



Emballage intelligent et RFID

Carole Guillaume, Brice Sorli, Valérie Guillard, Nathalie Gontard

► To cite this version:

Carole Guillaume, Brice Sorli, Valérie Guillard, Nathalie Gontard. Emballage intelligent et RFID. Innovations Agronomiques, 2017, 58, pp.21-30. 10.15454/1.513783292735162E12 . hal-01668196

HAL Id: hal-01668196

<https://hal.science/hal-01668196>

Submitted on 19 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Emballage intelligent et RFID

Guillaume C.¹, Sorli B.², Guillard V.¹, Gontard N.¹

¹ UMR IATE (Ingénierie des Agro-polymères et Technologies Emergentes), INRA, Université de Montpellier, Montpellier SupAgro, CIRAD, 2, place Pierre Viala, Bâtiment 31, F-34060 Montpellier

² IES (Institut d'Electronique et des Systèmes), Université de Montpellier, Campus St Priest, Bâtiment 5, case courrier 05003, F-34095 Montpellier cedex 05

Correspondance : carole.guillaume@umontpellier.fr

Résumé

Dans un contexte socio-économique qui favorise la réduction du gaspillage alimentaire tout autant que l'innovation, l'emballage intelligent des denrées alimentaires est un secteur en pleine expansion qui propose un large panel de solutions pour informer les acteurs de la filière agro-alimentaire de la qualité et la sécurité des aliments emballés, de manière directe ou indirecte. De nombreux dispositifs intelligents (ou indicateurs) sont d'ores et déjà commercialisés, en particulier dans le domaine des indicateurs temps-température, mais leur association avec les étiquettes RFID est encore balbutiante. Pourtant ces étiquettes permettent une gestion aisée (lecture de plusieurs lots à la fois, sans fil) et fine (plus d'informations enregistrées par rapport au code-barres, avec différents niveaux de sécurité) des items sur toute la chaîne de production et distribution, démontrée dans différents secteurs d'activité. Son couplage avec les indicateurs devrait permettre de mieux identifier les défauts sur la chaîne logistique et proposer des actions correctives adaptées mais également de prioriser l'écoulement des lots lors de leur distribution afin de réduire les pertes alimentaires.

Mots-clés : Indicateur, Etiquette, Capteur, Qualité, Sécurité

Abstract: Intelligent packaging and RFID

In the socio-economic context in favor of initiatives on food waste reduction and innovation, intelligent packaging for food is a growing sector with a wide range of solutions to inform stakeholders of the agri-food chain on the quality and/or safety of packed food in a direct or indirect way. Several intelligent systems (or indicators) are already available on the market, especially in the field of time-temperature indicators, but their association with RFID tags remains scarce. However, these tags permit an easy (multiple reading at a time, wireless) and fine management (larger storage capacity in comparison with bar codes, various permission levels) of items on the whole production and distribution chain, already demonstrated in other sectors. Its coupling with indicators should permit to better identify weak link on the supply chain and to propose appropriate remedial actions, but also to prioritize sales during the distribution in order to minimize food waste.

Keywords: Indicator, Label, Sensor, Quality, Safety

1. Éléments de contexte

1.1 Contexte réglementaire

Depuis l'abrogation des directives 89/109 de la CEE par le règlement cadre CE1935/2004 (et CE450/2009), les matériaux et objets qui entrent au contact des aliments ne sont plus uniquement considérés comme des éléments inertes et leurs interactions avec l'aliment lui-même et/ou son environnement sont désormais prises en compte dans un cadre réglementaire. En considérant un système multi-compartiments « environnement / emballage / espace de tête / aliment », on peut définir les interactions comme étant :

- i) Des phénomènes physiques, dits de transport, tels que la perméation, la (dé)sorption et la diffusion de molécules (solutés ou volatiles) vers/dans les différents compartiments,

et/ou,

- ii) Des mécanismes réactionnels, à savoir, des cinétiques chimiques ou biologiques qui ont lieu entre une(les) molécule(s) (solutés ou volatiles) d'un compartiment et celle(s) d'un autre compartiment.

Précisons que les composés qui transfèrent vers/dans les aliments ne doivent pas s'y retrouver en quantité qui pourrait nuire à la santé des consommateurs, ni modifier leur composition de façon inacceptable en terme de perception organoleptique, notamment dans la perspective de tromper les consommateurs. Ainsi, au-delà des fonctions traditionnelles de l'emballage qui sont de garantir la quantité nominale du produit emballé, protéger les denrées des contaminations extérieures, et véhiculer les informations légales (voire publicitaires), on voit émerger de nouvelles fonctionnalités en matière :

- D'usage avec des emballages mieux adaptés aux modes de vie actuels, par exemple le portionnable ou la cuisson / le réchauffage directement dans l'emballage, pratique pour les consommations nomades et hors-foyer - les emballages entrant dans cette catégorie sont dits de nouveaux services ;
- De stabilisation des denrées avec des technologies mieux adaptées aux besoins des aliments comme les emballages sous atmosphère protectrice (ou modifiée) ou encore les emballages antimicrobiens qui permettent de retarder les phénomènes de dégradation des aliments et ainsi prolonger leur durée de vie - les emballages entrant dans cette catégorie sont dits actifs ;
- De communication sur l'état des denrées par le biais de dispositifs capables de révéler une information (e.g. de manière visuelle par un changement de couleur ou par le biais d'un dispositif de lecture comme un lecteur optique) sur les conditions de conservation du produit emballé (e.g. non-respect de la chaîne du froid) ou l'état de fraîcheur du produit lui-même dans son emballage (e.g. libération d'amines volatiles lors de la dégradation des poissons frais), et donc sur sa consommation - les emballages entrant dans cette catégorie sont dits intelligents ou indicateurs.

1.2 Enjeu sociétal

Les dates de péremption mentionnées sur les emballages alimentaires permettent de garantir la sécurité du consommateur - cas de la DLC (Date limite de consommation, « A consommer jusqu'au... ») au-delà de laquelle l'aliment ne doit pas être consommé car préjudiciable à la santé du consommateur - et contribuent à la réduction du gaspillage alimentaire — cas de la DDM (Date de durabilité minimale, « A consommer de préférence avant le/avant fin ... ») au-delà de laquelle l'aliment peut perdre ses qualités organoleptiques sans pour autant représenter un risque pour la santé du consommateur.

Cependant ces dates ne sont pas liées à la réalité de l'historique et/ou de l'état du produit emballé, puisque estimées au préalable au cours de tests de vieillissement et selon un scénario plus ou moins arbitraire, légiféré ou non (charge microbienne des matières premières, microbiologie prévisionnelle, marge de sécurité prenant en compte, par exemple, un dépassement de température sur une certaine durée, etc.). Ainsi il est possible qu'un aliment emballé soit jeté sans même avoir été consommé alors qu'il ne présente aucun danger pour le consommateur et que ses qualités organoleptiques sont encore optimales (Figure 1, scénario 1). A l'inverse, il se peut qu'au cours de sa distribution, les conditions de stockage n'aient pas été respectées au point que sa durée de vie réelle devienne inférieure à sa durée de vie estimée (i.e. date de péremption), représentant un risque réel pour la santé du consommateur (Figure 1, scénario 2). En plus de cette possible dérive « durée de vie réelle / durée de vie estimée », et malgré un changement de nom de la DLUO (Date limite d'utilisation optimale) pour la DDM, la plupart des consommateurs méconnaissent la distinction entre les différentes dates de péremption. L'enquête européenne Flash Eurobarometer 425, publiée en octobre 2015, pointe du doigt ce fait : 40% des européens comprennent ce qu'est la DLC et 47% la DDM. De nombreux produits présentant une DDM sont ainsi non consommés et jetés, ce qui contribue à la masse importante de déchets alimentaires générés par les foyers européens, à savoir 53% soit 47 +/- 4 millions de tonnes (publié en 2016 dans le cadre du projet européen FUSION, FP7 n°311972, intitulé « Food waste quantification manual to monitor food waste amounts and progression »). Dans le contexte actuel de réduction des pertes alimentaires (tout en assurant la sécurité du consommateur), les emballages intelligents représentent une innovation adaptée à une meilleure gestion de la distribution et du stockage des denrées alimentaires emballées.

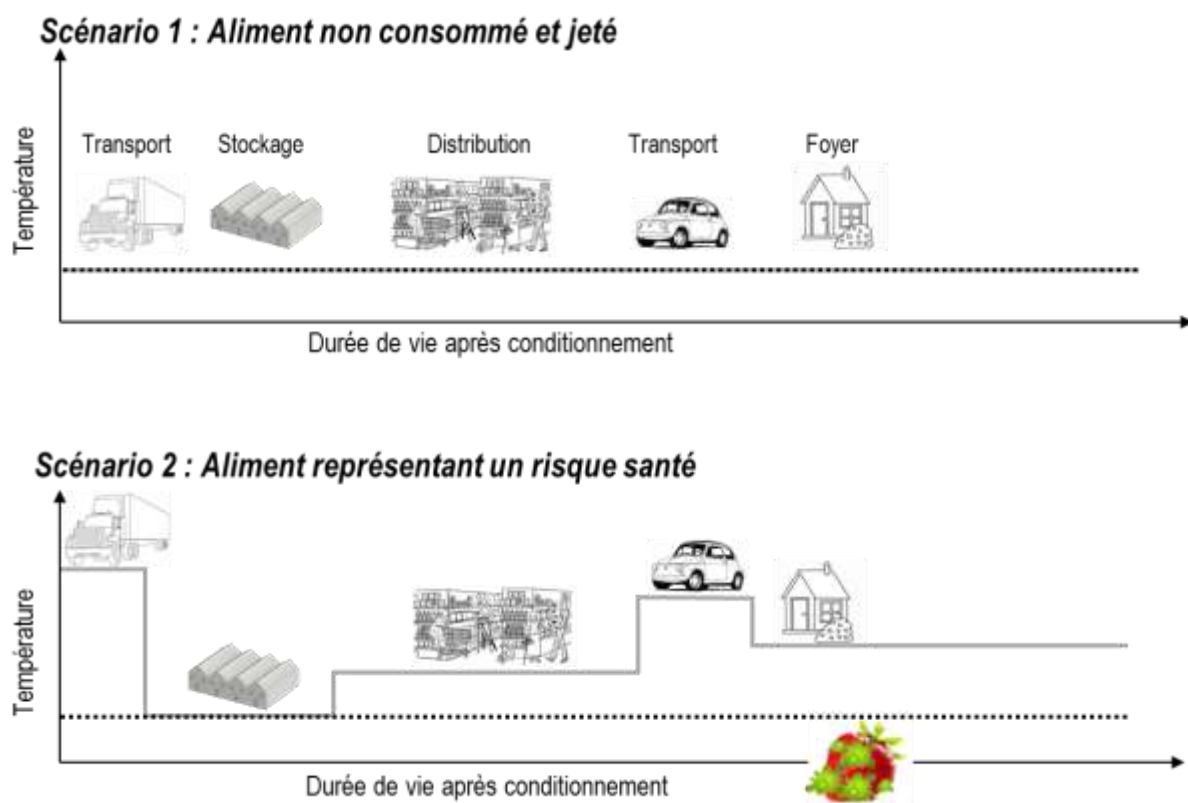


Figure 1 : Scénarios illustrant deux cas extrêmes de dérive entre la durée de vie réelle de l'aliment et sa durée de vie estimée et mentionnée « date de péremption ». Il s'agit ici de l'impact du respect strict (scénario 1) ou non (scénario 2) de la chaîne du froid (température préconisée représentée en pointillés) sur la qualité de l'aliment tout au long de la distribution du produit emballé et chez le consommateur.

Nous présentons ici des éléments clefs sur l'élaboration et la classification des emballages intelligents (avec des exemples de systèmes existants), puis, après avoir rappelé ce qu'est la RFID, comment ces derniers peuvent être associés aux étiquettes RFID.

2. Elaboration des emballages intelligents

Qu'ils indiquent une perte d'intégrité de l'emballage, le stade de maturité d'un fruit emballé, ou encore la présence d'un micro-organisme pathogène, les matériaux et objets intelligents doivent révéler des informations liées à l'évolution de l'aliment emballé, c'est à dire des modifications physico-chimiques ou biologiques induites par l'apparition (ou la disparition) de marqueurs (également appelés analytes ou stimuli). La Figure 2 synthétise les différents éléments à prendre en compte lors de l'élaboration d'un système intelligent, de façon à répondre au mieux à la fonctionnalité exigée comme par exemple informer sur l'intégrité de l'emballage, la sécurité ou la qualité de l'aliment emballé. Pour cela, il est important d'identifier les marqueurs à suivre tout au long de la durée de vie de l'aliment emballé. Ces derniers peuvent être liés à l'environnement de l'aliment comme par exemple le temps d'exposition à une certaine température (temps/température), ou encore l'atmosphère modifiée (teneurs en gaz dans l'espace de tête); mais aussi à l'aliment lui-même au cours de son évolution. Dans ce cadre, l'évolution peut être positive comme la production d'éthylène et d'arômes caractéristiques (molécules volatiles) par les fruits climactériques qui entrent en maturation, ou négative comme la prolifération d'agents pathogènes (contaminants biologiques).

La partie capteur, partie « intelligente », doit être conçue de façon à (i) pouvoir réagir rapidement au(x) stimul(i)us cible(s) de manière physico-chimique, immuno-chimique, ou encore biologique et (ii) ce que ses propriétés permettent au dispositif de lecture de délivrer l'information, et ce en temps voulu. La réaction peut donner lieu à une information de type « présence/absence » d'un marqueur au-delà ou en-deçà d'une concentration seuil, mais également de type cinétique, à savoir révéler l'augmentation (ou disparition) progressive de ce même marqueur. Selon la fonctionnalité recherchée et le coût visé, le choix et la mise en forme des constituants du capteur vont impacter sa spécificité (vis-à-vis du ou des stimul(i)us) et sa sensibilité (vis-à-vis du seuil de concentration à détecter). Parfois, il existe un constituant capteur, à proprement parler, qui réagit au stimulus cible (par exemple un anticorps qui reconnaît tout ou partie d'un antigène), et un constituant ou un ensemble de constituants, transducteur(s), qui rend cette première réaction lisible. Ce cas se rencontre fréquemment dans des systèmes basés sur les anticorps (réaction très spécifique) comme dans le cas du Food sentinel system (Brevet WO 1999014598 A1 publié en 1999, « Food sentinel system ») de SIRA Technologies : un premier jeu d'anticorps (capteur à proprement dit) réagit à l'analyte, un antigène, produit notamment par un microorganisme cible, et un deuxième jeu d'anticorps réagissant au premier jeu d'anticorps et relié à un matériau capable d'absorber la lumière (transducteur). Associé à une étiquette code barre (et plusieurs couches barrières), une zone sombre apparaît en cas de contamination, rendant sa lecture impossible.

Le matériau ou objet intelligent, qu'on appelle ici capteur, résulte de l'assemblage du capteur à proprement parler, du transducteur si besoin, et du support qui est soit le matériau d'emballage lui-même, soit un support autre comme une étiquette. Dans le cas de cinétiques réactionnelles, particulièrement utilisées pour les indicateurs temps-températures, le système intelligent comprend, en plus, un dispositif d'activation pour permettre à la réaction d'avoir lieu. Le système intelligent est donc inactif lors de son stockage et activé au moment de son usage, comme par exemple à travers une action mécanique (pression manuelle) dans le cas du CheckPoint® de Vitsab International pour rompre la membrane qui sépare l'enzyme de son substrat; la cinétique enzymatique pouvant se produire ensuite plus ou moins rapidement selon la température et le temps d'exposition à cette même température. Dès l'élaboration du capteur, il est indispensable d'identifier le dispositif de lecture qui sera utilisé pour délivrer l'information.

Cela peut être l'oeil tout simplement, mais aussi un lecteur optique, infrarouge ou encore radiofréquence (RF). De ceci vont dépendre les propriétés attendues : du changement de couleur (oeil) au changement des propriétés électriques (lecteur RF). Dans tous les cas, les matériaux ou objets intelligents doivent avoir un coût en adéquation avec le produit emballé (i.e. en fonction de sa valeur ajoutée), être robuste (performant dans les conditions d'utilisation), facile à lire/comprendre par le consommateur ou les acteurs de la filière concernée, et ne pas représenter de danger pour l'homme (législation sur la migration au contact des aliments).

Fonctionnalité		Intégrité de l'emballage / Sécurité alimentaire / Qualité alimentaire			
Marqueur	Capteur	Temps/température	Gaz/Volatile		Contaminant
					Chimique Biologique
			oxygène		pesticides <i>E. coli</i>
			dioxyde de carbone		toxines <i>Salmonella</i>
			ammoniac		allergènes <i>Bacillus</i>
			éthylène		...
			arômes		...
			...		...
Lecture	Capteur	Constituant	Mise en forme		Procédé Assemblage
			Structure/ format	Modification de surface	
		polymères	capsules	greffage anticorps	jet d'encre support étiquette
		antigène/anticorps	pores	greffage ions	(e.g. papier, plastique)
		enzymes	n-feuillet	abrasion	pastille
		acides / bases	n-tubes	...	film, membrane
		nanoparticules	n-sphère	...	antenne
		(in)organiques	...	...	...
		...	...	...	...
				Propriété	
				Optique / Electronique / Mécanique / Chimique / etc.	

Figure 2 : Schéma montrant les éléments importants à prendre en compte lors de l'élaboration de matériaux ou objets intelligents : de la fonctionnalité recherchée au dispositif de lecture envisagé pour révéler l'information. n- correspond au nano-élément qui peuvent se trouver sous forme de feuillets, tubes, ou encore sphères. Ce schéma est adapté d'un chapitre paru en 2017 (Gontard et al.).

3. Classification des emballages intelligents

Comme indiqué dans le Tableau 1, on peut classer les emballages intelligents en deux grandes catégories selon qu'ils réagissent à une évolution du produit emballé lui-même ou à une modification de son environnement : respectivement les indicateurs directs ou indirects de la qualité des aliments.

3.1 Indicateurs indirects de la qualité des produits emballés

Parmi les indicateurs indirects, on trouve les indicateurs de fuite qui réagissent à une modification de la teneur en gaz à l'intérieur de l'emballage. Ce type d'indicateur est particulièrement adapté aux produits emballés sous atmosphère modifiée (ou atmosphère protectrice) ou sous vide. Reposant sur des réactions chimiques avec le gaz considéré (notamment d'oxydo-réduction ou acido-basique), et mettant en jeu un ou plusieurs composés colorés (des pigments), les plus répandus sont les indicateurs de présence d'oxygène souvent développés par les compagnies proposant déjà des absorbeurs d'oxygène.

Les plus connus sont les pastilles Ageless® eye de Mitsubishi Gas Chemical qui passent rapidement du rose, en anoxie, au bleu, en présence d'oxygène, de façon réversible; mais on peut en trouver chez d'autres fabricants : OxyEye™ chez Oxyfree (rose/bleu et réversible), leak detection label chez Insignia Technologies Ltd (jaune/bleu et irréversible), etc. Il existe des systèmes plus avancés qui tiennent compte en plus du facteur temps. C'est le cas du After Opening Freshness Timer adapté aux produits sous atmosphère modifiée (contenant du dioxyde de carbone) d'Insignia Technologies Ltd. C'est une étiquette dont la couleur se modifie progressivement dès lors que le dioxyde de carbone a été évacué de l'emballage, comme lorsque le consommateur ouvre ce dernier. En fonction de l'éloignement, en temps, de l'atmosphère optimale de conservation, les différents changements de couleur donnent une indication sur la durée de vie restante du produit. Plus récemment des chercheurs ont extrudé du polyéthylène basse densité (PEBD, ou low density polyethylen, LDPE) présentant une bande intelligente constituée de nanoparticules de titane enduites de bleu de méthylène et de treithol (Mills et al., 2011). Après activation par photoblanchiment UVA la bande demeure blanche en absence d'oxygène et prend une couleur bleue de plus en plus prononcée en présence d'oxygène.

Tableau 1 : Classification des emballages intelligents en fonction de l'information à révéler.

Réaction à une modification de l'environnement du produit emballé	Réaction à une évolution du produit emballé lui-même
<i>Indicateurs indirects de la qualité</i>	<i>Indicateurs directs de la qualité</i>
➤ Modification de la teneur en gaz : réaction vis-à-vis de l'apparition d'un gaz (ou sa disparition) <i>Indicateurs de fuite</i>	➤ Modification de la qualité microbiologie : réaction à un changement ou une augmentation de la flore microbienne totale ou d'un micro-organisme cible dans l'aliment emballé <i>Indicateurs microbiologiques</i>
➤ Modification de la température : réaction vis-à-vis des changements de température et du temps d'exposition aux différentes températures; il peut être considéré comme un historique cumulé « temps-température » <i>Indicateurs temps-température (TTI)</i>	➤ Modification de la qualité organoleptique : réaction à l'évolution d'un critère organoleptique de façon positive (e.g. production d'éthylène lors de la maturation des fruits climactériques) ou négative (e.g. production d'amines volatiles lors de la putréfaction des poissons frais) de l'aliment emballé <i>Indicateurs organoleptiques</i>

Mais, sur le marché aujourd'hui, ce sont les indicateurs temps-températures qui prédominent. Leur efficacité repose sur une cinétique réactionnelle, cohérente avec l'application visée. En d'autres termes, (i) l'effet de la température sur cette cinétique doit être équivalent à l'effet de la température sur la dégradation du produit emballé, et (ii) l'échelle de temps de cette cinétique doit correspondre à l'échelle de temps de la dégradation de l'aliment emballé. La plupart de ces indicateurs s'appuient sur une modification de couleur, perceptible à l'oeil. Les réactions mises en jeu sont très variées et des exemples commerciaux sont illustrés dans la Figure 3 : CheckPoint® discuté plus haut repose sur une hydrolyse enzymatique, TopCryo de Traceo-Cryolog sur la croissance de micro-organismes (choisis en fonction de l'aliment ciblé) sur un substrat qui modifie le pH du milieu et entraîne un changement de couleur, Fresh-Check® de Temptime Corp. sur la polymérisation de monomères de diacétylène (polymère coloré), ou encore sur la migration d'esters colorés en bleu (butylstéarate, diméthylphtalate, etc.) sur un buvard dont le temps d'écoulement est fonction de la température (par rapport à la température de fusion de l'ester choisi) et du temps avec MonitorMark™ de 3M.



Figure 3 : Illustrations de divers indicateurs temps-température colorés

3.2 Indicateurs directs de la qualité des produits emballés

Moins présents sur le marché que les indicateurs précédents, mais particulièrement intéressants dans la réduction du gaspillage alimentaires, les indicateurs directs (ou indicateurs de fraîcheur) reflètent l'état du produit emballé lui-même. Les indicateurs microbiologiques sont conçus pour révéler la présence (au-delà d'une valeur seuil, définie par la réglementation) de micro-organismes, notamment ceux qui présentent un risque pour le consommateur (flore pathogène). On peut rapprocher l'information que véhicule ces derniers de la DLC. L'exemple du Food sentinel system, sus-cité, repose sur une détection très spécifique d'antigènes propres à une espèce ou une variété donnée, au même titre que le Toxin Guard™ de Toxin Alert (utilisé par l'armée américaine); les deux sont des étiquettes à codes barre dont la lecture est rendue impossible en cas de contamination.

Mais il existe des systèmes moins spécifiques reposant sur la détection de métabolites, volatiles en particuliers, pouvant être produits par les microorganismes tels que la putrescine dans les viandes, l'éthanol dans les jus de fruits, la triméthylamine (TMA) caractéristique de l'odeur de dégradation des poissons tous produits par les flores d'altération (Jay et al., 2005), comme ce qui est proposé par Food quality sensor international Inc. avec le SensorQ adapté aux produits carnés. Ce dernier réagit aux amines volatiles produites par les microorganismes qui modifient le pH de l'étiquette sur laquelle se trouvent des anthocyanes (dont la couleur est affectée par le pH du milieu). Pour ces derniers systèmes, on retombe dans de nombreux cas, comme pour les indicateurs temps-température, sur des codes couleur dont les changements sont visibles à l'oeil. Toujours dans le cadre de la sécurité des consommateurs, il est tout à fait possible de développer des technologies similaires pour la détection d'allergènes.

La deuxième catégorie d'indicateurs directs se rapproche de la DDM et informe le consommateur sur la qualité organoleptique du produit emballé. Le dispositif qui illustre le mieux les indicateurs organoleptiques et le plus largement cité est le Ripesense™ de Jenkins Group. Cet indicateur détecte la production d'arômes spécifiques d'un fruit donné en cours de maturation, et transmet l'information à travers une pastille dont la couleur indique le stade de maturité de l'aliment. Un dispositif similaire fait l'objet d'un dépôt de brevet (Brevet US20060127543A1 publié en 2006 « Non-invasive colorimetric ripeness indicator »). Il repose quant à lui sur la détection de l'éthylène, une hormone de croissance dont la concentration est directement liée au degré de maturité des fruits dits climactériques, avec un seuil de détection relativement bas (< 0.1 ppm). La filière fruits et légumes présente un intérêt particulier pour le développement de ce type d'indicateur.

En effet, ce sont des produits hautement périssables qui, lorsqu'ils sont touchés par les consommateurs, peuvent être contaminés ou abîmés tout simplement par action mécanique. La protection que représente l'emballage permet d'éviter ces altérations et l'indicateur permet aux consommateurs de choisir le produit au stade de maturité souhaité. Bien entendu, il est tout à fait possible de développer ce type d'indicateur dans d'autres filières, même si peu de produits commerciaux existent aujourd'hui.

Pour aller plus loin, les articles ou chapitres d'ouvrage suivants présentent un intérêt : Mohebi et Marquez (2015) qui présentent une large gamme de dispositifs commerciaux adaptés à l'industrie de la viande ; Brockgreitens et Abbas (2016) qui proposent une nomenclature différente de celle du règlement cadre CE1935/2004 (et utilisée ici) et un état des lieux de ces dispositifs à l'état de recherche ; Gontard et al. (2017) qui abordent ces systèmes intelligents sous l'angle des nanotechnologies.

4. Les étiquettes RFID intelligentes

Les étiquettes RFID, pour Radio Frequency IDentification (Identification radio fréquence), transportent des informations pouvant être lues par des ondes électromagnétiques et sont des éléments qui entrent dans la traçabilité. Plus la fréquence de lecture est élevée et plus la distance de lecture peut être importante, de 20cm en basses fréquences et jusqu'à 15m les étiquettes servent à l'identification animale (basses fréquences, LF, entre 125 et 134 kHz), aux cartes d'accès (hautes fréquences, HF, à 13.56 MHz), ou encore à la gestion des stocks (ultra hautes fréquences UHF, entre 860 et 960 MHz). Ces étiquettes sont constituées (i) d'une antenne pour l'émission et la réception des ondes, (ii) d'une puce qui contient les données, et qui existe en mode lecture ou en mode lecture/écriture, (iii) et d'un code produit électronique (EPC), enregistré dans la puce, qui, à l'instar du code barre, permet l'identification du produit selon le protocole EPC développé par EPC Global et Auto-ID Laboratories (Xiao et al., 2007). Bien entendu, pour pouvoir lire les données de l'étiquette, il est nécessaire d'avoir un lecteur pour émettre et recevoir les ondes électromagnétiques, et un ordinateur hôte qui intègre les données. Au-delà de ces standards, il existe trois catégories d'étiquettes RFID : passive, sans batterie et télé-alimentée par un lecteur, semi-passive, avec batterie et activée par un lecteur (la batterie permet sauvegarder des informations et de les restituer au moment de la lecture), ou active, avec batterie et capable d'émettre elle-même vers un lecteur à distance (la batterie permet d'enregistrer des informations et possède une énergie suffisante pour l'émission).

Les étiquettes RFID permettent aujourd'hui une gestion aisée (lecture de plusieurs lots à la fois, pas de positionnement particulier de l'étiquette par rapport au lecteur radiofréquence, sans fil) et affinée (plus d'informations enregistrées par rapport au code-barres, avec différents niveaux de sécurité) des lots sur toute la chaîne de production et distribution, démontrée dans différents secteurs d'activité. Cependant, en agroalimentaire, l'utilisation de ces étiquettes est restreinte à l'identification de palette ou caisse, et se rencontre sur des produits emballés que s'ils présentent une forte valeur ajoutée (eg. Pata negra de Campofrio). Le frein principal à l'extension de ces étiquettes RFID aux produits emballés reste son prix (environ 0.08\$ pour 1 million d'étiquettes passives). Mais, étant donné l'ampleur du secteur agroalimentaire et les volumes concernés (mais aussi la faible valeur ajoutée de la plupart des produits), les efforts se portent aujourd'hui sur la réduction des coûts de ces étiquettes (notamment via la réduction des matières premières et la miniaturisation des systèmes). Tout comme l'entreprise SIRA Technologies a intégré la partie capteur à une étiquette code-barre, il est possible d'intégrer cette même partie aux étiquettes RFID, on parle alors de capteur-RFID. A l'image des indicateurs plus conventionnels, sur 15 étiquettes RFID intelligentes commerciales recensées par Ruhanen et al. (2008), nous avons comptabilisé 14 étiquettes entrant dans la catégorie des indicateurs temps/température dont seulement 5 indiquent aussi d'autres choses comme les variations d'humidité. Dans une revue récente (Bibi et al., 2017a), nous avons dénombré 20 publications traitant de recherches sur les étiquettes intelligentes comme indicateurs de fuites ou organoleptiques dont 15 reposent sur l'utilisation de molécules pétrochimiques et/ou d'oxydes de métaux, 4 ne détaillent pas la partie capteur, et 1 seule mentionnent l'usage de bio-molécules (hydrogel) pour détecter la présence d'ammoniac et d'acide lactique par modification du pH et donc du potentiel électrique (Bhadra et al., 2015).

Dans la perspective de développer ces étiquettes RFID « intelligentes », notre parti pris est de privilégier les étiquettes passives UHF pour leur faible coût, leur taille (les étiquettes actives sont particulièrement imposantes pour être associées à des unités de vente et coûteuses), et l'usage de

ressources finies limité par rapport aux deux autres types d'étiquettes qui nécessitent des batteries. Pour la partie capteur, à proprement parler, nous avons choisis des biopolymères (issus de ressources naturelles et renouvelables). Dans le cadre du projet NextGenPack (2012-2015), un projet inter Carnot - Fraunhofer (PICF) financé conjointement par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) pour l'institut Carnot 3BCAR (Bioénergies, biomolécules et matériaux biosourcés du carbone renouvelable), et le BMBF (Bundesministerium für Bildung & Forschung : ministère fédéral de l'éducation et de la recherche) pour le Fraunhofer IVV (Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung : institut pour le conditionnement et l'emballage), nous avons démontré que les propriétés électriques de ces polymères sont sensibles aux gaz et vapeurs présents dans leur environnement direct, par exemple l'effet du CO₂ (Bibi et al., 2017b) et de la vapeur d'eau (Bibi et al., 2016) sur les propriétés électriques du gluten de blé. Par conséquent le polymère accompagné de son électronique forment un système de détection de ces gaz et vapeurs. Nous avons également démontré la même chose avec la température et la gélatine (Texeira Silva et al., 2016). Actuellement, nous travaillons sur la mise en relation de l'évolution des fraises, l'apparition de marqueurs de cette évolution, et les propriétés électriques du biopolymère. L'objectif étant de montrer la faisabilité de ce système en tant qu'indicateur de la qualité organoleptique et de paramétrer les mesures des propriétés électriques en fonction de l'état de l'aliment. Il s'agira ensuite de développer une solution logicielle qui permettra de décrypter ce paramétrage.

Le couplage RFID/indicateur direct de la qualité des denrées devrait permettre de mieux identifier les défauts sur la chaîne logistique (i.e. responsabilité des différents acteurs de la filière) et proposer des actions correctives adaptées mais également de prioriser l'écoulement des lots lors de leur distribution afin de réduire les pertes alimentaires. Dans ces dispositifs dédiés à l'agroalimentaire, les biopolymères (molécules que l'on retrouve dans les aliments) sont de bons candidats car facile à mettre en œuvre à grande échelle. Ils peuvent être utilisés dans les procédés de mise en forme et d'impression conventionnels. Il est donc aisé de produire à l'échelle industrielle des circuits électroniques contenant ce type de matériau sur des lignes de production déjà existantes. Par ailleurs, le mode de lecture des étiquettes RFID avec ou sans capteur étant le même, les usagers peuvent utiliser les lecteurs déjà en leur possession avec toutefois, une adaptation logicielle pour permettre d'afficher l'état de fraîcheur du produit (par exemple, le degré de maturité d'un fruit).

Références bibliographiques

- Bhadra S., Thomson D.J., Bridges G.E., 2015. Chemical Monitoring acidic and basic volatile concentration using a pH-electrode based wireless passive sensor. *Sensors Actuators B* 209, 803-810.
- Bibi F., Guillaume C., Vena A., Gontard N., Sorli B., 2016. Wheat gluten, a bio-polymer layer to monitor relative humidity in food packaging: electric and dielectric characterization. *Sensors & Actuators A* 247, 355-367
- Bibi F., Guillaume C., Gontard N., Sorli B., 2017a. A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. *Trends in Food Science and Technology* 62, 91-103.
- Bibi F., Guillaume C., Gontard N., Sorli B., 2017b. Wheat gluten, a bio-polymer to monitor carbon dioxide in food packaging: electric and dielectric characterization. *Sensors & Actuators B* Accepted manuscript.
- Brockgreitens J., Abbas A., 2016. Responsive food packaging: recent progress and technological prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15, 3-15.
- Gontard N., Peyron S., Lagaron J.M., Echegoyen Y., Guillaume C., 2017. Nanotechnologies for active and intelligent food packaging : opportunities and risks. In: M.A.V. Axelos, M. Van de Voorde (Eds.), *Nanotechnology in Agriculture and Food Science*. Wiley, Oxford, p. 177-196.
- Mills A., Lawrie K., Bardin J., Apedaile A., Skinner G.A., O'Rourke C., 2011. An O₂ smart plastic film for packaging. *Analyst* 137, 106-112.

Mohebi E., Marquez L., 2015. Intelligent packaging in meat industry: An overview of existing solutions. *Journal of Food Science and Technology* 52, 3947-3964.

Jay J.M., Loessner M.L., Golden D.A., 2005. Chapter 20: Indicator of food microbial quality and safety. In: *Modern food microbiology*. Springer, New-York, p.473-496.

Ruhanen A., Hanhikorpi M., Bertuccelli F., Colonna A., Malik W., Ranasinghe D., Sánchez López T., Yan N., Taviampi M., 2008. Sensor-enabled RFID tag handbook. EU-FP6 BRIDGE (Building Radio frequency IDentification for the Global Environment).

Teixeira Silva F., Sorli B., Calado V., Guillaume C., Gontard N., 2016. Feasibility of a gelatin temperature sensor based on electrical capacitance. *Sensors* 16, 2197-2207.

Xiao Y., Yu S., Wu K., Ni Q., Janecek C., Nordstad J., 2007. Radio frequency identification: technologies, applications, and research issues. *Wireless Communications and Mobile Computing* 7, 457-472.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)