

ÉDITORIAL

Nous avons le plaisir de vous présenter la lettre des syzygies de l'équinoxe de printemps dans laquelle vous trouverez deux articles : un premier sur le filtrage des infrarouges par des filtres solides, interférentiels ou liquides et un second sur un éclairage modulaire développé par un de nos abonnés.

Les inventeurs de l'Optique Fluide

PRODUITS

Le LUPION

Nous profitons de cet article pour vous présenter le Lupion, un produit d'éclairage développé par un de nos abonnés.

Le LUPION est un appareil d'éclairage totalement modulable, en fonction des besoins. Cet éclairage a été créé à la demande des collectionneurs pour mettre en valeur des objets précieux, sensibles aux rayonnements infrarouges

(Suite page 9)

SOMMAIRE

Éditorial

Mesures

Le filtrage des infrarouges

Produits

Un éclairage modulaire : Le LUPION

Info

MESURES

LE FILTRAGE DES INFRAROUGES

L'un des problèmes majeurs de l'éclairage provient de l'utilisation de sources qui émettent des infrarouges en plus de la lumière visible. Ce rayonnement infrarouge, inutile, est indésirable et chauffe les sujets exposés. Il est donc nécessaire, dans la plupart des cas, de filtrer le rayonnement issu de ces sources lumineuses.

Les filtres les plus utilisés sont les verres anticaloriques. Ces filtres éliminent l'infrarouge en absorbant au sein de leur masse ce type de rayonnement.

Parfois, on trouve aussi des filtres interférentiels. Les infrarouges sont éliminés en utilisant le phénomène physique des interférences.

Ces filtres solides ou interférentiels ne sont pas la seule solution, au filtrage des infrarouges. En effet, on peut aussi utiliser des liquides et obtenir un bon résultat. Comme pour les filtres solides, les filtres liquides

(Suite page 2)

(Suite de la page 1)

absorbent les infrarouges.

Pour tester le filtrage de ces filtres, nous disposons de 5 verres anticaloriques :

CALFLEX (épaisseur 2mm), KG1 (épaisseur 3mm), KG2 (épaisseur 3mm), KG3 (épaisseur 6mm) et KG4 (épaisseur 2mm)

d'un filtre interférentiel : Filtre IR3

et d'une cuve en quartz suprasil de 10 mm de chemin lumineux.

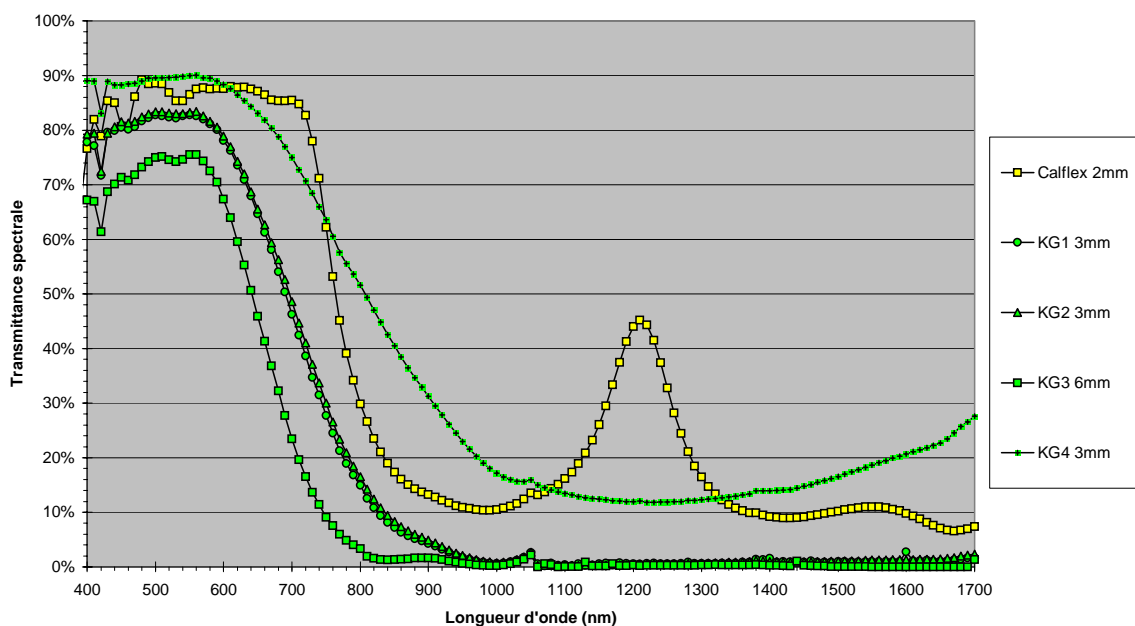
Pour mesurer ces filtres, nous utilisons un spectro-radiomètre composé d'une source tungstène halogène, d'un monochromateur, d'un compartiment de test des échantillons et d'un radiomètre. Cette chaîne de mesure permet l'étude de la transmittance ou de la réflectance sur une plage spectrale allant de 340 nm à 1700 nm.

Pour chaque filtre, la transmittance spectrale est calculée pour chaque longueur d'onde, en comparant le spectre obtenu avec l'échantillon avec le spectre obtenu sans échantillon.

Nous étudions chaque filtre sur le visible (400 nm à 800 nm) et sur l'infrarouge proche (800 nm à 1700 nm). L'étude dans le visible nous permet de mesurer la lumière visible absorbée qui est une perte non voulue pour les applications d'éclairage.

Filtres solides

Transmittance spectrale pour les filtres solides

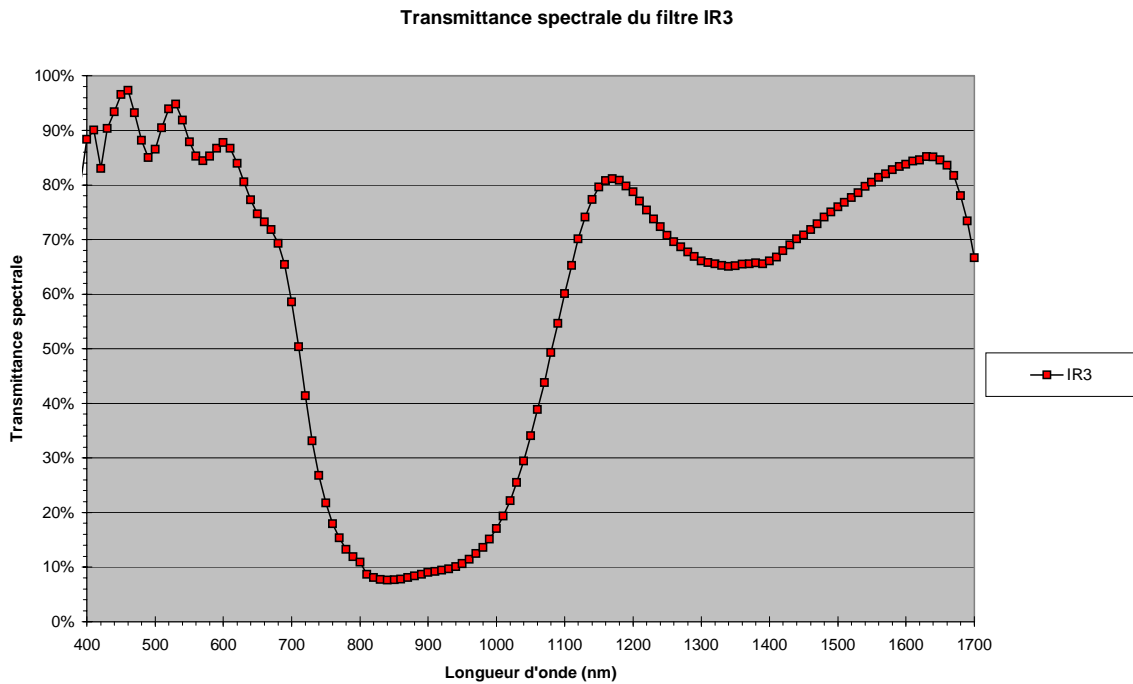


(Suite page 3)

(Suite de la page 2)

Les filtres KG1,KG2 et KG3 absorbent bien les infrarouges mais beaucoup de lumière visible est aussi absorbée surtout dans les rouges (700 nm à 800nm). Le filtre KG4 et le Calflex absorbent peu le visible mais c'est au détriment de l'absorption de l'infrarouge qui est moins importante. Ces verres sont réputés pour résister à des températures allant jusqu'à 600°C.

Filtre interférentiel



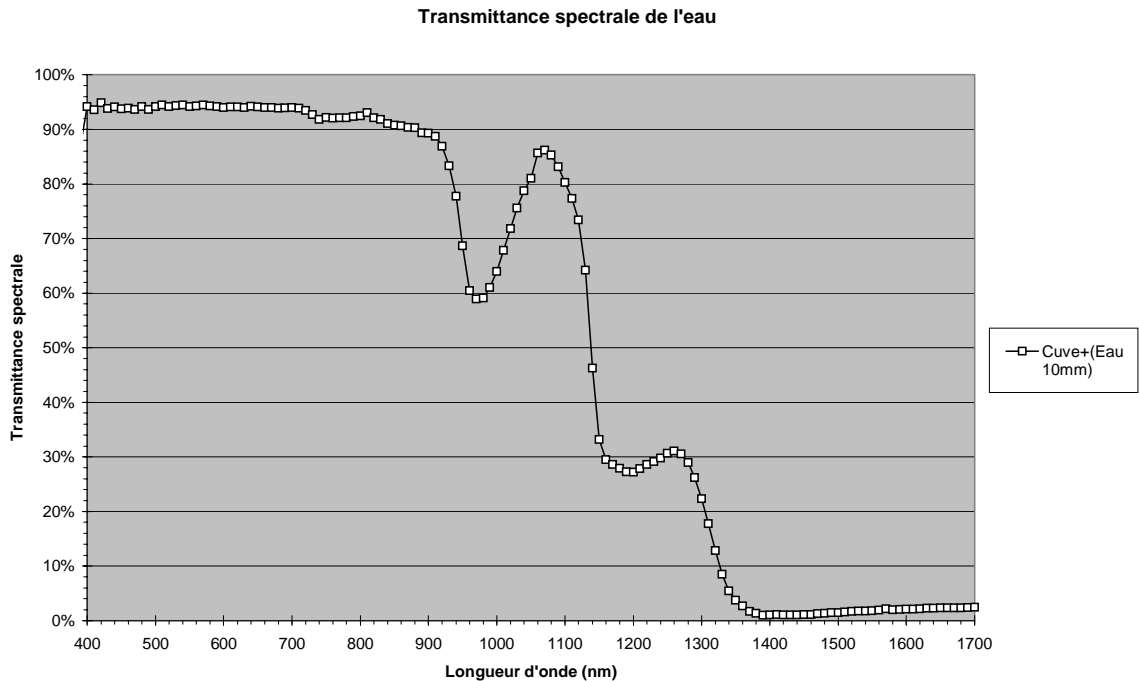
Ce filtre IR3 réfléchit bien la lumière sur la bande spectrale 800 nm à 1000 nm environ. Il transmet ensuite les infrarouges. Ce type de filtre résiste aux températures de l'ordre de 450°C.

Filtre liquide

Un des filtres liquides les plus courants absorbant les infrarouges est l'eau. Évidemment, l'eau seule ne peut être utilisée industriellement car elle dégaze et se pollue rapidement à cause de la photosynthèse. Il faut donc lui ajouter une substance chimique pour éviter ces inconvénients.

Nous avons développé un premier filtre optique liquide industriel capable de garder ses propriétés physiques sur une période supérieure à 13 mois. Si le besoin s'en faisait sentir, des études et essais pourraient être encore menés pour améliorer les performances de ce filtre. Toutefois pour nos tests de laboratoire, l'eau distillée nous suffit amplement.

(Suite page 4)



Nous constatons qu'avec seulement 10 mm d'eau, nous obtenons une absorption importante des infrarouges à partir de 1400 nm. Entre 800 nm et 1400 nm, l'absorption n'est pas très bonne. Par contre l'eau est très transparente dans le domaine spectral du visible (400 nm à 800 nm).

Pour absorber davantage l'infrarouge proche entre 800 nm et 1400 nm, il faut bien entendu utiliser une plus grande épaisseur d'eau. C'est pour cela que nous allons nous intéresser à calculer les transmittances de l'eau pour une plus grande épaisseur.

Transmittance interne de l'eau

Les mesures précédentes de la transmittance de l'eau sont biaisées par la réflectance des interfaces dioptriques de la cuve : Air/Quartz, Quartz/Eau, Eau/Quartz et Quartz/Air. Ces réflectances peuvent être estimées.

Nos mesures sont faites à incidence quasi nulle. Le coefficient de réflexion pour une incidence nulle ($i = 0^\circ$) au passage d'un milieu d'indice de réfraction n_1 à un milieu d'indice de réfraction n_2 est donné par :

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1)$$

Au vu de l'équation (1), le coefficient de réflexion ($i = 0^\circ$) pour le passage d'un milieu d'indice de réfraction n_1 à un milieu d'indice de réfraction n_2 est égal à celui pour un passage d'un milieu d'indice de réfraction n_2 à un milieu d'indice de réfraction n_1 .

(Suite de la page 4)

En négligeant les réflexions multiples sur les parois internes de la cuve, le facteur de transmission de la cuve peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$T_{cuve} = \left[\left(1 - \left(\frac{n_{air} - n_{quartz}}{n_{air} + n_{quartz}} \right)^2 \right) \times \left(1 - \left(\frac{n_{quartz} - n_{eau}}{n_{quartz} + n_{eau}} \right)^2 \right) \right]^2 \quad (2)$$

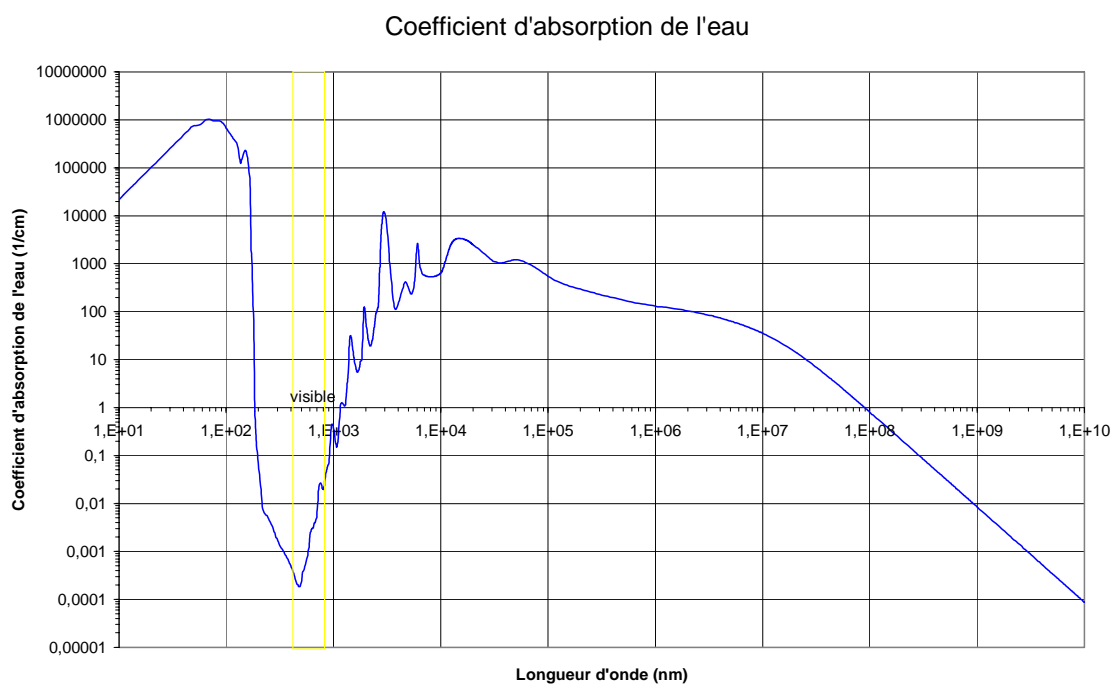
Les indices de réfraction sont considérés comme constants sur le domaine spectral étudié.

Avec $n_{air} = 1,0$, $n_{eau} = 1,333$ et $n_{quartz} = 1,458$, nous obtenons $T_{cuve} = 0,9280$

Pour obtenir la transmittance interne de l'eau, il faut diviser la transmittance mesurée par la transmittance de la cuve. Nous avons un problème car nos mesures de l'eau dans la région du visible sont légèrement supérieures à 92,8 %. Nous ne pouvons donc pas dans cette région spectrale en déduire la transmittance interne de l'eau.

Les résultats de l'absorption de l'eau dans la littérature scientifique

Dans les divers travaux scientifiques, les seules divergences de résultats rencontrés se situent dans la bande spectrale visible. En effet l'eau pure étant très peu absorbante dans le visible, il devient très difficile de mesurer son absorption sans un instrument très élaboré. Les meilleurs résultats pour le visible ont été obtenus en 1997 *{Pope et Fry 1997}*. Ces résultats montrent que l'absorption est minimum à la longueur d'onde 418 nm ($0.0044 \pm 0.0006 \text{ m}^{-1}$). Ce qui explique la couleur bleue de l'eau dans les grandes profondeurs de l'océan. En 1981, le coefficient d'absorption a été établi *{Segelstein 1981}* sur une grande étendue de longueur d'onde (10 nm à 1 m).



(Suite page 6)

Comparaison de nos mesures avec les résultats de référence

La transmittance interne de l'eau peut être calculée à partir du coefficient d'absorption avec la relation (3).

$$T_{ieau}(d) = e^{-a(\lambda) \times d} \quad (3)$$

où "a(λ)" est le coefficient d'absorption (1/cm) de l'eau et "d" est l'épaisseur d'eau (cm) traversée par la lumière

Pour obtenir ces résultats de référence pour notre cuve de 10 mm, T devient :

$$T_{ref} = T_{cuve} \times T_{ieau} \quad (1) \quad (4)$$

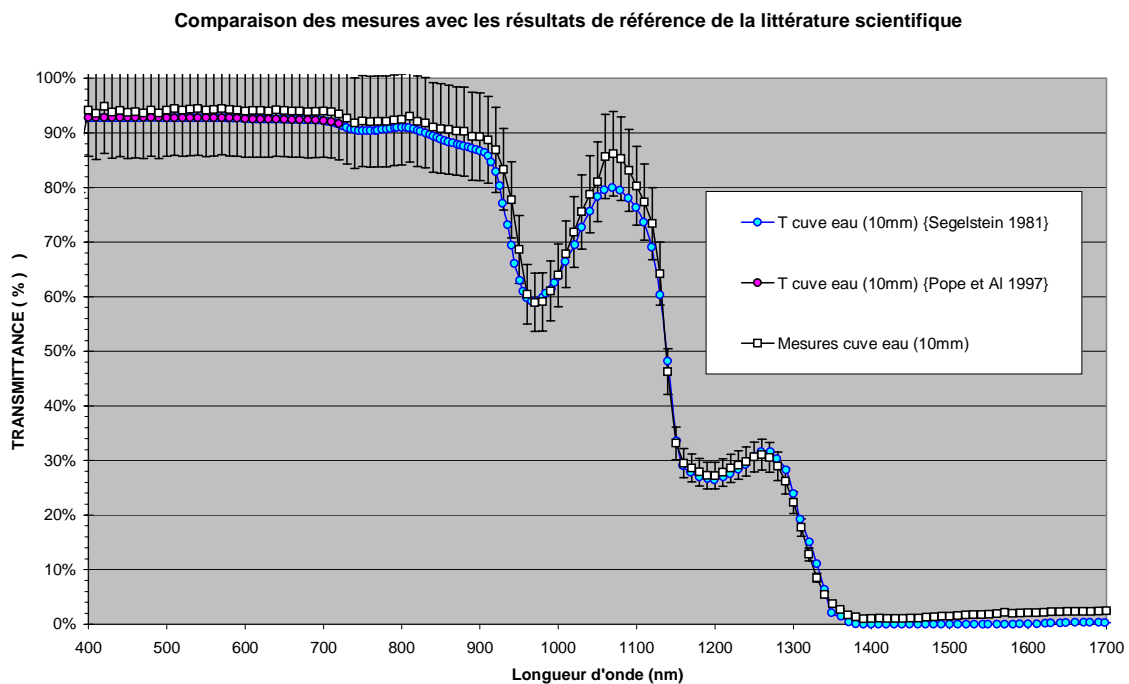
Pour comparer les résultats, il nous faut calculer l'incertitude sur la transmittance que nous avons mesurée.

En prenant en compte l'incertitude relative de mesure du radiomètre, nous pouvons calculer l'incertitude

relative sur la transmittance mesurée :

$$\frac{u_T}{T} \approx 9\%$$

Nous avons fait figurer sur le graphique suivant l'incertitude relative pour nos mesures.



Nous constatons, à la vue du graphique précédent, que nos mesures de transmittances, jusqu'à 1400 nm, pour une cuve d'eau de 10 mm, sont en concordance avec les résultats de référence {Segelstein 1981}{Pope et Fry 1997}. Au-dessus de 1400 nm, une légère différence subsiste. Cette différence provient de la difficulté à mesurer des éclaircissements très faibles.

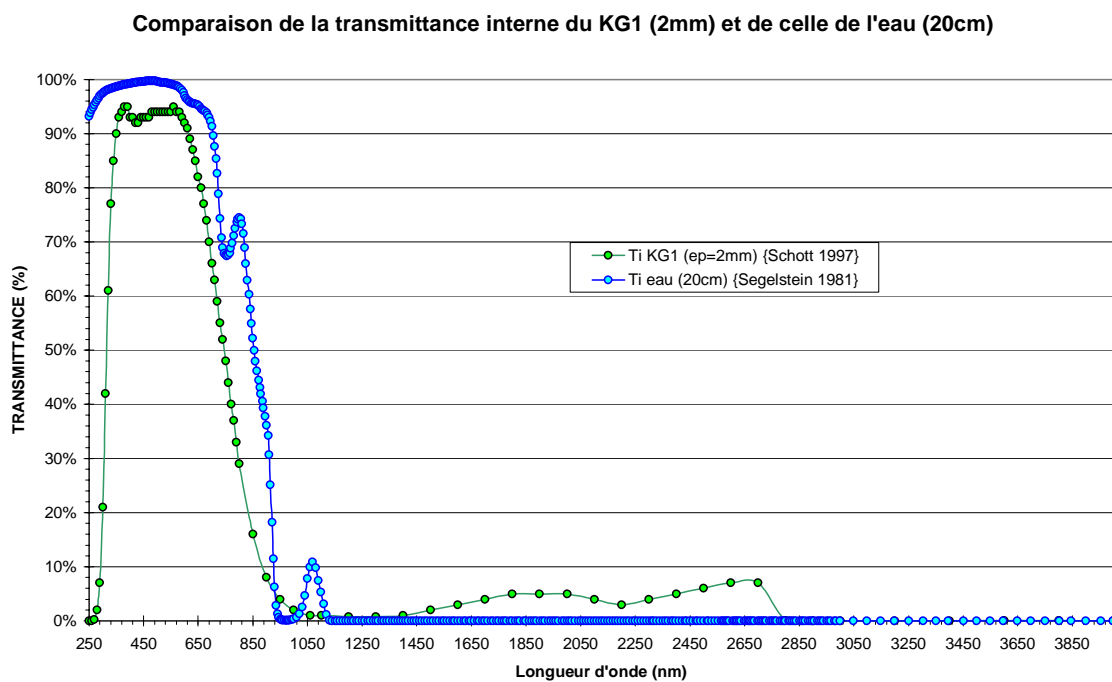
Comparaison de la transmittance interne de l'eau et de la transmittance interne du KG1

Pour comparer ces deux types de filtres sur le visible et l'infrarouge, nous nous sommes basés sur les valeurs de la transmittance interne données par le constructeur pour le filtre KG1 d'une épaisseur de matière de 2 mm {Schott 1997} et sur les résultats de référence de l'eau {Segelstein 1981}.

Nous avons vu qu'une épaisseur d'eau de 10 mm n'était pas suffisante pour filtrer drastiquement l'infrarouge. Par expérience, pour évacuer de grandes puissances, nous prenons comme épaisseur minimum de fluide 20 cm.

Les mesures faites sur les échantillons précédents n'ont permis d'étudier la transmittance que sur le visible et l'infrarouge proche.

Etant donné que nous disposons des valeurs de transmittance pour des longueurs d'ondes allant jusqu'à 4000 nm {Segelstein 1981} {Schott 1997}, nous pouvons comparer les transmittances internes de ces deux filtres dans le visible et l'infrarouge.



Nous pouvons calculer les transmittances moyennes dans le visible et l'infrarouge et les comparer ensemble.

Longueur d'onde	Ti KG1 ep=2mm	Ti Eau ep=20cm
400 nm à 800 nm	79%	90%
800 nm à 4000 nm	4%	4%

Nous constatons pour ces deux filtres que l'absorption moyenne dans l'infrarouge est équivalente. Par contre, étant donné la grande transparence de l'eau dans le visible, nous gagnons 11% de lumière transmise par rapport au KG1.

Conclusion

Tous ces résultats montrent que pour de petites puissances les verres anticaloriques sont d'excellents filtres pour l'infrarouge. Cependant, il ne faut pas les utiliser sous de trop grandes épaisseurs car la perte de lumière visible surtout dans le rouge est non négligeable.

Pour de grandes puissances, comme par exemple pour un générateur à fibre optique d'une puissance allant de 2kW à 10kW, il n'est plus possible d'utiliser des verres anticaloriques car du côté des sources règnent des températures de l'ordre de 1000°C. Le fabricant de ces verres anticaloriques {Schott 1997} donne une température de transformation de l'ordre de 600°C. Tous les essais que nous avons effectués avec de grandes puissances ont provoqué la destruction des filtres solides même bien ventilés. Dans ce cas, il n'y a plus le choix, il faut alors utiliser des fluides comme l'eau qui peuvent être refroidis avec un système à cryogénie. Ces fluides caloporteurs peuvent avoir d'autres propriétés. Par exemple, ils peuvent aussi servir à refroidir tous les composants du système optique en concevant un circuit de refroidissement adéquat. D'ailleurs, la société MEGALUX conçoit des optiques fluides dynamiques tel que le fluide contenu est à la fois une optique et un filtre infrarouge.

Pope et Fry 1997 : R. M. Pope, E. S. Fry, "Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements," *Appl. Opt.*,36, 8710-8723, (1997).

Segelstein 1981 : D. J. Segelstein, "The complex refractive index of water," University of Missouri-Kansas City (1981).

Schott 1997 : Catalog Optical Glass Filter, 1997 SCHOTT Glas Mainz.

(Suite de la page 1)

et ultraviolets. Ce produit est plus particulièrement utilisable dans les vitrines d'exposition de faibles dimensions, étanches à la poussière.

Nos conseils et notre expérience ont permis à notre abonné de juguler 67 % des effets thermiques dus aux infrarouges, et de limiter l'augmentation de la température, à l'intérieur de ces vitrines, à +5 ° par rapport à la température ambiante.

La qualité de l'éclairage produit est en majeure partie due à la possibilité de répartir l'éclairage en plusieurs sources, et au choix de capsules halogènes anti-ultraviolets de faible puissance.

La variation du nombre de modules d'éclairage va de 2 à 6.

Leur montage peut être effectué sans outillage, en quelques secondes. Cette formule favorise la flexibilité du produit. Il est dès lors possible de mettre en valeur des objets rares et fragiles. Cette précaution est exigée par les collectionneurs et les conservateurs de musées.

Les premiers meilleurs résultats ont été obtenus auprès des collectionneurs de bijoux anciens et de miniatures, des modélistes ferroviaires ou automobiles, sur les salons et les diverses manifestations.

Contact : A.Chevallier
TEL Portable : 06 15 95 19 48
Email : achevallier@seve.net

INFO

S'il y a un sujet que vous souhaitez voir traiter dans cette lettre, vous pouvez directement nous joindre par email à l'adresse :

syzygies@optique-fluide.org

Vous pouvez également joindre MEGALUX, la société chargée d'exploiter l'Optique Fluide à l'adresse :

info@megalux.com

PROCHAINE LETTRE

La prochaine Lettre des Syzygies paraîtra pour le solstice d'été.