

**2023**

ALD

# Couleurs et couches minces

Ce document aborde les phénomènes physiques impliqués dans l'apparition de couleurs pour les produits Surcotec.

## CONTEXTE

Les couches minces permettent d'obtenir des couleurs très intéressantes par interférence tout en garantissant les caractéristiques mécaniques de la pièce. Ce document vise à cerner les phénomènes physiques qui donnent lieu à ces couleurs sans entrer dans les détails calculatoires pour pouvoir formuler un besoin pertinent.

## LA LUMIERE

La lumière se comporte comme une onde électromagnétique [Figure 1] et se propage dans une direction. Elle est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui oscillent en phase en étant toujours orthogonaux. Comme il est possible de déduire le champ magnétique du champ électrique et inversement, la lumière est souvent représentée par une seule oscillation. La caractéristique d'une onde lumineuse est alors sa longueur d'onde  $\lambda$ .

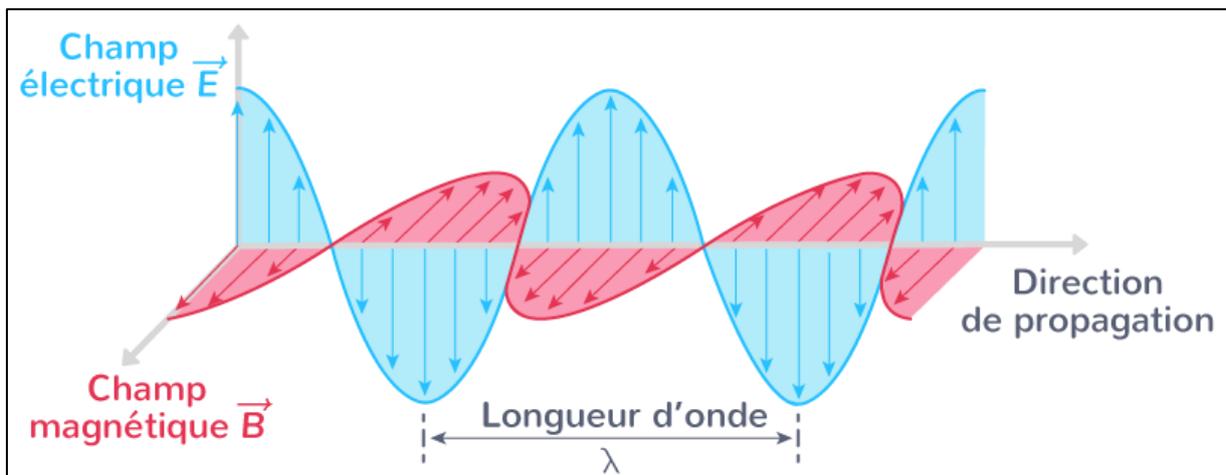


Figure 1 : Onde lumineuse

Seules les ondes électromagnétiques ayant une longueur d'onde comprise en 370 et 780nm sont visibles à l'œil nu [Figure 2]. La longueur d'onde définit alors la couleur perçue.

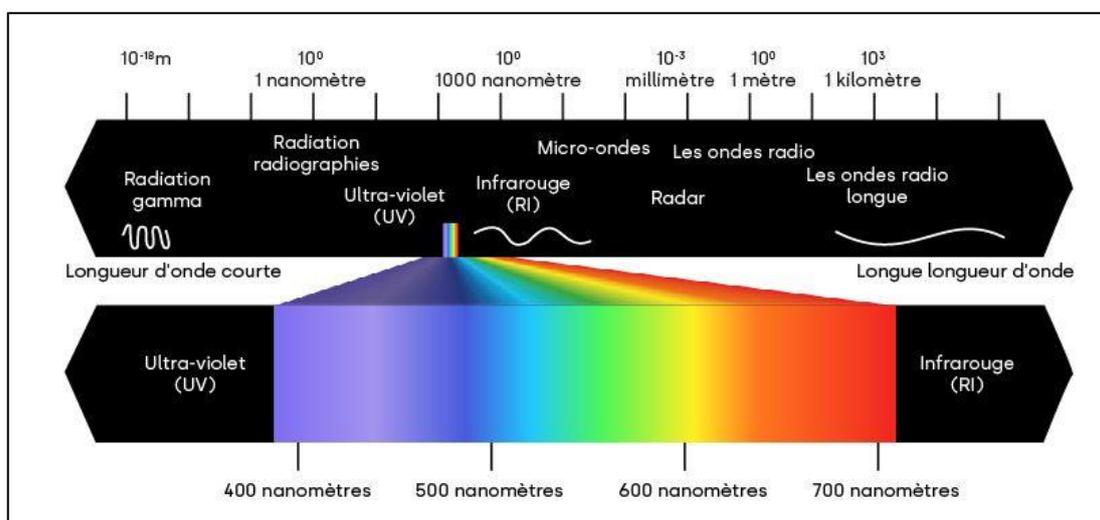


Figure 2 : Les ondes visibles

Le soleil n'émet pas des ondes électromagnétiques avec une seule et même longueur d'onde mais une multitude d'ondes avec des longueurs d'onde différentes. Certaines longueurs d'onde sont plus émises que d'autres et cela est visible sur la [Figure 3] qui représente la distribution relative de l'intensité de chaque longueur d'onde émise par le soleil. La source n'est en réalité pas le soleil mais nommée D65 et correspond aux ondes lumineuses perceptibles un jour ensoleillé.

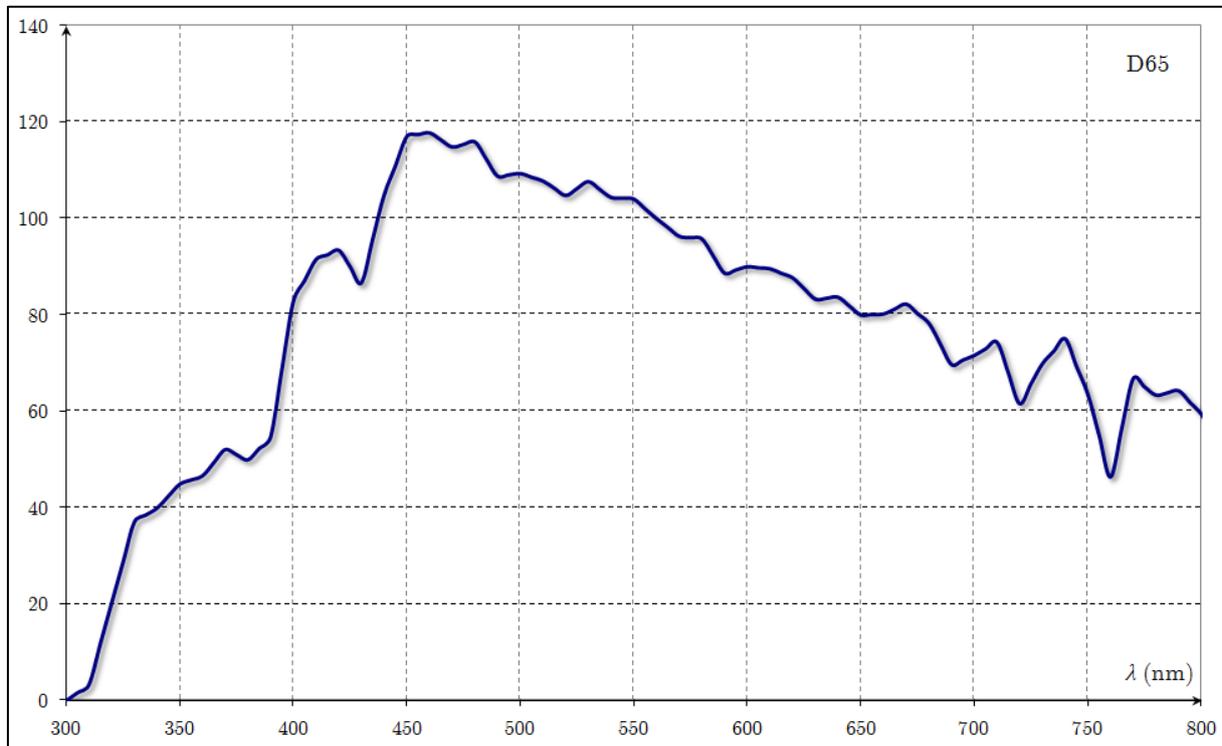


Figure 3 : Intensité relative de la source D65

## LA LUMIÈRE DANS LES COUCHES MINCES

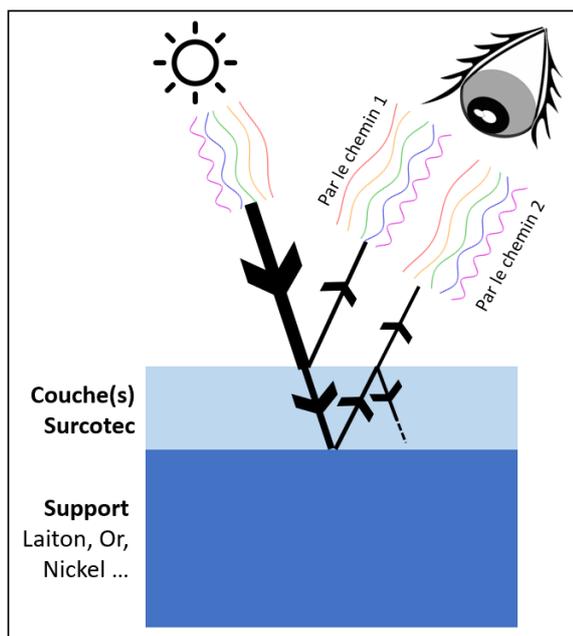


Figure 4 : Parcours de la lumière

La lumière se réfléchit sur la surface de la couche mince et pénètre aussi la matière [Figure 4]. Ce schéma simplificateur représente le parcours de toutes les ondes émises par le soleil avant d'arriver à l'œil de l'observateur.

Comme le chemin 2 est plus long que le chemin 1, la lumière ayant suivi le chemin 2 arrive en « retard ». La lumière du chemin 1 et 2 s'additionnent alors, ce phénomène est nommé « interférence ».

Les ondes s'additionnent alors de la manière décrite [Figure 5] pour toutes les longueurs d'ondes, en particulier dans le domaine visible. Ici seules les longueurs d'onde du bleu et du rouge sont représentées mais il faut garder à l'esprit que ce phénomène a lieu pour toutes les longueurs d'ondes.

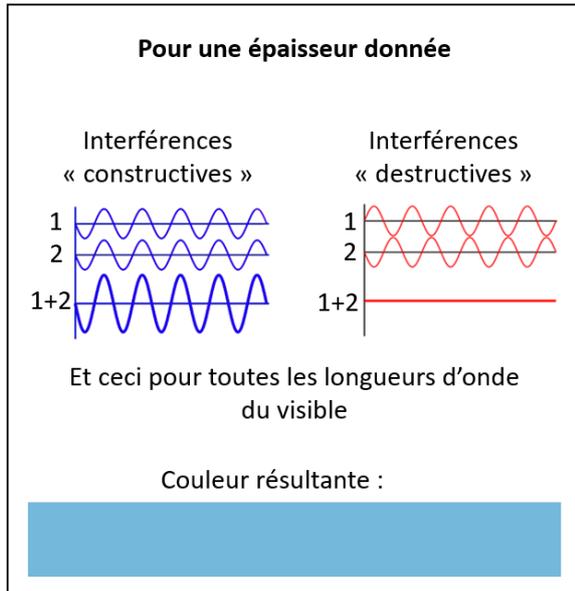


Figure 5 : Interférences

Dans ce cas les « pics » de bleu entre la lumière ayant parcourue le chemin 1 et celle du chemin 2 sont en « phase » : ils s'additionnent et donnent un bleu très intense. A l'inverse, l'onde correspondant au rouge « s'annule » car un « pic » de l'onde ayant parcourue le chemin 1 correspond à un « creux » de celle ayant parcourue le chemin 2. La couleur perçue ne comportera alors pas de rouge. Il faudrait étudier toutes les longueurs d'ondes du visible et faire ce calcul pour connaître la véritable couleur perceptible. Ce cas est simulé et donne un bleu ciel. Ce résultat est logique puisque le bleu est prédominant grâce à l'interférence constructive et le rouge absent à cause de l'interférence destructive.

Il est possible d'étudier la couleur perceptible en fonction de l'épaisseur de la couche traversée puisque plus la couche est épaisse plus la lumière parcourant le chemin 2 sera en retard. La [Figure 6] montre l'impact de l'épaisseur sur la couleur perçue en représentant l'intensité lumineuse pour 3 longueurs d'ondes particulières : le bleu, le vert et le rouge.

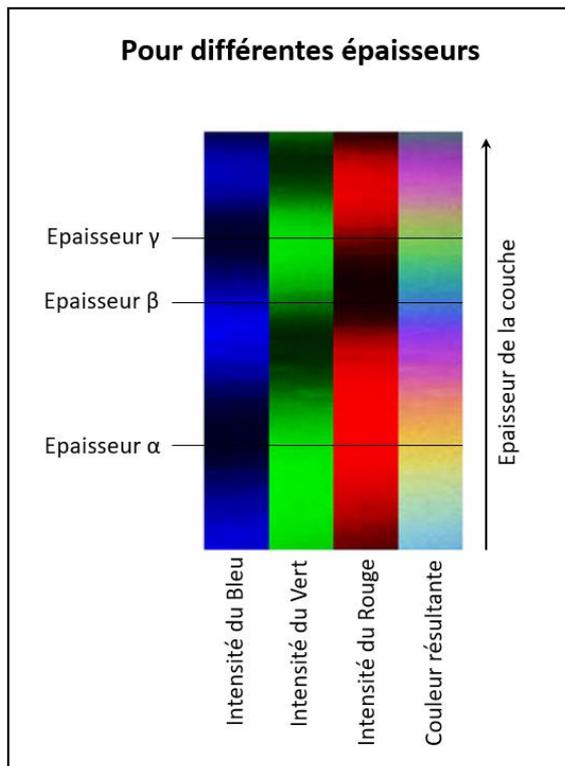


Figure 6 : Influence de l'épaisseur de la couche

Pour une épaisseur  $\alpha$  le bleu subit une interférence destructive, le vert et le rouge une interférence constructive ce qui donne un jaune qui est la somme du rouge et du vert.

Pour une épaisseur  $\beta$  le bleu est intense alors que le vert et le rouge sont faibles (interférence destructive), ce qui donne un bleu.

Pour une épaisseur  $\gamma$  le bleu et le rouge subissent une interférence destructive, le vert interférence constructive ce qui donne un vert.

## INFLUENCE DE L'ANGLE DE VUE

L'angle avec lequel on observe la pièce influe sur la couleur perçue car la différence de distance entre le chemin 1 et le chemin 2 augmente lorsque l'angle de vision augmente [Figure 7]. Cette différence de chemin variable donne lieu à un « retard » variable des ondes passant par le chemin 2 et donc une couleur qui change. Ce phénomène de couleur variant en fonction de l'angle est nommé « iridescence » et dépend grandement de la nature de la couche que traverse la lumière.

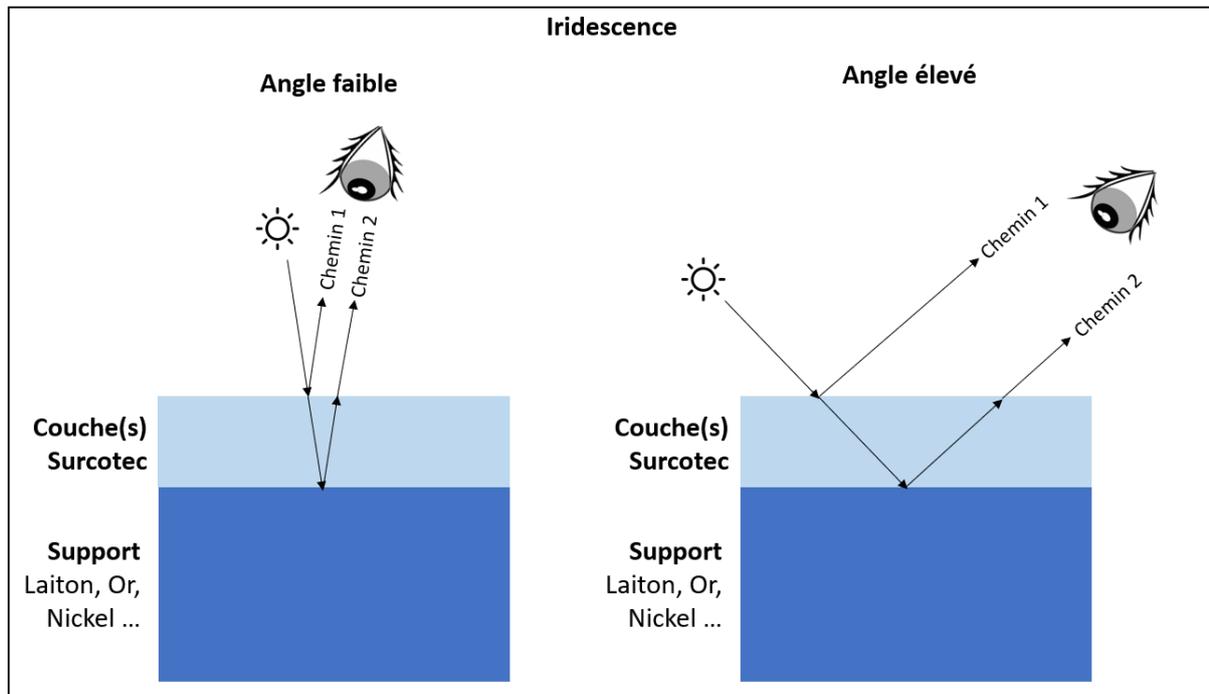


Figure 7 : Iridescence

De nombreux paramètres sont passés sous silence car il faut simplement retenir que la nature, l'épaisseur et l'ordre des couches déposées va complexifier le calcul de retard. La [Figure 9] reprend un dépôt PVD puis ALD maîtrisé par Surcotec, les possibilités de variations sont infinies.

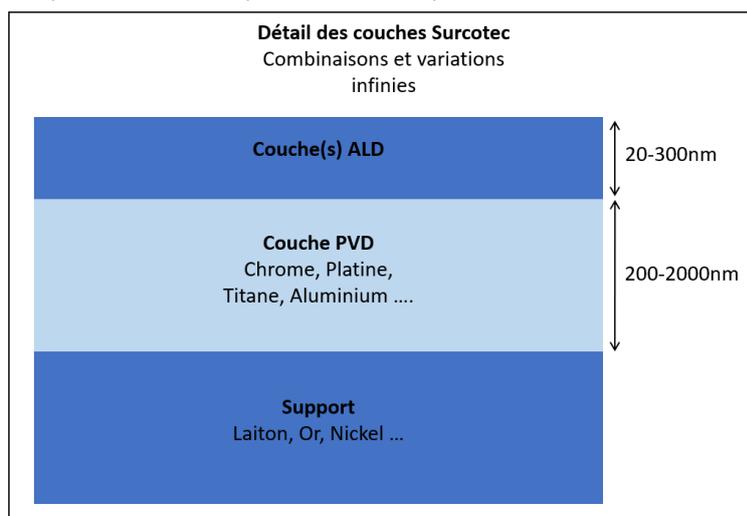


Figure 9 : Couches Surcotec

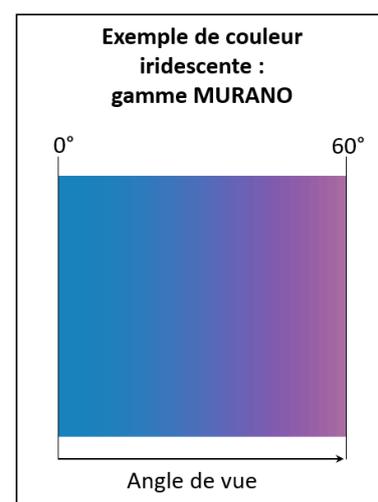


Figure 8 : Exemple de la gamme MURANO

Tous ces paramètres sont intégrés dans un outil de simulation de la couleur qui permet à Surcotec de designer des couleurs particulières avec des propriétés très intéressantes. La gamme MURANO correspond aux couleurs iridescentes [Figure 8].

## FORMULER UN BESOIN

Pour définir une couleur il existe un grand nombre d'espaces colorimétriques et de moyens mais le plus intéressant est le domaine  $L^*a^*b^*$ . Ce domaine décrit la couleur grâce à 3 paramètres :  $L$  pour le niveau de gris,  $a^*$  pour l'équilibre vert/rouge et  $b^*$  pour l'équilibre bleu/jaune [Figure 10]. Une demande de couleur peut se formuler dans ce domaine, dans un autre domaine (RGB, XYZ, xy,...) ou avec un pantone car les conversions sont rapides mais le  $L^*a^*b^*$  reste l'outil employé en interne.

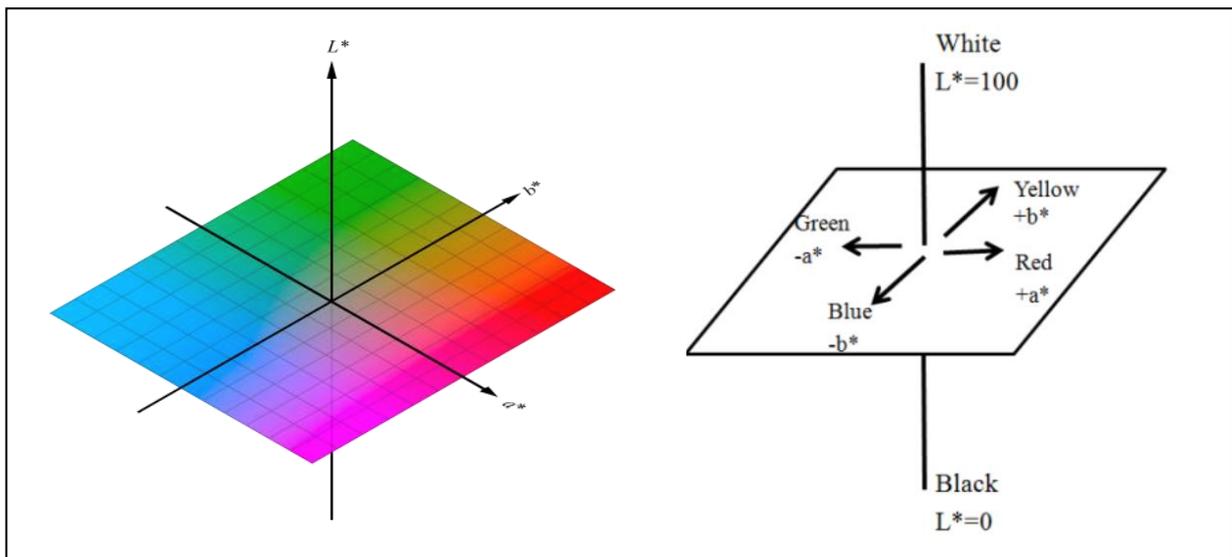


Figure 10 : Domaine  $L^*a^*b^*$

Il faut aussi définir si la couleur souhaitée doit rester stable lorsque l'angle de vue change ou s'il est préférable d'avoir une couleur variable selon l'inclinaison.

SURCOTEC VOUS ACCOMPAGNE DANS CES CHOIX ET FAVORISE UN RAPPORT PRIVILEGIE ENTRE LE CLIENT ET LES EQUIPES TECHNIQUES.

Contact : admin@surcotec.ch