

# Optimisez la formulation des revêtements grâce aux analyses

15 septembre 2026, 15:00

Pieter Samyn

## De l’approche par essai/erreur à la conception prédictive, fondée sur la connaissance

La formulation des revêtements repose encore largement sur l’approche par essai/erreur. Et si les données d’analyse pouvaient vous aider à prédire la performance d’un revêtement avant de réaliser des essais approfondis en laboratoire?? En établissant des liens entre la composition, la structure et la performance, la conception analytique des revêtements permet de prendre de meilleures décisions de formulation, de limiter les essais et de mieux comprendre pourquoi un revêtement fonctionne ou pas.



La formulation analytique des revêtements implique de passer d’un processus de développement essentiellement empirique, partant des essais et des erreurs, à une méthode fondée sur les données et sur la compréhension scientifique des liens entre composition, structure, fonctionnement et performance des revêtements. Cette approche s’appuie sur des techniques de chimie analytique et de caractérisation des matériaux pour obtenir des données quantitatives, qui orientent les décisions de formulation, accélèrent le développement, réduisent la consommation de matières premières et améliorent la solidité des produits.

L’un des grands défis que pose la conception de revêtements fondée sur la connaissance consiste à comprendre le rôle joué par les additifs. Pour décrire un revêtement, les formulateurs ont l’habitude de dire qu’il contient 2?% de dispersant, 5?% de cire ou 10?% de lignine. À eux seuls, ces chiffres ne permettent toutefois pas de comprendre l’influence réelle qu’un additif peut avoir sur la performance du revêtement. Il faut savoir que la performance d’un revêtement ne dépend pas de la concentration de l’additif, mais bien des interactions entre cet additif et la matrice polymère. Deux revêtements présentant la même concentration en additif peuvent se comporter tout à fait différemment en termes d’adhérence, de résistance à la corrosion, de propriétés barrières ou de robustesse pour la simple raison que les additifs interagissent autrement avec le réseau du revêtement. Dès lors, la conception prédictive s’intéresse davantage aux interactions entre l’additif et la matrice qu’à la concentration en additif. Dans un revêtement époxy, un dispersant, un durcisseur, du silane, de la cire, un inhibiteur de corrosion ou un additif biosourcé ne fonctionne

que parce qu'il interagit avec le réseau polymère et que sa performance dépend des propriétés de l'interphase et de la répartition de l'additif.

### Découvrez tous les articles de cette série

- Des composants petits mais puissants pour des revêtements écologiques
- Additifs biosourcés : valorisez vos résidus
- Des résidus agricoles aux revêtements haute performance
- Réutilisation des déchets de coquilles d'œufs en charge fonctionnelle pour revêtements
- De déchets agricoles à revêtements performants
- Les isocyanates biosourcés dans les revêtements en polyuréthane sont-ils une bonne idée ?
- Additifs anticorrosion biosourcés partie 1
- Additifs anticorrosion biosourcés partie 2
- Optimisez la formulation des revêtements grâce aux analyses ? *Article actuel*
- Comment choisir des liants biosourcés pour les revêtements ?

## Pourquoi les interactions additif-matrice sont-elles déterminantes??

Imaginez un revêtement époxy contenant une charge biosourcée telle que de la lignine, de la cellulose et du biochar. Le seul fait de savoir que ce revêtement est formulé avec une concentration de charge de 10?% en poids n'est pas très utile. Ce qui l'est, en revanche, c'est de savoir comment l'additif s'intègre dans le revêtement et interagit avec son environnement, à savoir lorsqu'il?:

- Participe à la liaison hydrogène avec le réseau époxy
- Modifie la densité de réticulation
- Optimise ou complique la dispersion des particules
- Crée des vides à l'interface
- Limite la mobilité du polymère
- Modifie les propriétés de transport de l'eau

Ce sont ces effets qui, en définitive, déterminent la performance du revêtement.

Dans de nombreux jeux de données industriels, ces descripteurs d'interaction ont une portée prédictive bien plus puissante que la charge d'additif nominale, car ils captent la chimie et la microstructure réelles du système revêtement-additif. Dans une perspective de conception assistée par apprentissage automatique (machine learning ou ML), la concentration en additif est souvent un indicateur peu fiable, contrairement aux descripteurs d'interaction quantitatifs, qui comprennent directement la chimie et la microstructure sous-jacentes, responsables de la performance.

L’un des principaux objectifs de la science analytique moderne des revêtements consiste dès lors à traduire des concepts qualitatifs, tels que «?bonne compatibilité?» ou «?interaction solide?», en données numériques mesurables.

## Comment la conception analytique des revêtements réduit-elle les essais et les erreurs??

Traditionnellement, pour formuler un revêtement, on teste et on ajuste petit à petit les liants, les pigments, les charges, les solvants et les additifs jusqu’à atteindre la performance souhaitée. Si cette méthode a prouvé son efficacité, elle peut s’avérer très chronophage et ne permet pas toujours de comprendre les raisons pour lesquelles un revêtement fonctionne ou pas. La véritable force de la formulation analytique n’est pas tant la caractérisation en elle-même, mais le fait qu’elle parvient à prédire la performance du revêtement grâce aux données d’analyse avant la réalisation de longs essais, mais aussi à optimiser la performance finale du revêtement.

La stratégie de formulation analytique cherche à répondre à des questions fondamentales, telles que?:

- Quelle est la composition chimique exacte du revêtement??
- Comment les composants sont-ils répartis au sein du revêtement??
- De quelle manière les interactions moléculaires influencent-elles la rhéologie, la formation de films et le durcissement??
- Dans la formulation, quels paramètres ont le plus d’impact sur la durabilité, l’adhérence, les propriétés barrières ou l’apparence??
- Comment prédire la performance avant la réalisation d’essais approfondis??

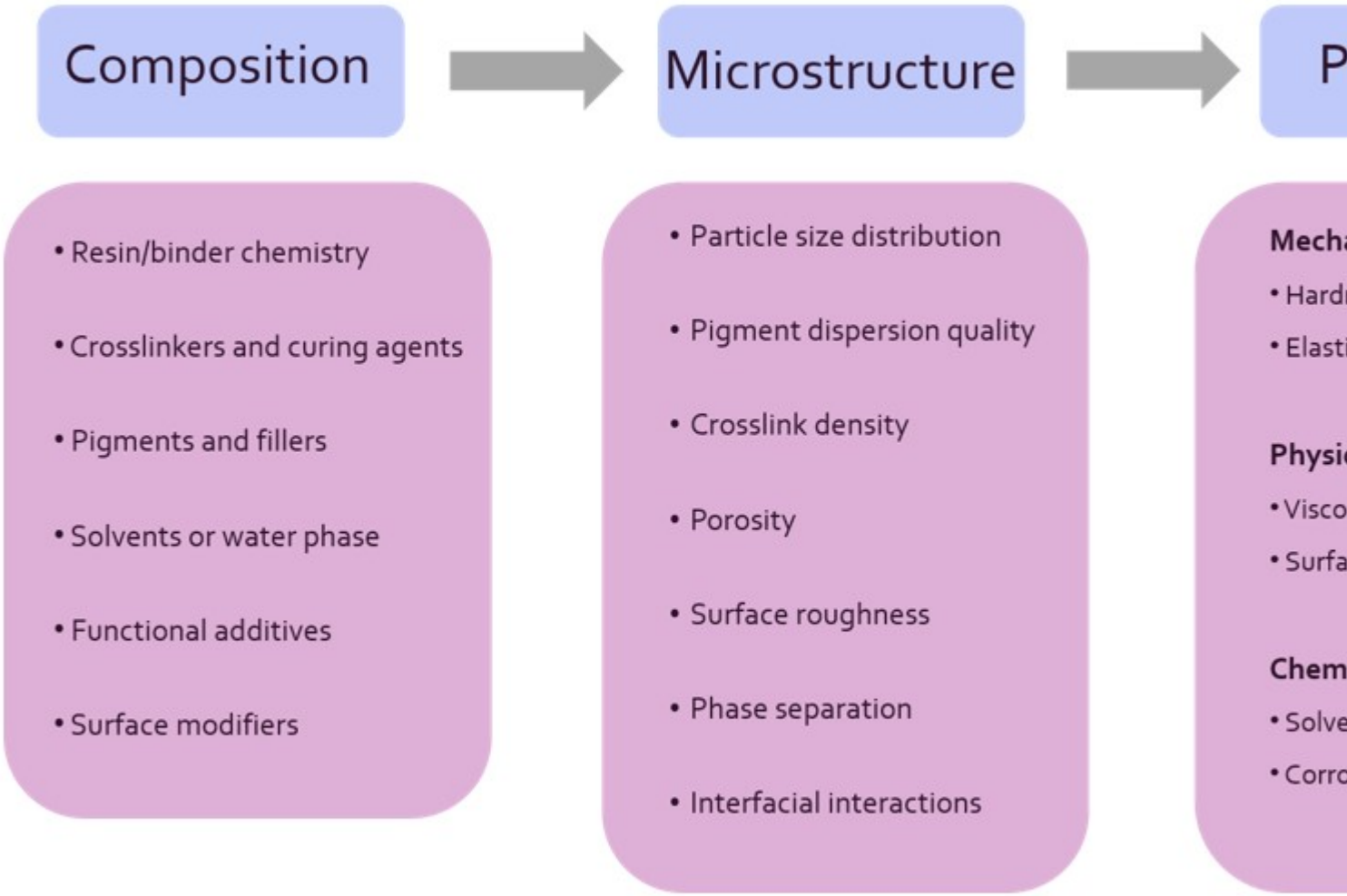
La compréhension de ces liens peut aider les formulateurs à concevoir des revêtements avec davantage de précision et de confiance.

## Faire le lien entre la composition, la structure et la performance des revêtements

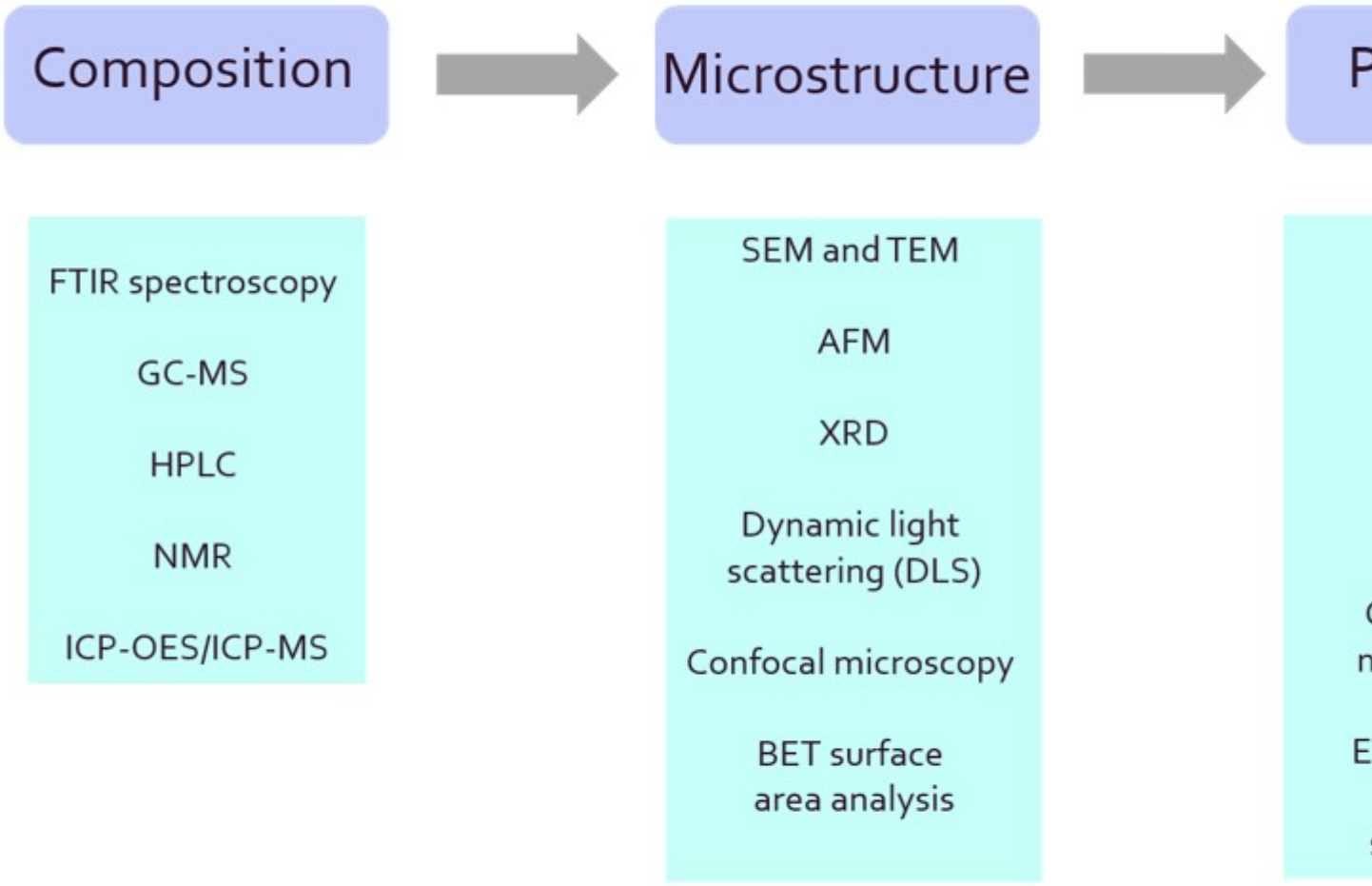
Comprendre les liens qui unissent la composition, la structure et les propriétés d’un revêtement, c’est comprendre la manière dont les ingrédients d’un revêtement déterminent sa structure interne qui, à son tour, détermine sa performance. Un revêtement se compose d’un liant, de pigments, de charges, d’additifs et d’agents de réticulation. Ces composants interagissent lors de la formulation, de l’application et du durcissement pour créer une microstructure spécifique caractérisée par une certaine densité de réticulation, répartition des phases, porosité, dispersion des particules, adhérence à l’interface et morphologie de surface (figure?1).

La structure qui en résulte a une influence directe sur les propriétés du revêtement, comme sa dureté, sa flexibilité, son adhérence, sa résistance chimique, sa protection contre la corrosion, sa brillance et sa durabilité. Par exemple, augmenter la densité de réticulation de l’époxy peut améliorer sa résistance chimique et sa dureté, mais peut réduire sa flexibilité. De même, une meilleure répartition des pigments et des charges peut renforcer les propriétés barrières et la performance mécanique, tandis qu’à l’inverse, une mauvaise répartition peut créer des défauts accélérant la dégradation (figure?2).

S’ils maîtrisent ces liens, les formulateurs peuvent passer outre l’approche empirique fondée sur les essais et les erreurs. En établissant des liens entre la composition et la structure des revêtements, puis entre leur structure et leur performance grâce à des techniques d’analyse telles que FTIR, DSC, DMA, la rhéologie et la microscopie, les scientifiques peuvent mettre au point des modèles prédictifs permettant de concevoir des revêtements sur la base de données et d’optimiser des systèmes de revêtement sophistiqués.




*Figure?1?: établir des liens entre structure et propriétés grâce à la compréhension de paramètres fondamentaux à différents niveaux du processus de développement d’un revêtement*




*Figure??: différents outils d'analyse disponibles en fonction des phases de conception et de développement des revêtements*

## Des données analytiques à la conception prédictive de revêtements

À l'avenir, la formulation des revêtements devrait savamment combiner chimie analytique, science des matériaux et science de données. Plutôt que de réaliser d'interminables essais répétitifs, les formulateurs pourront de plus en plus s'appuyer sur des descripteurs d'interaction mesurables qui capteront le comportement concret des additifs au sein de la matrice du revêtement. À chaque phase de conception et de développement des revêtements, des outils d'analyse peuvent

contribuer à optimiser la formulation et à prendre les bonnes décisions (figure?2).

L’ingénierie des fonctionnalités est sans doute l’étape déterminante dans la création de modèles de performance de revêtement prédictifs. En science des revêtements, les meilleures données d’entrée?ML sont rarement les données d’analyse brutes. mais bien les descripteurs, qui captent la physique et la chimie sous-jacentes du revêtement, et que nous obtenons par la transformation des mesures analytiques. C’est ça, l’ingénierie des fonctionnalités.

Pour les revêtements époxy, les mesures fiables sont souvent issues?:

- Des analyses FTIR pour les interactions chimiques
- Des analyses DSC pour la modification des réseaux
- Des analyses DMA pour la mobilité moléculaire et la rhéologie
- De la rhéologie pour le développement des microstructures
- Des modèles d’équations structurelles (SEM) pour la morphologie et le comportement à la rupture
- De l’analyse de l’angle de contact pour la compatibilité

En convertissant ces mesures en fonctionnalités numériques, les scientifiques peuvent créer des modèles prédictifs capables d’estimer l’adhérence, les propriétés barrières, la résistance à la corrosion, la robustesse et la durabilité à long terme. On passe ainsi de la formulation empirique des revêtements à la conception fondée sur les données, où la compréhension des interactions entre additif et matrice est à la base de la technologie prédictive de nouvelle génération. Parallèlement, le recours à des techniques d’analyse peut également aider à comprendre les défaillances et les ruptures des systèmes de revêtement. Étant donné que la plupart des défaillances sont dues à un nombre limité de paramètres des matériaux, l’objectif est d’identifier les descripteurs analytiques mesurables qui optimisent la performance.


## Mettez la conception analytique des revêtements en pratique

Vous souhaitez formuler vos revêtements de manière plus ciblée et mieux comprendre comment les additifs biosourcés influencent leurs performances ? Dans le cadre du projet AddBIO, Sirris étudie avec ses partenaires comment sélectionner, caractériser et intégrer des additifs biosourcés dans des revêtements haute performance. Différentes techniques analytiques nous permettent d'évaluer leur influence sur les propriétés et les performances des revêtements. Nos laboratoires d'essais mettent par ailleurs à votre disposition diverses techniques pour vous accompagner dans la formulation de revêtements et l'analyse des défaillances.

Téléchargez le livre blanc sur la conception analytique des revêtements

*Disponible uniquement en anglais* Découvrez le projet AddBIO

## En bref

La conception analytique des revêtements vous aide à passer outre la méthode par essai/erreur. En mesurant les interactions entre additif et matrice et en établissant des liens entre la composition, la structure et la performance, vous comprendrez mieux le comportement des revêtements. Ces données vous aideront à prendre des décisions de formulation, à créer des modèles prédictifs et à développer plus rapidement des revêtements robustes.

## Conclusion?: des mesures aux décisions éclairées

Les techniques d’analyse contribuent à expliquer la performance des revêtements après les essais, mais elles peuvent aussi d’emblée orienter les décisions de formulation. En mesurant les interactions additif-matrice et en les convertissant en données utiles, vous réduisez les essais et les erreurs, vous renforcez les modèles prédictifs et vous mettez au point des systèmes de revêtement plus robustes.

## Partenaires

## Auteurs



Pieter Samyn