

L'OPTIQUE POUR la sécurité sanitaire des aliments

Félix PIAT
Prestodiag, Villejuif, France
felix.piat@prestodiag.com

Il semble aujourd'hui évident que chaque produit alimentaire commercialisé ne représente aucun danger pour la santé. Cet acquis repose pourtant sur un système complexe de règles et de contrôles appliqués quotidiennement dans les coulisses de l'industrie agro-alimentaire. Les technologies optiques y jouent un rôle prépondérant, permettant de séparer le bon grain de l'ivraie.

L'industrie à l'épreuve du risque sanitaire

Dans les six premiers mois de l'année 2017, plus de 2300 alertes de sécurité sanitaire alimentaire ont été émises en Europe, dont 179 concernaient des produits commercialisés puis retirés du marché [1]. Les principaux dangers identifiés dans ces marchandises sont les micro-organismes pathogènes et leurs toxines, les allergènes, les contaminants chimiques, les corps étrangers, ou encore les erreurs d'étiquetage. Parmi les grandes crises sanitaires récentes, on peut citer la contamination de graines germées par *Escherichia coli* O104: H4 en 2011, la présence de viande de cheval dans des lots de produits à base de viande de bœuf en 2013, ou plus récemment la contamination d'ovo-produits par une molécule insecticide, le Fipronil.

De nombreux contrôles sont effectués dans l'industrie pour prévenir ces accidents et se protéger des fraudes. Des contrôles directs sur la ligne de production apportent un premier niveau de sécurité. Des prélèvements intermédiaires permettent ensuite d'analyser finement la composition des produits, et d'y rechercher des contaminants. Les technologies optiques sont à la base de beaucoup de ces systèmes, et pourraient apporter de nouvelles solutions demain.

L'optique dans les contrôles sanitaires

Le contrôle visuel a toujours été, avec l'odorat, le premier moyen de maîtrise sanitaire des produits, permettant d'écarter des denrées altérées ou contaminées. Les systèmes de vision automatiques ont depuis longtemps dépassé les performances de l'Homme et se sont adaptés aux cadences élevées de l'industrie agroalimentaire. Ces systèmes ont souvent l'avantage d'être temps-réel et non-destructifs, permettant de réaliser un contrôle total d'un lot au cours de sa production et de prendre des mesures correctives immédiates.

Les machines de tri par vision permettent par exemple d'éliminer d'un lot de produit des particules de verre ou de plastique, la présence d'autres produits, d'un produit altéré, ou la présence d'éléments issus de l'environnement de production (gants, stylos, bouchon d'oreilles...). Ces systèmes associent le plus souvent des caméras, des capteurs optiques ou électroniques et des systèmes d'éjection par air pressurisé ou mécaniques. Les sociétés Tomra, Buhler et Sesotec commercialisent ces systèmes largement utilisés dans l'industrie, capables de traiter plusieurs tonnes de produits à l'heure.

Initialement des capteurs optiques ont permis de discriminer des objets par leur taille, leur couleur ou leur forme. Ils sont placés au-dessus d'un convoyeur ou en face d'une « chute » de produit, et associés à une source lumineuse. L'ajout de nouveaux types de capteurs optiques et de nouvelles sources (LED pulsées, lasers, sources de rayons X) ont permis d'obtenir de nouvelles informations sur la composition des matières. Le *tableau 1* présente les différents capteurs utilisés et leurs applications.

Ces méthodes sont très efficaces pour la détection des défauts et des corps étrangers mais ne permettent pas de détecter les contaminations chimiques ou microbiologiques, présentes en très petites quantités. Pour cela, un échantillon



**Votre partenaire pour
l'optique de précision et pour
vos systèmes optiques**

SPECTROS SA 4107 Ettingen Suisse Tel.+41 61 726 20 20

www.spectros.ch

**SPECTROS
OPTICAL SYSTEMS**

PRINCIPE	EXEMPLES DE MESURE
vision (caméra CCD)	couleur, taille, forme, transparence
fluorescence	% chlorophylle (végétaux)
spectre infrarouge	composition
spectroscopie Raman	composition
interactance infrarouge	taux de graisse en profondeur (viande)
rayons X	densité, contaminants métalliques, verre, plastique

Tableau 1. Exemples de technologies optiques pour le tri alimentaire.

est généralement prélevé sur la ligne de production puis analysé dans un laboratoire par des méthodes plus sensibles.

Pour la détection des bactéries, la méthode la plus utilisée reste encore aujourd'hui la microbiologie Pasteurienne, en raison de sa simplicité et de son coût. Les échantillons sont étalés sur une boîte de Petri contenant un milieu nutritif; en se multipliant, les bactéries vont former des « colonies » visibles à l'œil nu. Une amélioration de ce procédé consiste à inclure dans le milieu nutritif un nutriment spécifique de la cible lié à une molécule chromogène ou fluorogène, permettant de différencier les divers microorganismes. Des sociétés comme Advencis ont également développé des systèmes d'imagerie permettant de suivre la croissance des bactéries sur boîte de Petri avant même qu'elles ne soient visibles à l'œil nu, et ainsi accélérer leur détection.

Plus rapides et plus automatisées, les méthodes immunologiques comme l'ELISA (de l'anglais Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay, littéralement « dosage d'immuno-absorption par enzyme liée ») sont les plus utilisées des méthodes « rapides ». Elles utilisent des anticorps, des molécules capables de se fixer spécifiquement sur les bactéries recherchées. La fixation est révélée par un deuxième anticorps portant un fluorophore ou une enzyme dégradant un substrat coloré.

Les méthodes dites « moléculaires » consistent à rechercher l'ADN de bactéries pathogènes, en utilisant une enzyme permettant de multiplier exponentiellement cet ADN. La révélation de la réaction se fait par fluorescence ou par luminescence. Cette méthode permet une détection et une identification très précise des pathogènes, ou par exemple d'identifier l'espèce animale originelle d'une viande.

Dans l'industrie laitière, la cytométrie en flux est très utilisée pour compter le nombre de cellules mammifères et le nombre de bactéries. Elle consiste à faire passer un échantillon dans un capillaire devant un faisceau laser et mesurer la diffusion ou l'auto-fluorescence des particules. Cette technologie peut détecter et quantifier des pathogènes précis, comme *Salmonella* ou *Listeria* en ajoutant au mélange un ligand spécifique de ces bactéries, lié à un fluorophore.

Ces méthodes ont cependant l'inconvénient d'être indirectes et destructives. Elles ne permettent donc pas d'effectuer de mesures en temps-réel et impliquent plusieurs étapes de manipulation manuelle. Ces dernières décennies ont vu l'apparition de biocapteurs optiques dont l'objectif est de fournir une mesure directe et sensible pour l'analyse des contaminants chimiques et microbiologiques.

Les biocapteurs optiques, une mesure d'avenir ?

Les biocapteurs sont une nouvelle génération de senseurs capables de traduire la présence d'une molécule ou d'un microorganisme par un signal physique. On les décrit généralement comme l'association d'un récepteur et d'un transducteur. Le récepteur est un élément capable d'interagir avec la cible de l'analyse, c'est souvent un anticorps spécifique de la cible recherchée. Le transducteur transforme la reconnaissance de la cible par le récepteur en un signal; on distingue principalement les transducteurs électrochimiques, optiques, massiques et thermiques.

Le cahier des charges d'un biocapteur pour l'industrie agroalimentaire est extrêmement exigeant. Il doit fonctionner sur une palette très variée d'échantillons comme la viande, le fromage ou les œufs, qui présentent une flore microbiologique naturelle abondante. Le biocapteur doit être très sensible puisque les technologies concurrentes actuellement sur le marché permettent de détecter quelques centaines de bactéries pathogènes parmi plus d'un milliard de bactéries non-pathogènes ! Enfin le biocapteur doit être extrêmement spécifique, avec un taux de faux-positifs inférieur à 1 %.

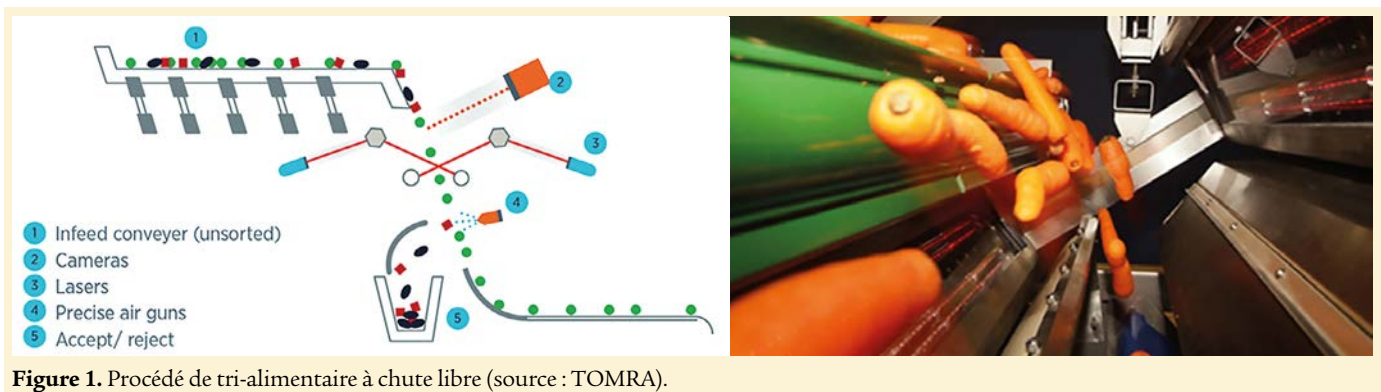


Figure 1. Procédé de tri-alimentaire à chute libre (source : TOMRA).

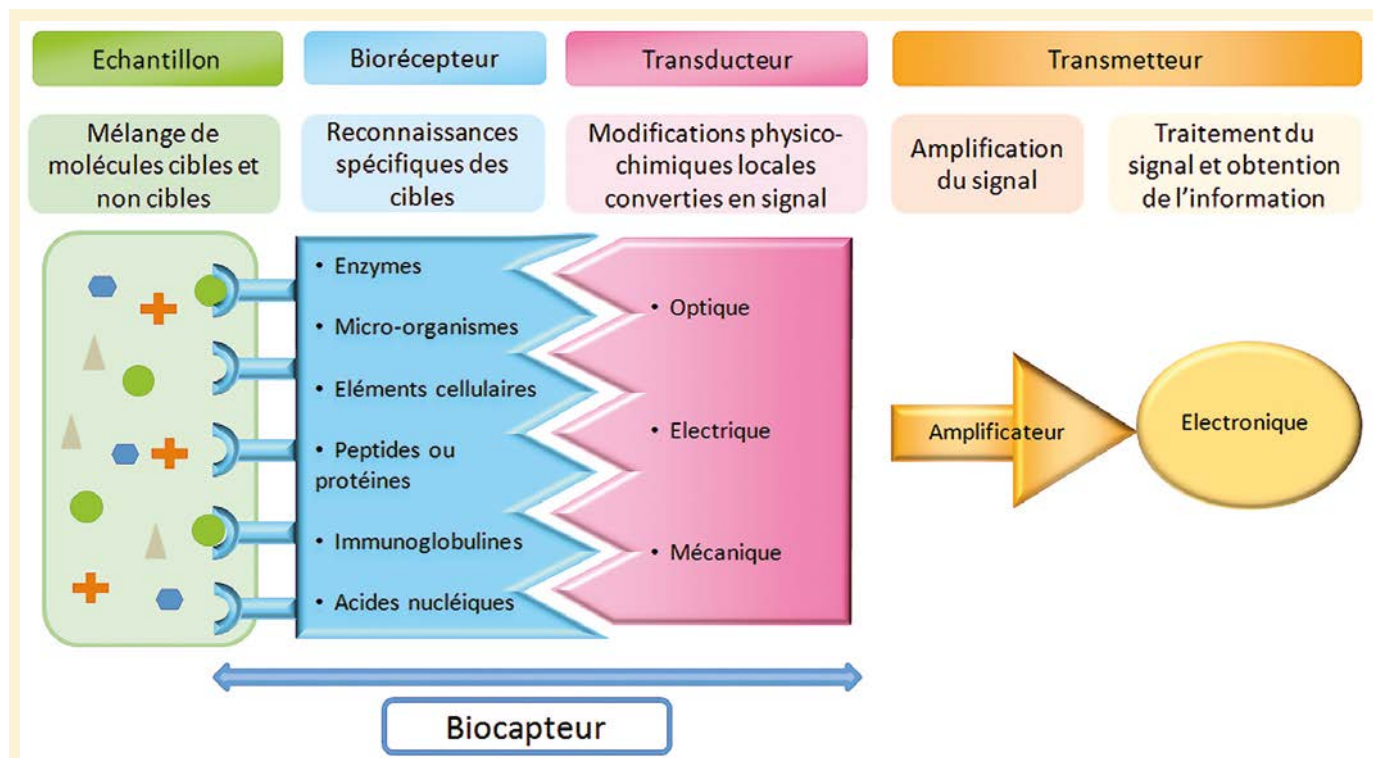


Figure 2. Principes de fonctionnement d'un Biocapteur (source: A. Morlay, 2016 [2]).

Ainsi il n'est pas étonnant que les biocapteurs optiques soient les plus utilisés dans les applications industrielles. Ils sont généralement peu sensibles à la composition des échantillons hormis à leur indice optique, et reposent sur des technologies déjà largement éprouvées et industrialisables.

Les biocapteurs exploitant la résonance des plasmons de surface (SPR) représentent certainement l'application la plus avancée. Ils sont constitués d'un prisme recouvert d'une surface d'or sur laquelle sont greffés des récepteurs. Un rayon lumineux est envoyé et réfléchi sur la face interne du prisme puis capté par une caméra CCD ou une photodiode. L'intensité réfléchie dépend de l'indice optique local à la surface de l'or; ainsi toute fixation d'un élément sur le récepteur provoquera une modification du signal mesuré. Ce capteur peut aussi fonctionner en mode « imagerie », et on peut alors mesurer simultanément le signal de différents récepteurs.

Si cette technologie a longtemps été cantonnée aux laboratoires de R&D, avec les appareils des sociétés Biacore ou Horiba, plusieurs sociétés développent désormais leur propre biocapteur SPR pour l'industrie. La société Prestodiag a mis au point une méthode de détection de *Salmonella* dans les échantillons alimentaires basée sur la SPR. Des kits jetables contenant un prisme recouvert d'une couche d'or de 50 nm sur laquelle sont greffés des anticorps anti-*Salmonella* ont été développés, ainsi qu'un logiciel d'analyse associé à un algorithme de décision. La particularité de ces produits est d'associer la culture bactérienne à la détection par SPR, améliorant significativement la rapidité et la simplicité des méthodes de détection de pathogènes [3].

Le premier produit Prestodiag a obtenu cette année la certification NF VALIDATION, sésame nécessaire à l'entrée sur le marché européen.

La SPR est aussi utilisée pour le développement de nez artificiel ou langue artificielle. Ces biocapteurs associent généralement plusieurs récepteurs afin de déterminer un profil et ainsi identifier précisément une odeur, un goût, une composition. C'est par exemple le cas de la société Aryballe Technologies qui a développé un nez artificiel basé sur la SPR capable de reconnaître différentes odeurs [4]. Ces capteurs ont l'avantage de pouvoir fonctionner en ligne en continu et, bien qu'ils soient destinés aux particuliers, ils pourraient être utilisés pour du contrôle industriel. Récemment la société Roboscientific a montré que l'on pouvait identifier les troupeaux de volailles contaminées aux *Campylobacter* en faisant simplement renifler leur paillage par un nez artificiel.

CONNAISSANCE DES APPLICATIONS
SERVICE CLIENTÈLE PERSONNALISÉ
FACILITÉ D'UTILISATION DES PRODUITS

Leuze electronic
the sensor people

SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES DDL5 500
Transmission à 100 Mbits et aide à l'alignement laser

SCRUTATEUR LASER DE SÉCURITÉ RSL 400
Deux fonctions de protection autonomes

www.leuze-electronic.fr LinkedIn

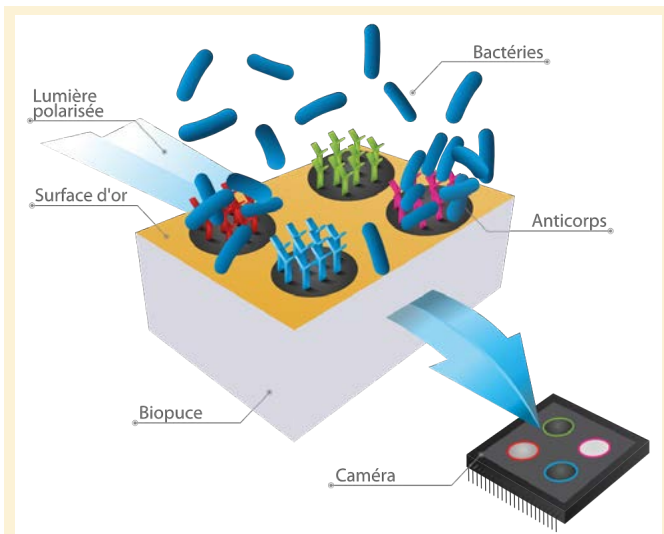


Figure 3. Fonctionnement d'un capteur SPR pour la détection de bactéries (source : Prestodiag).

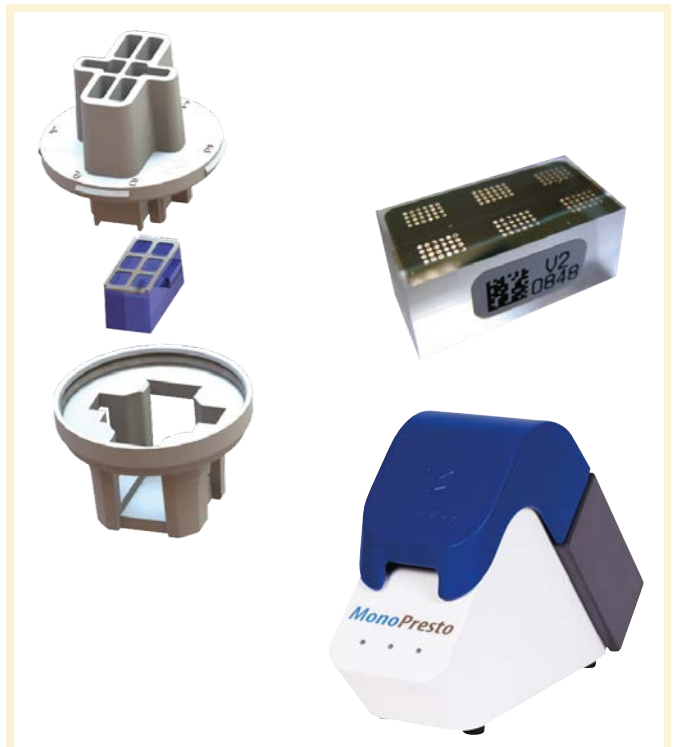


Figure 4. Vue éclatée d'un Kit SPR Prestodiag, le biopuce, et lecteur associé (source : Prestodiag).

D'autres formats de biocapteurs optiques sont aussi développés. On peut par exemple citer ForteBio, qui utilise des fibres optiques fonctionnalisées par différents récepteurs, capables de détecter des bactéries ou des toxines dans un échantillon alimentaire. La société Becton Dickinson a également développé des méthodes de microbiologie basées sur la SERS (spectroscopie Raman exaltée de surface) [5].

Les technologies optiques permettent l'arrivée de nouveaux systèmes de mesure en temps réel, sans marqueur et multiplexés, mais il ne faut pas oublier qu'ils font partie d'une chaîne d'analyse qui doit être entièrement optimisée pour être opérationnelle. En amont du transducteur optique, les performances du ou des récepteurs représentent certainement l'obstacle le plus difficile pour le développement d'un biocapteur, puisque sa sensibilité et sa spécificité conditionneront le résultat final. En aval, le système d'intégration et la couche logicielle permettant l'interprétation des données doivent être robustes et utilisables par un personnel peu qualifié. Enfin l'industrie agro-alimentaire est la plus économe en termes de diagnostic: le prix par test doit être réduit à quelques euros, pour des performances comparables aux meilleures technologies du marché.

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] RASFF – the Rapid Alert System for Food and Feed. https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en
- [2] A. Morlay, Développement d'une méthode de détection multiplexe de bactéries pathogènes en matrice alimentaire se basant sur l'imagerie par résonance des plasmons de surface (SPRi) (2016).
- [3] Bouguelia *et al.*, On-chip microbial culture for the specific detection of very low levels of bacteria., *Lab Chip* (2013)
- [4] L.A. Garçon, Y. Hou, A Versatile electronic tongue based on surface plasmon resonance imaging and cross-reactive sensor arrays - a mini-review, *Sensors* (2017)
- [5] Weidemaier *et al.*, Real-time pathogen monitoring during enrichment: a novel nanotechnology-based approach to food safety testing, *International Journal of Food Microbiology* (2015)



Sous la lumière, les hommes

Par Riad Haidar et préfacé par Pierre Chavel

edp sciences

On imagine mal aujourd'hui le parcours de ces savants, grands esprits audacieux, caractères courageux et trempés, fins politologues, qui ont construit la science que nous pratiquons et imaginé le monde tel que nous le connaissons aujourd'hui. Ce livre reprend, à travers une sélection de biographies, comme autant de trajectoires symboliques, les grandes lignes de cette aventure millénaire.

laboutique.edpsciences.fr

ISBN : 978-2-7598-1082-6
19 € TTC