



HAL
open science

L'oeuf aux trésors

Francoise Nau, Herve This, Marc Anton, Florence Baron, Nicolas Guyot, Sophie Réhault-Godbert, Chantal Brossard, Yves Nys, Joël Gautron, Valérie Lechevalier-Datin, et al.

► **To cite this version:**

Francoise Nau, Herve This, Marc Anton, Florence Baron, Nicolas Guyot, et al.. L'oeuf aux trésors. 2013, 24 p. hal-01173829

HAL Id: hal-01173829

<https://hal.science/hal-01173829>

Submitted on 6 Jun 2020

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.

PRESSE **Dossier**
L'œuf aux trésors



INRA
SCIENCE & IMPACT

Mars 2013

Sommaire

4 à 7 Les délices de l'œuf

Exquises protéines

Les lipides voient jaune !

• Sécurité sanitaire | **Fraîcheur des œufs**

8 à 14 Le blanc et le jaune au pouvoir !

Blanc d'œuf contre bactéries

• Sécurité sanitaire | **Couver rend plus fort !**

Les mystères de la chambre jaune

Les allergies

15 à 17 La coquille, fabuleux biomatériau protecteur

La minéralisation la plus rapide du vivant

Des cristaux sous contrôle

600 gènes en jeu pour construire la coquille

• Sécurité sanitaire | **Coup de vieux pour les œufs !**

Les coquilles en voient de toutes les couleurs...

18 à 20 L'œuf dans tous ses états

On ne fait pas d'ovoproduit sans casser d'œufs !

• Sécurité sanitaire | **Des microbes sous haute surveillance...**

Mousses, gels et émulsions

Odeurs et couleurs des poudres de jaune

Des ovoproduits améliorés

21 à 23 Des œufs d'élite

Une poule qui picore sur un mur

Des pondeuses heureuses

• Sécurité sanitaire | **Les salmonelles n'ont qu'à bien se tenir !**

L'œuf aux trésors

C'est Pâques ! Emballés, décorés, fourrés au chocolat... chaque année, les enfants "chassent" les œufs à cette occasion. Depuis l'Antiquité, ils fascinent et séduisent, incarnant le renouveau et symbolisant la naissance.

Avec 13 milliards d'œufs produits par an par 45 millions de poules environ (soit 290 œufs en moyenne par poule), la France est le premier producteur de l'Union européenne. Economique à produire, l'œuf est un véritable concentré de nutriments, source d'excellentes protéines, de très bons lipides, de vitamines et de minéraux. Les possibilités culinaires sont innombrables : le jaune pour monter une mayonnaise ou faire des gâteaux ; les blancs en neige pour confectionner meringues, macarons, soufflés... Des propriétés physico-chimiques aux fonctions biologiques, les chercheurs ont encore de nombreux secrets à percer sous cette coquille protectrice. Doté notamment d'un véritable arsenal antimicrobien, l'œuf regorge de précieuses molécules dans le blanc et le jaune où il en reste encore de nombreuses à découvrir et à valoriser dans l'industrie agro-alimentaire ou pour la santé humaine et animale.

Garantir et optimiser la qualité sanitaire des œufs est par ailleurs un enjeu majeur pour les scientifiques de l'Inra qui élaborent sans cesse de nouveaux outils pour que les œufs restent indemnes de contaminants microbiens, au niveau de la production.

Alors, mettons tous nos œufs dans le même dossier et découvrons un aliment en or !

Les délices de l'œuf

Mollets, mimosa, à la coque, pochés, brouillés, cocotte, sur le plat, voire même Bénédicte... les œufs se dégustent à toutes les sauces ! Et pour cause : peu onéreux, ils sont consommés dans le monde entier et comptent parmi les aliments les plus nutritifs pour l'Homme. Conçu pour nourrir l'oiseau à l'état embryonnaire, l'œuf compte moins de 100 kilocalories pour 60 grammes dont 75 % d'eau, 13 % de protéines et 10,5 % de lipides (pour la partie comestible). Son intérêt nutritionnel réside dans le subtil équilibre et la diversité de ses constituants : des protéines parmi les meilleures pour l'homme, des lipides de très bonne qualité, nombre de vitamines et de minéraux. Boudé un temps par les consommateurs, notamment du fait de sa teneur en cholestérol, l'œuf est aujourd'hui largement plébiscité. Sa composition riche et variée en fait un des aliments préférés des nutritionnistes et des chercheurs de l'Inra qui en explorent les richesses.

Des chiffres et des œufs

Dans le monde, la consommation d'œufs est très variable : de quelques dizaines à plus de 250 œufs par an et par personne, voire près de 300 comme au Japon.

En 2010, environ 64 millions de tonnes d'œufs (coquille et produit transformé) ont été produits dans le monde.

Quant aux Français, ils mangent en moyenne 230 œufs par an dont 140 en coquille.

Source : ITAVI 2010



Exquises protéines

Les protéines sont indispensables à notre organisme pour le fonctionnement des muscles, l'apport en énergie, la stimulation du système immunitaire, le maintien des cheveux, des ongles ou encore pour le système cardiovasculaire et hormonal. Dans l'œuf, les protéines sont réparties en quantité importante et de manière équitable dans le blanc et le jaune. Ainsi, deux œufs apportent autant de protéines que 100 g de viande ou de poisson. Ces protéines sont riches en acides aminés essentiels (ceux que notre corps n'est pas capable de synthétiser) dans des proportions équilibrées par rapport aux besoins de l'homme et elles sont également très digestibles, ce qui les rapprochent de la protéine "idéale"

(virtuelle) pour l'homme. De 2008 à 2011, l'Inra et AgroParisTech ont participé à un vaste projet de recherche : Ovonutrial, consacré entre autre à la caractérisation nutritionnelle de l'œuf. Grâce à des méthodes dernier cri de marquage des protéines, les scientifiques ont suivi l'utilisation, par l'organisme, des acides aminés de l'œuf chez de jeunes adultes en bonne santé pendant huit heures après le repas. Cette expérience a confirmé une valeur biologique¹ des protéines de l'œuf égale à celle des protéines de lait de vache et plus élevée que celles du soja ou du pois.

Nutriments	Dans 100 g d'œuf (sans coquille) = à peu près 2 œufs	Dans 100 g de LAIT de vache ½ écrémé = environ ½ verre
Calories	145 kcal	45 kcal
Eau	76 g	90 g
Protéines	12 g	3 g
Glucides	0,7 g	4,6 g de lactose
Lipides	10 g	1,5 g

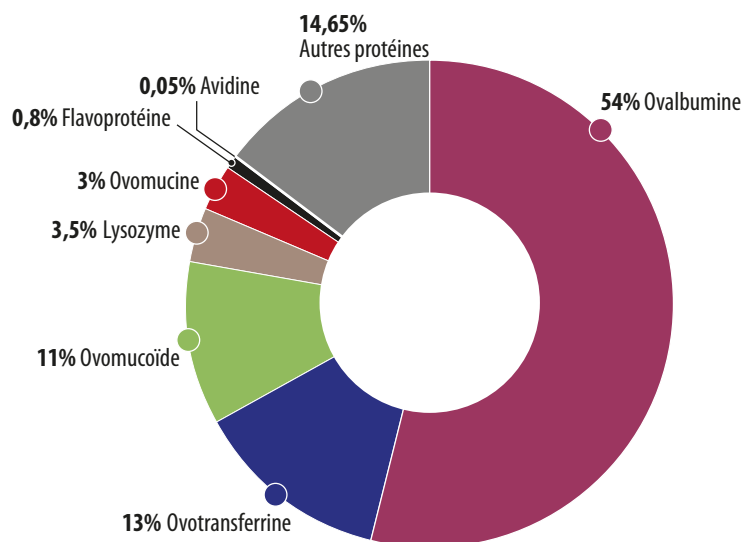
Une cuisson idéale pour une digestion optimale

A l'état cru, les protéines de l'œuf ne sont digérées qu'à moitié tandis qu'après la cuisson, leur digestion est quasi-totale. Inversement, si le jaune est trop cuit, les protéines sont moins bien digérées. Plutôt qu'un œuf dur, l'idéal, c'est donc de manger un œuf poché ou mollet. Par ailleurs, les différents procédés technologiques que sont la réfrigération, la congélation, la pasteurisation² ou le séchage, ne modifient pas la digestibilité des protéines de l'œuf ni leur valeur nutritionnelle.

Effet coupe-faim ?

L'œuf au petit déjeuner a un effet satiétogène plus important que les produits à base de céréales (pain, croissant, céréales). L'une des expériences du projet Ovonutrial a permis d'évaluer les propriétés satiétogènes de l'œuf (sous forme d'omelette) sur 30 volontaires sains, par comparaison à celles d'un en-cas laitier (du fromage blanc). Conclusion : omelette et fromage blanc apaisent la faim de la même façon. Cependant, avec l'omelette, les sécrétions d'hormones de satiété ont été retardées et prolongées, probablement car la texture de cet en-cas prolonge la digestion et donc la libération des nutriments.

Les protéines du blanc d'œuf



Ovalbumine : coagulation
 Ovotransferrine : fixe le fer, antimicrobien
 Ovomucoïde : antiprotéase
 Lysozyme : lyse la paroi des bactéries Gram +
 Ovomucine : viscosité
 Flavoprotéine : fixe la riboflavine ou vitamine B2
 Avidine : fixe la biotine ou vitamine B8

Contact scientifique

Françoise Nau
 Unité Science et Technologie du Lait et de l'Œuf
 Coordinatrice du projet Ovonutrial
 Centre Inra de Rennes
 Francoise.Nau@agrocampus-ouest.fr - Tél. 02 23 48 55 80

¹ La valeur biologique des protéines définit leur qualité et dépend de la composition en acides aminés essentiels, de leur équilibre et de la capacité de la protéine à remplir son rôle.

² Procédé de conservation des aliments, la pasteurisation consiste à chauffer à une température définie pendant une certaine durée puis à refroidir rapidement.



© fotolia

Y a-t-il un poussin dans l'œuf ?

Les œufs qui atterrissent dans nos assiettes ne sont pas fécondés et ne contiennent pas d'embryons de poussins. En effet, dans les élevages de poules, les poules ne croisent que rarement les coqs ! Cependant, en Asie par exemple, il est parfois d'usage de manger des œufs de canards fécondés...

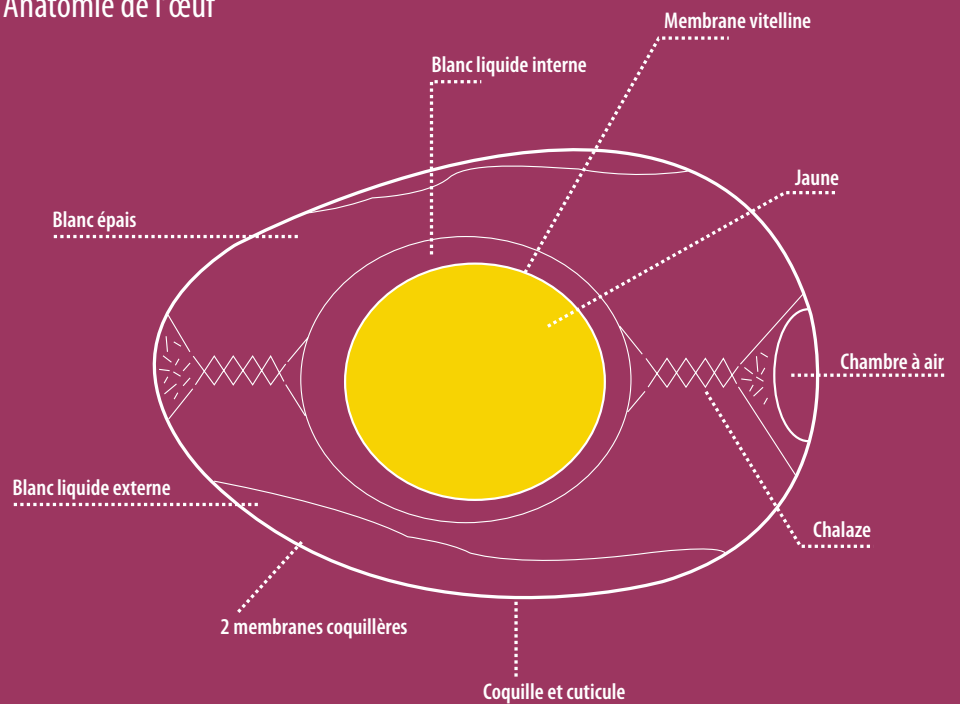
Les cuissons de l'œuf

- **Classique, dans une casserole :** d'abord, des bulles d'air apparaissent à la surface de l'œuf (du gaz s'échappe de la coquille). Au bout de 3 minutes : le blanc d'œuf "coagule" mais le jaune reste liquide. Après 10 minutes : blanc et jaune sont coagulés... Si l'on cuit plus longtemps encore, les choses se compliquent : le blanc devient caoutchouteux, le jaune sableux, une couleur verte et une odeur désagréable apparaissent (celle du sulfure d'hydrogène). A 65°C, le jaune reste liquide bien qu'épais mais à 67°C, il prend une consistance de pommade.
- **Ecologique, au lave-vaisselle :** les programmes de lavage classiques atteignent des températures d'environ 70 °C. Si on met un œuf entier dans le lave-vaisselle (en protégeant l'œuf dans une poche plastique pour éviter que le détergent pénètre dans l'œuf), une fois la vaisselle finie, on récupère un œuf cuit à basse température.

Contact scientifique

Hervé This
Unité Ingénierie Procédés, Aliments (groupe gastronomie moléculaire)
Centre Inra Jouy-en-Josas
herve.this@paris.inra.fr - Tél. 01 44 08 72 90

Anatomie de l'œuf



Membranes coquillières : un réseau de protéines s'opposant à l'entrée des microorganismes dans l'œuf.

Membrane vitelline : fine membrane entourant le vitellus ou jaune d'œuf.

Chalazes : des filaments spiralés de nature protéique allant du jaune vers les deux extrémités de l'œuf ; elles maintiennent le jaune en suspension au milieu de l'œuf, une condition indispensable au bon développement de l'embryon lorsque l'œuf est fécondé (ce qui n'est pas le cas de la grande majorité des œufs que nous consommons).

Cuticule : une enveloppe protéique de la coquille qui protège l'œuf, elle obture les pores de la coquille, empêchant ainsi la pénétration de micro-organismes extérieurs. Elle est fragile et vulnérable aux traitements pour le nettoyage des œufs.

Les lipides voient jaune !

Ingrédient essentiel à la fabrication de nombreux produits alimentaires depuis les sauces émulsionnées comme la mayonnaise ou la béarnaise jusqu'aux gâteaux et pâtisseries en tous genres, le jaune d'œuf renferme tous les lipides -ou corps gras- de l'œuf. Pour les deux-tiers, ce sont des triglycérides (acides gras insaturés) dont la digestibilité et la qualité nutritionnelle sont excellentes.

Idée reçue sur le cholestérol

L'œuf, naturellement riche en cholestérol, a longtemps été accusé d'augmenter le taux de cholestérol sanguin. Consécutivement à ce message délivré dans les années 1980, sa consommation a même chuté de près de 25 %. Or, la plupart des études menées après cette mise en accusation ont démontré que l'apport de cholestérol alimentaire, notamment à travers une forte consommation journalière d'œufs (jusqu'à 3 par jour), n'a aucune influence sur la cholestérolémie de l'homme (pour près de 95 % de la population) et n'aurait donc aucune incidence négative sur le risque de maladies cardiovasculaires. Par ailleurs, le cholestérol est un élément indispensable à la fabrication des cellules, des hormones et de la vitamine D. Enfin, l'organisme en bonne santé est capable de réguler naturellement le cholestérol : si l'alimentation en apporte en excès, sa production est limitée et son absorption est réduite.



© Fotolia

• Sécurité sanitaire Fraîcheur de l'œuf

FIL ROUGE

Une des principales qualités de l'œuf : sa très bonne durée de conservation qui est garantie en le gardant au réfrigérateur ou dans un endroit frais à l'abri de l'humidité. Jusque 9 jours après la ponte, l'œuf est considéré comme "extra-frais" ; puis, on le qualifie de "frais" jusqu'à 28 jours. Plus l'œuf est frais, plus ses propriétés naturelles de défenses vis-à-vis des bactéries sont efficaces. L'important surtout est de bien veiller à ce que la coquille soit intacte (absence de micro-fêlure pour éviter toute contamination).

Pour savoir si un œuf est encore frais : plongez-le dans un verre rempli d'eau. S'il coule, il est frais et s'il flotte, c'est qu'il ne l'est plus beaucoup. Cette manipulation donne une idée du volume de la chambre à air dans l'œuf, laquelle grossit avec le temps. Plus celle-ci est grande et plus l'œuf flottera.

La mayonnaise, une histoire de lipoprotéines

A Nantes, des chercheurs de l'Inra identifient les constituants du jaune d'œuf et décryptent leurs comportements et propriétés, notamment pour l'élaboration de certaines recettes culinaires. Ils s'intéressent tout particulièrement aux lipoprotéines : des complexes de protéines et de lipides qui transportent les lipides dans tout l'organisme. Elles constituent 85 % du poids du jaune d'œuf et parmi elles, la plus abondante, est la lipoprotéine de faible densité ou LDL. Son rôle dans la fabrication de la mayonnaise est bien connu : soluble à la fois dans l'huile et dans l'eau, elle se positionne à l'interface eau/huile et forme des gouttelettes d'huiles dans l'eau ; ce qu'on appelle une émulsion. Ces LDL sont donc des nanoémulsions naturelles d'environ 30 nanomètres (soit 30 milliardièmes de mètres) de diamètre constituées d'un cœur de triglycérides entouré d'un film de protéines et de phospholipides. C'est un bel édifice chimique qui montre combien la nature a bien fait les choses !



© Fotolia

Contact scientifique

Marc Anton

Unité Biopolymères, Interactions, Assemblages

Centre Inra d'Angers-Nantes

Marc.Anton@nantes.inra.fr - Tél. 02 40 67 50 80

Service de presse | 01 42 75 91 86 | presse@inra.fr

Le blanc et le jaune au pouvoir !

En 2004, le premier génome d'oiseau est séquencé, celui de la poule, et parmi la liste des signataires figure une équipe de l'Inra de Toulouse. Ce résultat est à l'origine d'une véritable révolution concernant l'identification des protéines de l'œuf. En plus de la cinquantaine de protéines connues en 2006, plus d'un millier de nouvelles molécules ont été révélées dans les différents compartiments de l'œuf. Jusqu'en 1989, on dénombrait 13 protéines dans le blanc d'œuf et depuis 2012, plus de 150 ont été identifiées. Dans le jaune, ce sont plus de 300 nouveaux constituants qui ont été découverts à des concentrations très faibles. Aujourd'hui, les scientifiques traquent des composés qui présentent des activités biologiques variées (antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anti-cancéreuses ou même anti-hypertensives) et ouvrent des perspectives prometteuses en santé humaine et animale.



Blanc d'œuf contre bactéries

L'œuf est destiné à répondre aux besoins alimentaires de l'embryon de poule mais il doit également le préserver de toute invasion microbienne tout au long de son développement. Il dispose donc d'un arsenal remarquable de défenses qui peuvent être affectées par les conditions de collecte, de conditionnement et de stockage des œufs. La connaissance de ce système de défense est donc un facteur clé pour permettre le maintien d'une production de qualité.

Si la coquille assure un rôle de barrière physique, les protéines du blanc sont des actrices essentielles de la défense de l'œuf. Le blanc d'œuf n'est pas un milieu propice au développement microbien. Son pH alcalin (entre 7,6 et 9,5), sa structure visqueuse et hétérogène en font un environnement très particulier qui peut limiter la croissance des microorganismes (effet bactériostatique), voire les tuer (effet bactéricide), selon le type de microorganisme et les conditions environnementales. Les molécules du blanc les plus connues pour avoir une activité bactéricide ou bactériostatique sont le lysozyme et l'ovotransferrine.

Gram + et -

Cette distinction entre ces deux types de bactéries repose sur des différences au niveau de leurs parois. Avec la coloration de Gram, les bactéries à **Gram positif** apparaissent violettes au microscope (par exemple, celles des genres *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Listeria*...) tandis que les **Gram négatif** sont roses (comme les bactéries des genres *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Yersinia*...).

Se faire mousser en tuant les bactéries

Protéine découverte en 1922 par Alexander Fleming, le lysozyme est très répandu dans la nature. Chez l'homme : la salive, les larmes, le sang en contiennent... le blanc d'œuf aussi ! Le lysozyme est connu pour son pouvoir bactéricide puisqu'il tue notamment les bactéries Gram +. L'industrie agro-alimentaire l'utilise comme conservateur naturel, notamment en fromagerie et l'industrie pharmaceutique l'emploie contre les infections virales et bactériennes. En examinant de plus près cette molécule, une équipe de l'Inra de Rennes a expliqué comment des modifications chimiques, induites par simple chauffage du lysozyme en poudre, améliorent considérablement les propriétés moussantes de cette protéine. Traditionnellement, l'amélioration du pouvoir moussant par chauffage de la poudre de blanc d'œuf était attribuée à des changements de forme des protéines. Ici, les scientifiques révèlent l'existence et le rôle de transformations chimiques. Connu pour s'attaquer aux bactéries de type Gram +, le lysozyme peut, sous réserve de certaines modifications moléculaires, détruire également les bactéries Gram -. En décortiquant les mécanismes en jeu et les modifications du lysozyme impliquées, les chercheurs de l'Inra pourraient les mimer et ainsi développer des molécules antibactériennes à large spectre.

Des carences en fer contre les bactéries

L'ovotransferrine est une protéine de la famille des transferrines que l'on retrouve dans différents fluides animaux (transferrine du sang, lactoferrine du lait...). En fixant le fer, elle crée un environnement déficient en fer qui compte parmi les éléments essentiels à la croissance bactérienne. Néanmoins, le pouvoir antibactérien de cette protéine diffère selon le type de bactérie : *Salmonella* Enteritidis est particulièrement sensible à la présence de l'ovotransferrine alors que *Listeria* y semble insensible.

• Sécurité sanitaire Couver rend plus fort !

FIL ROUGE

Le blanc d'œuf présente une activité bactériostatique qui protège l'embryon des agressions bactériennes, en limitant leur croissance. A température de couvain, il devient extrêmement agressif vis-à-vis des bactéries : son activité devient alors fortement bactéricide et à très large spectre. De plus, le pouvoir anti-salmonelle du blanc d'œuf s'améliore au cours des premiers jours après la ponte lorsque l'œuf est stocké à une température proche de celle de la couvain. A Rennes et Tours, deux équipes de l'Inra tentent de comprendre les mécanismes moléculaires expliquant ce phénomène. En effet, ce pouvoir d'auto-défense du blanc d'œuf dans de telles conditions résulte d'interactions multiples qu'il reste encore à élucider.



© H. Qin - Inra

Contact scientifique

Florence Baron

Unité Science et Technologie du Lait et de l'Œuf

Centre Inra de Rennes

florence.baron@agrocampus-ouest.fr - Tél. 02 23 48 59 69

Service de presse | 01 42 75 91 86 | presse@inra.fr

► L'art du "self-defense"

Outre le lysozyme et l'ovotransferrine, d'autres composés en plus faible quantité présentent également des activités antibactériennes : c'est le cas des défensines. Cette famille de petites protéines du système immunitaire est produite naturellement chez l'homme et dans de nombreuses espèces animales, dont la poule, pour se défendre contre les infections microbiennes. Dans le cadre des programmes européens "Rescape" puis du projet "Ovomining" coordonné par l'Inra, une équipe a caractérisé l'activité de deux d'entre elles : la bêta-défensine 11 et la galline. La première limite le développement de certaines bactéries pathogènes comme *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Enteritidis et Typhimurium, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*. La galline possède quant à elle une activité dirigée contre *E. coli*. D'autres défensines ont été identifiées dans le jaune et la coquille d'œuf mais leurs activités antimicrobiennes restent à caractériser. Les défensines pourraient donc contribuer à la protection naturelle de l'embryon dans les œufs à couver et au maintien de la qualité sanitaire des œufs de consommation. L'identification de ces nouveaux composés antimicrobiens offre des pistes intéressantes dans la recherche de nouveaux antibiotiques.



© C. Sigomüder - Inra

Ovomining : comment débusquer de nouvelles protéines antibactériennes ?

Mené par l'Inra jusqu'en 2012, ce projet avait pour objectif de répertorier l'ensemble des protéines antibactériennes de l'œuf par analogies avec des protéines antimicrobiennes d'autres espèces et grâce à des logiciels de prédiction de fonctions de protéines. Sept protéines du blanc d'œuf, des membranes vitellines ou du jaune susceptibles de jouer un rôle dans la défense de l'œuf ont ainsi été purifiées ou synthétisées puis analysées pour leur potentiel antimicrobien (dont des défensines, des antiprotéases etc.). Les chercheurs ont déterminé la structure tridimensionnelle des molécules les plus pertinentes et appréhendé leurs mécanismes d'action vis-à-vis des constituants bactériens.



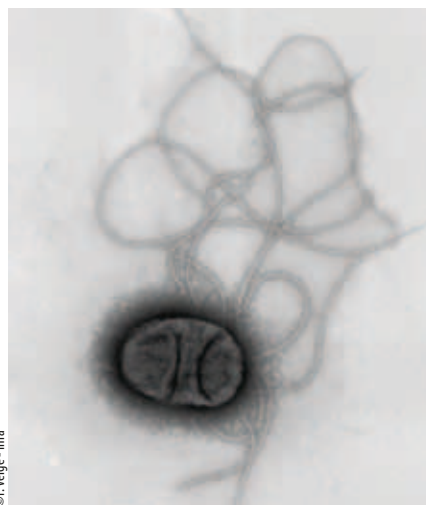
© Marie-Christine Lhopital - Inra

► Anti-protéases : présence massive mais énigmatique

Le blanc d'œuf est extrêmement riche en anti-protéases telles l'ovomucoïde, l'ovoïnhibiteur, l'ovomacroglobuline ou la cystatine qui sont des molécules régulatrices de l'activité des protéases (des enzymes qui dégradent des protéines pour les activer ou les inactiver). Cette présence en quantité importante dans le blanc soulève des interrogations principalement parce que leur rôle est très peu connu. Elles pourraient être impliquées dans le développement embryonnaire ou encore dans des activités antimicrobiennes mais leurs fonctions restent encore à préciser. En alimentation humaine, ces molécules ont un effet connu qui limite la digestibilité de l'œuf consommé à l'état cru.

► OVAX et ovalbumine : si proches et pourtant si différentes !

L'OVAX (*ovalbumin related protein X*) est une protéine mineure du blanc d'œuf mise en évidence en 2006 par une équipe de l'Inra à Rennes et ressemble fortement à la principale protéine de l'œuf : l'ovalbumine. Des chercheurs à Tours ont réussi à montrer qu'elle était antibactérienne vis-à-vis de deux bactéries pathogènes responsables de toxi-infections alimentaires chez l'homme : *Listeria monocytogenes* (listériose) et *Salmonella Enteritidis* (salmonellose). Et pourtant, malgré sa grande ressemblance avec l'OVAX, l'ovalbumine ne possède pas d'activité contre ces deux pathogènes. Ainsi, l'étude de la structure de l'OVAX révèle un domaine qui pourrait être à l'origine de son pouvoir antibactérien. Les propriétés de l'OVAX comme agent antibactérien sont à l'origine d'un brevet déposé par l'Inra et laisse entrevoir des perspectives d'applications très intéressantes.



© P. Velge - Inra

 Observation en microscopie électronique à transmission des flagelles de *Salmonella Enteritidis*.

La chasse aux activités biologiques cachées

Une toute nouvelle voie d'investigation consiste à débusquer de nouvelles activités biologiques dissimulées secrètement dans les protéines. En effet, la transformation de certaines protéines de l'œuf peut conduire à libérer des fragments bioactifs. Par exemple : l'hydrolyse de l'ovalbumine, la protéine majeure du blanc d'œuf, génère des fragments qui présentent des activités antimicrobiennes, anti-hypertensives ou qui modulent la réponse du système immunitaire. D'autres fragments bioactifs ont également été mis en évidence *in vitro* à partir de l'ovotransferrine, l'ovomucoïde, le lysozyme ou l'ovomucine. Produits lors de la digestion des protéines de l'œuf par les enzymes digestives, ils pourraient exercer des effets bénéfiques sur la santé, notamment anti-cancéreux ou anti-inflammatoires.

Contacts scientifiques

Nicolas Guyot

nicolas.guyot@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 76 89

Sophie Réhault-Godbert

Sophie.Rehault@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 78 39

Unité de recherches avicoles

Centre Inra Val de Loire

Service de presse | 01 42 75 91 86 | presse@inra.fr

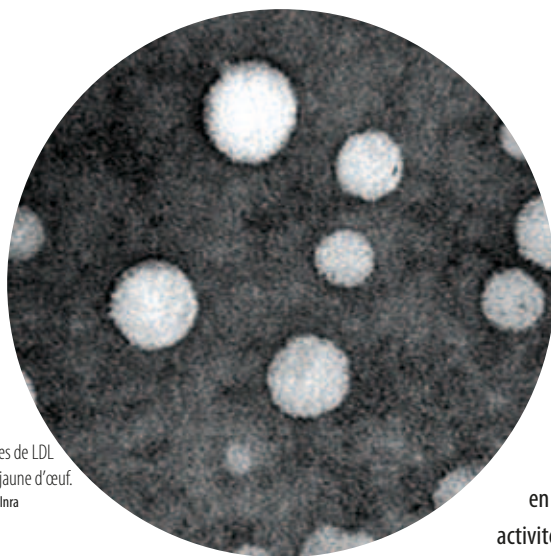
Les mystères de la chambre jaune

► Du jaune d'œuf pour protéger les spermatozoïdes

Pour les inséminations artificielles, le jaune d'œuf est classiquement employé comme agent protecteur des spermatozoïdes de mammifères. Là encore les lipoprotéines et surtout les LDL ont leur mot à dire ! Largement utilisées dans les milieux de congélation en médecine humaine et vétérinaire, les propriétés d'interaction des spermatozoïdes avec les LDL ont été étudiées à l'Inra d'Angers-Nantes, en collaboration avec l'École Vétérinaire de Nantes. Des mécanismes de gélification à la surface des membranes des spermatozoïdes et des permutations entre phospholipides expliqueraient le phénomène.



© Marie-Christine Lhopital - Inra



Nanovésicules de LDL
extraites du jaune d'œuf.
© C. Gaillard - Inra

► Une molécule très électrique !

Composé du jaune d'œuf à l'étude : la phosvitine. C'est la protéine la plus phosphorylée que l'on connaisse : elle contient 10 % de phosphore, ce qui lui confère une charge électrique négative très importante et lui permet de fixer la majorité des métaux, notamment le fer ou le calcium du jaune d'œuf. Elle joue un rôle considérable dans la stabilisation des émulsions. Ainsi, les émulsions de phosvitine, capables de former aisément des agrégats avec des ions calcium, pourraient servir de vecteurs de calcium dans l'alimentation humaine, en prévention de l'ostéoporose par exemple. Par ailleurs, du fait de son activité anti-oxydante, la phosvitine protège de la formation de radicaux hydroxylés catalysée par le fer et de ce fait, pourrait être utilisée pour la prévention du cancer colorectal, pathologie dans laquelle le stress oxydatif modulé par le fer est impliqué.

Contact scientifique

Marc Anton
Unité Biopolymères, Interactions, Assemblages
Centre Inra d'Angers-Nantes
Marc.Anton@nantes.inra.fr - Tél. 02 40 67 50 80

Les allergies

Que reprocher à l'œuf ? Son pouvoir allergène qui touche essentiellement les jeunes enfants. Avec les poissons de mer, les cacahuètes, les noisettes, le lait de vache, etc., l'œuf fait partie des quatorze allergènes alimentaires les plus fréquents en Europe faisant l'objet d'un étiquetage obligatoire dans les produits de consommation.



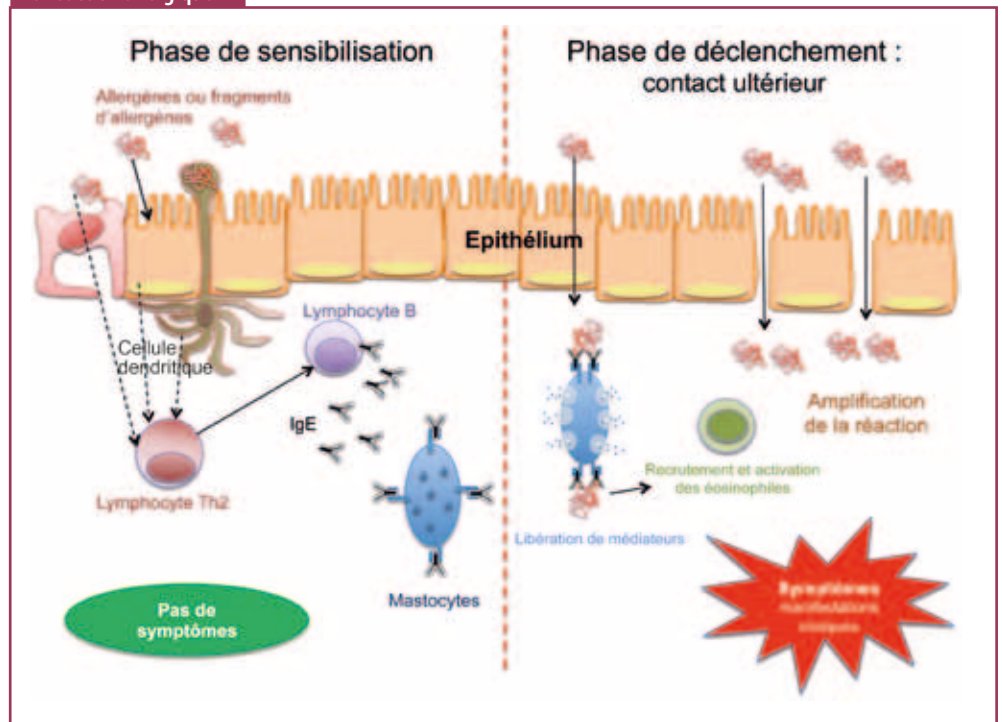
© Fotolia

L'allergie à l'œuf représente environ 30 % des allergies alimentaires chez les moins de 15 ans, apparaissant le plus souvent entre 9 et 15 mois. Elle se manifeste, après ingestion voire simple contact, par des réactions cutanées (urticaires, eczéma), des troubles digestifs (vomissements, diarrhées) ou respiratoires (asthme), des rhinites et des rhino-conjonctivites. Le choc anaphylactique³ n'est que très rarement observé. L'allergie à l'œuf est souvent transitoire chez l'enfant : dans la plupart des cas, elle guérit vers 4 à 7 ans. Elle peut cependant être définitive et compte pour 7 % des allergies alimentaires chez les adultes.

³ Le choc anaphylactique est une réaction allergique exacerbée, entraînant dans la plupart des cas de graves conséquences et pouvant engager le pronostic vital.

Les responsables sont d'abord quatre protéines principales (ou majeures) du blanc d'œuf : l'ovalbumine (la plus abondante), l'ovomucoïde (la plus allergène), l'ovotransferrine et le lysozyme. Des allergies aux protéines du jaune d'œuf sont également connues. Pour la première fois, l'étude Ovonutrial (voir page 5) a permis aux chercheurs de l'Inra de comparer les sensibilisations aux allergènes du blanc et aux fractions du jaune. Elle a aussi mis en évidence des sensibilisations vis-à-vis des protéines représentant moins de 1 % des protéines du blanc (mineures), notamment la flavoprotéine, l'OVAX et l'avidine.

La réaction allergique



Blanc ou jaune, cru ou cuit ? Une étude clinique menée dans le cadre du projet Ovonutrial a permis d'analyser les réactions de 52 enfants allergiques à l'œuf. Les médecins ont, entre autres, pratiqué des tests sur la peau des enfants - "prick-tests" - pour évaluer leur réaction allergique à l'œuf entier, au blanc ou au jaune (à chaque fois cru et cuit). Les résultats ont montré que parmi tous ces enfants allergiques à l'œuf : tous étaient sensibilisés au blanc et 80 % au jaune. Par ailleurs, les scientifiques ont testé les effets de divers procédés technologiques comme la pasteurisation (ici : 66°C pendant 6 minutes) sur le pouvoir allergène de l'œuf. La pasteurisation montre un effet limité sur la réactivité cutanée à l'œuf entier et au blanc d'œuf (moins 10 % de réaction positive au prick-test). Par contre, la cuisson diminue la réaction cutanée avec un effet plus important sur le jaune (-50 %) que sur l'entier (-40 %) et le blanc (-30 %). En résumé : certains enfants allergiques à l'œuf peuvent manger des œufs sous forme de gâteaux, mais tous devront se méfier des œufs mollets et des omelettes ; et ils ne doivent ni les gober ni manger de mousse au chocolat ! Les phénomènes moléculaires qui sous-tendent ces résultats sont liés aux changements de structure des protéines et donc à des modifications physico-chimiques.

Comment traiter ? A l'heure actuelle, la prise en charge consiste à supprimer l'œuf du régime alimentaire, ce qui est très compliqué du fait de la présence de cet aliment dans nombre de produits alimentaires mais aussi cosmétiques (shampoings) et dans certains médicaments. A partir d'un certain âge, les enfants réintroduisent petit à petit l'œuf dans leur alimentation et la majorité d'entre eux devient tolérante.

Des stratégies thérapeutiques sont actuellement testées. Les chercheurs tentent notamment d'identifier des "marqueurs" pour prédire l'évolution de l'allergie ou la tolérance aux petites doses, ce qui permettrait d'assouplir le régime alimentaire. C'est l'un des objectifs du projet MANOE (Maîtrise allergie nutrition enfant) financé par la région des Pays de la Loire qui a démarré en 2010, avec la participation de plusieurs Centres Hospitaliers Universitaires, d'industriels et de l'Inra. Ce projet inclut notamment des tests cliniques de réintroduction de petites doses d'allergènes, dont l'œuf, pour évaluer la réactivité des patients aux petites doses. Ce projet apportera un éclairage pratique sur l'utilisation de seuils par les industriels.

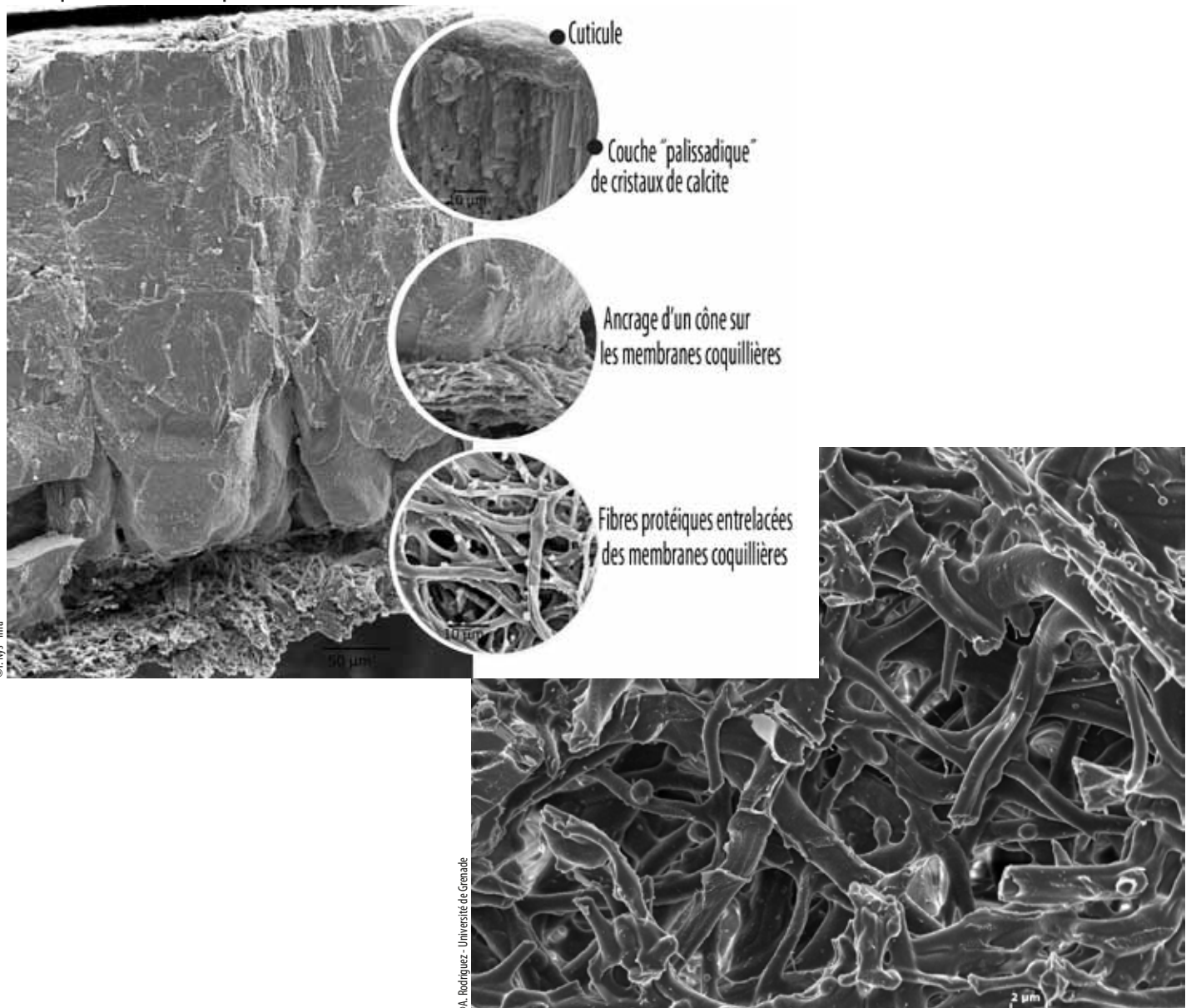
Contact scientifique

Chantal Brossard
Unité Biopolymères, Interactions, Assemblages
Centre Inra Angers-Nantes
Chantal.Brossard@nantes.inra.fr - Tél. 02 40 67 50 87

La coquille, fabuleux biomatériau protecteur

En quelques 20 heures à 40°C, la température de la poule, la coquille d'œuf devient suffisamment solide pour protéger l'embryon mais assez fragile pour permettre l'éclosion. Elle résiste à des pressions de plusieurs kilos et est parsemée de près de 10 000 pores qui permettent les échanges respiratoires de l'embryon. Depuis les années 70, la structure et les propriétés mécaniques de la coquille sont bien connues. Aujourd'hui, les chercheurs de l'Inra s'intéressent à la fabrication de cette coquille afin d'améliorer cette protection physique et la sécurité sanitaire de la filière œuf. L'enjeu est de taille puisque, sur près de 13 milliards d'œufs, environ 1 milliard est déclassé pour défaut de coquille.

La coquille au microscope



La minéralisation la plus rapide du vivant

Dès l'âge adulte (à partir de 6 mois environ selon les races), la poule pond pratiquement un œuf chaque jour. Par comparaison, une oie n'en pond que 15 à 30 par an ! La poule libère un ovocyte (jaune d'œuf) dans l'oviducte gauche⁴ : l'œuf va acquérir successivement ses autres compartiments au cours de son déplacement dans ce long tube, s'entourant d'abord d'un blanc très gélifié et des membranes coquillières pendant près de 4 heures. Puis, il s'hydrate et prend sa forme ovoïde qui sera fixée par calcification de la coquille dans l'utérus. Il faut environ 20 heures pour exporter 6 grammes de calcium et former cette coquille : c'est considérable sachant que cela correspond à près de 10 % du calcium corporel total de la poule. Ce

processus de minéralisation, l'un des plus rapides du monde vivant, se déroule en trois grandes étapes :

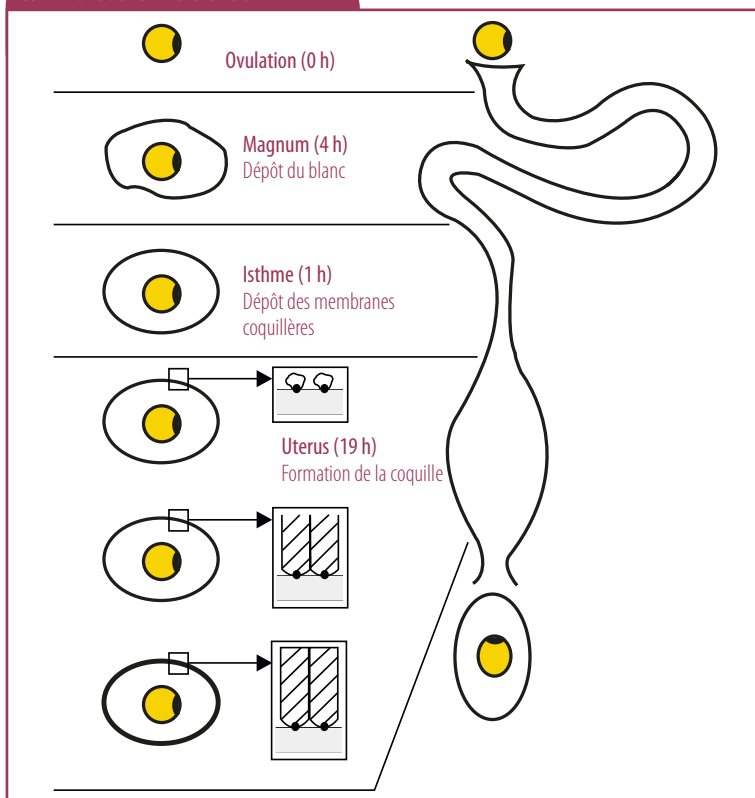
- Tout d'abord, pendant 5 heures, les premiers cristaux de calcite⁵ se déposent en des sites particuliers à la surface des membranes coquillières. L'œuf est alors mou et dilaté. Les cristaux progressent vers l'extérieur, leur croissance est inhibée vers l'intérieur. Il se forme des cônes inversés qui se rejoignent petit à petit pour constituer une couche compacte polycristalline.
- Le fluide utérin regorge de calcium, de bicarbonates et contient les précurseurs minéraux et organiques de la coquille. Ceci permet à la coquille, dans un deuxième temps, de s'auto-organiser pour former une structure minérale cristalline très solide.
- Enfin, la minéralisation est stoppée une heure avant l'expulsion de l'œuf et une couche externe organique, la cuticule, bouche les pores.

La poule forme sa coquille au cours de la nuit. Aussi, elle augmente d'elle-même sa consommation de calcium 4 heures avant extinction des lumières. C'est pourquoi, pour augmenter la solidité de la coquille, les éleveurs mettent à disposition des poules des petits cailloux de calcaire ou de coquillage.

⁴ Mystère de la nature : chez les oiseaux (hormis de rares exceptions), seuls subsistent l'ovaire et les voies génitales du côté gauche des animaux !

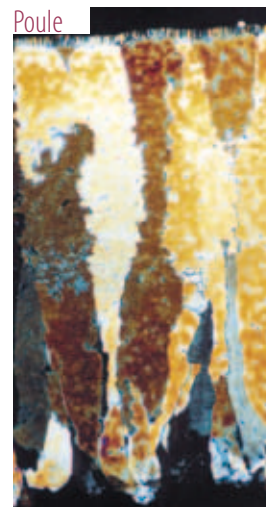
⁵ Parmi les minéraux les plus répandus sur Terre, la calcite est un minéral composé de carbonate naturel de calcium de formule CaCO_3 . La variété de ces cristaux à six faces est très importante, on en a dénombré plus de 12 000 formes différentes.

Comment se forme-t-elle ?



Un cas particulier : la coquille de la pintade

Ramenée à son poids, sa coquille a une plus grande résistance à la rupture que les autres espèces. Cette propriété est liée, chez la pintade, aux cristaux de calcite qui sont entrelacés dans la partie extérieure de la couche calcifiée alors que, chez la poule, chaque colonne reste individualisée.



Vue en lumière polarisée de coupes transversales de coquilles de pintade et de poule.

• Sécurité sanitaire **Coup de vieux pour les œufs !**

FIL ROUGE

Les poules vivent une dizaine d'années mais elles ne pondent plus vers 7-9 ans. En vieillissant, leurs œufs sont plus gros, leurs jaunes grossissent et leurs coquilles se fragilisent. Une poulette de 6 mois pond des œufs de près de 60 grammes, vers un an, il pèsent 65 grammes et 68 grammes vers 2 ans. Par ailleurs, les jeunes pondeuses pondent des œufs plus ronds. Ainsi, avec l'âge, la structure cristalline des coquilles, la taille des cristaux et leur orientation subissent des dommages. Ces altérations coïncident avec des changements au niveau des molécules organiques de la coquille. Or, des chercheurs ont mis en évidence l'influence de la mue des poules sur la qualité de la coquille. Après la mue, la production d'œufs s'améliore, la quantité d'œufs pondus augmente et ils sont plus solides. Les coquilles présentent moins de défauts et retrouvent une structure cristallographique de jeunes poules ! En réalité, ce phénomène physiologique de mue se produit chaque année : les poules renouvellent leur plumage et cela bouleverse toute la physiologie de l'oiseau, notamment la mue est marquée par un arrêt de la ponte. Ce processus de mue peut être déclenché par les éleveurs pour "rajeunir" le système reproducteur et ainsi améliorer les performances de production.

Des cristaux sous contrôle

La structure cristalline de la coquille et son ultrastructure sont parfaitement définies et cette organisation est à l'origine de ses propriétés mécaniques exceptionnelles. La coquille pèse environ 6 grammes : 95 % de minéraux (37,5 % de calcium, 58 % de carbonate, du magnésium et du phosphore) ; 2,4 % de matière organique et 1,6 % d'eau. La résistance de la coquille d'œuf de près de quatre kilos en pression statique est liée à la quantité et à l'organisation des cristaux, elle-même contrôlée par la portion organique de la coquille. En collaboration avec un réseau d'équipes internationales, les chercheurs de l'Inra ont identifié de nombreuses protéines spécifiques de la coquille uniquement synthétisées par l'utérus de la poule et qui exercent un contrôle sur la fabrication de la coquille.

600 gènes en jeu pour construire la coquille

Il existe aussi un contrôle génétique de cette fabrication de la coquille. Dans le cadre des projets européens EggDefence et Sabre, une équipe de l'Inra de Tours a identifié un répertoire de plus de 600 gènes exprimés dans l'utérus au cours de la formation de la coquille. Ils codent pour plus de 400 protéines qui, pour la moitié d'entre elles, transportent des minéraux nécessaires à la construction de la coquille ou se retrouvent dans la partie organique de la coquille. Ces travaux contribuent à proposer des approches pour améliorer la solidité de la coquille de l'œuf et ainsi réduire le risque de pénétrations bactériennes dans l'œuf puisque tout défaut même mineur de l'intégrité de la coquille (microfêlure) accroît les risques de contamination.



© Châtaigne - Inra

Les coquilles en voient de toutes les couleurs...

... même en chocolat... puisque les poules de la race de Marans pondent des œufs roux cuivré ! Des œufs, il en existe de toutes les couleurs. Selon les préférences et les habitudes, les coquilles sont de toutes les teintes, du blanc au brun foncé. En France, la préférence va aux œufs bruns-roux et aux Etats-Unis, aux œufs blancs. Cet aspect de la coquille dépend uniquement de l'origine génétique de la pondeuse et est indépendant de la couleur du plumage ou du mode d'alimentation de la poule. Deux types de pigments déterminent la couleur : la protoporphyrine (précurseur de l'hémoglobine) est déposée en surface et est à l'origine de la couleur plus ou moins brune. La biliverdine (dérivé de la bile) quant à elle, colorie l'intérieur des coquilles en bleu-vert. Cette coloration n'affecte ni celle du jaune qui reflète l'alimentation de la poule ni les caractéristiques nutritionnelles de l'œuf.

Contacts scientifiques

Yves Nys
 Yves.Nys@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 72 82
 Joël Gautron
 Joel.Gautron@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 75 40
 Unité de recherches avicoles
 Centre Inra Val de Loire

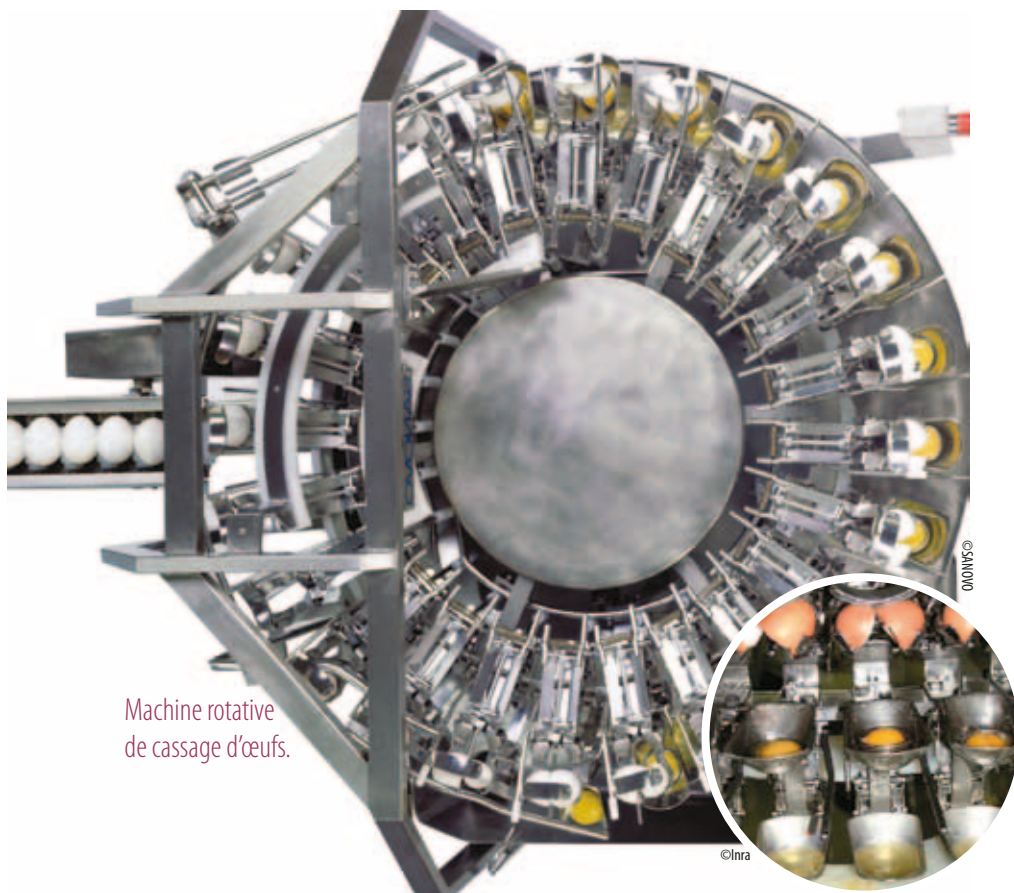
Service de presse | 01 42 75 91 86 | presse@inra.fr

L'œuf dans tous ses états

Des jaunes d'œuf en bidon, de la poudre de blanc, du jaune sucré, du blanc salé... des omelettes individuelles, de la mayonnaise en tube... l'industrie agro-alimentaire est très friande d'ovoproduits et il y en a partout dans nos cuisines ! Depuis les années 70, cette industrie des ovoproduits est en plein essor. En raison de leurs propriétés fonctionnelles (aptitude au fouettage, émulsification, moussage, stabilisation, gélification, texturation...), ils entrent dans la confection de nombreux aliments (pâtisseries, charcuteries, confiseries... le blanc est même utilisé dans la brasserie et la vinification). La France est le premier producteur européen d'œufs et d'ovoproduits. En 2011, la production française d'œufs a atteint 290 000 tonnes, dont 40 % destinés aux ovoproduits. La maîtrise de leur qualité microbiologique est un impératif, en particulier lorsqu'ils sont intégrés dans des aliments crus ou peu cuits.

Les ovoproduits regroupent l'ensemble des produits obtenus à partir de l'œuf, de ses composants ou de leur mélange, après élimination de la coquille et des membranes coquillières. On en distingue trois catégories :

- Les **ovoproduits intermédiaires** : destinés aux industries agroalimentaires, l'entier, le jaune ou le blanc sont utilisés comme ingrédients entrant dans la fabrication des sauces, des pâtes, des pâtisseries... Ils sont vendus sous forme liquide, concentrée, congelée ou en poudre.
- Les **ovoproduits prêts à l'emploi** : le plus souvent destinés à la restauration hors domicile, ils sont vendus déjà transformés ; par exemple les œufs durs écalés (sans coquille), les œufs pochés, des omelettes précuites ou déshydratées, des blancs en neige...
- Les **constituants du blanc ou du jaune** : destinés à l'industrie agroalimentaire et non-alimentaire, ils sont obtenus par fractionnement des composés, extraction de molécules... Ils entrent dans la composition de produits très variés. Le lysozyme, extrait du blanc d'œuf, est par exemple utilisé dans la fabrication de fromages à pâte pressée cuite, comme conservateur naturel dans un grand nombre de préparations alimentaires ou comme principe actif de traitements contre les maux de gorge.



Machine rotative de cassage d'œufs.

On ne fait pas d'ovoproduit sans casser d'œufs

En 2011, on compte 56 fabricants d'ovoproduits en France, principalement basés en Bretagne et dans les Pays de la Loire. Il existe également 65 centres d'emballages où les œufs sont stockés dans des locaux propres, aérés, à une température stable (souvent comprise entre 10 et 12°C). Dans les usines de fabrication des ovoproduits, les œufs se retrouvent dans les rouages des machines de cassage capables de les briser individuellement, avec des capacités pouvant atteindre jusqu'à 180 000 œufs par heure. Pour éviter les contaminations, les coquilles sont rapidement évacuées, broyées puis centrifugées. Après le cassage, blanc et jaune sont soumis à une filtration avant de subir différentes transformations : salage, sucrage, pasteurisation, séchage...

Les contaminations des œufs peuvent se produire à toutes les étapes de la filière ; depuis la ponte, le stockage jusqu'à la transformation ou la consommation. Néanmoins, le stade du cassage est particulièrement sensible : le contact avec les coquilles souillées et les surfaces des machines entraîne une contamination systématique du contenu de l'œuf. La priorité des chercheurs est donc de mieux appréhender les interactions avec les bactéries et microorganismes pathogènes pour désigner les traitements adéquats. Leur destruction est essentiellement réalisée par traitement thermique mais toute la difficulté réside dans le fait d'éliminer les bactéries sans dénaturer les protéines, et donc, sans coaguler les ovoproduits.

Mousses, gels et émulsions

Mousse au chocolat, île flottante, vacherin... les blancs en neige sont à la base de nombreuses recettes ! En effet, les propriétés moussantes du blanc d'œuf archi-connues et exploitées dépendent de protéines qui retiennent les bulles d'air dans l'eau et les empêchent de s'échapper. Le blanc est également utilisé pour ses propriétés gélifiantes. L'industrie agroalimentaire utilise donc du blanc pâtissier (liquide ou en poudre) qui doit être de bonne qualité pour faire de bons macarons mais la poudre de blanc est aussi destinée à la charcuterie (dans ce cas, une faible contamination par du jaune est acceptée). Le blanc d'œuf représente une part essentielle du marché des ovoproduits et les industriels doivent en garantir les propriétés fonctionnelles. Or, les procédés de transformation altèrent tout particulièrement les propriétés moussantes de l'œuf. C'est pourquoi, les chercheurs de l'Inra décryptent les relations entre la structure des protéines et leurs propriétés moussantes et proposent également des pistes d'amélioration.



© Fotolia

© N. Bertrand - Inra

Des mayonnaises allégées !

Étonnamment, si la pasteurisation ne modifie pas les propriétés moussantes des protéines du blanc d'œuf, elle leur confère des propriétés émulsifiantes intéressantes. En ciblant spécifiquement les traitements thermiques, les scientifiques ont obtenu des émulsions que l'on peut ensuite faire mousser. Résultat : des sortes de mayonnaises à faibles quantités d'huile qui pourraient très bien constituer une nouvelle gamme de mayonnaises light !

Des résultats similaires peuvent être obtenus en utilisant des protéines du jaune d'œuf, les granules contenant la phosvitine. Ces agrégats protéiques possèdent de bonnes propriétés émulsifiantes et ces émulsions peuvent servir à fabriquer une structure de type mayonnaise très pauvre en huile. La capacité des granules à s'agréger permet de stabiliser les bulles d'air et donner au produit une consistance proche de celle de la mayonnaise.

À l'œil nu, une émulsion (mayonnaise, savon liquide...) semble homogène mais au microscope, on s'aperçoit qu'il s'agit d'un mélange de deux substances liquides qui, en principe ne se mélangent pas, comme l'huile et l'eau.

Les mousses quant à elles (crème fouettée, mousse au chocolat...) ressemblent aux émulsions sauf que l'une des substances est un gaz qui forme des bulles dans un liquide. Les gels, eux (gélatine, confiture, blanc d'œuf cuit...), sont principalement constitués de liquide ; ils forment un réseau 3D et se comportent comme des solides.

Le record de volume de blanc en neige à partir d'un seul blanc d'œuf est de 40 LITRES.

L'œuf possède d'excellentes barrières naturelles contre l'invasion des microbes, notamment la coquille et le blanc d'œuf qui possède un arsenal de protéines antibactériennes extrêmement efficace et variée. Cependant, certaines étapes comme le cassage industriel des œufs ou les différentes transformations entraînent des contaminations systématiques. La maîtrise de la qualité microbiologique des œufs est donc un impératif pour la sécurité sanitaire de toute la filière, en particulier lorsqu'ils sont intégrés dans des aliments crus ou peu cuits. Des traitements thermiques sont donc appliqués ; ils permettent d'éliminer la majorité des micro-organismes, notamment *Salmonella*, *Listeria* ou même le virus de la grippe aviaire. Cependant, le traitement thermique peut s'avérer inefficace sur certains micro-organismes : c'est le cas des bactéries du groupe *Bacillus cereus* dont le comportement est décortiqué par une équipe du centre Inra de Rennes. Ces bactéries sont partout et produisent un certain nombre d'enzymes à l'origine d'altérations des ovoproduits. De plus, certaines souches de *Bacillus cereus* peuvent produire des toxines et engendrer potentiellement des maladies alimentaires. Bien qu'aucun ovoproduit n'ait jamais été incriminé dans une toxi-infection due à *Bacillus cereus*, les chercheurs ont mis en place des études visant à connaître l'occurrence de ces bactéries dans la filière œuf, leur potentiel d'altération et leur toxicité potentielle. En étudiant les contaminations par *Bacillus cereus* dans 20 élevages et 6 entreprises, les chercheurs ont notamment démontré, pour la première fois, que ces bactéries étaient capables de se multiplier et d'altérer les ovoproduits aux températures de réfrigération. Ces travaux ont permis d'identifier des pratiques d'élevage limitant la présence de ces bactéries à la surface des œufs. De plus, les chercheurs ont développé un outil de diagnostic en temps réel, simple, rapide, à destination des industriels permettant d'identifier les principales espèces de bacilles rencontrés en agroalimentaire.

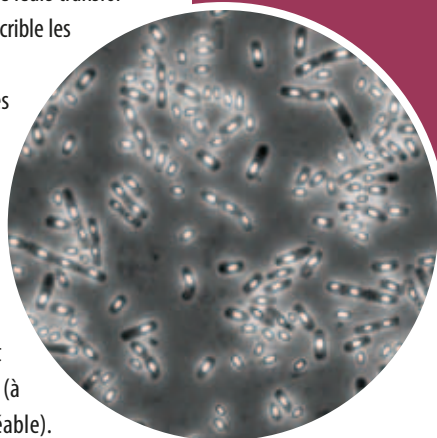
Odeurs et couleurs des poudres de jaunes

Dans le but de mieux valoriser les ovoproduits, des chercheurs de l'Inra étudient le comportement des lipides du jaune d'œuf lors de leurs transformations. Ils passent ainsi au crible les poudres de jaune d'œuf.

Du point de vue olfactif : les poudres de jaune ont une odeur moins forte que les poudres d'œufs entiers. Cependant, température et durée de conservation ont un fort impact sur l'odeur de ces poudres, sans pour autant faire apparaître d'*off-flavor* (à savoir d'une odeur désagréable).

Cela concorde avec la très bonne stabilité oxydative des produits qui a été mise en évidence.

Une autre expérience a consisté à étudier 6 types de poudres de jaune : 4 à partir du même lot d'œufs coquille et 2 à partir d'un lot d'œufs enrichis notamment en oméga-3. L'un des principaux résultats montre que les œufs enrichis en oméga-3 peuvent être transformés (pasteurisés puis mis en poudres) sans perte notable de leurs propriétés physiques, fonctionnelles, sensorielles et nutritionnelles, au contraire des œufs coquille. Néanmoins, l'enrichissement en acides gras oméga-3 modifie la couleur des produits, les propriétés thermiques des lipides et des poudres.



Microscopie optique de spores et cellules de *Bacillus cereus*.
©M.A. Guinebrière - Inra

Contact scientifique

Florence Baron
Unité Science et Technologie du Lait et de l'Œuf
Centre Inra de Rennes
florence.baron@agrocampus-ouest.fr
Tél. 02 23 48 59 69

Des ovoproduits améliorés

Dans le cadre du projet Ovonutrial (voir page 5), des chercheurs de l'Inra à Rennes et Nantes ont démontré que les procédés couramment utilisés en milieu industriel peuvent avoir un impact sur la valeur nutritionnelle ou les propriétés techno-fonctionnelles de l'œuf (par exemple, sur ses propriétés émulsifiantes). Ainsi, les effets de la pasteurisation de l'œuf entier liquide (66°C pendant 4, 7 ou 10 minutes), le séchage, l'étuvage du blanc en poudre ont été testés. Parmi les résultats obtenus : l'étuvage du blanc augmente la digestibilité des protéines. Concernant les propriétés fonctionnelles de l'œuf, les avantages du co-séchage du blanc et du jaune ont été démontrés par rapport au mélange des poudres. De même, l'effet bénéfique de l'étuvage de la poudre de blanc a été quantifié. Grâce à ce type de travaux, des stratégies technologiques pourraient être définies en fonction des critères qualitatifs visés.

Contacts scientifiques

Françoise Nau
Francoise.Nau@agrocampus-ouest.fr
Tél. 02 23 48 55 80
Valérie Lechevalier
valerie.lechevalier@agrocampus-ouest.fr
Tél. 02 23 48 58 95
Unité Science et Technologie du Lait et de l'Œuf
Centre Inra de Rennes

Contact scientifique

Marc Anton
Unité Biopolymères, Interactions, Assemblages
Centre Inra d'Angers-Nantes
Marc.Anton@nantes.inra.fr
Tél. 02 40 67 50 80

Des œufs d'élite

La qualité de nos œufs est variable car elle est influencée par de nombreux paramètres : l'âge des poules, leur origine génétique, ce qu'elles mangent, leurs conditions d'élevage, leur environnement... Et les consommateurs sont exigeants : leurs œufs doivent être propres, frais avec une proportion de blanc épais importante, présenter une coquille intègre. Ils doivent être d'aspect homogène dans une boîte et la couleur du jaune est importante. Pour répondre à l'évolution de la filière et à la demande des consommateurs, les scientifiques de l'Inra évaluent de nouveaux systèmes d'élevage, mènent des recherches sur le bien-être animal, scrutent la qualité sanitaire des poules et de leurs œufs et développent même des œufs enrichis en nutriments au bénéfice de la santé humaine.



© Shutterstock

► Des œufs enrichis en oméga-3 : en veux-tu, en voilà !

La composition en acides gras du jaune d'œuf peut être modulée en jouant sur l'alimentation des poules. On peut par exemple obtenir facilement et naturellement des œufs enrichis en acides gras oméga-3 qui font l'objet de nombreuses études à l'Inra.

Quels seraient les bénéfices pour la santé de tels œufs enrichis ? Les chercheurs ont démontré que la consommation d'œufs enrichis en oméga-3 a des effets bénéfiques pendant la grossesse, pendant l'allaitement ou chez des patients hypersensibles à l'apport de cholestérol alimentaire (traités avec des médicaments réduisant la cholestérolémie). De plus en plus de pays lèvent les restrictions de consommation sur les œufs enrichis et encouragent leur consommation chez l'enfant ou les personnes âgées. A partir de 2014, ces œufs dits fonctionnels feront l'objet d'une nouvelle réglementation européenne qui concerne les allégations santé des denrées alimentaires.

Une poule qui picore sur un mur

► Du grain à moudre pour les poulettes !

Les poules sont classiquement alimentées avec du blé, du maïs, du tourteau⁶ de soja et des coquilles marines ou du calcaire : des aliments complets, riches en protéines et calcium. Il s'agit le plus souvent d'un mélange de farines de différentes céréales, facile d'utilisation. Des chercheurs de l'Inra de Tours ont participé à une étude visant à analyser

le comportement de poules soumises à une alimentation contenant des grains de blé entiers afin de pouvoir utiliser les céréales produites localement. Trois groupes de 80 pondeuses ont été nourries avec des régimes différents : alimentation complète en farine, un mélange de grains de blé entiers et un complément enrichi en protéines et calcium ; enfin un groupe était nourri de façon alternée (un repas composé de grains de blé le matin puis le complément riche en protéines et calcium l'après-midi au moment où la poule commence à former sa coquille). Ces travaux ont révélé que ce type d'alimentation dite "séquentielle" alternant distributions de grains de blé et complément protéique réduit la quantité d'aliment consommé chez les pondeuses sans altérer le niveau de production d'œufs. Ce résultat ouvre des perspectives prometteuses pour la filière avicole tant sur le plan économique qu'environnemental en favorisant l'utilisation de matières premières locales.

⁶ Les tourteaux sont obtenus après extraction de l'huile des graines des oléagineux.

Contacts scientifiques

Yves Nys
 Unité de recherches Avicoles
 Centre Inra Val de Loire
 Yves.Nys@tours.inra.fr
 Tél. 02 47 42 72 82

Philippe Lescoat (AgroParisTech)
 Unité de formation et recherche
 "Développement des filières animales"
 Philippe.lescoat@tours.inra.fr

Histoire de picorage

Spécifique des oiseaux, le picorage est une activité complexe. Le poussin sort de l'œuf grâce à son bec et sa première activité après la naissance est de picorer. Les poules y passent presque tout leur temps et seul un tiers de leurs coups de bec aboutit à la consommation d'aliments, les autres sont exploratoires. L'observation vidéo au ralenti du picorage montre que la tête de la poule reste immobile les deux tiers du temps.



©A. Beguey - Inra

Les poules ingèrent-elles les polluants des sols ?

Lorsqu'elles sont élevées en plein air, les poules mangent environ 5 grammes de sol par jour et jusqu'à 30 grammes si leur alimentation est grossière ou déséquilibrée. Peuvent-elles avaler des composés organiques polluants présents dans le sol ? Leurs œufs peuvent-ils être contaminés et si oui, comment ? Une équipe de l'Inra de Nancy travaille sur le transfert vers les œufs des polluants organiques persistants présents dans les sols. Les chercheurs ont d'abord montré que le tube digestif de la poule a de grandes capacités à extraire ces polluants, contribuant ainsi à leur transfert vers l'œuf et à sa contamination. C'est le cas des polychlorobiphényles, composés chlorés autrefois utilisés comme additifs des plastiques ou d'anciens pesticides organochlorés, désormais interdits d'usage, mais encore présents dans l'environnement. Inversement, d'autres polluants peuvent être transformés par le foie et excrétés *via* l'urine et la bile, limitant la contamination des œufs. C'est le cas des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des polluants issus de combustions urbaines et du transport routier. Par ailleurs, la même équipe a montré que plus la poule pond des œufs, moins ils risquent d'être contaminés. Pour limiter le transfert des polluants de l'environnement vers l'œuf, il faut donc limiter l'ingestion de sol par les poules et maintenir un niveau de ponte élevé. Une alimentation équilibrée et le maintien du couvert végétal du parcours mis à la disposition des poules sont donc des solutions simples mais efficaces pour éviter la contamination des œufs par les polluants du sol.



©C. Malire - Inra

Contact scientifique

Catherine Jondreville
Unité Animal et Fonctionnalités des Produits Animaux
Centre Inra de Nancy
catherine.jondreville@univ-lorraine.fr
Tél. 03 83 59 61 98



©Shutterstock

L'œuf dans tous nos sens

Des odeurs à travers l'œuf !

Des huiles essentielles de vanille et d'orange diffusées dans les couvoirs... des chercheurs de l'Inra de Tours se sont prêtés à cette expérience pour vérifier qu'il était possible de familiariser les embryons de poulet avec une odeur, et ce, afin de réduire la peur des aliments nouveaux une fois éclos. Ils ont constaté que l'olfaction *in ovo* des oiseaux est déjà bien développée : les poussins après éclosion acceptent mieux les aliments contenant ces odeurs de vanille et d'orange. Il est cependant important de bien doser l'intensité des odeurs car un excès peut déclencher des aversions.

Contact scientifique

Aline Bertin
Unité Physiologie de la reproduction et des comportements
Centre Inra Val de Loire
aline.bertin@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 79 74

Quel est notre jaune préféré ?

La couleur du jaune est importante pour les consommateurs : un jaune pâle serait peut-être un indice d'une poule malade et des jaunes bien colorés seraient signe de bonne santé de la poule. Pourtant, il n'en est rien : cette coloration dépend directement de la consommation en caroténoïdes de la poule. Cette famille de plus de 750 molécules est fréquente dans la nature dans les fruits, les légumes ou le monde animal. Seule une famille de caroténoïdes possédant un oxygène dans la molécule est pigmentant chez l'oiseau. Il s'agit des xanthophylles plutôt jaunes, orange ou rouge, qui sont issus du maïs, de la luzerne, de l'herbe, des fleurs de soucis ou peuvent être supplémentés à la poule. C'est donc uniquement leur alimentation qui détermine la couleur du jaune de leurs œufs.

En France, plus de la moitié des intoxications alimentaires collectives sont dues aux salmonelles (en plus des nombreux cas non déclarés au sein des familles) et la plupart sont liées à la consommation de produits avicoles. Pour assurer la sécurité alimentaire, les produits issus de cette filière devraient donc être exempts de ces bactéries. L'une des principales difficultés réside dans la présence de porteurs "sains", c'est à dire des animaux contaminés qui ne présentent aucun signe de la maladie. En effet, certaines de ces bactéries (principalement *Salmonella* Typhymurium) sont responsables d'infections à la fois chez la poule et chez l'être humain. Par contre, d'autres bactéries (comme *Salmonella* Enteritidis) entraînent une maladie chez l'homme mais le plus souvent n'en provoquent pas chez la poule qui ne pond alors pas nécessairement des œufs infectés par des salmonelles. Ainsi en 2009, si 3,2 % des élevages européens étaient contaminés par *Salmonella* Enteritidis, le pourcentage d'œufs de table contaminés était nettement plus réduit (0,5 %).

Si de nombreuses approches ont été proposées pour réduire ce risque, aucune ne permet à elle seule d'apporter une solution satisfaisante, d'où l'intérêt d'augmenter l'aptitude des animaux à éliminer totalement ces bactéries pour éviter le portage : c'est la résistance au portage. L'identification des régions du génome impliquées dans le contrôle génétique du portage de salmonelles faciliterait la sélection. Or, des chercheurs de l'Inra de Tours ont réussi à identifier 11 zones chromosomiques impliquées dans le contrôle de la résistance au portage. Deux d'entre elles ont un rôle à la fois dans les lignées expérimentales dans lesquelles elles ont été détectées et dans la lignée commerciale testée. Ces résultats montrent qu'il est possible de sélectionner des poules plus résistantes au portage de salmonelles. Modéliser la propagation de la bactérie dans un troupeau de poules pondeuses a permis de montrer que, couplée à la vaccination, cette stratégie pourrait s'avérer efficace pour prévenir la salmonellose.

Contact scientifique

Catherine Beaumont
Unité de recherches avicoles - Centre Inra Val de Loire
Catherine.Beaumont@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 78 44

Des pondeuses heureuses

En France, en 2011 : 72 % de l'élevage des pondeuses se fait en cage, 12 % en plein air, 5 % au sol et 7 % biologique. Les productions les plus dynamiques ces dernières années sont celles des œufs biologiques et des œufs de pondeuses élevées au sol. Depuis janvier 2012, une nouvelle directive européenne est en vigueur en France : les cages d'élevage conventionnelles sont interdites et laissent place à des cages aménagées collectives (750 cm² par poule contre 550 cm² précédemment) pourvues de nids, de perchoirs, d'une litière afin de respecter les besoins comportementaux des poules. Ces dispositifs sont plus satisfaisants pour le bien-être animal mais nécessitent une plus grande vigilance sanitaire, car l'œuf peut être pollué par la poussière ambiante ou mis en contact avec des éléments souillés. L'élevage en cage permet de garder les animaux en petits groupes (jusqu'à 70 poules), de les séparer de leurs déjections et ainsi de maintenir un bon état sanitaire des poules. Il réduit la mortalité des poules et le coût de production des œufs. L'élevage au sol offre plus d'espace aux animaux et leur donne accès à un parcours extérieur mais les risques sanitaires y sont plus importants. De plus, on dénombre moins d'œufs cassés et sales pondus en cage qu'au sol ou sur parcours extérieur. Les poules sont également sensibles à la température qui doit être comprise entre 22 et 24°C pour une production optimale. Les systèmes d'éclairage sont également très importants. Pour maintenir la production d'œufs, les journées des poules ont des durées stables de 16 heures généralement. Leurs nuits sont de 8 heures et ne peuvent pas être interrompues (en accord avec la législation européenne).

L'étiquetage des œufs : 3 catégories

Catégorie A : œufs de première qualité, "œufs frais" destinés à la consommation humaine

- On distingue des catégories de poids : **XL, L, M** (calibre de référence en cuisine), **S**.
- Ces œufs portent un numéro liés au type d'élevage dont ils proviennent :

0 : élevage biologique > les poules sont élevées en plein air, leur alimentation répond aux normes de l'agriculture biologique.

1 : plein air > les volailles disposent d'une surface herbeuse de 2,5 m² minimum.

2 : sol > les poules sont "en liberté" dans un bâtiment clos (1 m² pour 7)

3 : cage

Catégorie B : œufs conservés qui peuvent être vendus au public.

Catégorie C : œufs de deuxième qualité, déclassés, destinés aux entreprises de l'industrie alimentaire et non alimentaire

Les labels :

• **Le Label Rouge** : créé en 1960 par le ministère de l'Agriculture, ce label atteste que les poules sont élevées dans les bâtiments où la densité est limitée à 9 individus par m², avec un accès de 5 m² par poule dans le cas du Label rouge "plein air" et de 10 m² par poule dans le cas du Label Rouge "libre parcours".

L'alimentation des poules est garantie 100 % végétale et composée de céréales à 65 % minimum.

• **Le label AB** : issus de l'agriculture biologique.



Contact scientifique

Yves Nys
Unité de recherches Avicoles
Centre Inra Val de Loire
Yves.Nys@tours.inra.fr - Tél. 02 47 42 72 82



INRA
SCIENCE & IMPACT

147, rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07
France

Tél. : + 33 1 42 75 91 86
Fax : + 33 1 42 75 91 72
www.inra.fr

