

International Conference on Space Optics—ICSO 1997

Toulouse, France

2–4 December 1997

Edited by George Otrio



Minimisation de l'influence de la température sur un capteur polarimétrique de position angulaire

Eric Gaumont, Ayoub Chakari, Michel Clement, Patrick Meyrueis



icso proceedings



International Conference on Space Optics — ICSO 1997, edited by Georges Otrio, Proc. of SPIE Vol. 10570, 105701O · © 1997 ESA and CNES · CCC code: 0277-786X/18/\$18 · doi: 10.1117/12.2326562

MINIMISATION DE L'INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR UN CAPTEUR POLARIMETRIQUE DE POSITION ANGULAIRE

Eric GAUMONT, Ayoub CHAKARI, Michel CLEMENT^{*}, Patrick MEYRUEIS.

^{*} CNRS - ENSPS - ULP Strasbourg - pôle API, bd Sébastien Brant 67400 Illkirch, 03 88 65 51 54
^{*} SEP, forêt de Vernon, BP 802 Vernon cedex 0232217203
Etude sous contrat Recherche & Technologie SEP - CNRS.

RESUME - Une perturbation thermique de 300 K sur un capteur polarimétrique de position angulaire à fibre optique monomode telecom est minimisée théoriquement en optimisant les dimensions, la polarisation d'entrée du capteur et la longueur d'onde λ . L'erreur angulaire à $\Delta T = 300$ K devient inférieure à 0,1° sur une gamme angulaire de 90°. L'expérience confirme le modèle pour $\Delta T = +160$ K. Pour $\Delta T = -80$ K, une biréfringence linéaire due au maintien mécanique de la fibre sur son support apparaît majoritairement dans les parties courbées.

ABSTRACT - A thermal perturbation of 300 K on an angular displacement polarimetric sensor built out of a telecom singlemode optic fiber is minimized theoretically by optimizing dimensions, beam polarization input and the wavelength λ . Angular error at $\Delta T = 300$ K stays below 0.1° on a 90° angular range. Experiments confirm the model for $\Delta T = +160$ K. For $\Delta T = -80$ K, a linear birefringence due to the fiber's gluing and mechanical homogeneity on its substrat appears principally in the bent parts.

Les intérêts des capteurs à fibre optique et plus particulièrement des capteurs polarimétriques sont leur grande sensibilité et précision, et leur indépendance vis à vis des perturbations électromagnétiques. Un point critique subsiste : leur sensibilité à la température. Nous présentons la simulation d'un capteur polarimétrique de position angulaire à fibre optique monomode telecom [Mane 95] [Mane 96], en tenant compte d'une fluctuation thermique $\Delta T = 300$ K. L'étude vise à minimiser les effets de cycles thermiques sur la fibre et sur le capteur. Enfin, nous présentons deux expérimentations afin de mettre à l'épreuve le modèle de la simulation.

1. MODELISATION DU CAPTEUR

La perturbation thermique se traduit principalement sur la fibre optique en silice par le changement de l'indice de la silice et de ses propriétés élastiques, ainsi que de la géométrie de la fibre. Ces effets sont sensibles par l'intermédiaire des contraintes intrinsèques ou extrinsèques. Lors de la fabrication de la fibre, de très faibles irrégularités spatiales de matériau ou de géométrie se produisent. Elles

entraînent l'apparition d'une birefringence lineaire intrinsèque dans la fibre. Tout au long du parcours imposé à la fibre pour constituer le capteur, un ensemble de contraintes externes est appliqué à celle-ci. Ces contraintes peuvent être une pression, une force, une courbure ou micro-courbure, une tension, une torsion. Elles induisent une birefringence extrinsèque soit lineaire, soit circulaire. Dans notre étude, nous réduisons le champ des contraintes appliquées à la courbure, la torsion et la température. En effet, pour notre application capteur, nous nous affranchissons de toute pression ainsi que de contacts générant des microcourbures sur la fibre. De plus, sur les courtes distances de fibre (quelques 10 cm), la birefringence intrinsèque est tellement faible que nous pouvons la négliger, tout comme sa variation en fonction de la température. La birefringence lineaire le long d'une boucle de rayon R induit un déphasage $\Delta\Phi$ qui s'exprime sous la forme [Rash 83]

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi^2}{\lambda} C \frac{r^2}{R} \quad (1)$$

avec r , rayon de la fibre, $C = \frac{1}{2} n^3 (p_{11} - p_{12}) (1 + \nu_p)$, $p_{11} = 0.121$ et $p_{12} = 0.27$ sont les coefficients elasto-optiques et $\nu_p = 0.17$ est le coefficient de Poisson. La birefringence circulaire dans une portion L de fibre soumise à une torsion d'angle A induit une rotation $\Delta\alpha$ de la direction de polarisation qui est donnée par l'expression

$$\Delta\alpha = gA = \frac{1}{2} n^3 (p_{11} - p_{12}) A \quad (2)$$

Ces déphasages dépendent de la température à travers l'indice de la silice, la longueur de fibre soumise à la contrainte et le coefficient de Poisson de la silice. Par hypothèse, nous considérons que la variation des coefficients elasto-optiques P_{11} et P_{12} en fonction de la température peuvent être négligés. Nous admettons également que les coefficients de variation de l'indice n et du coefficient de Poisson ν_p de la silice ainsi que son coefficient de dilatation $\Delta L/L$ sont constants sur la plage thermique considérée

$$\frac{dn}{dT} = 8.10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}^{-1} \quad ; \quad \frac{dR}{RdT} = \frac{dL}{LdT} = 4.110^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}^{-1} \quad ; \quad \frac{d\nu_p}{dT} = 6.10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}^{-1} \quad (3)$$

Dans le cas d'une boucle de rayon R , la variation relative de déphasage par unite de temperature se deduit en derivant l'expression du déphasage [Wils 89], [Whit 87]

$$\frac{d(\Delta\Phi)}{\Delta\Phi dT} = \frac{3}{n} \frac{dn}{dT} + \frac{1}{(1 + \nu_p)} \frac{d\nu_p}{dT} - \frac{dR}{RdT} \approx 6.5.10^{-5} \text{ } 1^\circ\text{C}^{-1} \quad (4)$$

Dans le cas d'une torsion, de la même façon on trouve [Cohé 79]

$$\frac{d(\Delta\alpha)}{\Delta\alpha dT} = \frac{2}{n} \frac{dn}{dT} \approx 1.110^{-5} \text{ } 1^\circ\text{C}^{-1} \quad (5)$$

Le trajet de la fibre monomode constituant le capteur est présenté ci-dessous (Fig. 1)

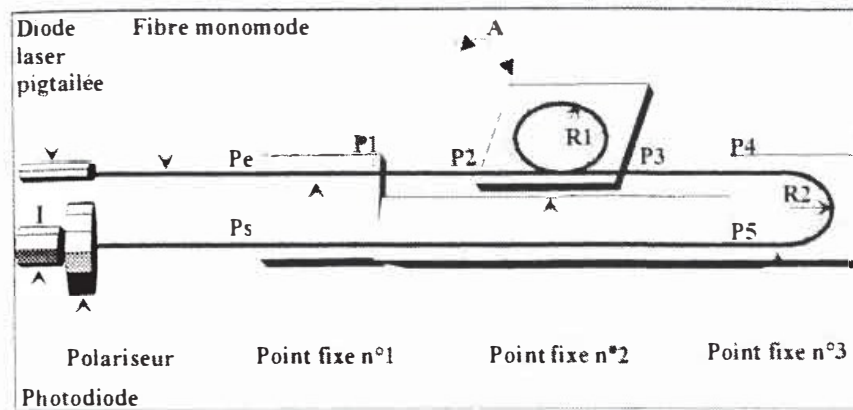


Fig. 1 : schéma de principe du capteur polarimétrique de position angulaire

Les deux torsions d'angle A , de sens contraires, induisent les rotations de la polarisation $\Delta\alpha$ et $-\Delta\alpha$. La boucle de rayon R_1 induit un déphasage $\Delta\phi_1$. On rajoute une demi-boucle de rayon R_2 induisant un déphasage $\Delta\phi_2$, afin que l'entrée et la sortie de la fibre soit situées du même côté du capteur. A partir des coordonnées X_i, Y_i, Z_i de la polarisation P_i sur la sphère de Poincaré, on calcule les coordonnées $X_{i+1}, Y_{i+1}, Z_{i+1}$ des polarisations P_{i+1} succédant la contrainte G_i , par la relation [Manc 95]

$$\begin{bmatrix} X_{i+1} \\ Y_{i+1} \\ Z_{i+1} \end{bmatrix} = \cos \Delta\Phi(G_i) \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + (1 - \cos \Delta\Phi(G_i)) \begin{bmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \\ \gamma_i \end{bmatrix} + \sin \Delta\Phi(G_i) \begin{bmatrix} \beta_i Z_i - \gamma_i Y_i \\ \gamma_i X_i - \alpha_i Z_i \\ \alpha_i Y_i - \beta_i X_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

La polarisation d'entrée P_e correspondant à P_1 a pour longitude 2ϕ et pour latitude 2ψ . L'axe propre Γ_i de chaque milieu birefringent passe par les points de longitude $2\phi_{\Gamma_i}$ et de latitude $2\psi_{\Gamma_i}$ représentant les états propres de ce milieu, d'où

$$\begin{bmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \\ \gamma_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 2\psi_{\Gamma_i} \cos 2\phi_{\Gamma_i} \\ \cos 2\psi_{\Gamma_i} \sin 2\phi_{\Gamma_i} \\ \sin 2\psi_{\Gamma_i} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 2\psi \cos 2\phi \\ \cos 2\psi \sin 2\phi \\ \sin 2\psi \end{bmatrix} \quad (7)$$

Il s'agit d'une rotation du point P_i , d'un angle $\Delta\Phi(G_i)$ autour de l'axe propre Γ_i . L'évolution de la polarisation de sortie $P_s = P_5$ ainsi calculée permet de déduire l'intensité normalisée I à travers le polariseur orienté dans la direction p , par la relation

$$I(P_i, p) = \frac{1}{2} [1 + (\cos 2p) X_i + \frac{1}{2} (\sin 2p) Y_i] \quad (8)$$

Ce principe a été conçu pour que la direction de polarisation de la lumière au niveau de la détection varie de 0 à 90° . L'intensité à travers le polariseur peut ainsi croître d'une intensité minimale I_m à une intensité maximale I_M pour une position p donnée du polariseur. Sur la sphère de Poincaré, les deux torsions se traduisent par une rotation d'un angle $\Delta\alpha$ autour de l'axe reliant les pôles, dans un sens puis dans l'autre. La birefringence linéaire induite par la boucle entraîne un changement d'état qui se traduit par une rotation d'un angle $\Delta\phi_1$ autour de l'axe Γ_1 du plan équatorial. Γ_1 relie les états

propres lineaires du milieu biréfringent, situés dans les positions angulaires confondues et perpendiculaires à la position angulaire A du plan de courbure de la boucle. Pour la demi-boucle, le même type de rotation d'un angle $\Delta\Phi_2$ se produit autour de l'axe Γ_2 . La variation de température ΔT entraîne une augmentation des déphasages $\Delta\Phi_1$ et $\Delta\Phi_2$. Ceci a pour conséquence une modulation thermique de la dynamique de la réponse. On exprimera celle-ci par la modulation du degré de polarisation d_{Am} ou d_{AM} de la lumière donnant naissance à l'extremum I_m ou I_M de la réponse situé à la position angulaire A_m ou A_M . La gamme angulaire $|A_M - A_m|$ de la réponse est quasiment conservée $\Delta\alpha(A \neq A_M) = 0.012^\circ$. Une polarisation d'entrée P_e lineaire confère une gamme angulaire de $48,75^\circ$ et si P_e est circulaire, la gamme angulaire est de $97,5^\circ$. Lorsque P_e est elliptique, la forme de la réponse est plus complexe et la gamme angulaire peut être réduite (60° par exemple) ou augmentée (110° par exemple) ou bien la réponse peut présenter un point d'inflexion [Manc 96]

II. OPTIMISATION THERMIQUE.

La direction p du polariseur agit sur la dynamique de la réponse tout en décalant A_m et A_M . Pour que la dynamique soit maximum et sa modulation thermique en partie minimisée, il faut que la direction p soit confondue ou perpendiculaire à la direction $A = 0 = p_0$ du zéro de torsion de la boucle. Ainsi, $I_m = I_M$ et correspondent respectivement au minimum et au maximum d'intensité transmise à travers le polariseur, pour une polarisation donnée.

Le choix du rayon R_1 de la boucle permet de rendre maximale la dynamique de cette réponse. Si de plus, la condition $p = p_0$ est respectée alors l'intensité normalisée I de la réponse à $\Delta T = 0$ K varie entre 0 et 1 et la sensibilité du capteur est maximum, le degré de polarisation d_A (avant la demi-boucle) quelle que soit la position angulaire A est égal à 1. La trajectoire de la polarisation de sortie P_s suit l'équateur de la sphère de Poincaré. Surtout, la modulation thermique du degré de polarisation est symétrique et minimale de part et d'autre de la position angulaire p_0 . Pour cela, la boucle doit être équivalente d'une lame quart d'onde si P_e est circulaire ou d'une lame demi-onde si P_e est lineaire. Nous présentons seulement le cas d'un capteur optimisé à l'aide d'une boucle équivalente d'une lame quart d'onde où le déphasage $\Delta\Phi_1 = (2n-1)\pi/2$ (n, entier positif). La polarisation d'entrée P_e est circulaire (Fig 2)

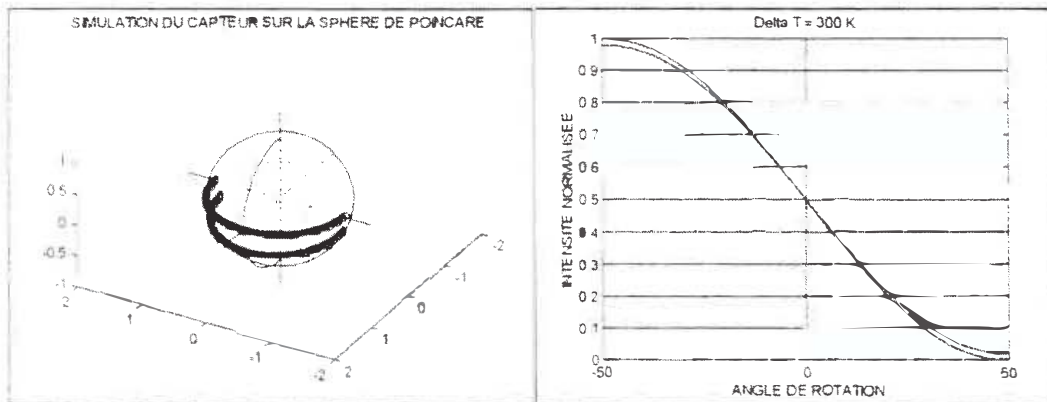


Fig 2. réponse d'un capteur optimisé P_e circulaire $\Delta\Phi_1 = 9\pi/2$, $d_{Am}(\Delta T=300K) = 0.9595$

La relation (1) permet de calculer une série de $(N+1)/2$ valeurs R_1 pour lesquelles le déphasage $\Delta\Phi_1$ correspondant est égal à $(2n-1)\pi/2$ (Fig 3). Pour éviter tout risque de rompre l'optimisation de la réponse, il faut que la valeur du rayon R_2 de la demi-boucle induise un déphasage $\Delta\Phi_2 = n\pi$. On

exprime l'amplitude de la modulation thermique du degré de polarisation d_{Am} , pour chaque valeur R_1 , par la relation

$$\Delta d_{Am}(\Delta T) = |d_{Am}(\Delta T=0K) - \Delta d_{Am}(\Delta T)| \quad (9)$$

N	$\Delta\phi$	R_1 mm,			$\Delta d_{Am}(\Delta T)$,			
		$\lambda_1 = 0.6328 \mu m$	$\lambda_2 = 0.780 \mu m$	$\lambda_3 = 1.3 \mu m$	30K	100K	200K	300K
1	$\pi/2$	83.657	67.403	39.880	0000	0001	0002	0005
3	$3\pi/2$	27.886	22.468	13.294	0000	0005	0020	0045
5	$5\pi/2$	16.731	13.481	7.976	0001	0014	0056	0126
7	$7\pi/2$	11.951	9.629	5.697	0002	0028	0110	0246
9	$9\pi/2$	9.295	7.489	4.431	0004	0045	0180	0405
11	$11\pi/2$	7.605	6.128	3.626	0007	0069	0273	0609
13	$13\pi/2$	6.435	5.185	3.068	0009	0096	0378	0843
15	$15\pi/2$	5.577	4.494	2.659	0013	0130	0508	1125

Fig 3 Possibilités d'optimisation des dimensions de la boucle. Rayon de la fibre $r = 125 \mu m$

La relation (4) montre que $\Delta(\Delta\phi_1)/\Delta T$ est inversement proportionnel à R_1 . Donc, $d_{Am}(\Delta T=300K)$ augmente lorsque N diminue et R_1 augmente. La valeur la plus optimale est pour $N = 1$ et $\Delta\phi = \pi/2$. Dans ce cas, l'erreur angulaire commise sur la réponse brute à $\Delta T = 300 K$ reste inférieure à $0,1^\circ$ sur une gamme angulaire de 90° (Fig. 4)

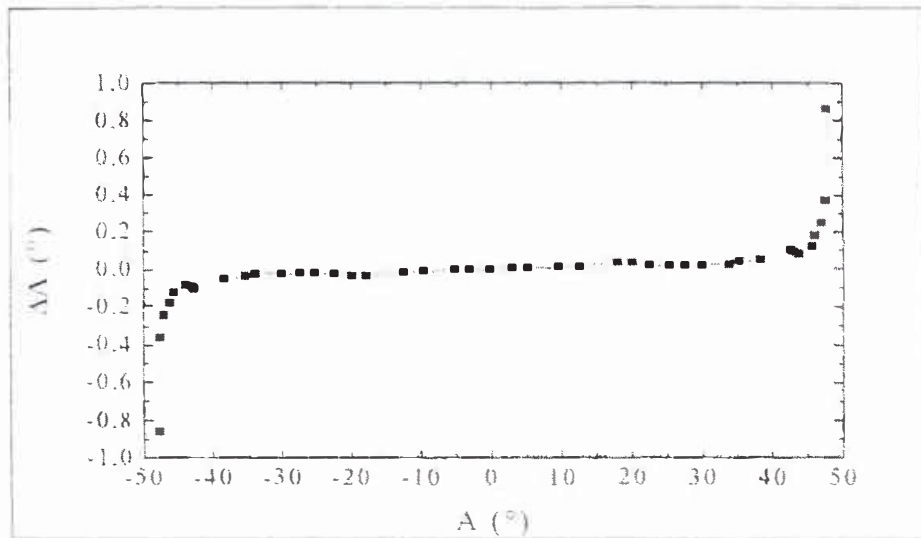


Fig 4 erreur commise sur la valeur d'angle à $\Delta T=300K$ et selon la position angulaire

La longueur d'onde λ permet de diminuer l'ordre N du déphasage $\Delta\phi_1(N)$ et donc l'amplitude de la modulation thermique. Pratiquement, si l'encombrement du capteur limite le rayon de la boucle à une valeur proche de 7.7 mm, il est préférable d'utiliser la longueur d'onde $\lambda_3 = 1,3 \mu m$ grâce à laquelle $\Delta\phi_1 = 5\pi/2$ plutôt que $\lambda_1 = 0.6328 \mu m$ pour laquelle $\Delta\phi_1 = 11\pi/2$ (Fig. 3). La modulation thermique du degré de polarisation d_{Am} est $\Delta d_{Am}(\Delta T=300K) = 0,0126$ au lieu de 0.0609.

Après l'étirage de la fibre, les fabricants garantissent la valeur du rayon r de la fibre avec une tolérance Δr , qui entraîne une erreur non négligeable sur R_1 . La repercussion sur les degrés de polarisation $d_{Am}(\Delta T)$ et sur l'amplitude de leur modulation thermique $\Delta d_{Am}(\Delta T)$ est calculée pour $r = 125 \pm 2 \mu\text{m}$ et $\Delta\phi_1 = (2n-1)\pi/2$ (Fig.5)

$\Delta\phi$	$\Delta T = 0^\circ\text{C}$		$\Delta T = 30^\circ\text{C}$		$\Delta T = 100^\circ\text{C}$		$\Delta T = 200^\circ\text{C}$		$\Delta T = 300^\circ\text{C}$	
	d_A	Δd_{Am}	d_{Am}	Δd_{Am}	d_{Am}	Δd_{Am}	d_{Am}	Δd_{Am}	d_{Am}	Δd_{Am}
$\pi/2$	9988	0	9987	0002	9983	0005	9976	0012	9968	0020
$3\pi/2$	9893	0	9879	0014	9844	0049	9785	0108	9717	0176
$5\pi/2$	9706	0	9667	0038	9570	0136	9407	0298	9222	0483
$7\pi/2$	9425	0	9351	0074	9162	0264	8849	0575	8494	0931
$9\pi/2$	9058	0	8938	0121	8629	0429	8119	0934	7556	1503
$11\pi/2$	8604	0	8427	0177	7976	0628	7231	1362	6425	2179
$13\pi/2$	8062	0	7819	0243	7205	0858	6209	1846	5124	2939
$15\pi/2$	7436	0	7120	0316	6325	112	5047	2377	3683	3753

Fig.5 degrés de polarisation d_{Am} à $\Delta T = [0, 300]$ K calculés avec $r = 125 \pm 2 \mu\text{m}$.

On peut comparer ces valeurs à celles obtenues pour un capteur théoriquement optimisé $d_A = 1$. Par exemple, si la boucle de rayon R_1 induit un déphasage de $7\pi/2$, alors $d_{Am}(\Delta T=300\text{K}) = 0,9754$ soit $\Delta d_{Am}(300\text{K}) = 0,0246$. Si l'on tient compte de la tolérance $\Delta r = 2 \mu\text{m}$, on trouve $d_{Am}(\Delta T=0\text{K}) = 0,9425$ et $d_{Am}(\Delta T=300\text{K}) = 0,8494$, soit $\Delta d_{Am}(300\text{K}) = 0,0931$

III. ETUDE EXPERIMENTALE

Nous avons d'abord mesuré les pertes par courbure pour une fibre monomode à $0,780 \mu\text{m}$ (Fig.6) Nous préférons limiter les rayons de courbure à $R > 5 \text{ mm}$ afin d'éviter les pertes.

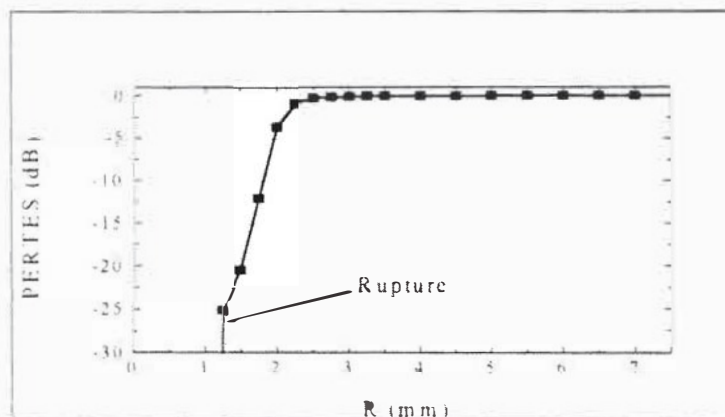


Fig.6 courbe de pertes par courbure pour une fibre « Fibercore SM 750 », $\lambda = 0,780 \mu\text{m}$

Dans la première série d'expériences, la longueur d'onde est $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$. Le capteur n'a pas de demi-boucle R_1 est de telle sorte que $\Delta\phi_1 = 5\pi/2$, afin d'obtenir une gamme angulaire de $97,5^\circ$ et un degré de polarisation $d_A(\Delta T=0\text{K}) = 1$. Nous chauffons la boucle à l'air chaud, les points fixes restent en dehors de la perturbation thermique. La boucle est collée avec de la colle cyano-acrylate au

niveau de l'axe de rotation de la fibre sur elle-même, la majeure partie de son périmètre reste libre dans l'air. Nous avons enregistré deux courbes de réponse, à $T = 293 \text{ K}$ et à $T = 453 \text{ K}$ (Fig 7)

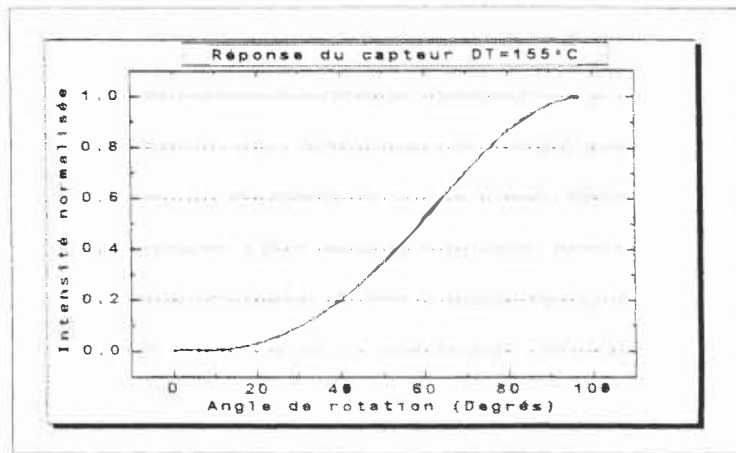


Fig 7 réponses d'un capteur. $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$. P_e circulaire, $\Delta\phi_1 = 5\pi/2$, $T = 293 \text{ K}$ et $T = 453 \text{ K}$

La modulation thermique de la dynamique a bien été constatée par lecture directe sur l'amplificateur, mais le décalage du minimum d'intensité de la réponse est inférieur aux 5mV détectables par la carte d'acquisition du banc d'essais. Ces réponses sont conformes aux résultats des calculs déjà cités plus haut.

Dans la deuxième série d'expériences, la longueur d'onde est $\lambda = 0.780 \mu\text{m}$. Le capteur est complet et entièrement plongé dans une enceinte climatique. Deux réponses sont enregistrées à $T = 343 \text{ K}$ et à $T = 213 \text{ K}$ (Fig 8). Le rayon de la boucle R_1 est tel que $\Delta\phi_1 = 5\pi$. L'état de polarisation de P_e est proche linéaire, la gamme angulaire est de 51° et la dynamique est égale à 1. Cette boucle est entièrement noyée dans un cordon de sol-gel inséré dans une gorge. Les deux autres points fixes sont collés de la même façon. Ce sol-gel a une faible dilatation thermique et une composition étudiée pour la fonction de collage [Aude 96], [Aude 97].

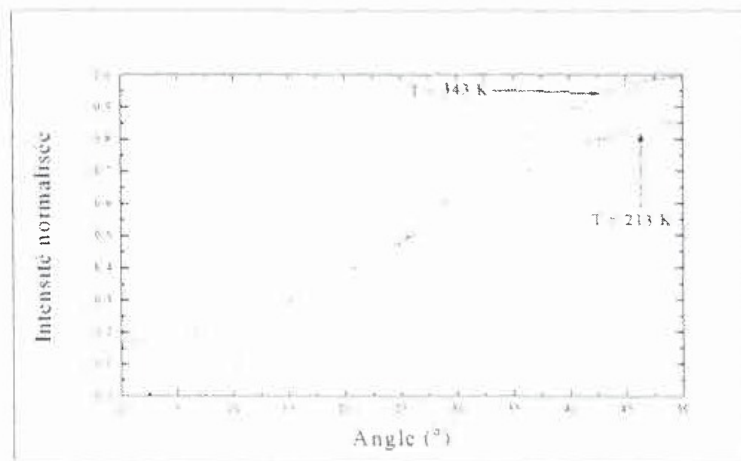


Fig 8 réponses d'un capteur $\lambda = 0.780 \mu\text{m}$. P_e linéaire, $\Delta\phi_1 = 5\pi$, $T = 343 \text{ K}$ et $T = 213 \text{ K}$

La réponse non présentée à $T = 293 \text{ K}$ est optimisée ($d_A = 1$) et confondue avec celle à $T = 343 \text{ K}$, ce qui confirme le résultat déjà obtenu dans l'expérience précédente. La dynamique de la réponse à $T = 213 \text{ K}$ présente une modulation thermique sensiblement plus importante que celle prévue par la simulation $\Delta d_{Am}(\Delta T = -80 \text{ K}) = 0,292$ au lieu de $0,003$. La gamme angulaire augmente très légèrement et passe de 51° à $52,5^\circ$. Compte tenu de la différence de coefficient de dilatation de la silice et du support inox, respectivement $(4 \text{ et } 19) \cdot 10^{-7}$ et de ceux d'une colle classique (époxy) et du revêtement acrylate de 30 à 50 fois supérieur, on peut dire que les trois points fixes du montage (Fig 1) induisent une contraction ou une déformation anisotrope de la fibre. On observe donc une biréfringence linéaire supplémentaire due au maintien de la fibre sur son support. Si le support est plan, l'axe propre de cette biréfringence est confondu ou perpendiculaire à ce plan. Le premier point fixe induit un déphasage $\Delta\phi_{m1}$. La conséquence remarquable est que la polarisation d'entrée P_e est modifiée et les positions angulaires A_m et A_M changent. Le déphasage $\Delta\phi_{m2}$ induit par le maintien de la boucle, s'ajoute à $\Delta\phi_1$ et entraîne la diminution de la dynamique observée. Le troisième point fixe cause une augmentation de la valeur du déphasage $\Delta\phi_2$ qui devient $\Delta\phi_2 + \Delta\phi_{m3}$. Mais, dans le cas d'un capteur déjà optimisé à $\Delta T = 0 \text{ K}$, ce déphasage ne se lit pas dans la réponse. L'intérêt est donc de tenir compte dans la simulation des biréfringences $\Delta\phi_{m1}$, $\Delta\phi_{m2}$ et $\Delta\phi_{m3}$. Ceci nous a permis de remarquer que $\Delta\phi_{m2}$ est nettement supérieur à $\Delta\phi_{m1}$, ce qui tend à montrer que les contraintes extrinsèques de maintien mécanique de la fibre sont faibles dans les parties en ligne droite et prépondérantes dans les parties courbées.

CONCLUSION

L'ensemble des effets thermiques sur la fibre monomode télécom a été considéré pour la simulation d'un capteur polarimétrique de position angulaire. L'optimisation des calculs nous a permis de montrer théoriquement qu'il est possible de minimiser la modulation thermique de la dynamique de la réponse, jusqu'à obtenir un degré de polarisation à la position angulaire du minimum $d_{Am}(\Delta T = 300 \text{ K}) = 0,9995$. Ceci se traduirait par une erreur sur la position angulaire $\Delta A < 0,1^\circ$ le long de la gamme angulaire $[0^\circ, 90^\circ]$. Ce sont essentiellement la polarisation d'entrée P_e , les choix de la longueur d'onde λ et du rayon R_1 de la boucle en rotation qui permettent d'obtenir des réponses optimisées. Les expérimentations de validation entreprises montrent que la minimisation est conforme aux calculs pour un écart thermique $\Delta T > 0 \text{ K}$. nous avons présenté les réponses quasi-confondues de la plage thermique $[293 \text{ K}, 453 \text{ K}]$. Pour les écarts thermiques $\Delta T < 0 \text{ K}$, il faut tenir compte de la biréfringence linéaire induite par le maintien mécanique de la fibre sur son support, essentiellement dans les parties courbées. Notre objectif est de la maîtriser à travers un travail sur les matériaux afin de la minimiser, ce qui nous paraît accessible. Le collage avec le sol-gel apporte de nettes améliorations comparé à une colle classique (époxy, cyanolite). Dans notre démarche d'optimisation, nous prêtons également attention au matériau du support ainsi qu'à la nature et à la forme du revêtement.

BIBLIOGRAPHIE

- [Manc 95] N.Mancier « Etude de la biréfringence induite par contrainte externe dans une fibre optique. Application à la réalisation d'un capteur de position angulaire à basse température » Thèse, 1995.
- [Manc 96] N.Mancier, A.Chakari, M.Clément, P.Meyrueis « Angular displacement fiber-optic sensor theoretical and experimental study », Applied Optics, vol 34, n° 28, pp 6489-6495, 1996
- [Rash 83] S C Rashleigh « Origins and control of polarization effects in single-mode fibers » J.Light. LT-1, 1983, pp 312-330
- [Wils 89] S.J Wilson « Temperature sensitivity of optical fiber path length », Opt. Commun 71 n°6, pp 345-350, 1989.
- [Whit 87] B.J White, J.P Davis, L.C Bobb, H.D.Krumboltz, D.C.Larson « Optical-fiber thermal modulator ».IEEE J.Lightwave Technol. LT-5, n°9, pp 1169-1175, 1987.
- [Cohé 79] L. G Cohen, J.W.Fleming « Bell Syst. Tech.J.58, pp 945-954, 1979.
- [Aude 97] P.Audebert, F.Bresson, S.Bertrand, G.Tribillon « Stable and adhesive hybrid fluorescent sol-gel coating on pre-treated stainless steel. Application to the realization of optical fluorescence sensor », Applied Surface Science, sous presse (en prévision 1997)
- [Aude 96] P.Audebert, F.Bresson, R.Devillers, G.Tribillon « Inclusion of fluorophore in hybrid sol-gel coating, application to in-situ temperature measurement », Synth Met 81, 1996, pp 315