

Prédire la durée de vie de vos produits

Workshop Alliance – 30 juin 2010 – HES-SO Fribourg

Garantir la sécurité et la stabilité des produits sensibles et des denrées alimentaires, cette préoccupation agite aujourd'hui de nombreux milieux, des acteurs de l'agroalimentaire aux pharmas en passant par l'armée suisse! Comment prédire et anticiper les réactions des matières durant leur transport et leur stockage? Au cours de ce workshop, quatre experts ont tenté de donner quelques réponses en présentant successivement l'état de l'art, un procédé innovant, un logiciel très performant et le travail de l'Agence fédérale de promotion de la sécurité. Tour d'horizon.

Jean-Nicolas Aebischer l'a annoncé d'entrée de jeu: «Vous n'apprendrez rien d'innovant lors de ma présentation». Pourtant l'exposé de ce professeur de chimie de la HES-SO Fribourg (TIN, Département des technologies industrielles) constituait véritablement un préliminaire essentiel aux discours des orateurs suivants. Au sommaire, la présentation de deux méthodes d'analyse thermique habituellement utilisées pour caractériser la réactivité des substances pures et des mélanges réactionnels: la calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et l'analyse thermogravimétrique (TGA).

En introduction, le professeur Aebischer a rappelé la définition de la thermoanalyse, «qui se fait en perturbant l'équilibre d'un système chimique. Cette perturbation peut se produire à la suite d'une variation de la composition, ou de la température.» Concrètement, un échantillon de très petite taille – afin d'éviter toute explosion – est placé dans un four et soumis à différentes températures, tandis qu'une sonde étudie ses réactions. La réponse donnée par la matière est étudiée en mesurant la chaleur de la réaction libérée ou absorbée, une donnée ensuite associée à la masse de l'échantillon, à ses propriétés mécaniques et spectrales pour en tirer des modèles d'étude.

Travail d'analyse sur un échantillon d'un milligramme

Ce principe est commun à de nombreuses méthodes de thermoanalyse (DSC, TGA, TMA, spectroscopie, XRD, rhéologie, etc.), mais les différences se situent ailleurs. «Dans le cas de l'analyse DSC, a expliqué le Prof Aebischer, la sonde mesure la différence des flux de chaleur entre le four et un échantillon d'environ un milligramme. Si on connaît la loi de la vitesse qui régit la réaction et les paramètres d'Arrhenius, on peut prédire la température à laquelle la matière réagira. Cette information est importante pour les matières qui doivent être manipulées en grande quantité, et dont on ignore le potentiel énergétique qui peut encore se libérer.»

Pour la méthode TGA, la mise en scène est similaire mais ce sont les réactions de décomposition (et non de composition) qui sont mesurées. Ainsi, le gaz émis par la matière renseigne sur la nature de la décomposition et peut également donner des indications sur la formation d'arômes en cas d'échauffement.

Les thermogrammes DSC et TGA peuvent ainsi être utilisés pour prédire le progrès des réactions chimiques en fonction du temps et de la température.

La chimioluminescence à l'étude des processus d'oxydation

Mais la véritable innovation de ce workshop s'appelle «chimioluminescence», CL pour les intimes, un principe présenté par Fabian Käser, fondateur de la société ACL Instruments, Prix à l'innovation 2009 du canton de Fribourg.

Les processus d'oxydation invisibles constituent actuellement le plus grand défi posé aux spécialistes de la conservation des aliments. Influencés par de nombreux facteurs, ces processus modifient les propriétés des produits, leur stabilité et leur durée de vie. C'est le phénomène de l'huile qui s'oxyde, des plastiques qui perdent leur couleur, etc. En technologie alimentaire, la méthode la plus couramment analysée aujourd'hui pour déterminer le seuil d'oxydation d'un produit reste l'analyse sensorielle, soit la dégustation d'un produit à différents stades de son évolution par des spécialistes.

Or les produits doivent aujourd'hui satisfaire des exigences élevées en matière de stabilité, de sécurité et de qualité, tant du côté des consommateurs que de celui des industriels. «En résumé, explique Fabian Käser, tout le monde veut un produit qui dure. La solution: la chimioluminescence. Le principe? Au cours des différents processus d'oxydation, une réaction chimique se produit et d'infimes quantités de lumière, sous la forme de photons invisibles à l'œil nu, sont libérées. L'innovation réside dans la mise au point d'appareils capables, grâce à une longueur spectrale particulière, de mesurer le rayonnement de ces photons et de pronostiquer ainsi la dégradation des matières organiques.» Effectué sur des chips exposées à la lumière du jour par une température de 25°C durant 1, 3, 6 et 9 jours, le procédé a permis de mesurer les processus d'oxydation 3 jours plus tôt que l'analyse sensorielle.

Améliorer la transformation et la conservation des aliments

Le plus grand potentiel de la CL se situe sans doute dans l'industrie agroalimentaire. La technologie permet en effet d'obtenir des informations précises sur le comportement des substances organiques dans diverses conditions de production, de stockage, de transport et d'utilisation, des graisses aux épices en passant par les matériaux d'emballage. Disposer de ces prédictions devrait permettre d'améliorer la transformation et la conservation des aliments.

L'industrie pharmaceutique, préoccupée par l'altération des substances actives de ses médicaments, a elle aussi déjà manifesté son intérêt, tout comme les acteurs des technologies de marchandises (polymères, adhésifs, matériaux énergétiques, carburants, huiles, explosifs, etc.) ou encore les professionnels de la restauration d'art, préoccupés par la conservation des tableaux composés de matières organiques. A la Haute école des arts de Berne (HEAB), la section conservation-restauration utilise ainsi la chimioluminescence depuis quelques années pour étudier le vieillissement des œuvres d'art. «Nous pouvons étudier tout ce qui est organique», précise Fabian Käser.

Fondée en tant que spin-off de la HEAB, la société ACL Instruments fournit aujourd'hui des services sous la forme de solutions innovantes pour la caractérisation des réactions d'oxydation, mais propose également des instruments à

la vente. A ce stade, la chimioluminescence n'est cependant pas encore reconnue et validée par l'Office fédéral de la santé publique.

Prévoir l'évolution des réactions en fonction du temps et de la température

Après la présentation d'une innovation en cours de reconnaissance, c'est une méthode complètement aboutie, puisque parvenue au stade du logiciel informatique, qui a été présentée par Bertrand Roduit, responsable R&D chez AKTS SA (Advanced Kinetics and Technology Solutions), à Sierre.

«Notre solution s'adresse essentiellement au monde de l'industrie chimique, a précisé M. Roduit, et repose sur deux axes principaux: l'étude de la stabilité thermique des substances et les analyses de sécurité des procédés physico-chimiques.» Combinant, selon la substance analysée, différentes méthodes de thermoanalyse conventionnelles, et intégrant notamment des informations d'ordre cinétique, le logiciel fournit des caractéristiques sur le comportement des matières.

Avec les logiciels d'AKTS, la vitesse et la progression des réactions peuvent être évaluées précisément grâce à l'intégration de variables supplémentaires telles que le type de condition thermique (échauffement par palier, choc thermique, etc.) ou leur zone géographique (sélection dans une liste de 7000 climats). «Réaliser de telles études du comportement et du vieillissement thermiques serait très difficile en température ambiante et avec des profils de température complexes, elles nécessiteraient des temps de mesure très longs. Trop longs pour les industriels!» explique Bertrand Roduit. «Une analyse thermocinétique avancée des thermogrammes permet prédire de manière précise leur comportement, et ainsi celui des matières examinées, pour d'autres durées et pour d'autres profils de température que ceux mesurés.»

Prédire le comportement d'un fût entre Ryad et Zurich

Joignant le geste à la parole, Bertrand Roduit a ensuite fait une démonstration du logiciel AKTS-Thermokinetics, prédisant le comportement de fûts transportant une matière sensible entre Ryad, en Arabie saoudite, et Zurich, selon les oscillations thermiques vécues durant son transport. «Suivant la thermocinétique, il se peut qu'une marchandise qui se dégrade en 250 jours à Zurich, le fasse en 25 jours à Ryad.»

Du milligramme à la tonne, un scale-up en toute sécurité

Après ces exposés de niveau technique relativement élevé, le mot de la fin est revenu au Docteur Pierre Reuse, de l'Institut suisse de Promotion de la sécurité, l'institut Swissi, dont la mission consiste à promouvoir la sécurité dans les entreprises suisses.

«Contrairement aux conférenciers précédents, explique le Dr Reuse, nous nous intéressons à l'approche qualitative et partons de l'idée que tout produit chimique est instable. Si on prend le cas d'un fût, le produit en se décomposant produit de la chaleur, et celle-ci s'évacue en partie par les parois du fût. Il s'agit donc de mesurer la production d'énergie et l'échange de chaleur au stockage.» Quand la production est inférieure à la capacité d'échange, la situation est sans danger. Quand au contraire elle est supérieure, il s'agit de déterminer la température critique selon les lois exponentielle et d'Arrhenius.

«Notre mission consiste essentiellement à garantir la sécurité, a rappelé Pierre Reuse. Ainsi, si nos calculs prédisent que le temps avant l'explosion est de 6 mois, nous donnons un préavis positif pour un transport qui dure deux semaines sans aller plus loin dans l'étude prédictive.» En revanche si la situation est plus critique, l'étude est plus poussée. En cas de différence entre la prédiction et la mesure dans la réalité, c'est la mesure la plus pessimiste qui est prise en compte afin d'assurer la sécurité.

Ce workshop s'est ainsi achevé par quelques recommandations: choisir un échantillon représentatif de la matière, tenir compte de la viscosité du produit dans l'étude, se méfier des différences entre la mesure et la prédiction, prendre une marge de sécurité quand on définit un temps et une température de stockage, éviter tout catalyseur – de la rouille sur les bords du fût, ou un reste de produit vieilli au fond de celui-ci –, contrôler la température de production et de stockage, ou encore prévoir des mesures d'urgence adaptées.

Carole Pellouchoud
6 juillet 2010