

# Maturité prédictive – une nouvelle ère pour le durcissement du béton

■ Bertrand Delforge, JB Concrete, France  
April Kraft, Kraft Curing Systems, Kraft Curing Systems GmbH, Allemagne

**Depuis des décennies, Kraft Curing est à la pointe de l'innovation dans le domaine du durcissement du béton.** L'introduction de nouveaux ciments - contenant différentes matières de remplissage (hydrauliques latentes et inertes) qui remplacent partiellement le clinker Portland afin de réduire l'empreinte carbone (CO<sub>2</sub>) du ciment - amène les fabricants d'éléments préfabriqués en béton et d'éléments en béton précontraint à se demander quand leurs produits peuvent être décoffrés ou la précontrainte relâchée sans compromettre la qualité du produit. En réponse à ces problèmes, l'introduction de la technologie Match-Cure par Kraft Curing l'année dernière a marqué une nouvelle étape dans le contrôle de la qualité pour la production d'éléments préfabriqués en béton et d'éléments en béton précontraint.

Le système est conçu comme un système complet de surveillance de la résistance initiale. Match-Cure permet aux fabricants de s'assurer que l'élément en béton fraîchement coulé a atteint la résistance requise avant de le décoffrer ou de relâcher la précontrainte. Cette détection du moment le plus précoce possible pour ce faire réduit les coûts d'énergie et les frais de personnel, tout en garantissant la sécurité et la qualité du produit.



Intégration de Match-Cure dans le système écologique AutoCure de Kraft Curing, afin d'éviter la duplication des systèmes de contrôle et de surveillance et de réduire les coûts.

Les cylindres ou cubes d'essai fabriqués lors du coulage d'un élément préfabriqué en béton et d'un élément en béton précontraint sont placés dans une chambre climatique Match-Cure isolée. Celle-ci permet de mesurer et de contrôler avec précision la température de l'échantillon, qui correspond à la température interne de l'élément en béton réel.

Si la température de l'élément en béton augmente (en raison de l'hydratation ou d'un système de durcissement accéléré), une unité de chauffage située dans le boîtier Match-Cure réchauffe l'échantillon. Si la température de l'élément en béton baisse (par ex. à cause du vent ou d'un couvercle endommagé), un ventilateur refroidit l'échantillon à la température ambiante au moins. Pour les régions aux hivers rigoureux, un système de refroidissement est disponible en option.

Des capteurs de température - câblés ou sans fil, au choix - mesurent en continu les conditions de durcissement de l'élément en béton et de l'échantillon. Ces données sont transmises au système de contrôle AutoCure®. Si la température de l'élément est supérieure à celle de l'échantillon, le système de chauffage est activé pour les égaliser. Si la température de l'élément baisse, le système réagit en refroidissant ou en aérant.



Chambres climatiques Match-Cure pour un total de cinq zones/bancs/moules/tables de production.

Pour assurer la qualité, le système VaporWare V2® enregistre indépendamment toutes les données climatiques - y compris les numéros de lot, les descriptions des éléments et les horodatages - et crée un rapport complet et vérifiable de l'élément en béton et des échantillons dans la chambre Match-Cure.

Avec Match-Cure, les fabricants obtiennent une simulation précise des conditions réelles de durcissement de leurs éléments. Avant que l'élément en béton réel ne soit décoffré ou détendu, l'échantillon peut être prélevé dans la chambre Match-Cure et soumis à un test de résistance à la compression afin de déterminer si le béton a atteint une résistance suffisante.

### Match-Cure Ultra

Kraft Curing a perfectionné sa technologie et développé Match-Cure Ultra - un système de contrôle prédictif de la maturité.

Au lieu d'attendre de voir comment le béton préfabriqué ou précontraint se comportera dans certaines conditions, les fabricants peuvent désormais prédire et contrôler avec précision le moment où le produit atteindra la résistance requise. Avec Match-Cure Ultra de Kraft Curing, les fabricants de béton peuvent définir les paramètres de durcissement (tem-



Un grand moniteur affiche pour chaque table de production ou moule le degré d'achèvement actuel (%) et le temps d'achèvement prévu. Des bordures colorées en vert, jaune ou rouge indiquent l'état de durcissement actuel de chaque zone de production.

pérature, durée du préchauffage, phases de chauffage et de maintien) afin d'atteindre la résistance à la compression cible qui permet de décoffrer ou de détendre le béton en toute sécurité. Cela signifie le passage d'une surveillance réactive



MASTERS OF BLENDING  
**KNIELE**

THE ART OF MIXING  
Made in Germany

*Simply the best*



THE KNIELE KKM

à un contrôle proactif de la production basé sur les données ! Le fondement de Match-Cure Ultra réside dans la mesure prédictive de la maturité – une méthode d'évaluation de la progression de l'hydratation dans le béton. Pendant que le ciment est hydraté, de la chaleur est libérée. La mesure de la température au moyen de thermocouples dans l'élément en béton permet de quantifier le degré d'hydratation et de le convertir en un indice de maturité.

Cet indice reflète l'« âge équivalent » du béton – c'est-à-dire le temps qu'il aurait fallu au matériau pour atteindre la même résistance dans des conditions standard (typiquement : 20 °C). À l'aide de la loi d'Arrhenius, le système prend en compte l'accélération de l'hydratation à des températures plus élevées et son ralentissement à des températures plus basses.

Le résultat est une image continue de l'évolution de la résistance à l'intérieur de l'élément en béton – sans destruction d'un échantillon à chaque phase.

La maturité prédictive est particulièrement précieuse dans les premières phases de durcissement et nécessite certains équipements : des capteurs pour la collecte de données de température, des dispositifs de stockage pour l'enregistrement et des logiciels pour calculer l'évolution de la résistance.

### De la mesure à la prédition

Alors que la mesure traditionnelle de la maturité indique l'état actuel de la résistance, Kraft Curing l'a transformée en un outil de prévision.

Une courbe d'étalonnage est d'abord établie : des cubes ou des cylindres d'essai d'un mélange de béton donné sont durcis à 20 °C dans des conditions standard et leur résistance à la compression est testée à intervalles réguliers. Les résultats forment un profil de résistance en fonction du temps.

Pendant la production, des capteurs placés dans l'élément en béton mesurent l'évolution réelle de la température. En convertissant l'historique de durcissement en âges équivalents, le système peut déterminer la position actuelle sur la courbe d'étalonnage et prédire la résistance à tout moment. Ainsi, les fabricants n'ont plus besoin d'attendre les résultats des essais de béton, mais savent à l'avance quand le béton atteindra les propriétés souhaitées.

### Comment fonctionne la maturité prédictive dans la pratique

Le processus est simple, mais efficace. Une série d'échantillons d'étalonnage est préparée avec le mélange de pro-



Transmetteur de température robuste, magnétique et sans fil (boîtier gris) avec câble thermocouple de type K pour mesurer la température interne du béton.



Un répéteur sans fil placé dans toute l'installation ou sur le site de l'usine pour assurer une force de signal suffisante sur une grande surface. Un câble à thermocouple pour mesurer la température interne du béton.

duction exact, puis stockée à 20 °C. Après quelques heures, ils sont régulièrement testés pour la résistance à la compression et les résultats sont consignés dans le tableau Match-Cure Ultra. Après 24 heures, un profil de maturité complet est établi.

Ce profil fait partie de la « bibliothèque de maturité » - une base de données contenant des courbes de résistance spécifiques aux mélanges. Pour tous les futurs lots de la même formulation, le programme utilise la courbe enregistrée et la combine avec les mesures de température en temps réel pour prédire l'évolution de la résistance.

Parallèlement, des échantillons placés dans la chambre Match-Cure valident ces prédictions, car ils durcissent dans des conditions identiques. Lorsque le programme signale que la maturité cible est atteinte, un simple essai de compression des échantillons est effectué pour confirmer la résistance prédictive.

### Contrôle de l'installation de durcissement par contrôle prédictif

La combinaison de Match-Cure et d'AutoCure transforme la prédition de la maturité en un système d'usine contrôlable. Les opérateurs peuvent suivre l'évolution de la résistance en



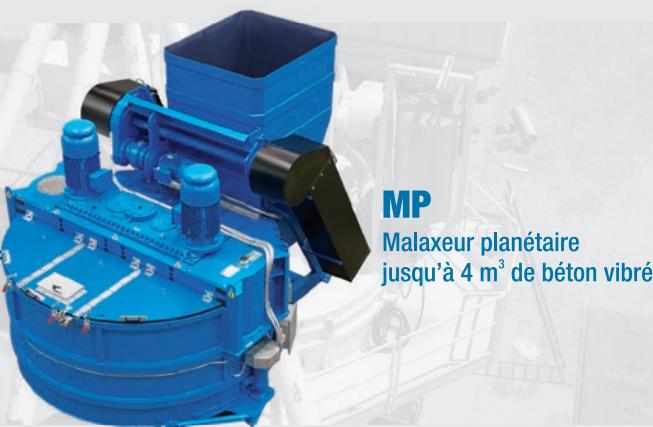
Chambre climatique Match-Cure isolée avec échantillon et mesure de la température interne du béton.

temps réel et recevoir des alertes si le durcissement s'écarte des attentes - par ex. à cause du froid, d'une répartition inégale de la température ou d'un dysfonctionnement du système.



Leader dans la technologie du malaxage pour la production du béton pour BPE, mortier sec, industrie, procès de traitement des déchets

THE  
MIXING  
SOLUTION



MP

Malaxeur planétaire  
jusqu'à 4 m<sup>3</sup> de béton vibré



MAO

Malaxeur double arbre  
jusqu'à 9 m<sup>3</sup>  
de béton vibré

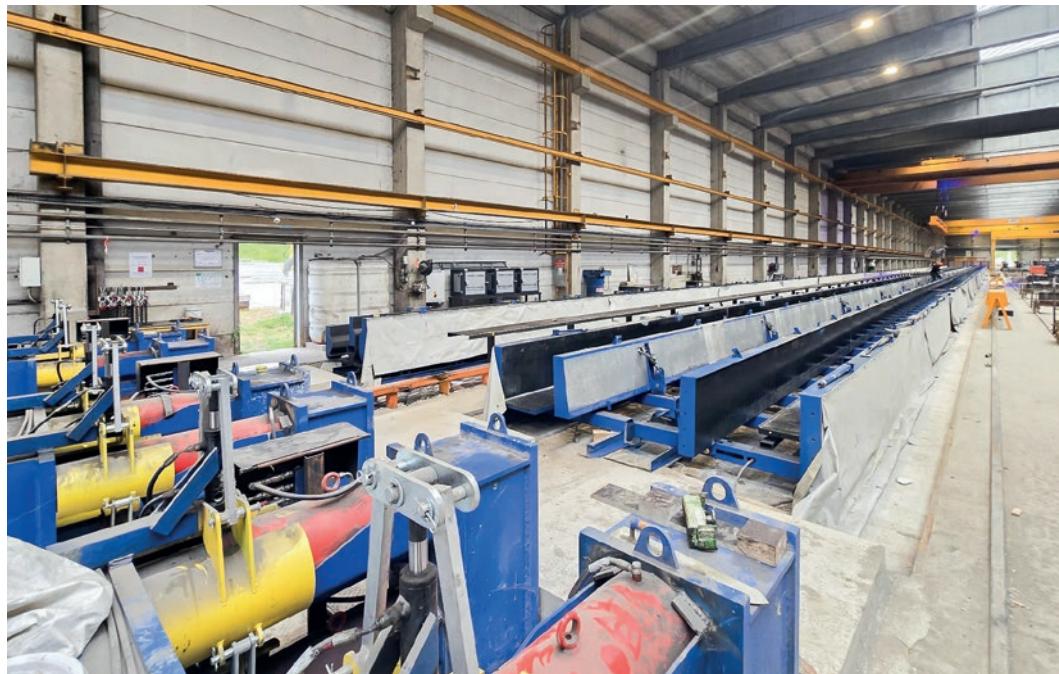


MAO C

Malaxeur en continu  
de 80 jusqu'à 500 m<sup>3</sup>/h



Une large variété  
d'accessoires



*Fabrication de béton précontraint avec des chambres climatiques Match-Cure*

La planification de la production devient ainsi plus fiable : les équipes savent exactement quand les moules peuvent être décoffrés ou les éléments en béton précontraint libérés et peuvent planifier les besoins en personnel en conséquence. De même, le système peut optimiser lui-même le processus de durcissement en adaptant automatiquement les profils. Il évite aussi bien un durcissement trop faible, qui comporte des risques structurels, qu'un durcissement trop élevé, qui fait perdre du temps et de l'énergie. Il en résulte une consommation d'énergie réduite, des cycles plus courts et moins d'erreurs de planification.

Pour plus de sécurité, un échantillon peut être testé une fois la maturité prévue atteinte. Des points de données supplémentaires sont ainsi créés pour la base de données de maturité, ce qui rend les prévisions futures encore plus précises.

### Les avantages de la maturité prédictive

Les avantages s'étendent à l'ensemble de la chaîne de production. La qualité peut augmenter, car chaque élément est vérifié. Le gain de temps est dû au fait qu'il n'est plus nécessaire d'ajouter des marges de sécurité - l'action se fait exactement au moment où le béton est prêt.

L'efficacité énergétique s'améliore également, car les systèmes de chauffage ou les générateurs de vapeur ne fonctionnent que le temps nécessaire.

Du point de vue de la gestion, la maturité prédictive peut permettre une meilleure planification et coordination. Si l'on sait à l'avance quand les produits sont prêts, les processus relatifs au personnel et à la logistique peuvent être coordonnés de manière optimale - les temps morts et les goulots d'étranglement sont minimisés. Le résultat : un processus plus fluide, des coûts réduits et une plus grande fiabilité des dates de livraison.

### Conclusion : la sécurité plutôt que l'incertitude

La maturité prédictive n'est pas seulement une innovation technique - elle peut modifier fondamentalement la gestion de la production. En permettant aux fabricants de décider avec précision quand leurs produits sont prêts et d'ajuster automatiquement les conditions de durcissement, Kraft Curing fait passer le contrôle de l'incertitude à la certitude. Cette évolution n'est pas seulement synonyme de cycles de production plus rapides ou de coûts énergétiques réduits, mais aussi parce que le durcissement du béton passe d'une action fondée sur l'expérience à une science basée sur les données.



Grâce à Kraft Curing, tous les lecteurs de PBI ont la possibilité de télécharger cet article en version pdf. Veuillez consulter le site internet [www.cpi-worldwide.com/channels/kraft\\_curing](http://www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing) ou scanner le code QR avec votre smartphone pour accéder directement à ce site internet.



### AUTRES INFORMATIONS



[www.jbconcrete.fr](http://www.jbconcrete.fr)



Kraft Curing Systems GmbH  
Mühlenberg 2, 49699 Lindern, Allemagne  
T +49 5957 96120  
[info@kraftcuring.com](mailto:info@kraftcuring.com), [www.kraftcuring.com](http://www.kraftcuring.com)