *Advances in Physics*, (1987) 36-2, 135-218.
- [6]- Pollak. M., *Phil. Mag.* (1971) 23, 41.
- [7]- Jonsher A. K., « Dielectric relaxation in solids », 1983, Chelsea. Press, Londres.
- [8]- Long A. R., *Advances in Physics*, (1982), 31-5, 553.
- [9]- Elliot S. R., *Sol. State Ion.*, (1988), 27, 231.