



**HAL**  
open science

# Qui de l'oeuf ou de la poule ? L'important, c'est ce qu'il y a dans l'oeuf.

Joël Gautron

► **To cite this version:**

Joël Gautron. Qui de l'oeuf ou de la poule ? L'important, c'est ce qu'il y a dans l'oeuf.. Vaucansciences, Oct 2017, Tours, France. hal-02735455

**HAL Id: hal-02735455**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02735455>**

Submitted on 2 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.

# Qui de l'œuf ou de la poule ?

## L'important, c'est ce qu'il y a dans l'œuf

Joël GAUTRON  
Directeur de Recherche  
INRA, Centre val de Loire  
Unité de Recherches Avicoles  
37380 Nouzilly



# Les œufs et les poules

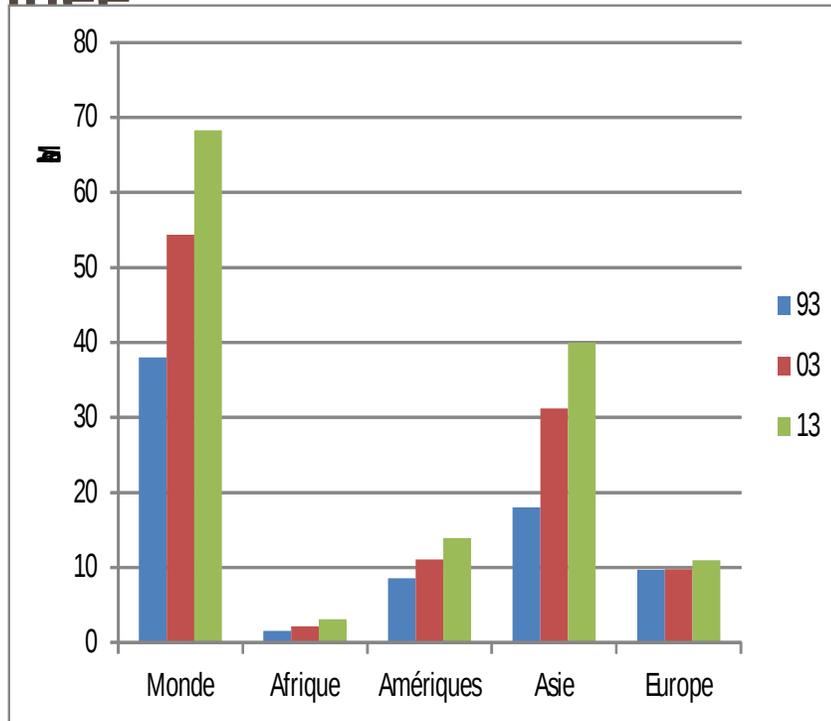


**L'Œuf de consommation**  
un produit de base pour  
l'alimentation humaine



**L'Œuf à couver**  
une enceinte close et autosuffisante  
pour permettre le développement  
d'un embryon

68.2 MT d'œufs produites dans le Monde en 2013, > 1200 Milliards d'œufs chaque année

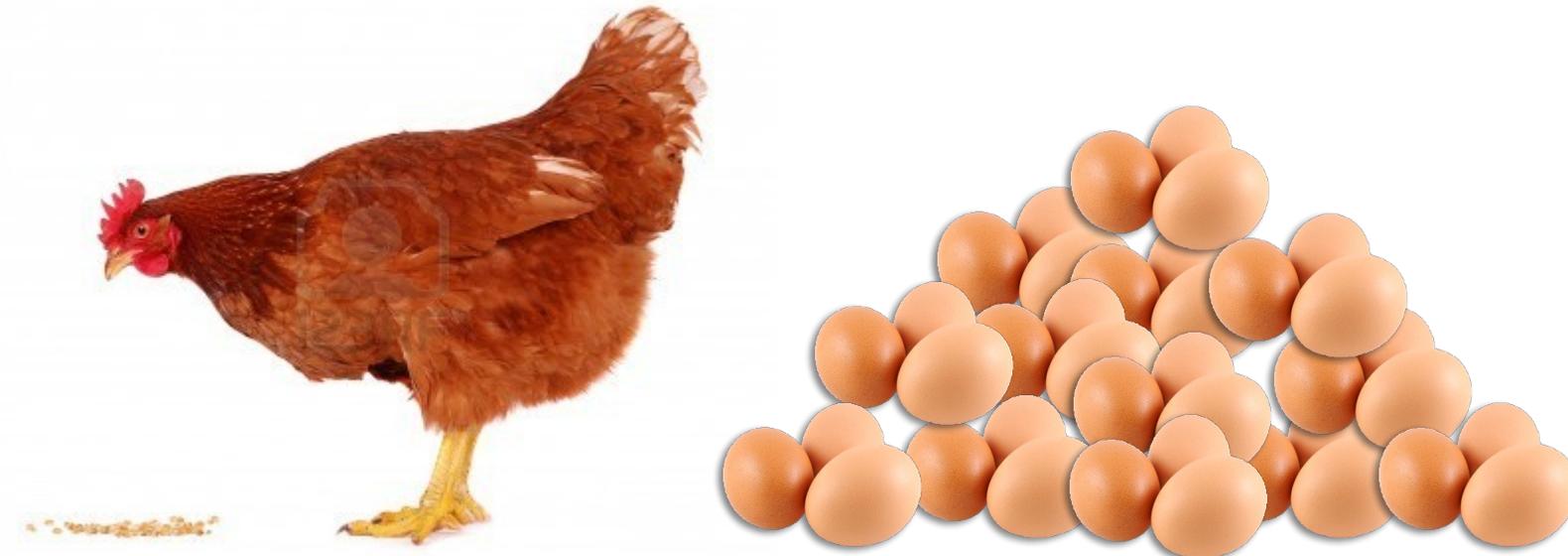


Enjeux sanitaires, économiques et éthiques



# L'œuf de poule, un produit de base pour l'alimentation humaine

Des poules sélectionnées pour la production d'œufs!!

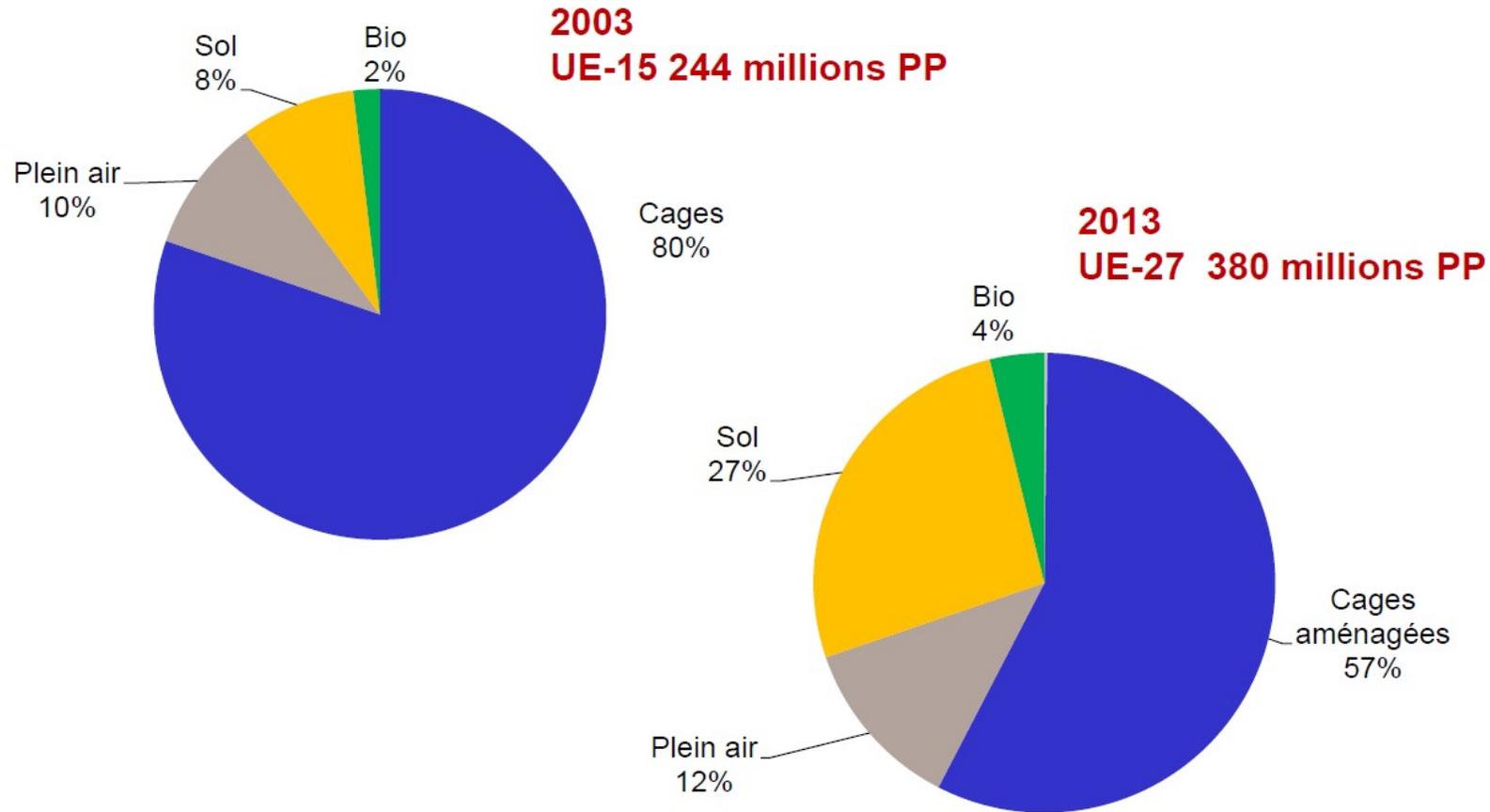


Plus de 300 œufs produits en une année de production soit dix fois le poids de la poule

Transformation de matière végétale en produit animaux = un énorme défi métabolique!

# L'œuf de poule, un produit de base pour l'alimentation humaine

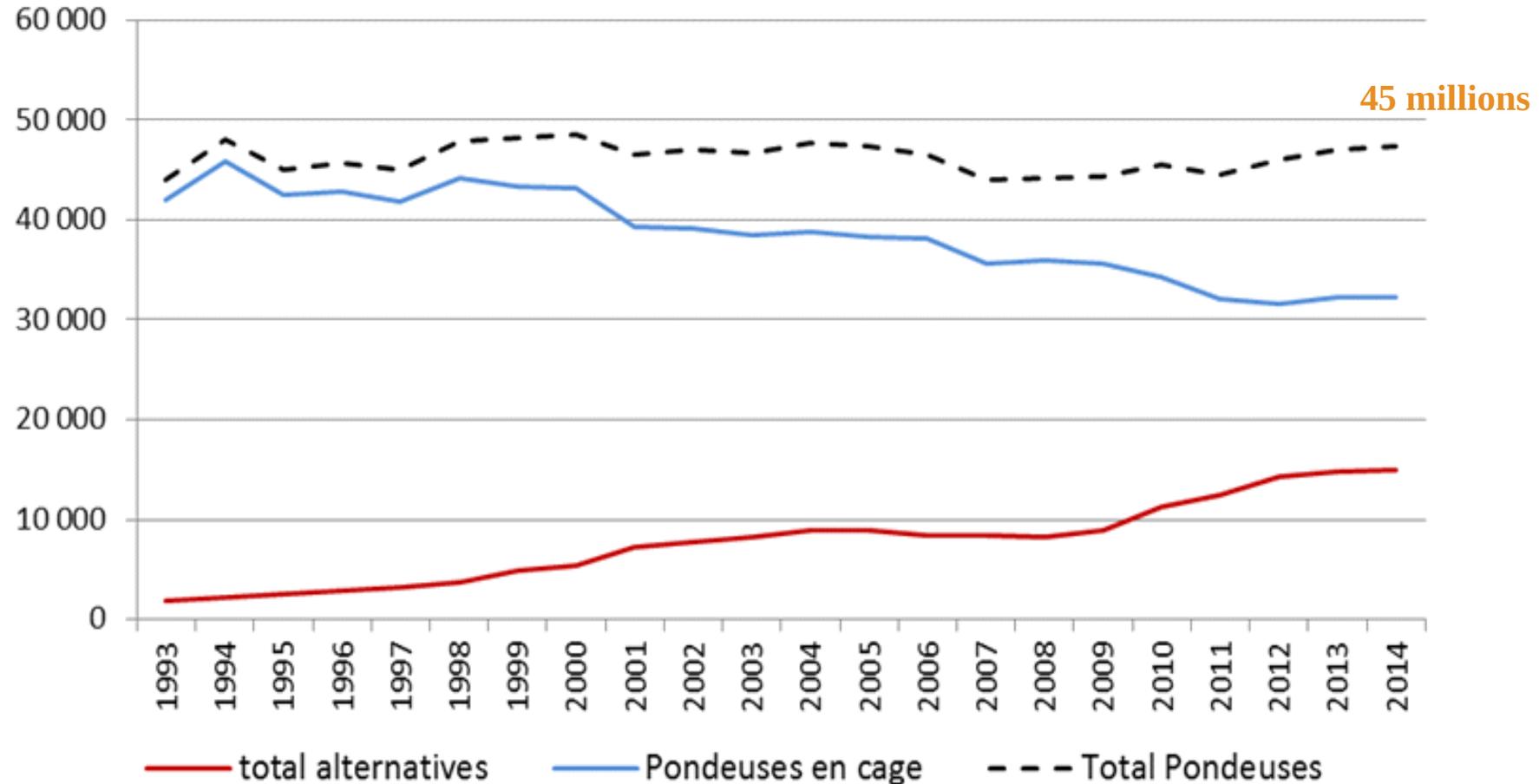
## Evolution des systèmes de production dans l'UE



Source Commission européenne



# L'œuf de poule, un produit de base pour l'alimentation humaine



# L'œuf de poule, un produit de base pour l'alimentation humaine

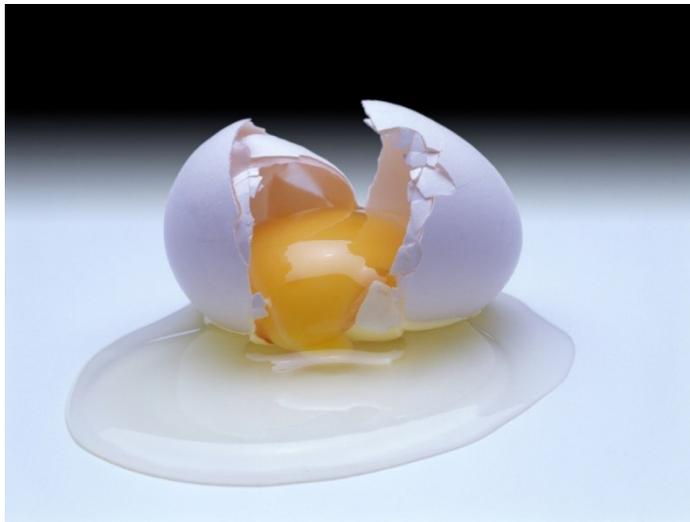
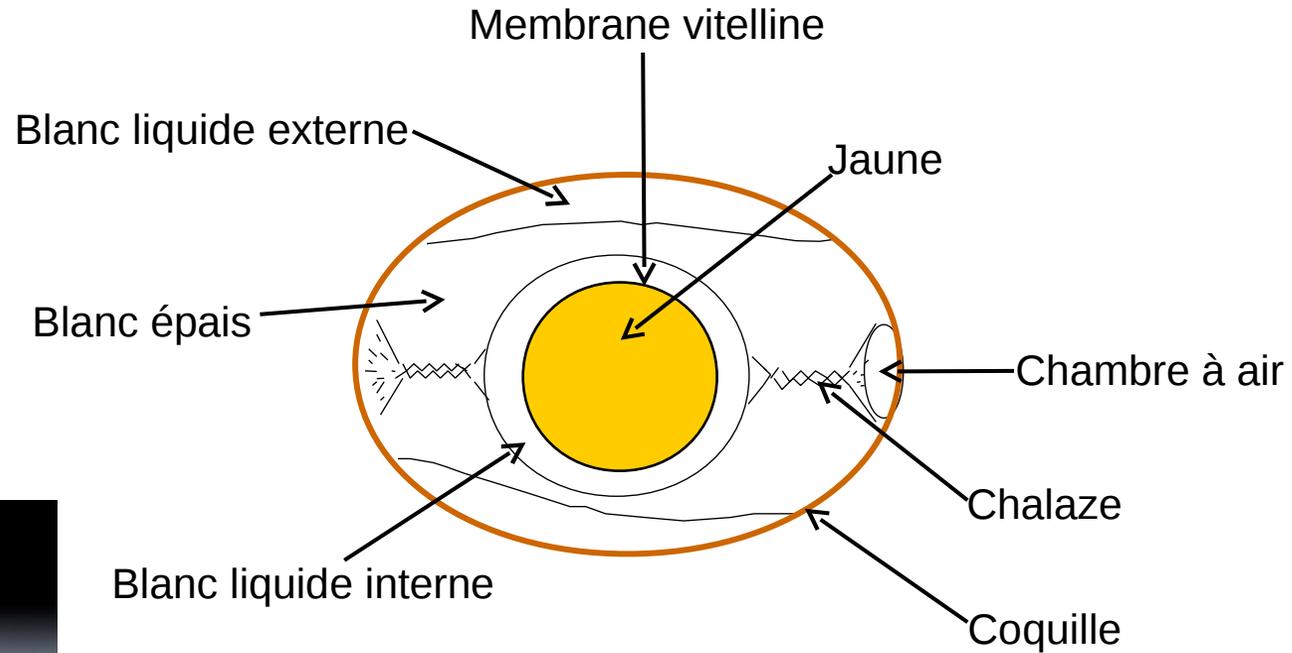
## Répartition de la consommation globale française en 2013





# L'œuf comme aliment pour l'homme

## Macrostructure de l'œuf



Poids (g)  
Oeuf 60 g

Jaune 17.3

Albumen 37

Membranes 0.25

coquillères

coquille 5.5

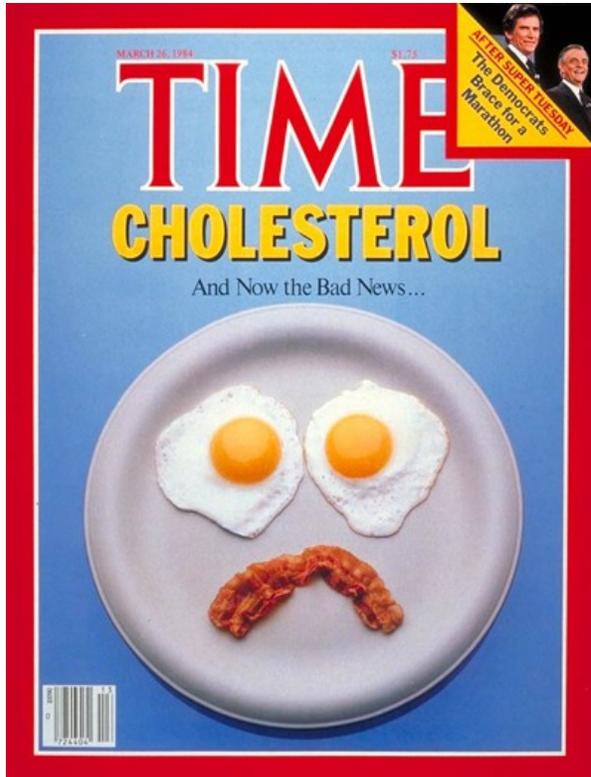
# L'œuf comme aliment pour l'homme

Caractéristiques nutritionnelles de l'œuf pour 100 g (2 œufs)

- **Calories : 155**
- **Protéines totales : 12,3 g**  
Valeur biologique élevée (référence OMS 100/ lait vache 86)
- **Lipides totaux : 11,9 g**
  - richesse en phospholipides : 31 % (soit 3,4 g)
  - majorité d'acides gras insaturés
  - cholestérol : 0,42 g (1,2 g / 100 g de jaune)
  - Forte digestibilité: 98% Triglycérides, 90% Phospholipides
- **Richesse en vitamines :**
  - A,D,E, B1, B6, B12, biotine (jaune), B2, ac. folique, niacine (Blanc)
- **Richesse en minéraux :** phosphore, fer et soufre

# L'œuf comme aliment pour l'homme

## L'œuf et le cholestérol



26 mars 1984

Sept études reportées sur population normale (1991 – 2007):

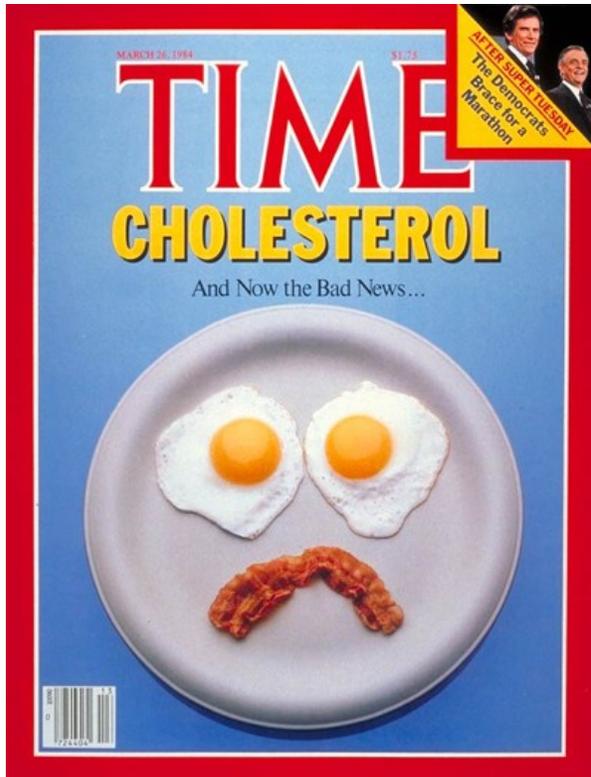
- Consommation variant de 1 à 4 œufs par jour
- Comparaison œufs enrichis en  $\omega 3$  avec œufs standards
- Durée des études cliniques variant de 2 à 22 semaines

Résultats:

- Cholestérolémie stable, parfois même réduite avec les œufs  $\omega 3$
- Taux plasmatiques d'AGPI n-3 élevés avec les œufs  $\omega 3$
- Taux plasmatiques de TG souvent réduits de façon significative avec les œufs  $\omega 3$
- Taux plasmatiques de LDL-C stable ou réduits avec les œufs  $\omega 3$
- Taux plasmatiques de HLD-C stable ou élevés avec les œufs  $\omega 3$

# L'œuf comme aliment pour l'homme

## L'œuf et le cholestérol

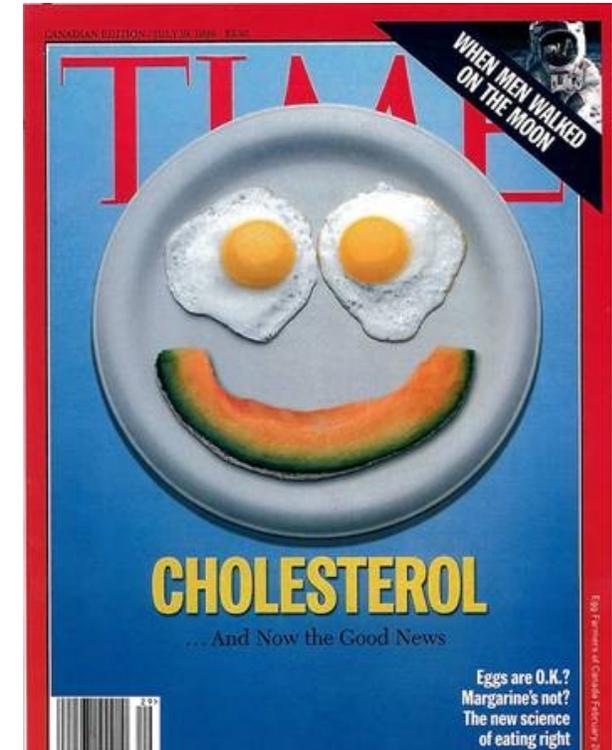


26 mars 1984

Peut-on manger des œufs tous les jours ?

**Oui** des études ont montré que si le niveau de cholestérol est normal, on peut consommer de nombreux œufs par jour sans affecter le niveau de cholestérolémie.

**Si votre niveau de cholestérol est élevé**, il faut ramener sa consommation à 4 par semaine en diminuant les autres sources de protéines animales et les matières grasses.



19 juillet 1999

# L'œuf comme aliment pour l'homme

## Un jaune qui émulsionne

Une **émulsion** est un mélange intime de deux substances liquides non miscibles

La lécithine du jaune d'œuf sert d'émulsifiant dans la préparation de sauces en cuisine



## → Un blanc qui foisonne

- Battre les blancs en neige, c'est introduire des bulles d'air dans un mélange liquide d'eau et de protéines pour créer une mousse. Cette opération est appelée foisonnement
- Ces propriétés varient au cours du stockage (échanges gazeux entre l'intérieur et l'extérieur de l'œuf)



# Microbiologie de l'œuf et des ovoproduits

- Au moment de la ponte, le contenu des œufs est généralement stérile
- Le pourcentage d'œufs frais contaminés reste souvent inférieur à 1 %
- Contamination verticale est rare
  
- La contamination horizontale est beaucoup plus fréquente
- Se produit après la ponte par contact avec les microorganismes
  - \* fientes
  - \* environnement élevage
  - \* centre de conditionnement
  - \* circuit de commercialisation
  - \* consommateur...
  
- Les œufs et produits d'œufs sont consommés crus (mayonnaise...)
- Impliqués dans 45% des salmonelloses (62 % pour salmonella enteritidis)

**Le risque de contamination par les microorganismes et notamment *Salmonella* est donc une préoccupation pour la filière œufs et ovoproduits**



L'Œuf, un pro  
Chambre iso

Les oi

Fécondation sexuée et  
Mais développement e



Agressions  
physiques

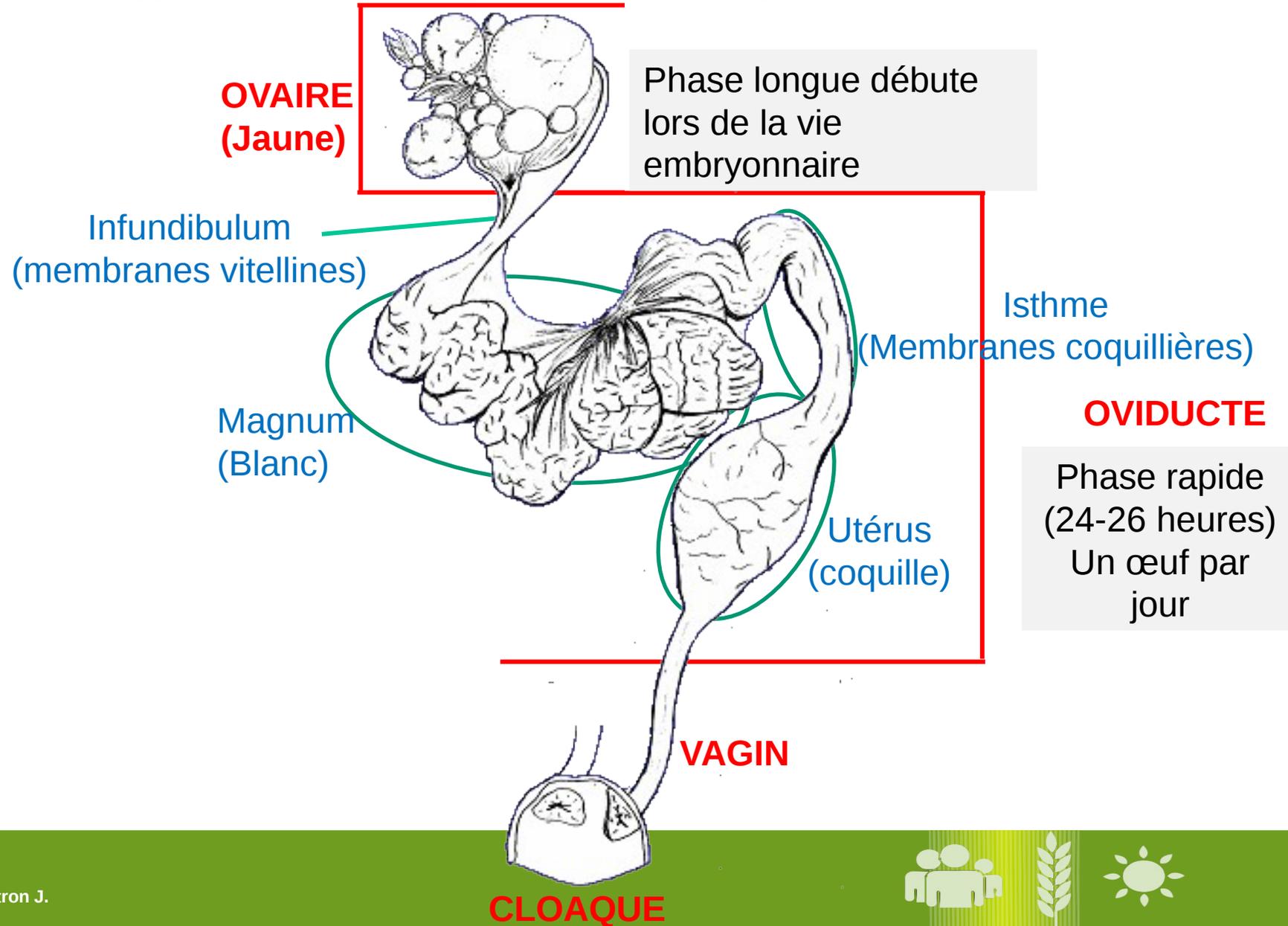
Microbes

**Doit contenir la totalité des composants nécessaires au développement embryonnaire**

- Éléments nutritionnels parfaitement équilibrés
- Nombreux composés avec un large spectre d'activités biologiques
  - Défense physique (coquille principalement)
- Systèmes de protection (défenses naturelles)
  - Défense chimique (activité antimicrobienne des protéines de l'œuf)

# L'appareil reproducteur de la femelle adulte

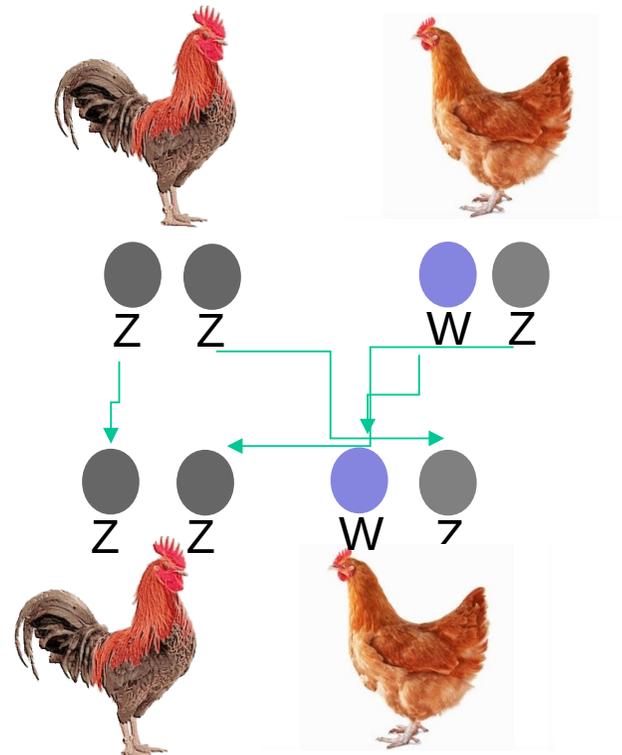
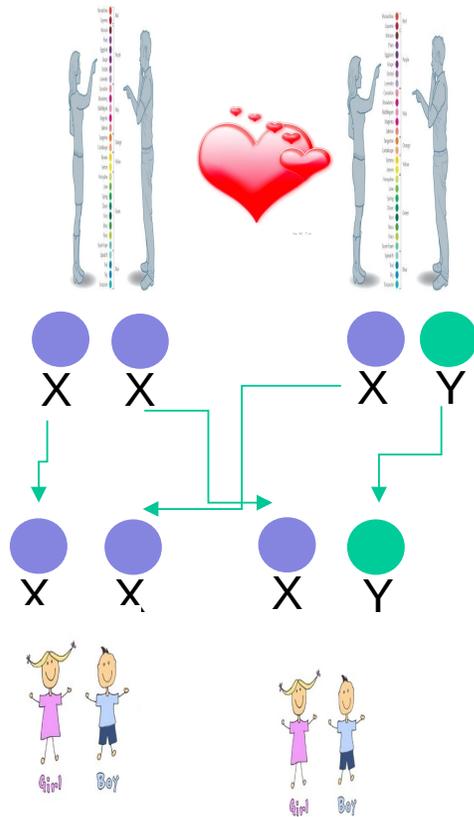
Seul l'appareil reproducteur gauche se développe lors de la maturité sexuelle



# Tout commence sur l'ovaire

## La gamétogénèse

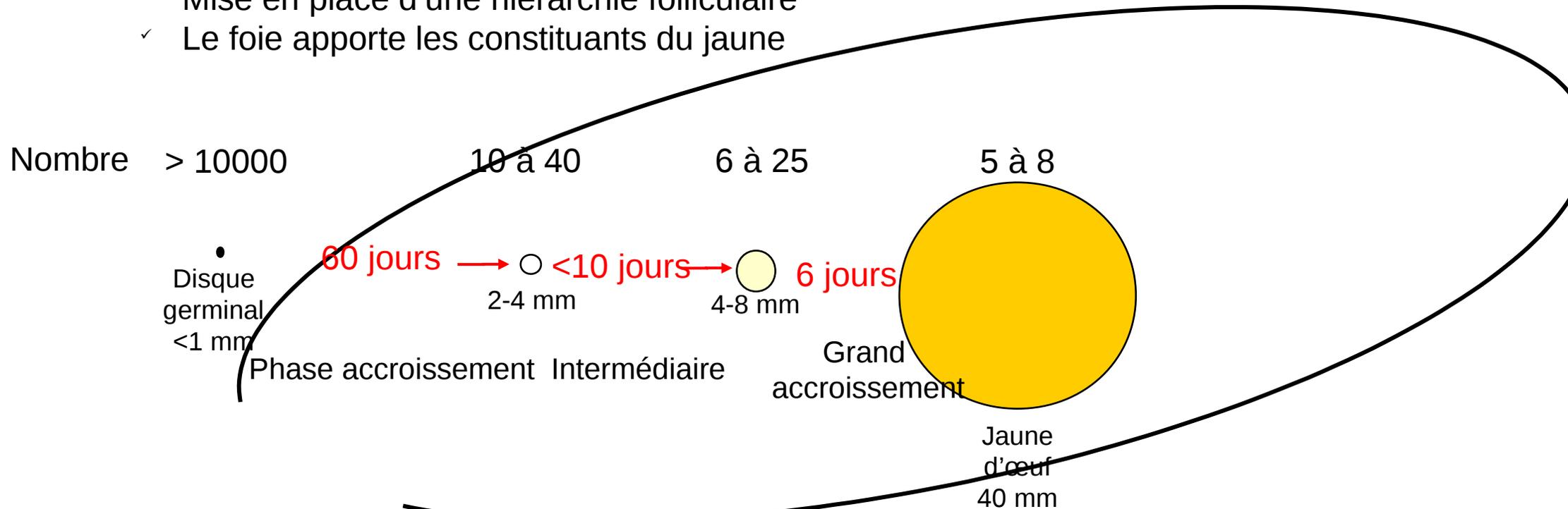
- ✓ Oogénèse débute au jour 7 de la vie embryonnaire de la future poule □ oocytes primaires
- ✓ Oocytes ne sont PAS renouvelés pendant la vie de la poule et constituent donc le stock final.
- ✓ 12000 oocytes sont présents sur l'ovaire à l'éclosion du poussin
- ✓ Déterminisme sexuel porté par la femelle (à l'opposé des humains)



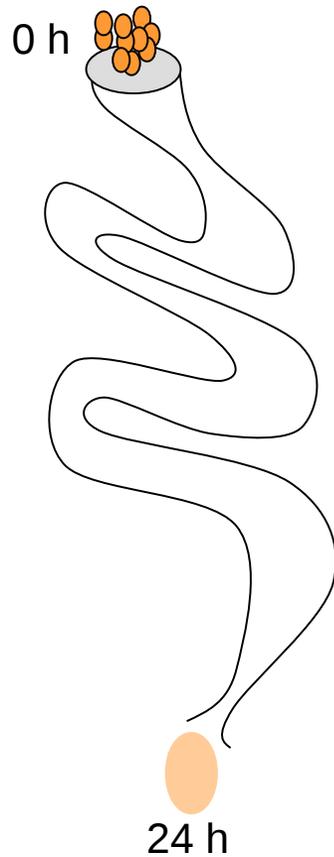
# Tout continue sur l'ovaire

## Le développement folliculaire

- ✓ 12000 oocytes produits durant l'embryogénèse
- ✓ Moins de 2000 formeront un jaune d'oeuf
- ✓ Les oocytes se transforment en follicule à la maturité sexuelle
- ✓ Mise en place d'une hiérarchie folliculaire
- ✓ Le foie apporte les constituants du jaune



# La formation de l'œuf dans l'oviducte



## infundibulum

Membranes vitellines  
( $< 1$  h)

## Magnum

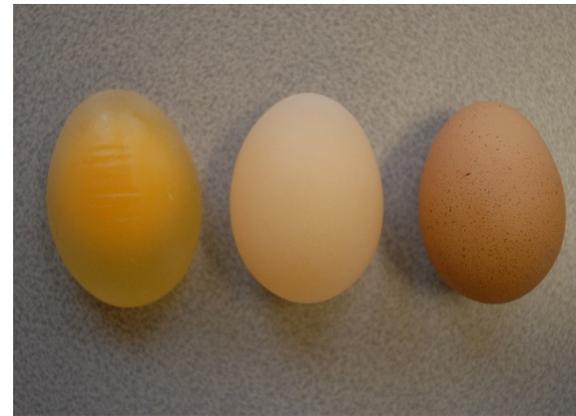
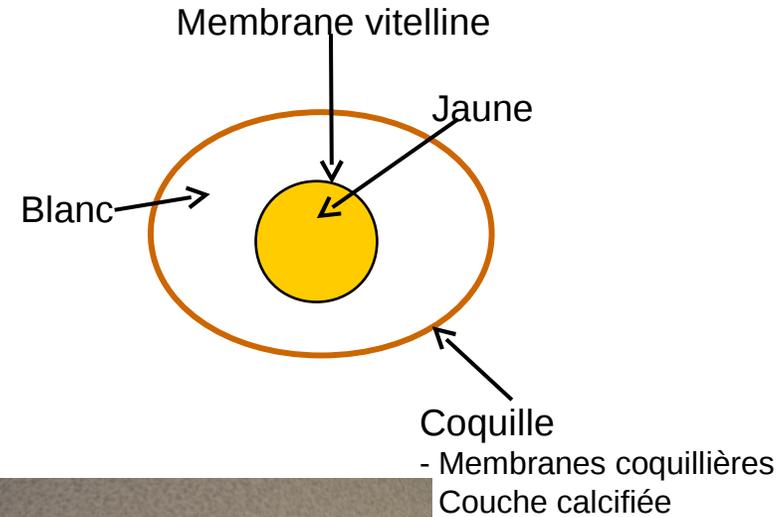
blanc  
(1h – 4h30)

## Isthme

Membranes coquillières  
(4h30-6h)

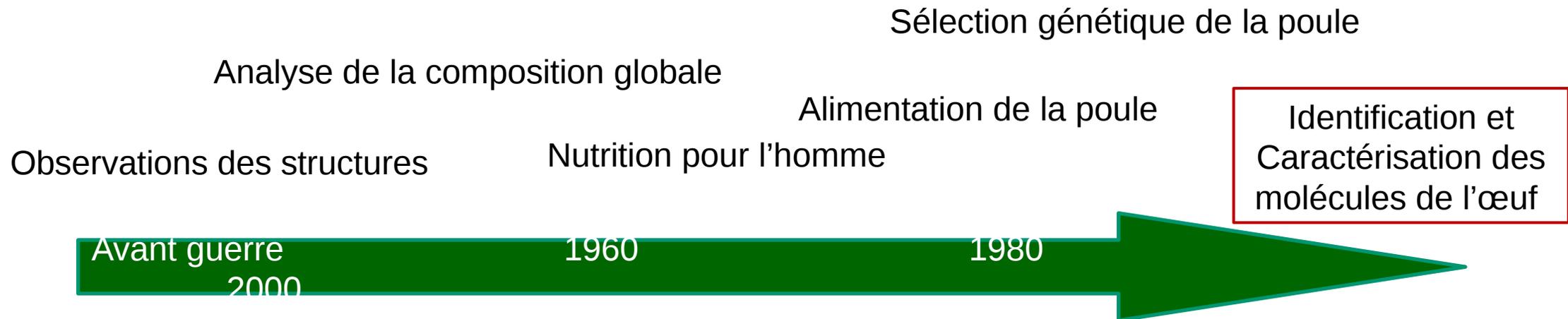
## Utérus

Calcification de la coquille  
(6h – 24 h)



# L'œuf, une source de nouvelles molécules à valoriser

## La science de l'œuf, une longue histoire



# L'œuf, une source de nouvelles molécules à valoriser

Les avancées majeures de ces dernières années

environ 50  
protéines connues  
dans l'œuf



Mise à disposition de  
nouveaux outils pour  
identifier de nouvelles  
protéines de l'œuf

environ 1000 protéines  
connues dans l'œuf  
(x20 en 10 ans)

2000

2016

2004

2006



# Les molécules antimicrobiennes

## Composition globale d'un œuf (sans coquille)

- ✓ 75 % Eau
  - ✓ 12,5 % de protéines →
  - ✓ 11 % de lipides
  - ✓ 0,7% de glucides
  - ✓ 0,9 % de minéraux
- **Activités biologiques essentielles**
  - **Biologie du développement**
  - **Activités de protection dont antimicrobiens**



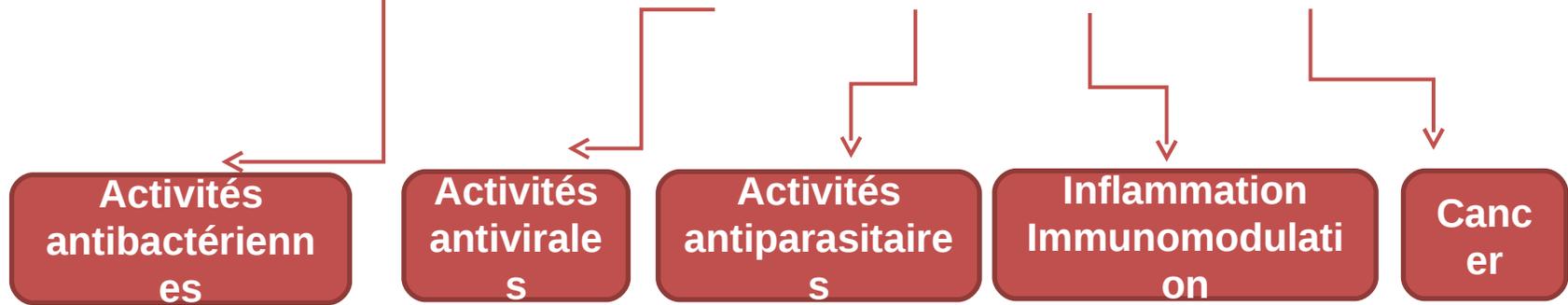
**De très nombreux programmes de recherches pour identifier et caractériser les fonctions des protéines dans l'œuf**



# L'œuf, une source de nouvelles molécules à valoriser

## Des protéines de l'œuf pour se soigner

Des molécules  
pour la  
Reproduction



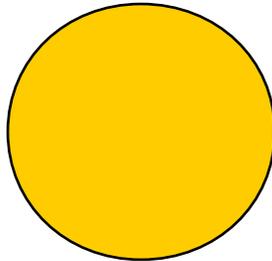
### Lysozyme

Protéine du blanc d'œuf qui hydrolyse la paroi des bactéries

- Conservateur (Fromage, Vin...)
- Pastilles pour la douleur et l'inflammation de la gorge



# Une composition adaptée au développement du poussin



Un jaune d'œuf à la composition adaptée

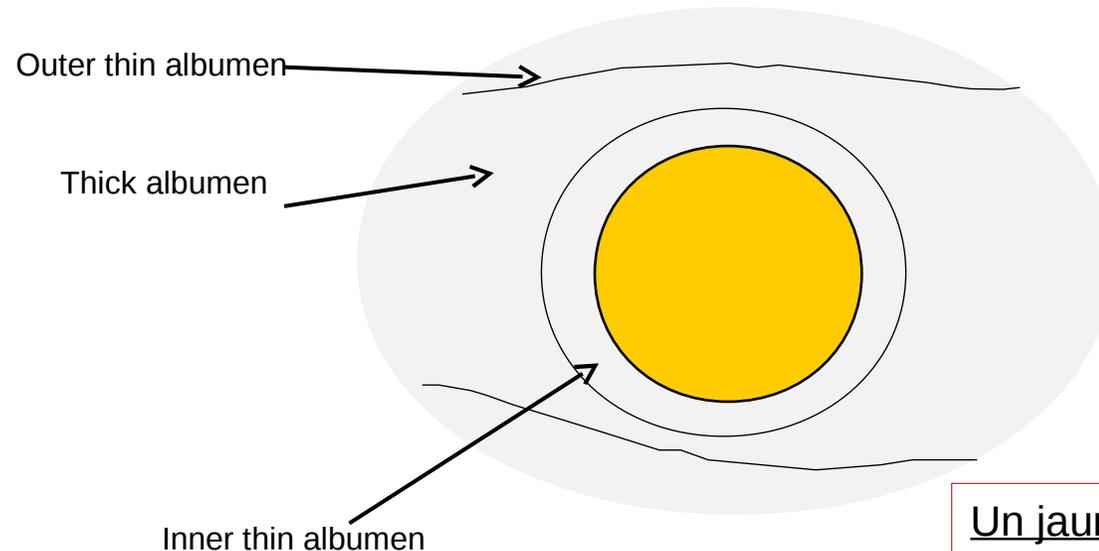
- *Le gamète féminin*  
(Disque clair de 3,5 mm)
- *Des réserves nutritionnelles (lipides, protéines) et de défenses (anticorps)*
- *Entouré d'une membrane vitelline fine et translucide*



# Une composition adaptée au développement du poussin

Un blanc d'œuf riche en eau (88%), protéines et glucides

- *Différentes textures de blanc*
- *Molécules antimicrobiennes*



Un jaune d'œuf à la composition adaptée

- *Le gamète féminin (Disque clair de 3,5 mm)*
- *Des réserves nutritionnelles (lipides, protéines) et de défenses (anticorps)*
- *Entouré d'une membrane vitelline fine et translucide*



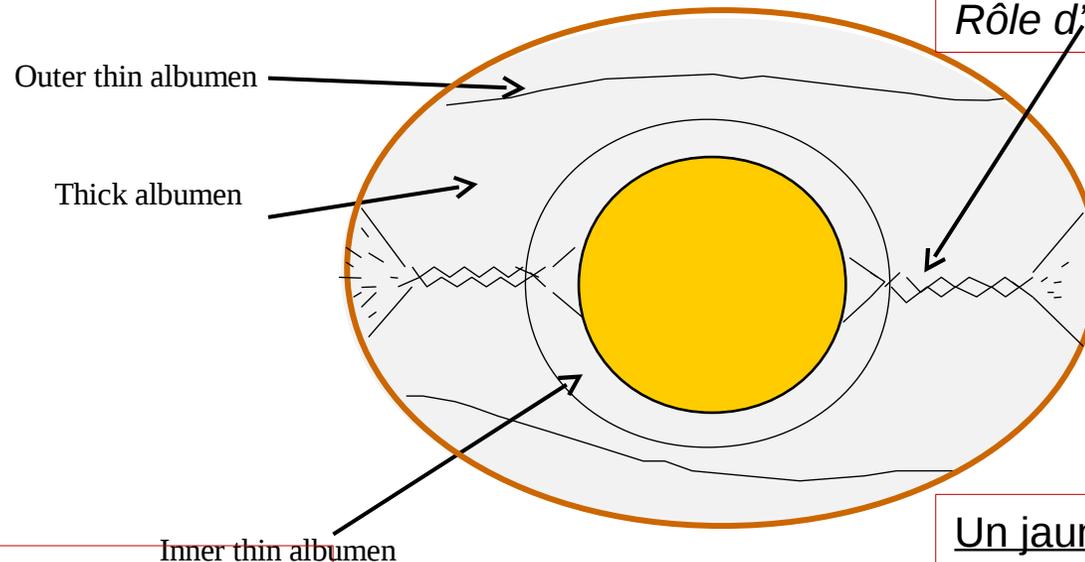
# Une composition adaptée au développement du poussin

Un blanc d'œuf riche en eau (88%), protéines et glucides

- Différentes textures de blanc
- Molécules antimicrobiennes

Des chalazes qui maintiennent le jaune en suspension

- Protection du jaune contre les chocs.
- Rôle d'amortisseur



Une coquille minérale

- Assure la protection physique
- Assure la protection thermique
- Assure les échanges gazeux
- Source de calcium pour l'embryon

Un jaune d'œuf à la composition adaptée

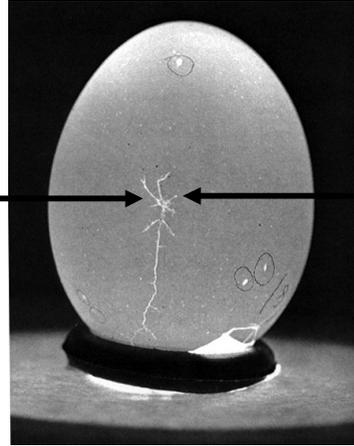
- Le gamète féminin (Disque clair de 3,5 mm)
- Des réserves nutritionnelles (lipides, protéines) et de défenses (anticorps)
- Entouré d'une membrane vitelline fine et translucide





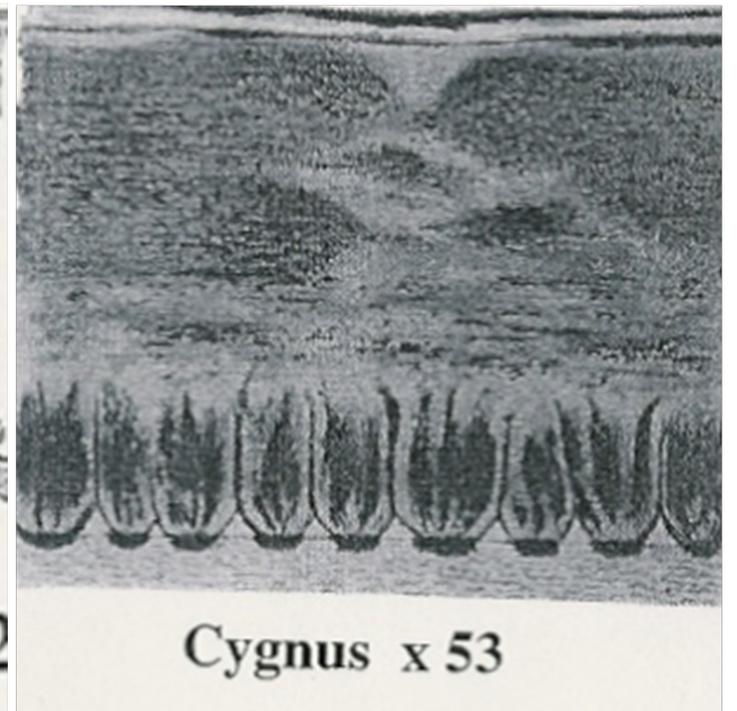
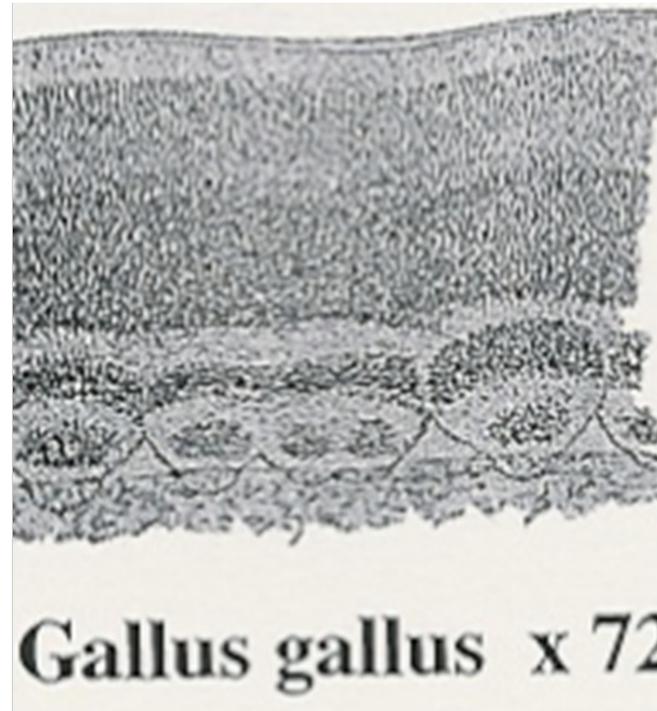
# La coquille : une barrière physique contre la pénétration bactérienne

- L'intégrité de la coquille est cruciale pour la sécurité alimentaire du consommateur



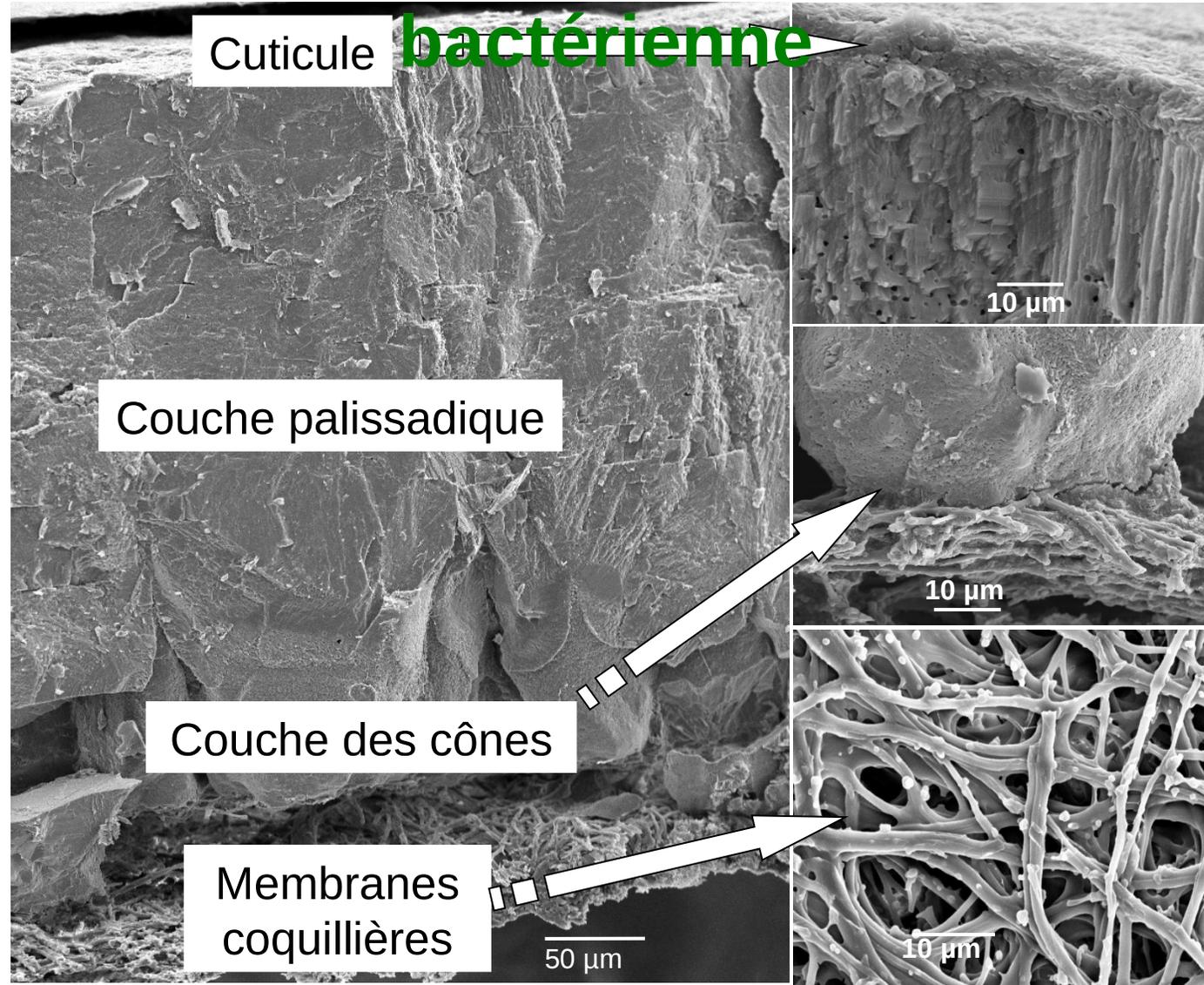
Apparition de fêlures

Pénétration de bactéries

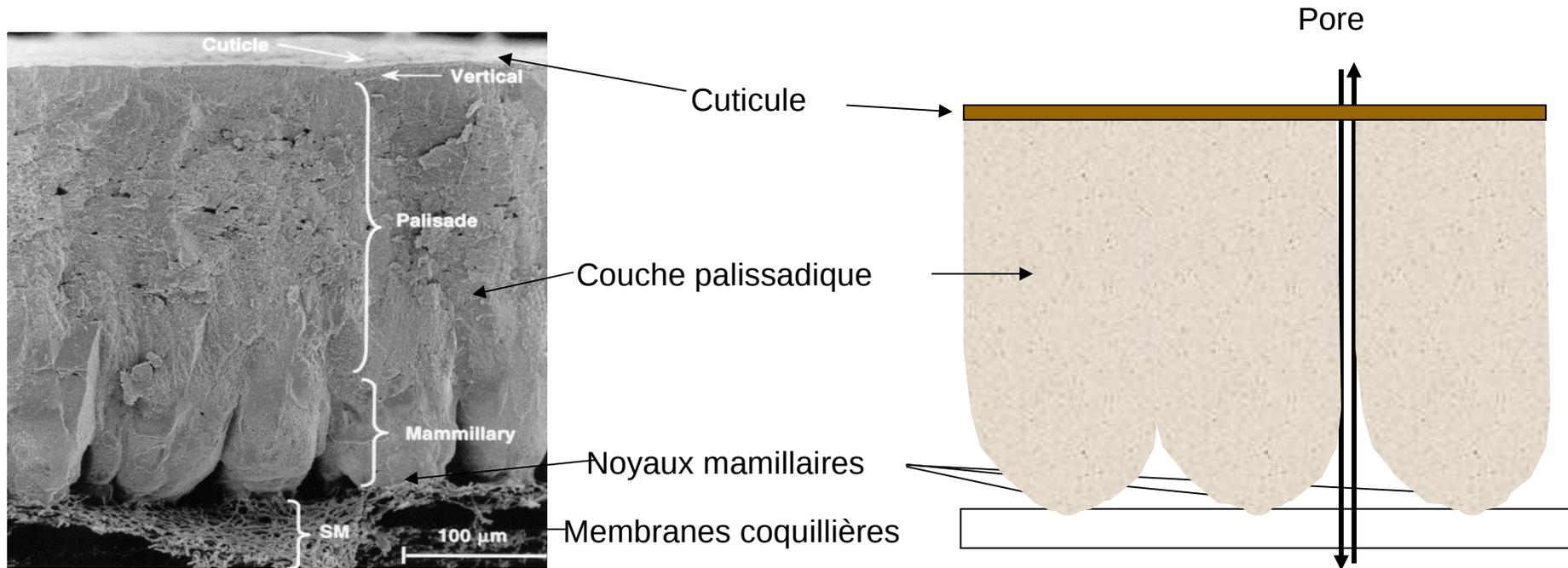


Dessin de Wilhem von Nathusius, 1821-99

# La coquille : une barrière physique contre la pénétration



# La coquille : une barrière physique contre la pénétration bactérienne



## Quelle est la composition de la coquille ?

- 95 % de minéral (carbonate de calcium)
- 3,5 % de matière organique (protéines et sucres complexes)
- 1,5 % d'eau

# Le minéral de la coquille

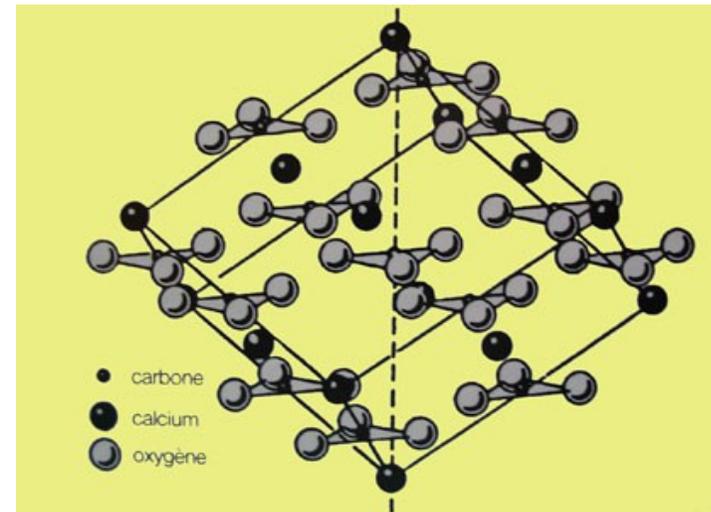
**Le minéral de la coquille est du carbonate de calcium.**

Le **carbonate de calcium** ( $\text{CaCO}_3$ ) est composé d'un ion carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et d'un ion calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Cette substance blanche a une masse molaire de  $100,1 \text{ g/mol}$ .  
 $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$

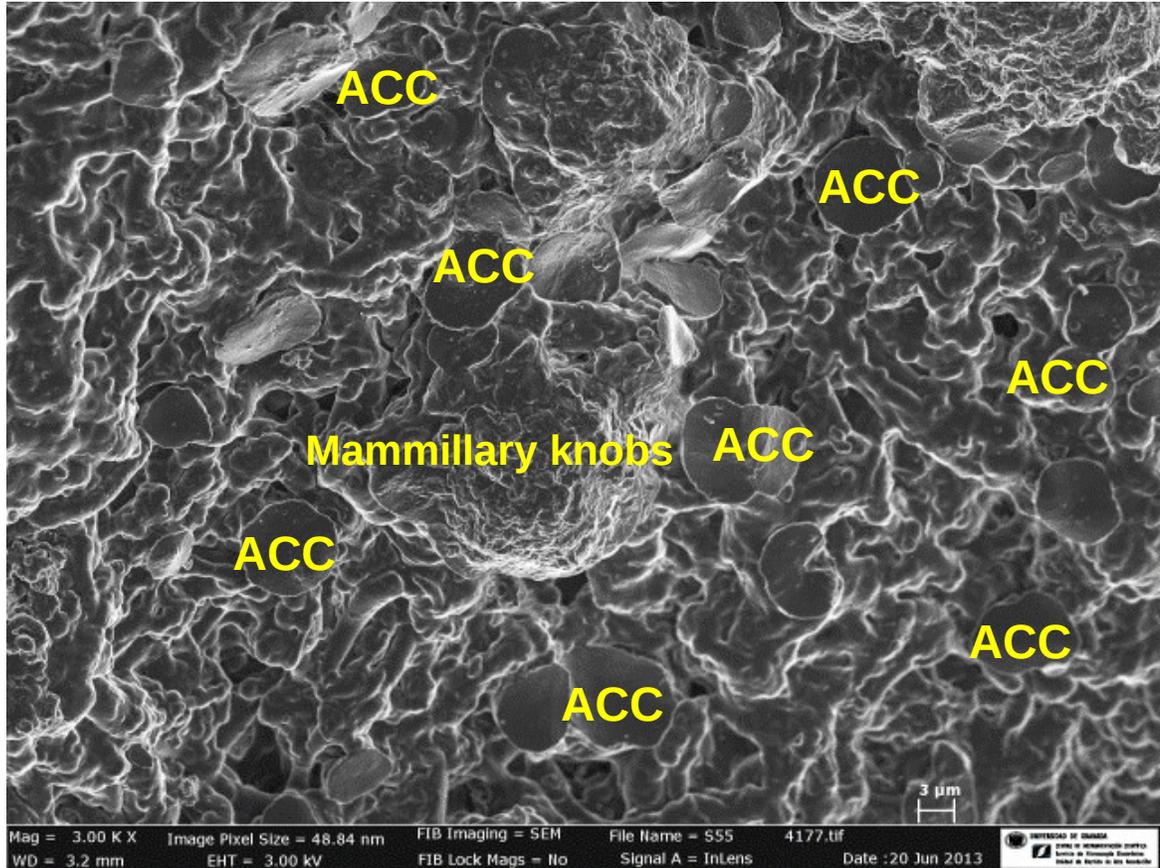
Le carbonate de calcium est le composé majeur des calcaires comme la craie, mais également du marbre. C'est aussi le constituant principal des coquilles d'animaux marins, du corail et des escargots.

Le carbonate de calcium cristallise naturellement avec deux formes cristallines principales : l'aragonite et la calcite. Les deux autres formes cristallines sont plus rares : la vatérite & un hexahydrate, formes intermédiaires peu stables qui évoluent vers l'aragonite ou la calcite.

**La forme de carbonate de calcium présente dans la coquille des œufs est la calcite**

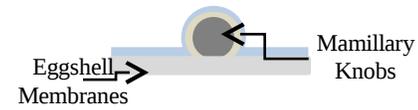


# La formation de la coquille



- Carbonate de calcium amorphe (ACC)
- Calcite

## Premiers évènements de nucléation

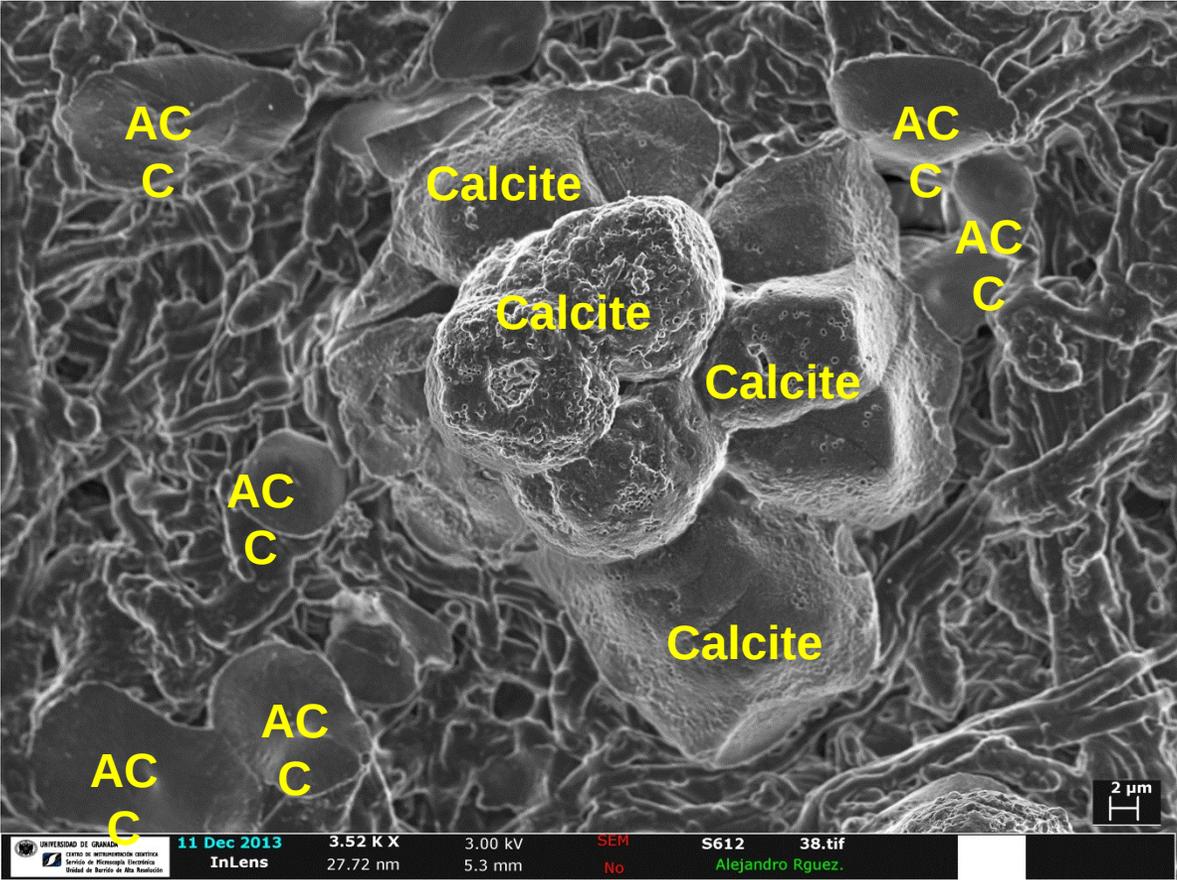


**Time 1 (5-6 h Post ovulation):**  
Particules d'ACC se déposent de manière massive sur la totalité des membranes coquillières

Images: A. Rodriguez-Navarro, University of Granada

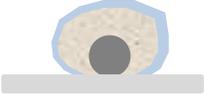


# La formation de la coquille



ACC  
Calcite

Calcite formation



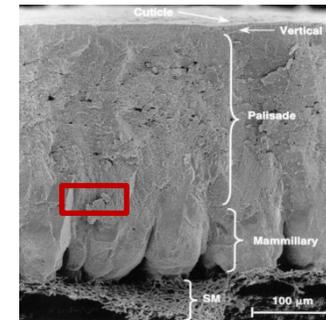
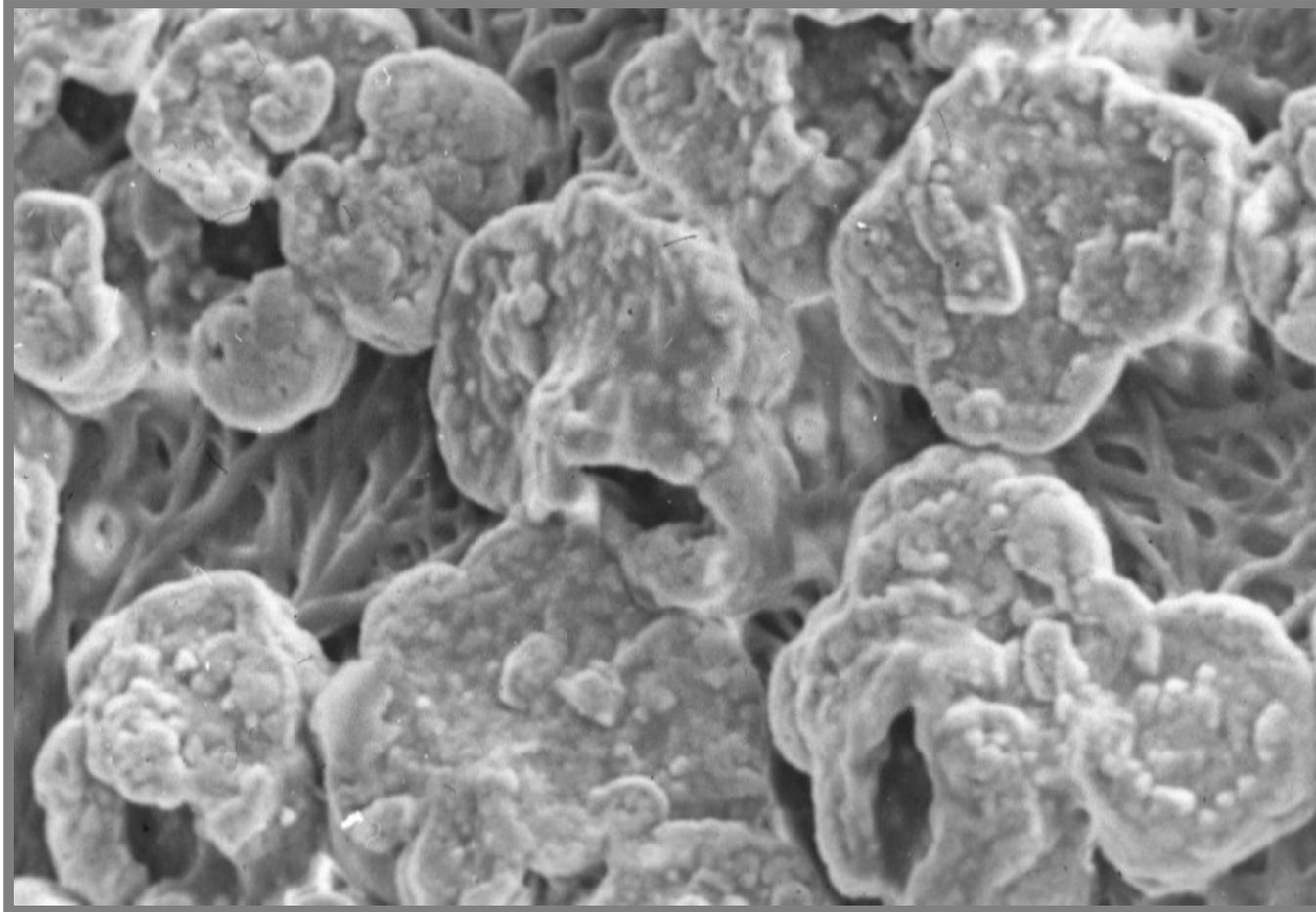
Time 2 (6-7 h post ovulation):

Transformation directe de l'ACC en agrégats de calcite sur les noyaux mammillaires

Images: A. Rodriguez-Navarro, University of Granada

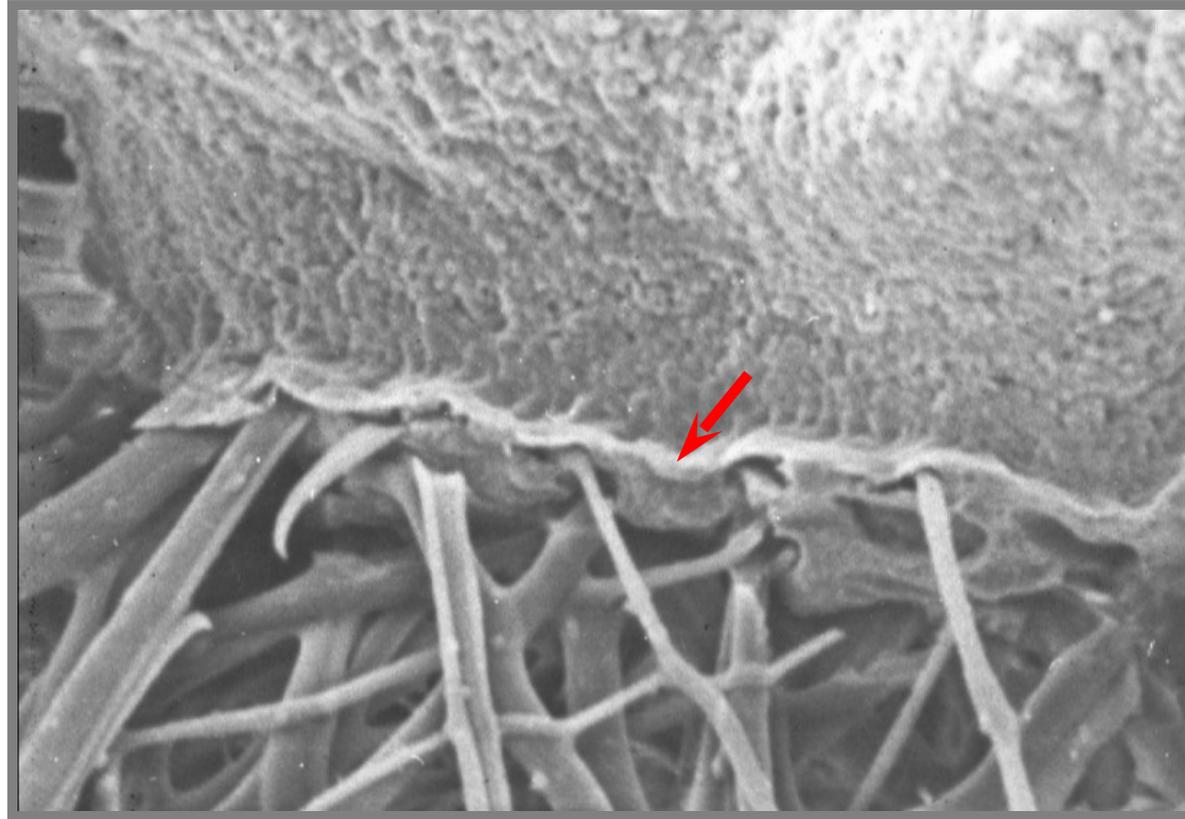
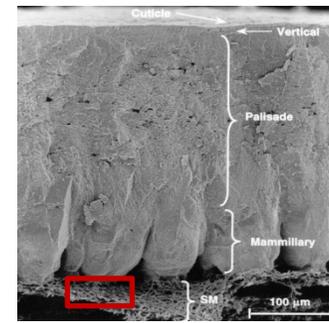


# La formation de la coquille



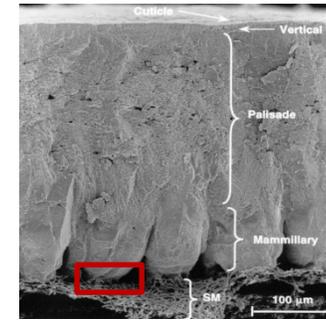
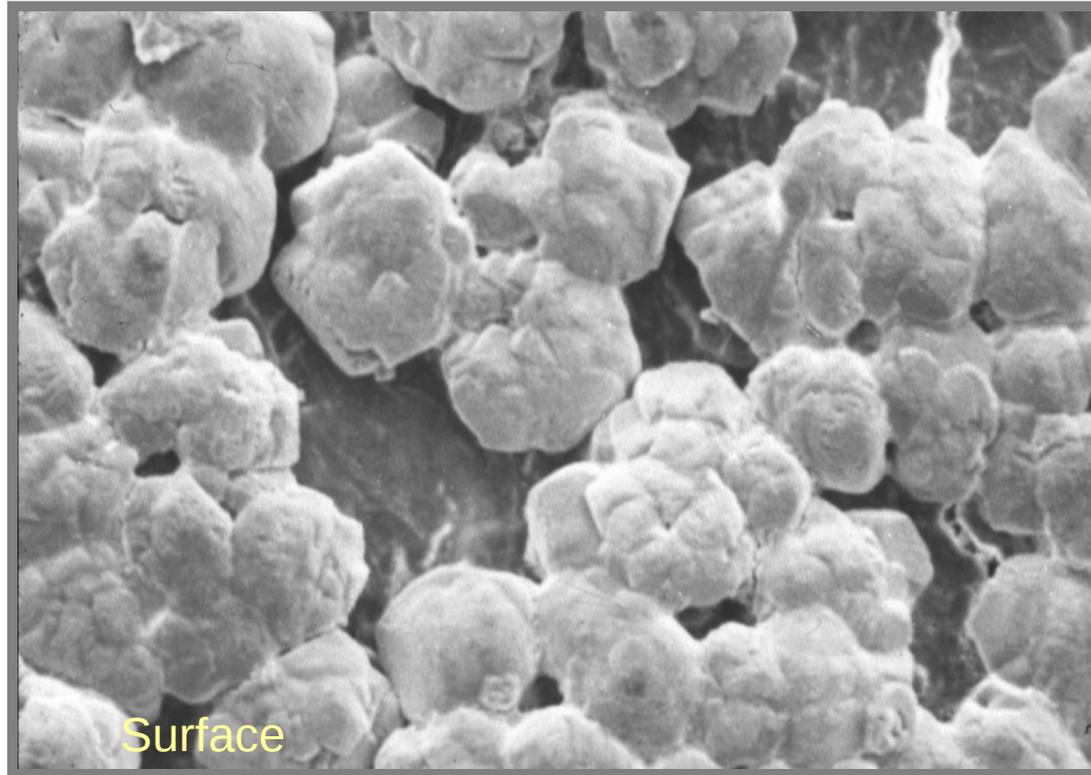
Peu à peu les noyaux mamillaires sont recouverts de calcite

# La formation de la coquille



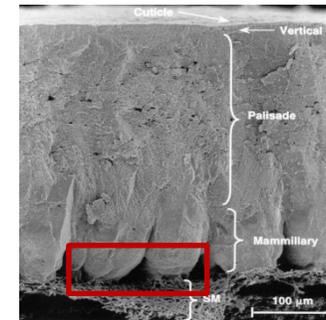
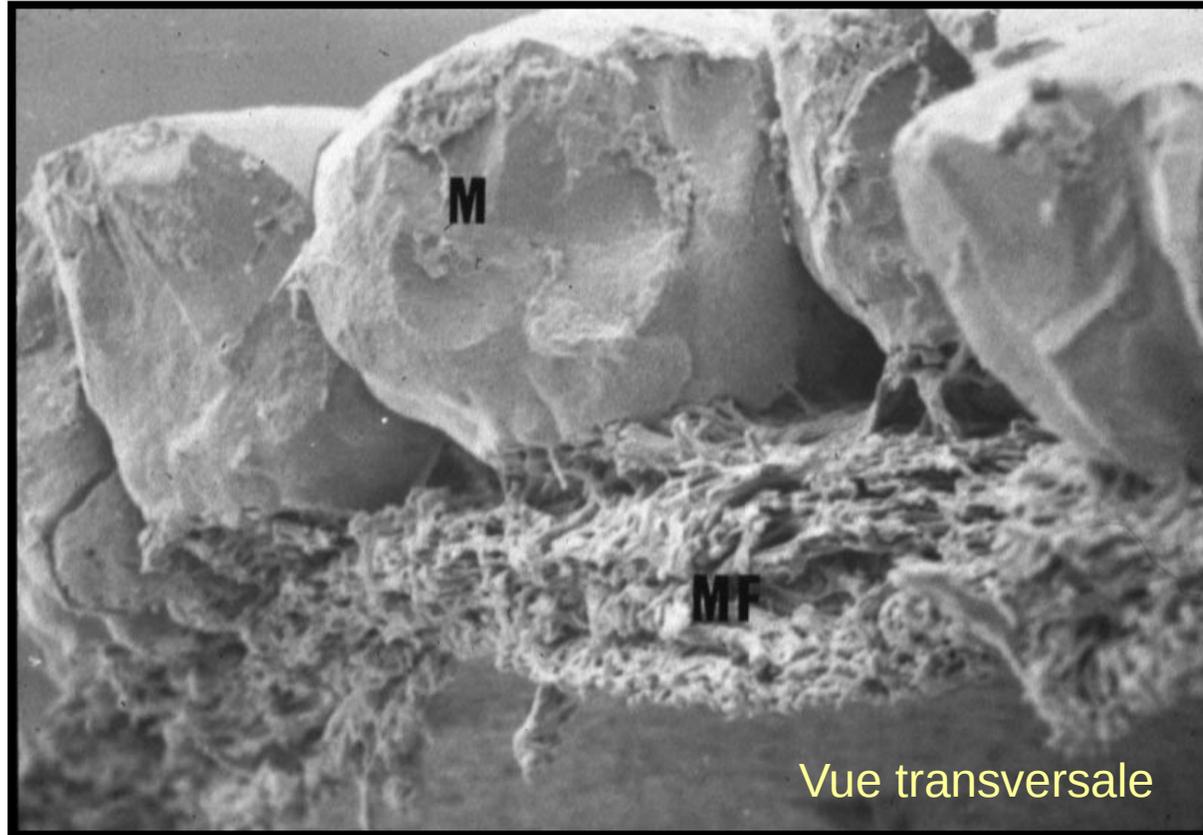
La couche calcifiée est étroitement liée aux fibres de la membrane de la coquille

# La formation de la coquille



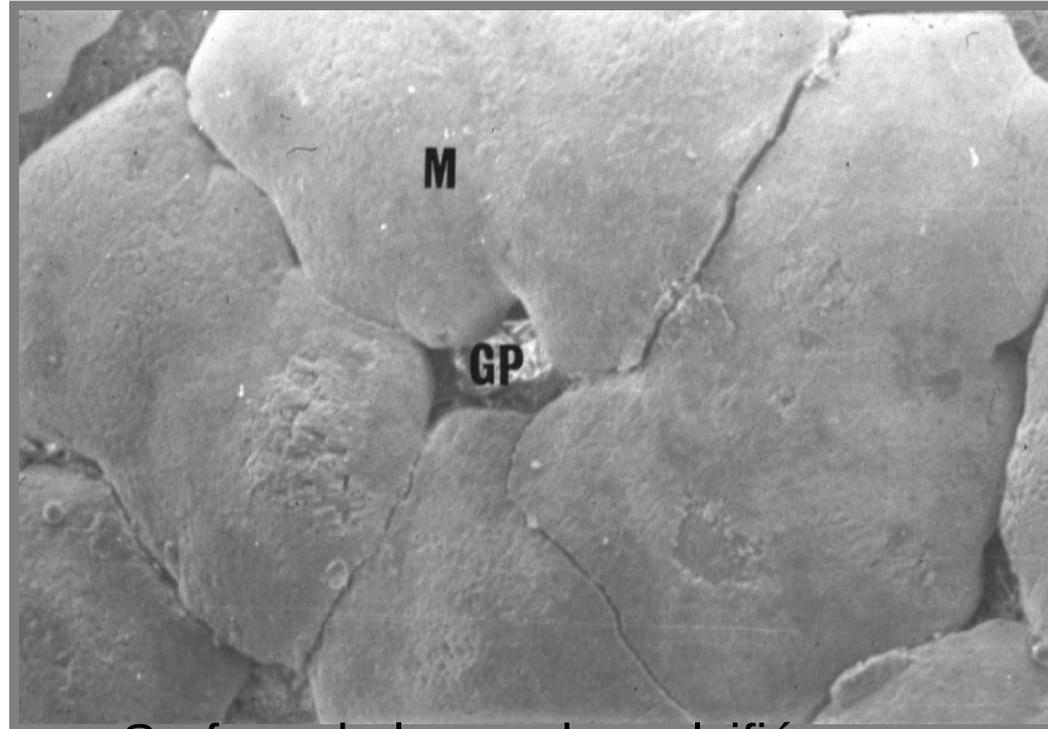
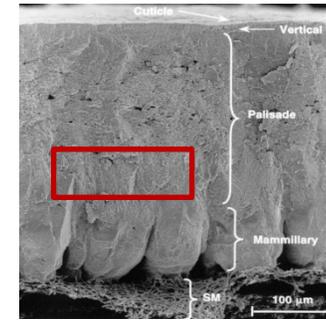
Les noyaux mamillaires recouverts de carbonate de calcium (calcite) forment des cônes qui fusionnent au fur et à mesure que la calcification se poursuit

# La formation de la coquille



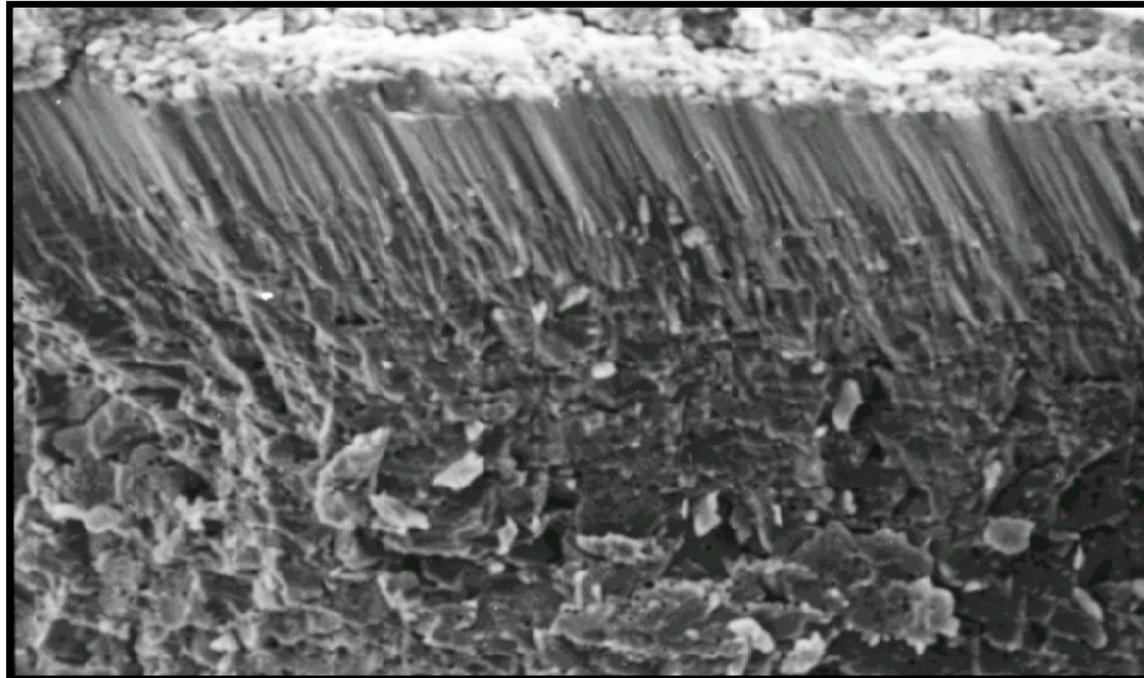
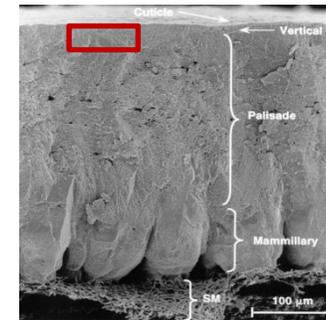
Les noyaux mamillaires recouverts de carbonate de calcium (calcite) forment des cônes qui fusionnent au fur et à mesure que la calcification se poursuit

# La formation de la coquille



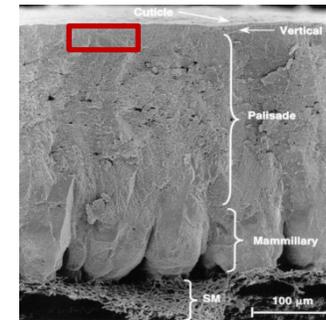
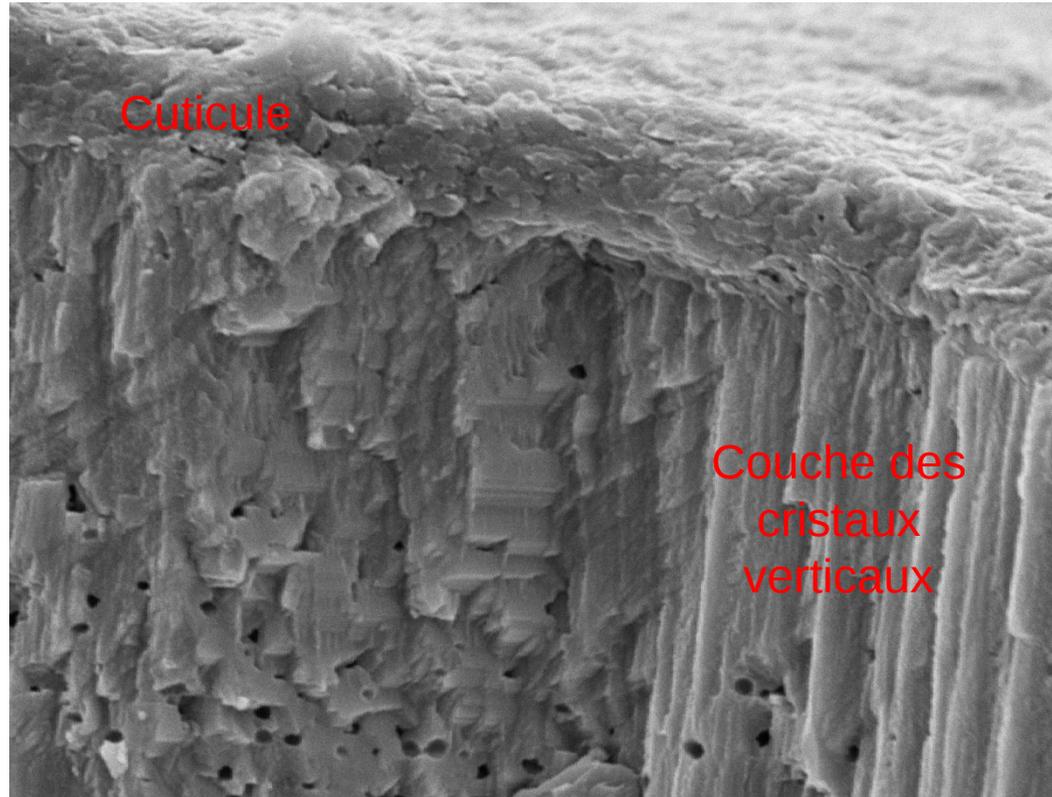
Surface de la couche calcifiée avec  
apparition d'un pore obtenu en absence de  
fusion des pores

# La formation de la coquille



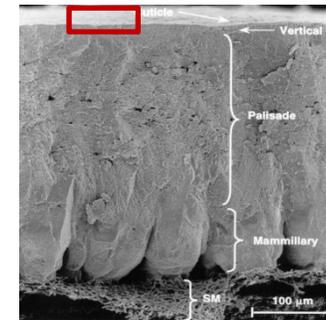
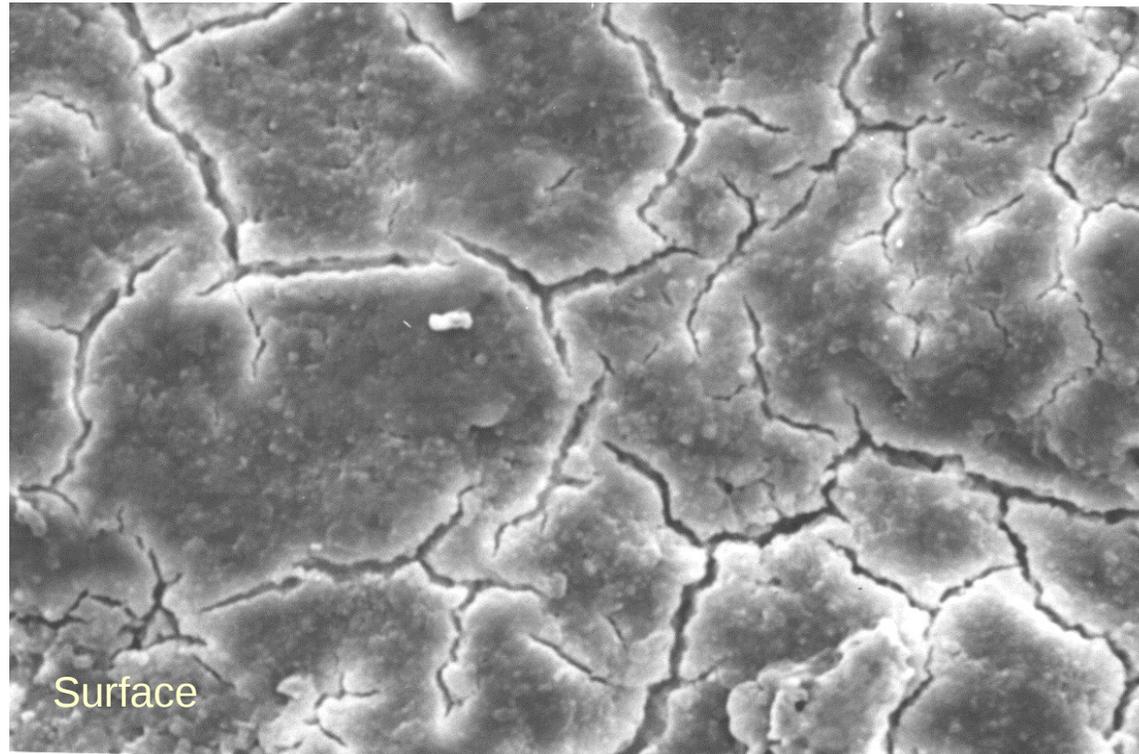
En surface de la couche calcifiée apparaît une couche monocristalline de calcite (Couche des cristaux verticaux)

# La formation de la coquille



La minéralisation s'arrête. Une fine couche de matière organique vient se déposer en surface (cuticule)

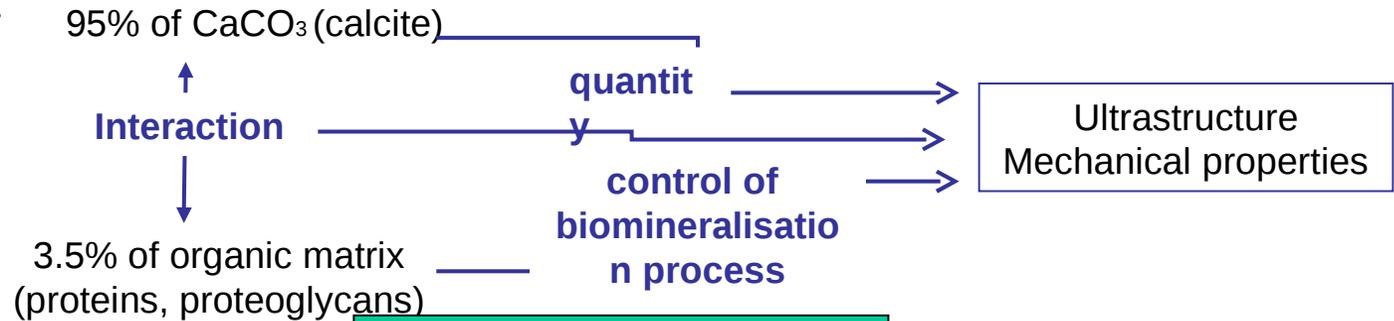
# La formation de la coquille



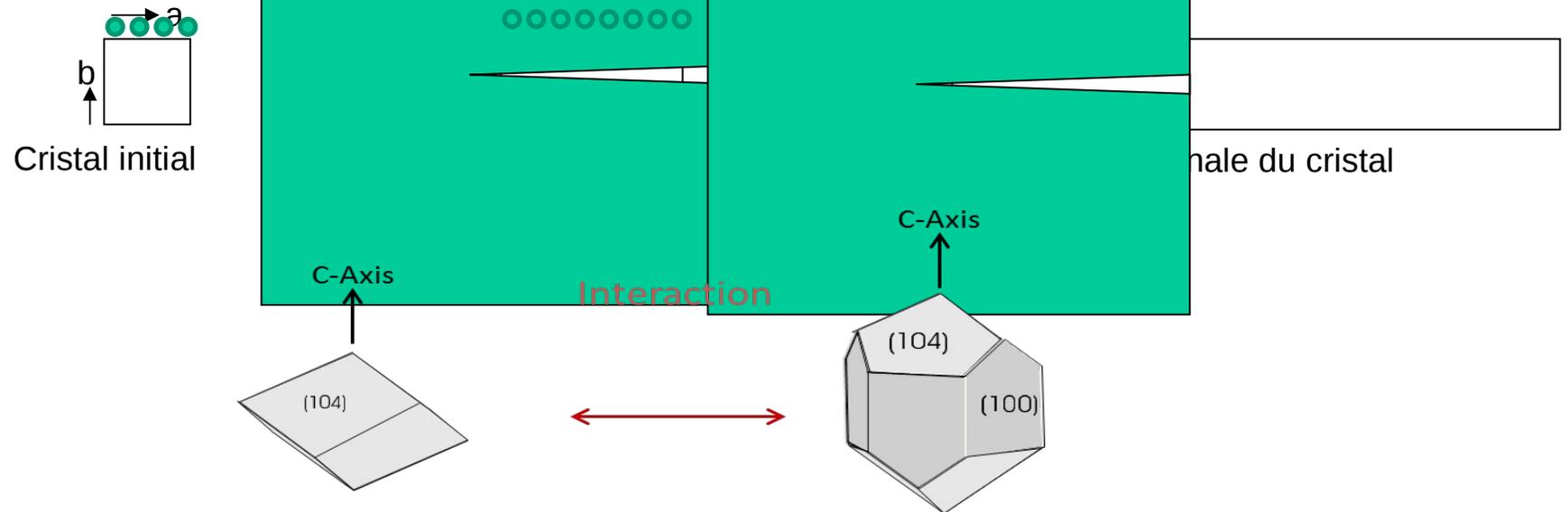
La cuticule recouvre la totalité de l'œuf. En séchant, elle se fissure pour permettre les échanges gazeux via les pores

# La formation de la coquille, un processus de biominéralisation

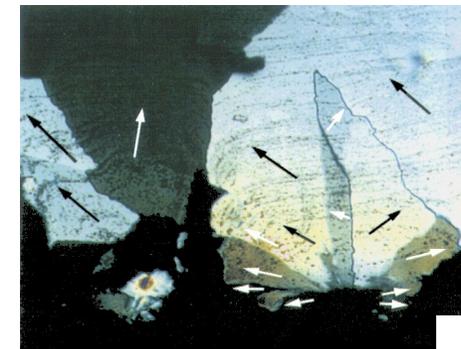
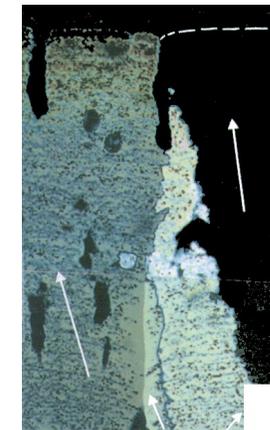
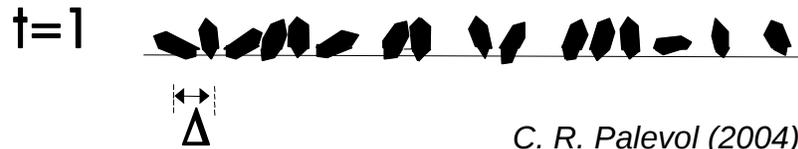
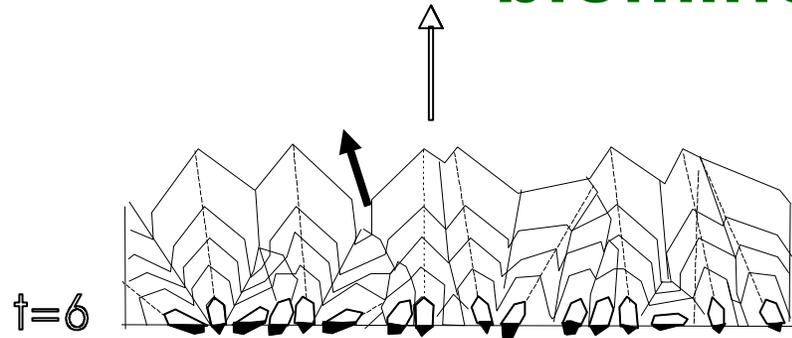
Les constituants de la matrice organique déterminent la texture de la coquille et ses propriétés mécaniques qui en résultent



La matrice contrôle la nucléation, la forme, la taille et le type cristallin des cristaux déposés dans la coquille



# La formation de la coquille, un processus de biominéralisation



*C. R. Palevol (2004), 3, 549-562*

□ Identification et caractérisation de plus de 700 protéines de la matrice organique

Impliquées dans le processus de minéralisation

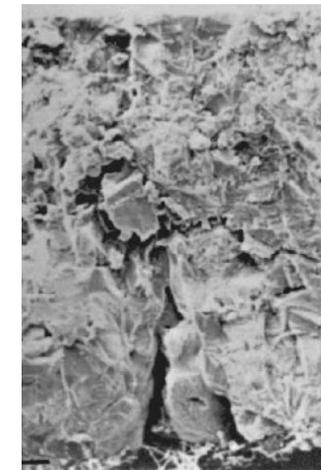
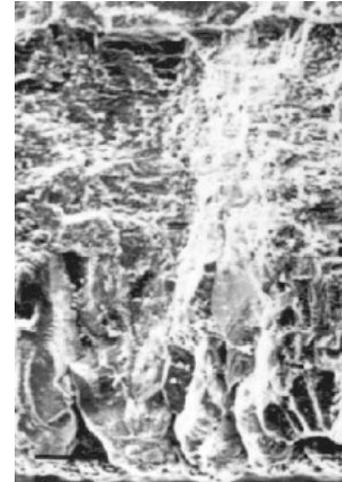
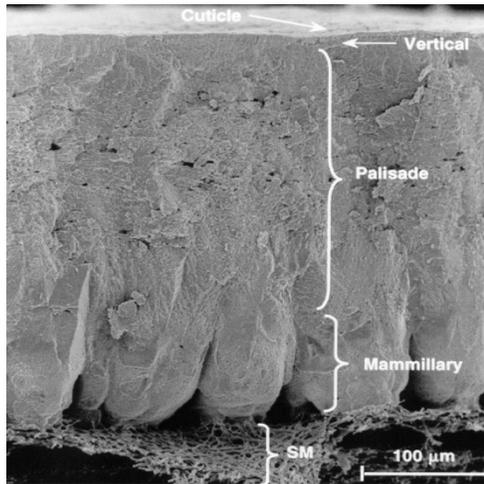
Impliquées dans la régulation des protéines qui minéralisent

Protéines antimicrobiennes et autres..





# Similitude des coquilles d'œufs



*Gallus gallus*



*coturnix japonica*



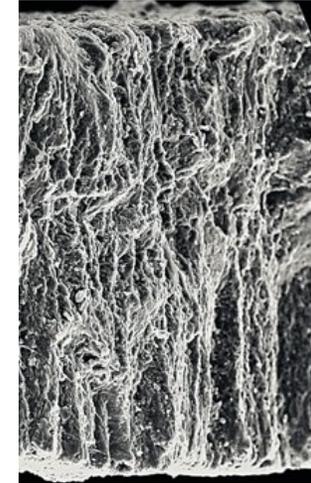
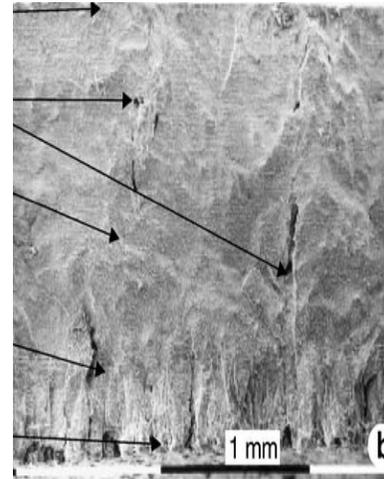
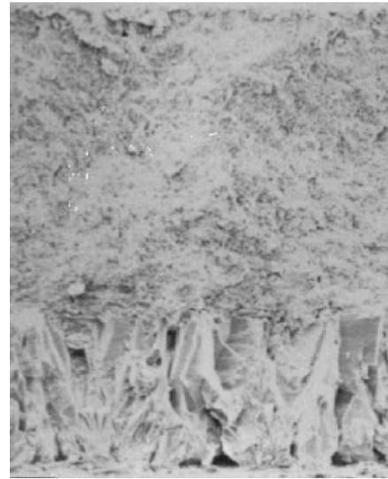
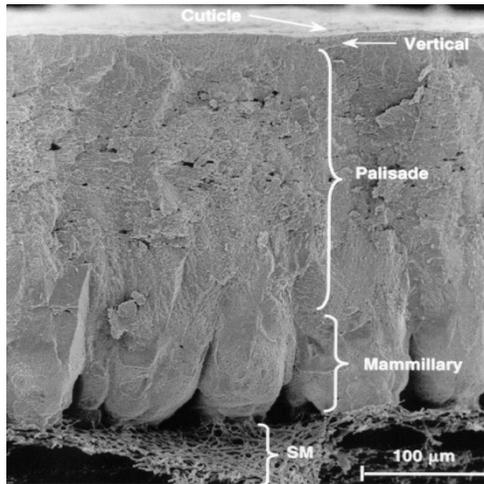
*Meleagris gallopavo*



*Anas platyrhynchos*

# Similitude des coquilles d'œufs

## □ PROCESSUS DE BIOMINÉRALISATION UNIVERSEL



*Gallus gallus*



*Numida meleagris*



*Struthio*



*Sankofa pyrenaica*

# Similitude des coquilles d'œufs

## □ PROCESSUS DE BIOMINÉRALISATION UNIVERSEL



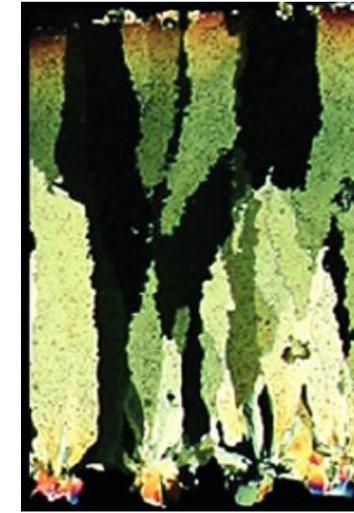
*Gallus gallus*



*Meleagris gallopavo*

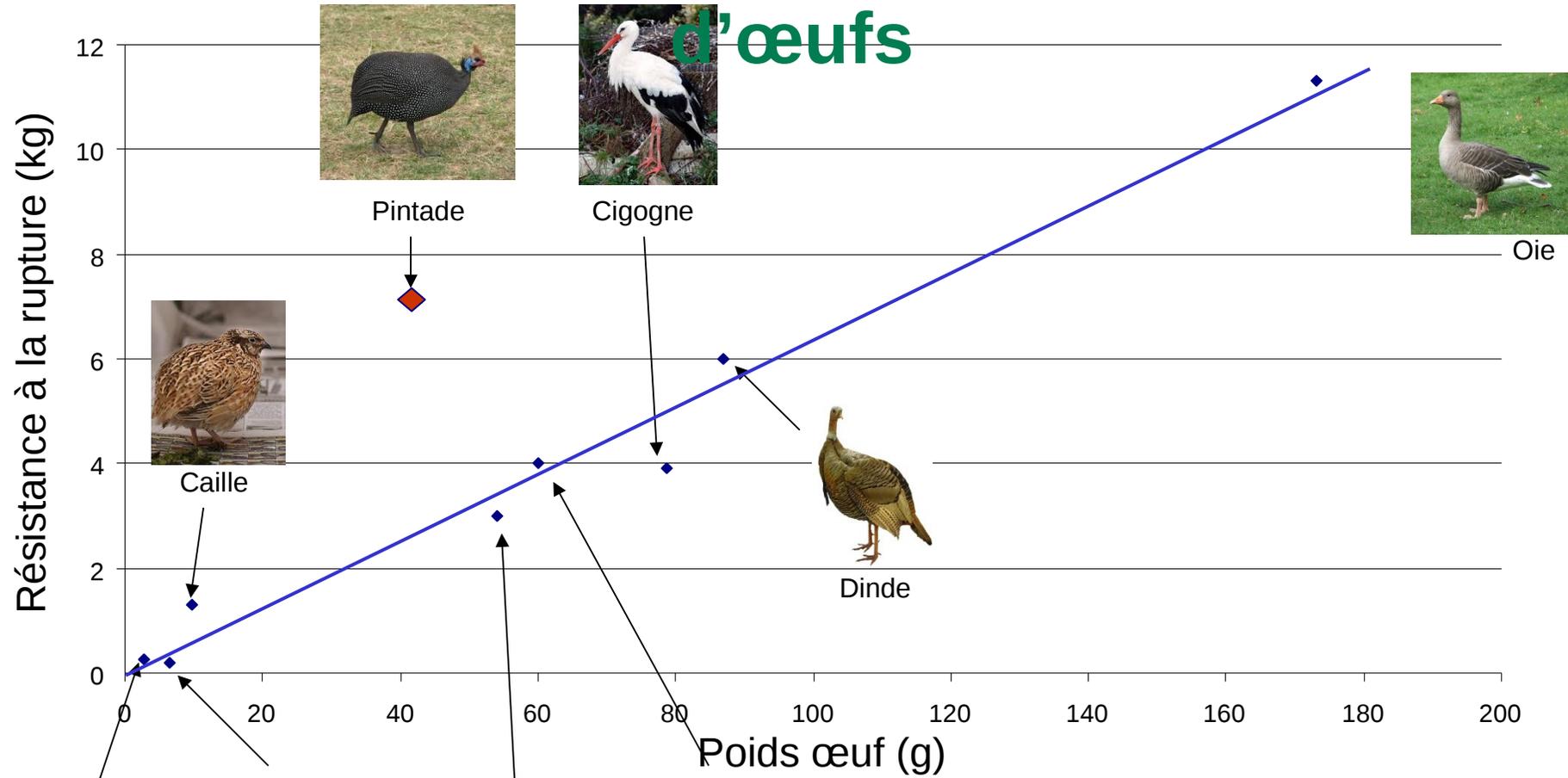


*Numida meleagris*



*Sankofa pyrenaica*

# Propriétés biomécaniques des coquilles d'œufs



Moineau



Merle noir



Canard



Poule

# Qui de de l'œuf ou de la poule?



C'est la question qui est mal formulée



Les oiseaux sont des descendants des dinosaures



*Gallus gallus*



*Sankofa pyrenaica*

## Qui de l'œuf ou du dinosaure ?