



Traitements optiques complexes sur substrat organique

Journée Thématique Couches Minces Optiques (SFO)
Marie Duchêne - 29/06/2012

Introduction

◆ Peu de substrats organiques dans les systèmes optiques de précision

- ✗ Stabilité dans le temps, jaunissement...
- ✗ Faible résistance à l'abrasion
- ✗ Gamme d'indice restreinte notamment haut indice ($n_{\max} < 1.7$)

Exemple : PEI (polyetherimide) $n@587\text{nm} = 1.682$

◆ Et pourtant...

- ✓ Légèreté : densité en moyenne 2 fois inférieure à celle du verre minéral

Exemple : densité(PMMA) = 1.18

densité(BK7) = 2.51

- ✓ Résistance aux chocs, aux impacts
- ✓ Possibilité de mise en forme directement par moulage (formes complexes...)

Introduction

- ◆ **Volonté d'intégrer davantage de substrats organiques dans les systèmes optiques de précision**
 - ⇒ Besoins internes pour des applications de type Défense
 - ⇒ Développements de traitements optiques complexes

 - ◆ **Performances spectrales et environnements sévères**
 - Technologie PVD : évaporation assistée
 - Matériaux de type oxydes
 - Nombre de couches important, empilements épais
- ⇒ Les caractéristiques propres aux substrats organiques imposent la mise au point de traitements spécifiques

Introduction

◆ Particularités des matières organiques et impacts sur la réalisation de traitements optiques complexes

- Propriété thermique : Température de transformation T_g faible

Valeurs typiques - minéraux : entre 500 et 800°C, T_g (BK 7) ~ 557°C

- organiques : 100-150°C, T_g (PMMA) ~ 105°C

↳ **Dépôt à basse température**

- « Affinité chimique » substrat organique / couches minérales

Comportement thermique : Coefficient de dilatation thermique élevé

Valeurs typiques - minéraux : quelques $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $\text{CTE}(\text{BK7}) \sim 7,1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

- organiques : quelques $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, $\text{CTE}(\text{PMMA}) \sim 6,8 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

↳ **Risque sur la tenue (adhésion) du traitement**

- Matériau tendre

↳ **Nécessité d'une protection anti-rayure**

I – Dépôt à basse température

- ◆ Identification des sources de chaleur
- ◆ Optimisation des conditions de dépôt

II – Interface couche / substrat

- ◆ Préparation de surface
- ◆ Protection anti-abrasion

III – Exemple de résultats obtenus

Conclusion

I-1 Sources de chaleur

◆ Procédé de dépôt APS® *Advanced Plasma Source*

- Evaporation sous vide assistée par plasma
- 3 sources de chaleur principales :

① Chauffages

- ✓ Optimisation, voire suppression, possible

② Source d'assistance plasma

- ✗ Impact sur les propriétés optiques et mécaniques des couches

③ Sources d'évaporation

- ✗ Optimisation très difficile



I-1 Sources de chaleur

◆ Estimation de l'élévation de température

- Etapes initiales (hors couches)

↳ Elévation de température faible et répétable

- Dépôt des couches

↳ Elévation de température dépendante du matériau évaporé (paramètres d'évaporation et d'assistance)

⇒ Impact de l'empilement (matériaux, épaisseur)

◆ Objectifs

- Substrat Polycarbonate : $T_g \sim 140^\circ\text{C}$

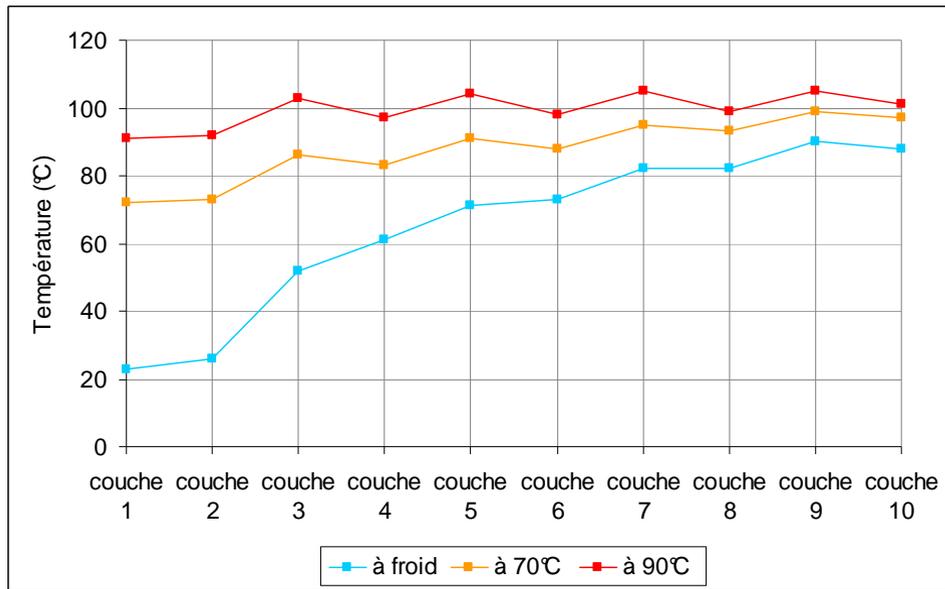
↳ Température maximale atteinte $< 100^\circ\text{C}$

- Minimisation des écarts de température
 - entre les couches
 - dans les couches

I-2 Optimisation des conditions de dépôt

◆ Température de chauffage initial

- Essais avec différentes température de chauffage initial



→ Variations plus importantes si la température de départ est faible

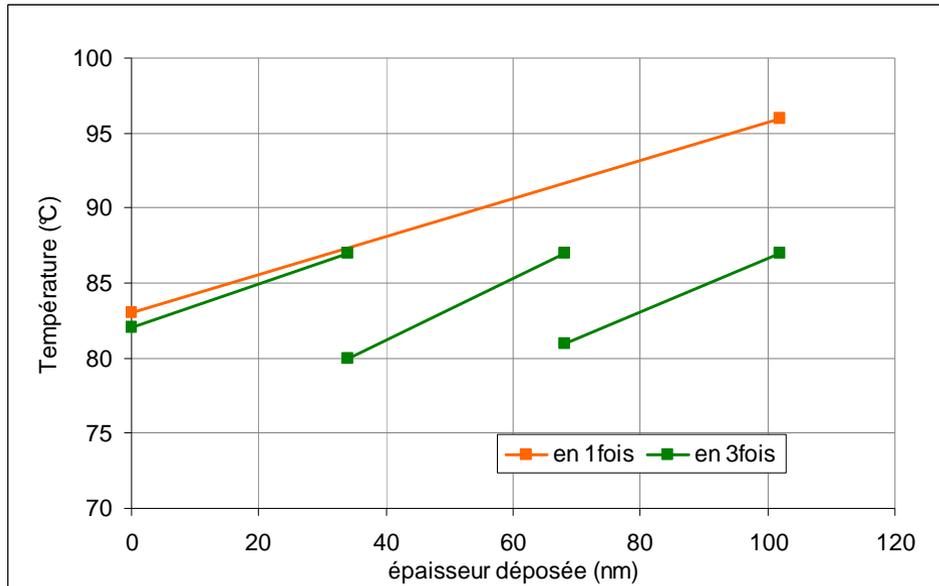
→ Même ordre de grandeur de température finale atteinte

- ✓ Température de départ définie telle que :
 - Variations minimisées
 - $T_{max} < 100^{\circ}\text{C}$

I-2 Optimisation des conditions de dépôt

◆ Dépôt des couches

- Pour chaque matériau : épaisseur $\Rightarrow \Delta T^\circ$, dépendant de la température de départ de la couche



- ① Fractionnement des couches
- ② Ajout d'un temps d'attente entre les couches



- ✓ Minimisation de l'élévation de température
- ✗ Augmentation des temps de process

Paramètres de dépôts optimisés, permettant ainsi la réalisation de traitements épais à basse température sur polycarbonate

II-1 Préparation de surface

◆ Activation de surface

- Nécessaire pour l'adhésion du traitement
- Réalisée par nettoyage, complétée éventuellement par effluvage

◆ Inconvénients des plastiques

- Electrostatique : attire les poussières plus que les minéraux
- Mauvaise résistance aux solvants (par exemple : acétone)
 - ↳ Nécessité d'une gamme lessivielle

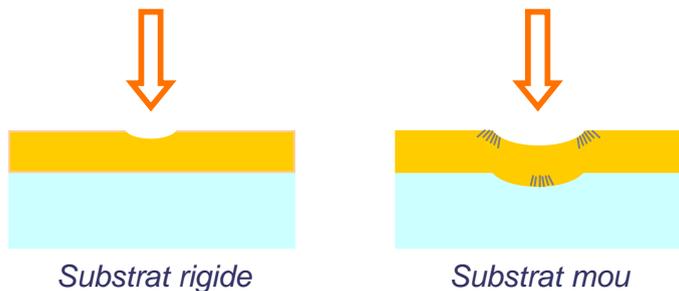
◆ Mise en place d'une gamme de nettoyage lessiviel

- Gamme optimisée en fonction des plastiques
- Nettoyage et préparation de surface
 - ⇒ ✓ Adhésion conforme

II-2 Protection anti-abrasion

◆ Phénomène d'abrasion

- Influence de la dureté du substrat



Couches minérales minces

⇒ Rigidité plus faible que le verre minéral massif

⇒ Propriétés du substrat prédominantes

- Solution = « isoler » le substrat, amortir les contraintes
→ dépôt d'une résine entre le substrat et les couches

◆ Propriétés et rôles de la résine

- Matériau hybride ⇒ comportement intermédiaire organique / minéral
- Faire une transition mécanique et chimique

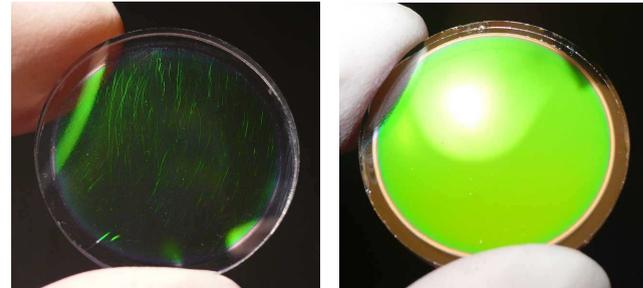
II-2 Protection anti-abrasion

◆ Influence de la résine sur la résistance à l'abrasion

- Transition mécanique



- ✓ Amélioration de l'abrasion



sans résine

avec résine

◆ Influence de la résine sur l'adhésion

- Transition chimique

↳ Effet positif de la résine sur l'adhésion du traitement

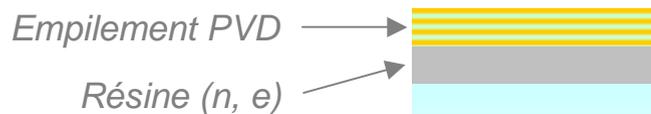
- Adaptation des CTE

↳ Renforcement de l'adhésion du traitement face à des sollicitations thermiques

II-2 Protection anti-abrasion

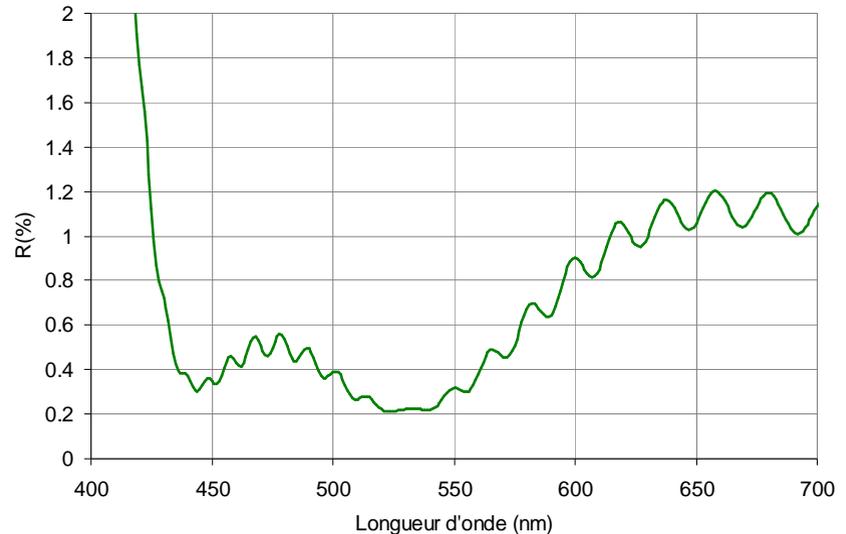
◆ Influence de la résine sur le profil spectral

- Selon fournisseur et références, indice de l'ordre de 1.5 à 1.6
- Epaisseur typique de l'ordre de quelques microns



✗ Apparition d'oscillations (visibles pour les transmissions élevées)

✓ Impact négligeable sur la plupart des profils spectraux

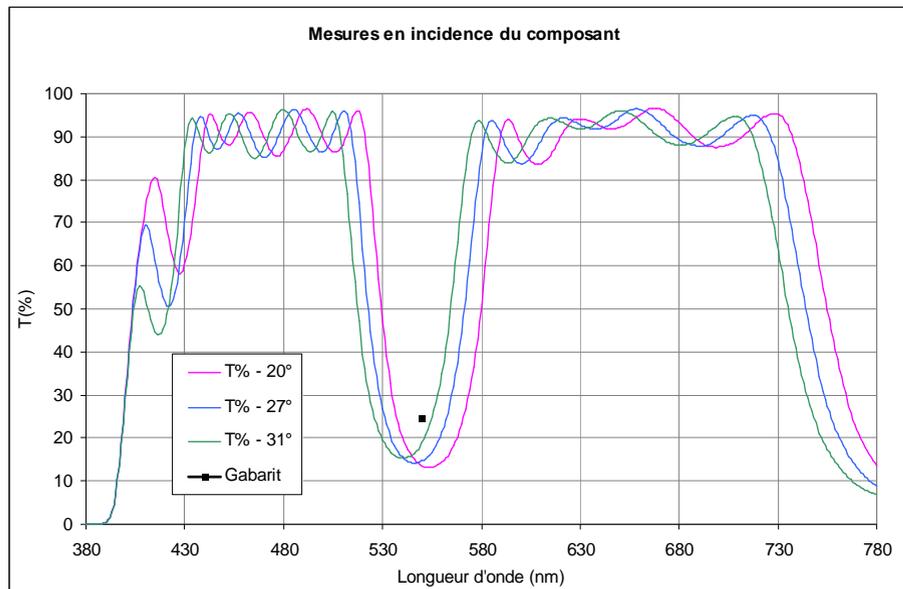


Mise en point d'une gamme permettant d'obtenir des traitements épais sur polycarbonate ayant une bonne tenue en abrasion et en adhésion

III-1 Performances spectrales

◆ Exemple 1 : Filtre en réflexion sur polycarbonate

- Spécifications spectrales en incidence, filtre centré à 550nm
- Empilement
 - une dizaine de couches
 - couches « épaisses » (>400nm)



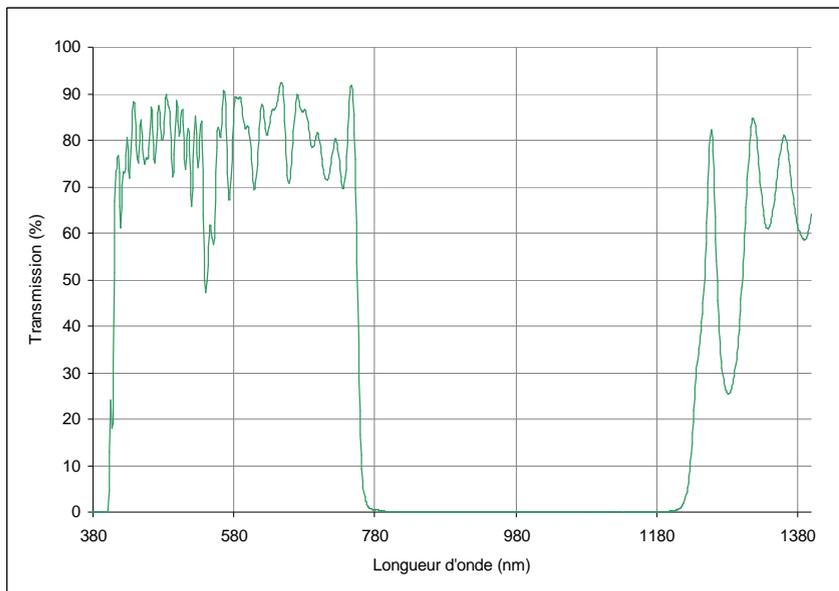
Tenue aux environnements

- ✓ Adhérence conforme
- ✓ Abrasion conforme (modérée et sévère)
- ✓ 1 cycle +60/-30°C

III-1 Performances spectrales

◆ Exemple 2 : Filtre de blocage sur polycarbonate

- Densités élevées dans les bandes bloquées
- Empilement
 - nombre de couches > 50
 - couches « fines » (< 200nm)



Tenue aux environnements

- ✓ Adhérence conforme
- ✓ 3h à +85°C
- ✓ 3h à -35°C

Conclusion

- ◆ **Caractéristiques propres aux substrats organiques**
 - ⇒ Gamme de traitement spécifique
 - ⇒ Optimisation - des paramètres de dépôt (température)
- de préparation de surface (nettoyage, résinage)

Réalisation de traitements optiques complexes sur substrats organiques

- ◆ **Développements indispensables pour pouvoir intégrer davantage de substrats organiques dans nos système optiques complexes**



MONIE



MINIE DIR



MINIE



HELIE



ACONIT

Aujourd'hui : ~5% de substrats organiques dans nos produits défense
Demain : cible visée >50%