



HAL
open science

L'oeuf aux trésors

Joël Gautron

► **To cite this version:**

Joël Gautron. L'oeuf aux trésors. Master. Action de développement professionnel (Le cycle de formation de l'oeuf, la formation de la coquille, la blanc, la coquille et leurs propriétés, Orientation des recherches en cours et enjeux de ses constituants.), 2016. hal-02800088

HAL Id: hal-02800088

<https://hal.inrae.fr/hal-02800088>

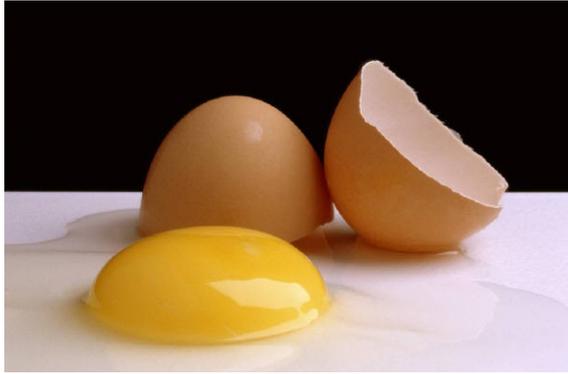
Submitted on 5 Jun 2020

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



Le Cycle de formation de l'œuf

Joël Gautron

INRA, UR83 Recherches

Avicoles

37380 Nouzilly

L'œuf de poule

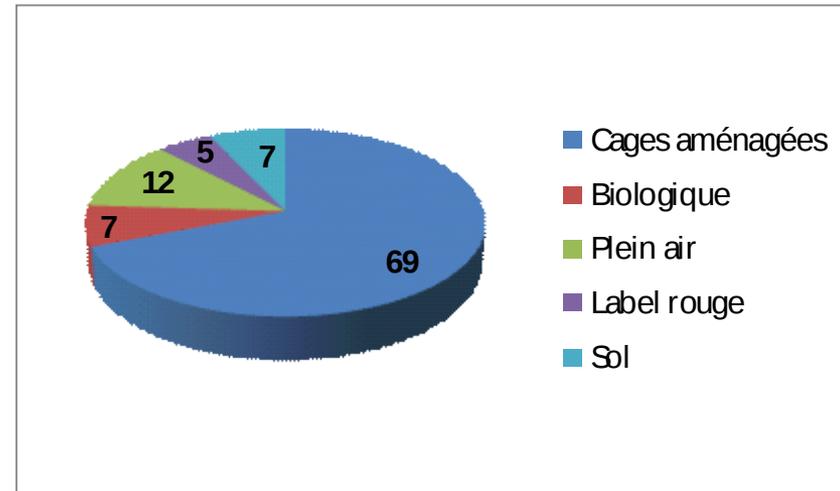
L'Œuf, un produit de base pour l'alimentation humaine

Au niveau mondial en 2012

- 66,4 millions de tonnes par an (>1200 milliards d'œufs)
- Accroissement du marché de 2.2 %
- Premier producteur est la Chine (24,5 MT – 37 % de la production mondiale)
- Union européenne second producteur mondial (6 MT- 9 % de la production mondiale)

Filière française en 2013

- 15,2 milliards d'œufs
(47 millions de poules pondeuses)
- 1.37 milliards d'Euros
- 4 % de la valeur des productions animales
- 1.7 % de la valeur des productions agricoles



Consommation

- 145 œufs par an et par habitant dans le monde
- 216 œufs par an et par personne en France
- 60% sous forme d'œufs en coquille
- 40% sous forme d'ovoproduits

Source ITAVI

L'Œuf, un pro
Chambre iso

Les oise

Fécondation sexuée e
Mais développement e



Agressions
physiques

Microbes

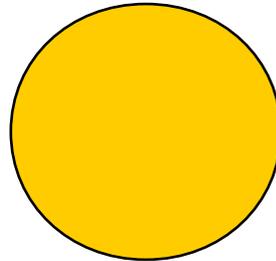
Doit contenir la totalité des composants nécessaires au développement embryonnaire

- › Éléments nutritionnels parfaitement équilibrés
- › Nombreux composés avec un large spectre d'activités biologiques
- › Systèmes de protection (défenses naturelles)

↳ Défense physique (coquille principalement)

↳ Défense chimique (activité antimicrobienne des protéines de l'œuf)

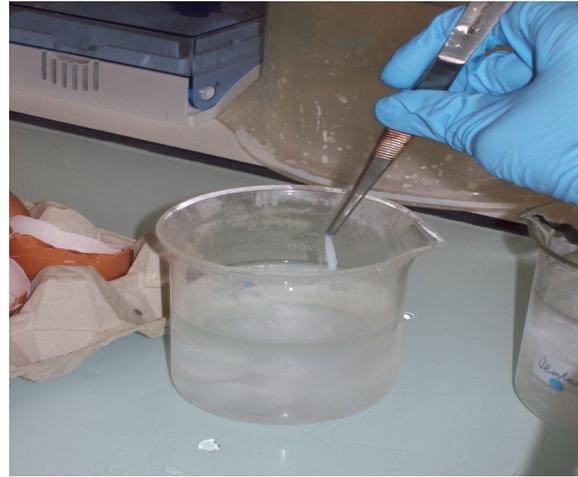
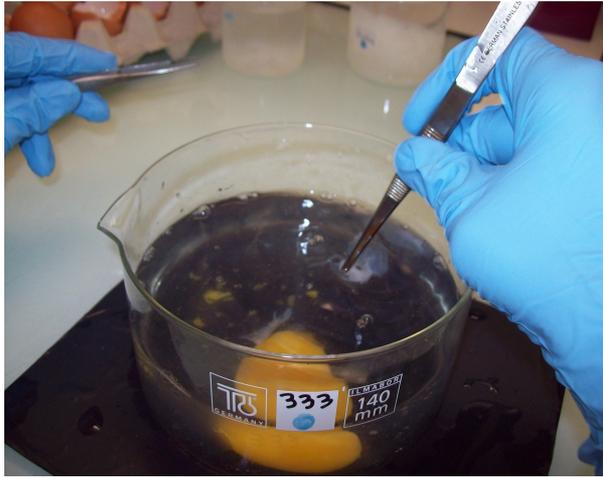
Une composition adaptée au développement du poussin



Un jaune d'œuf à la composition adaptée (atelier 1)

- *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*

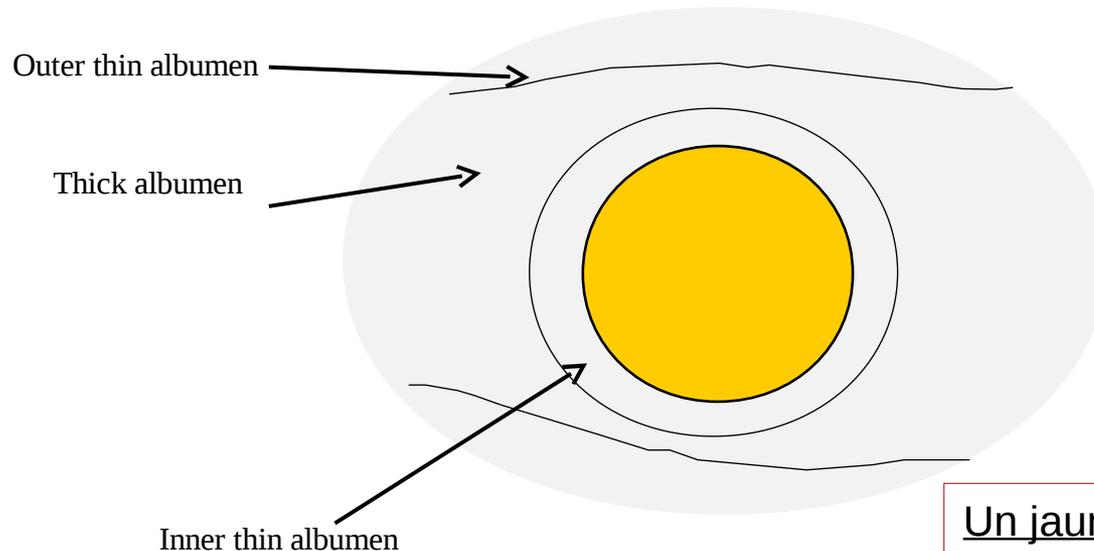
Les membranes vitellines



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*

Les molécules antimicrobiennes

Composition globale d'un œuf (sans coquille)

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



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

Identification des protéines de l'œuf

Les techniques classiques

- Biochimie (Fractionnement des composés de l'œuf par chromatographie, électrophorèses...) et biologie moléculaire
 - 2006, environ 50 protéines de l'œuf (10 dans la coquille)

Les développements récents

- ✓ 2004, Publication de la séquence génomique de la poule



Mise à disposition des techniques « omics » et des outils de data mining pour identifier de nouvelles protéines de l'oeuf

- ✓ Genome-wide non redundant catalog of 33 838 different genes

The image is a screenshot of the NCBI UniGene database interface for Gallus gallus. The top navigation bar includes links for PubMed, Protein, Genome, Structure, PopSet, Taxonomy, and OMIM. A search bar contains 'Gallus gallus[organism]' and buttons for 'Go' and 'Clear'. Below the search bar, the text reads 'Gallus gallus: UniGene Build #46'. A 'Lineage' section lists taxonomic categories from cellular organisms to Gallus. A table lists the number of sequences included in UniGene: 33,838 mRNAs, 683 Models, 0 HTC, 11,088 EST, 3reads, 418,700 EST, 5reads, 79,390 EST, otherunknown, and 543,699 total sequences in clusters. On the right, there is a small image of two chicks and a 'UniGene Links' section with links to Clusters, Library Browser, DDD, Query Tips, FAQ, and Finding cDNAs.

- ✓ cDNA and ESTs libraries (Identification of 600 434 functional genes in chickens)



Identification des protéines de l'œuf

Utiliser les outils à haut débit pour identifier les gènes et protéines impliqués dans la formation de l'œuf

>3500 protéines identifiées dans les différents compartiments de l'œuf
Plein de redondance, pas d'annotations sur les fonctions

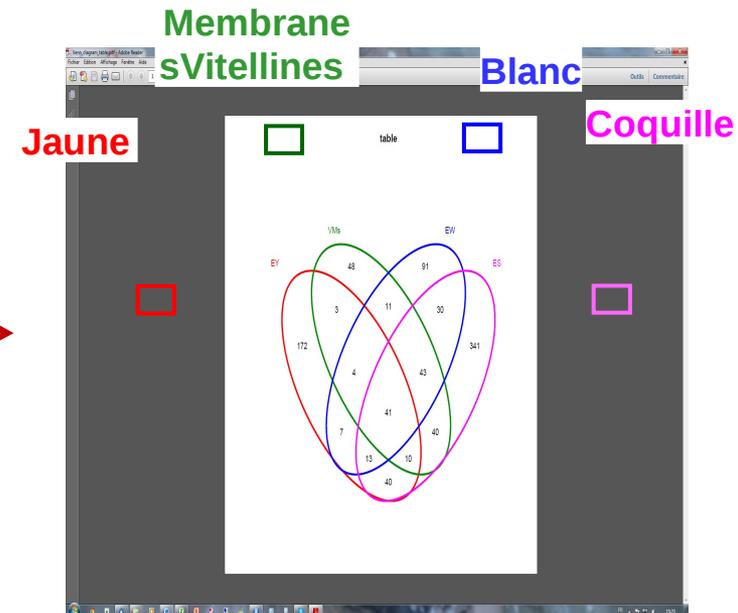
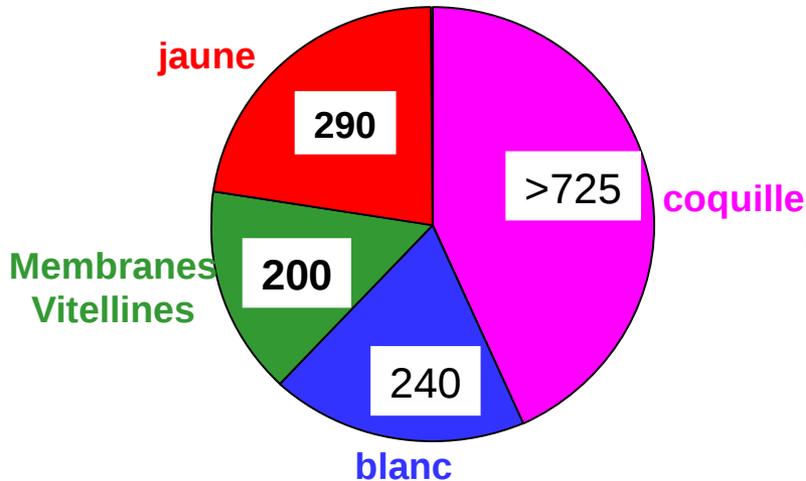


Data mining et outils bioinformatiques

>1200 protéines non redondantes dans l'œuf

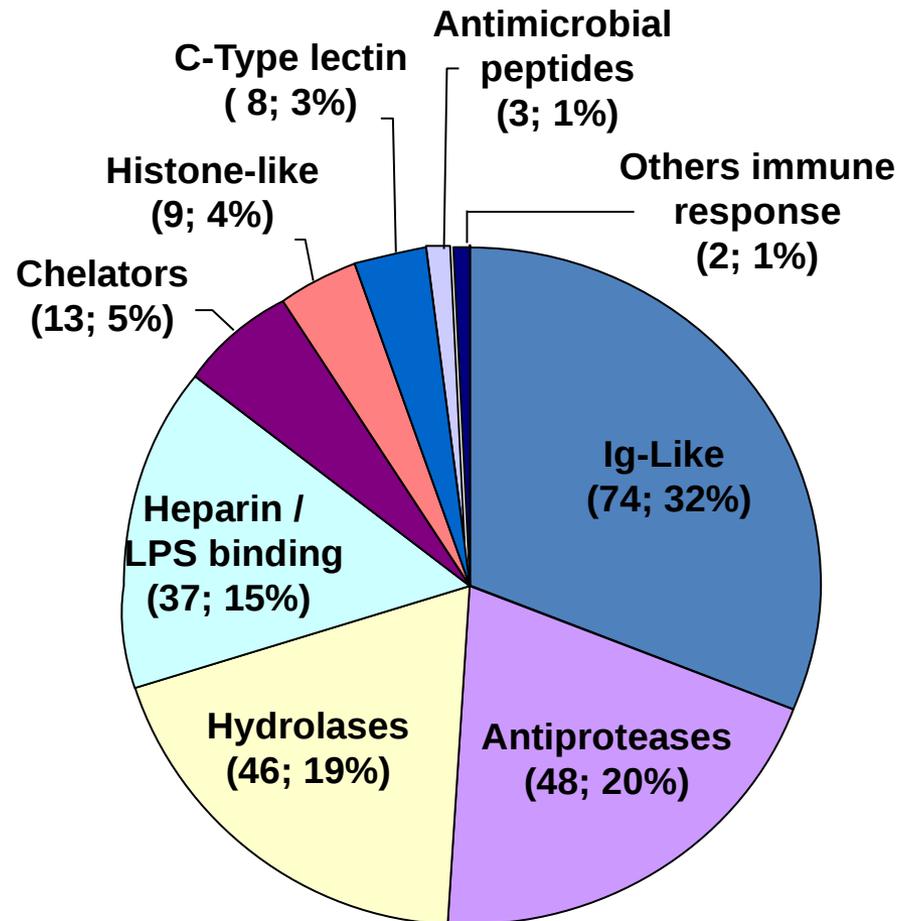
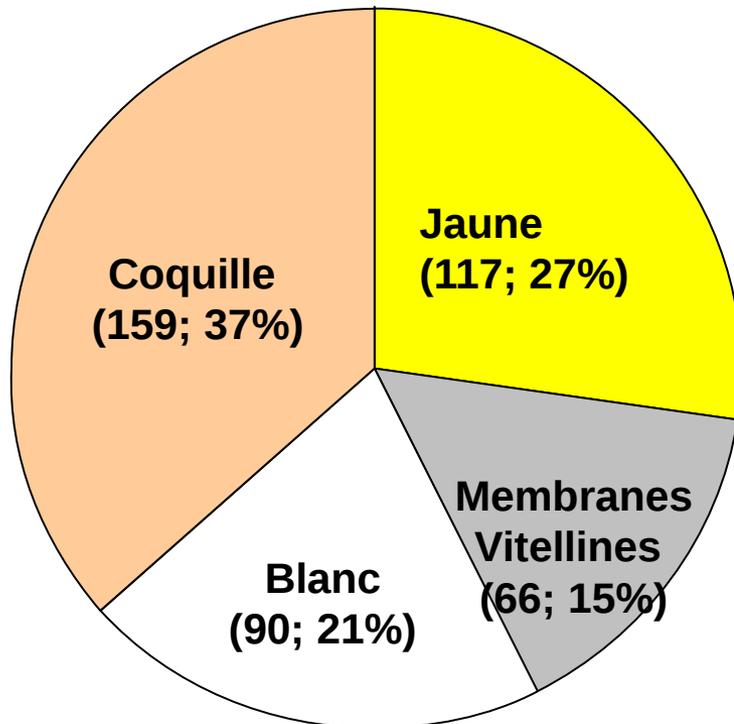
Protéines communes, partagées et spécifiques

Répartition dans les compartiments de l'œuf



Les molécules antimicrobiennes

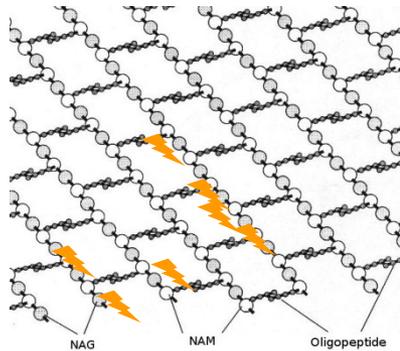
Environ 200 protéines de l'œuf sont potentiellement antimicrobiennes



Les molécules antimicrobiennes

Lysozyme

Hydrolyze bacterial peptidoglycan

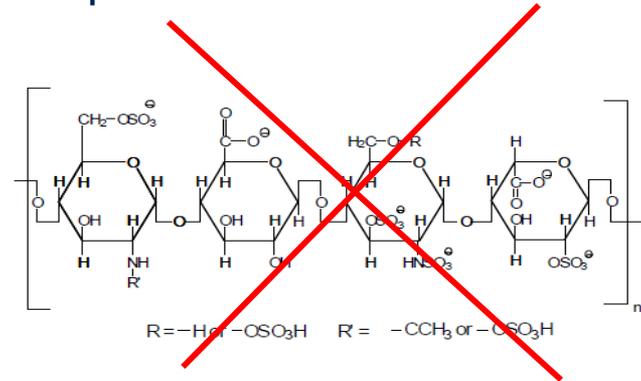


Conservateur alimentaire (E1105)
(Fromage, vin...)

Comprimés pour les douleurs et
inflammations de la gorge



Protéines de liaison à l'héparine



- ✓ 15 protéines identifiées
- ✓ 5 candidats antibactériens

Rehault-Godbert, S. et al. (2011). *Patent "Fraction of proteins and peptides derived from egg white and protein derived from egg white and use thereof as antilisteria agents."* WO 2011/151407 A1.

Une composition adaptée au développement du poussin

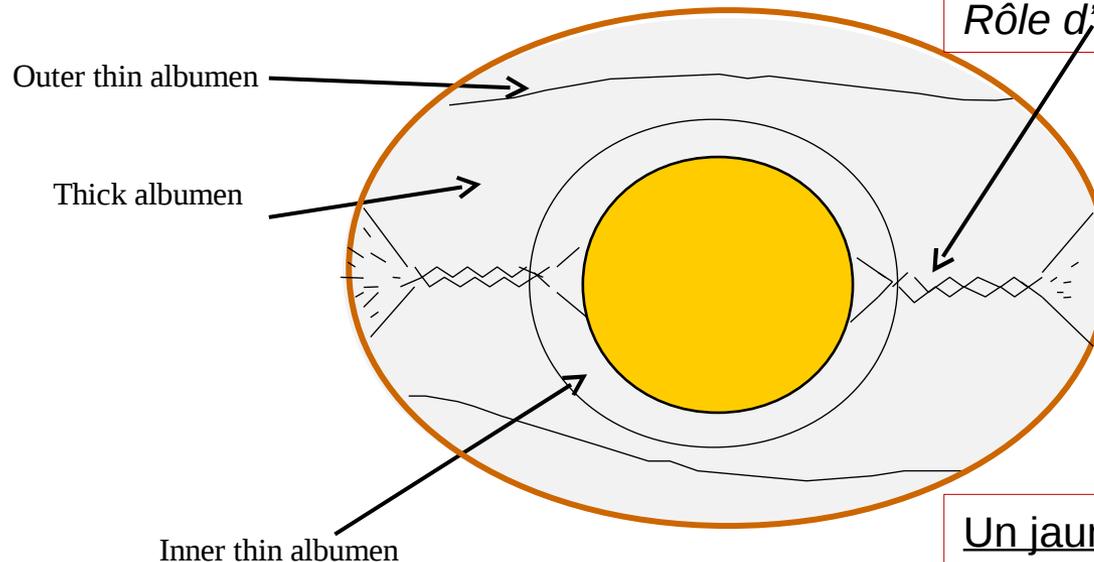
Un blanc d'œuf riche en eau (88%), protéines et glucides

- 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 (atelier 2)
- 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 formation de l'œuf

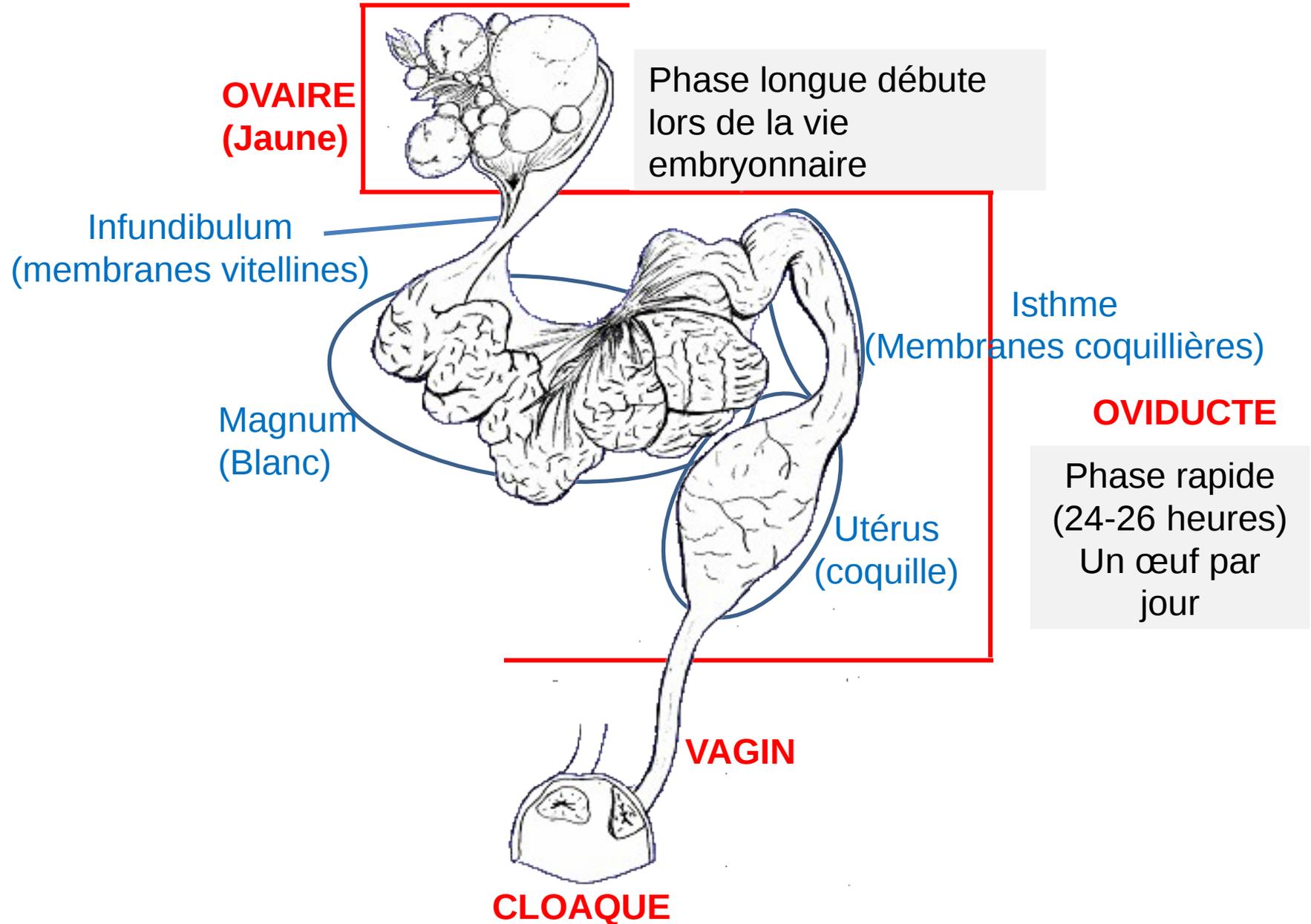
- ✓ **Quels sont les organes impliqués dans la formation de l'œuf ?**
 - L'ovaire
 - L'oviducte gauche
 - Le foie

- ✓ **Quand se forme l'œuf ?**
 - Tous les jours (presque)
 - Après la maturité sexuelle, mais initiée avant.

- ✓ **Quelles en sont les principales étapes ?**
 - Tout commence sur l'ovaire
 - Le foie entre en jeu
 - Le jaune est ovulé dans l'oviducte
 - Les membranes vitellines sont achevées
 - Le blanc d'œuf vient s'accumuler
 - Les membranes coquillières sont déposées
 - L'œuf est minéralisé
 - Il est expulsé via le vagin (oviposition)

L'appareil reproducteur de la femelle adulte

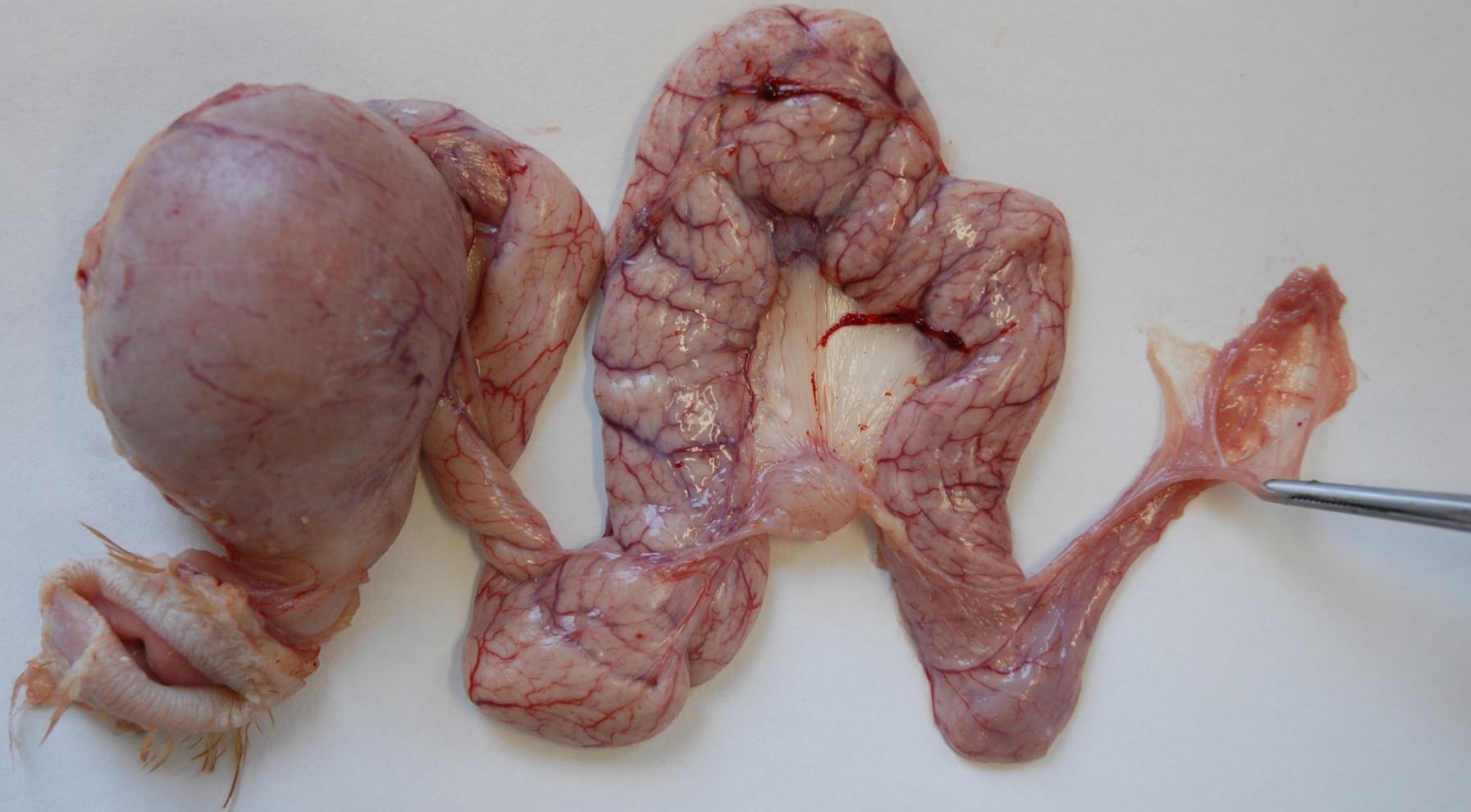
Seul l'appareil reproducteur gauche se développe lors de la maturité sexuelle



L'appareil reproducteur de la femelle adulte



L'appareil reproducteur de la femelle adulte

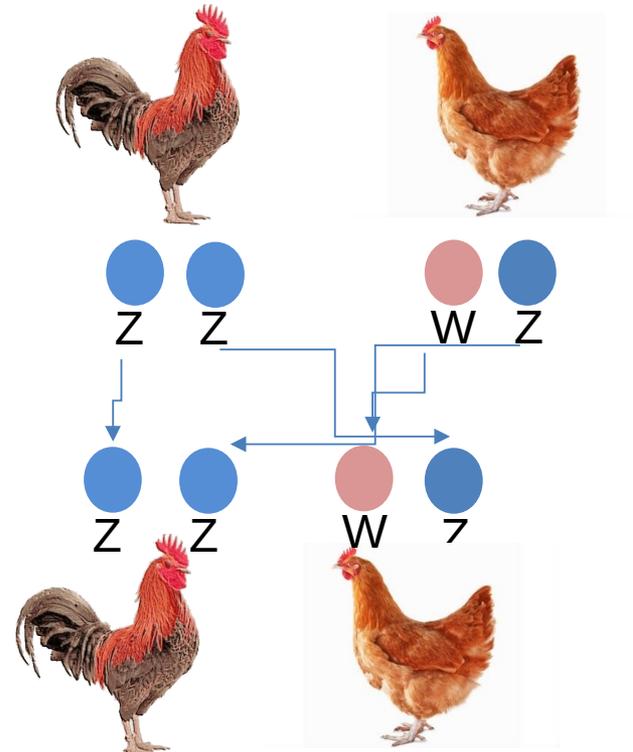
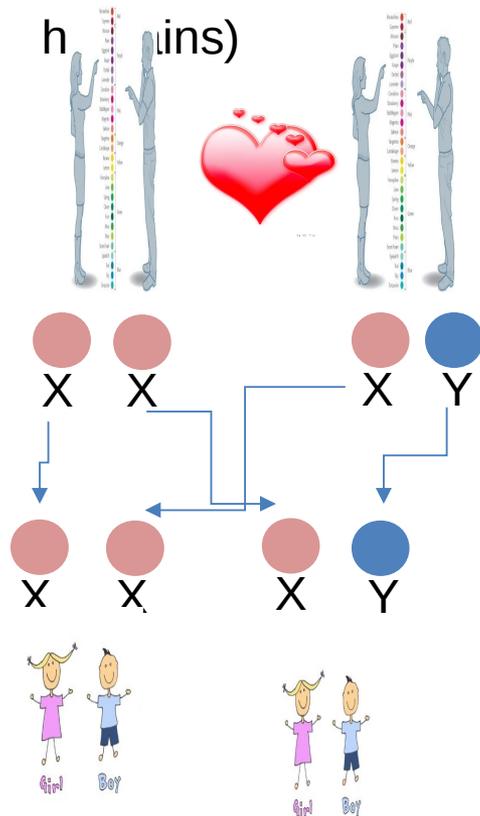


Tout commence sur l'ovaire

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

h (ins)



Tout continue sur l'ovaire

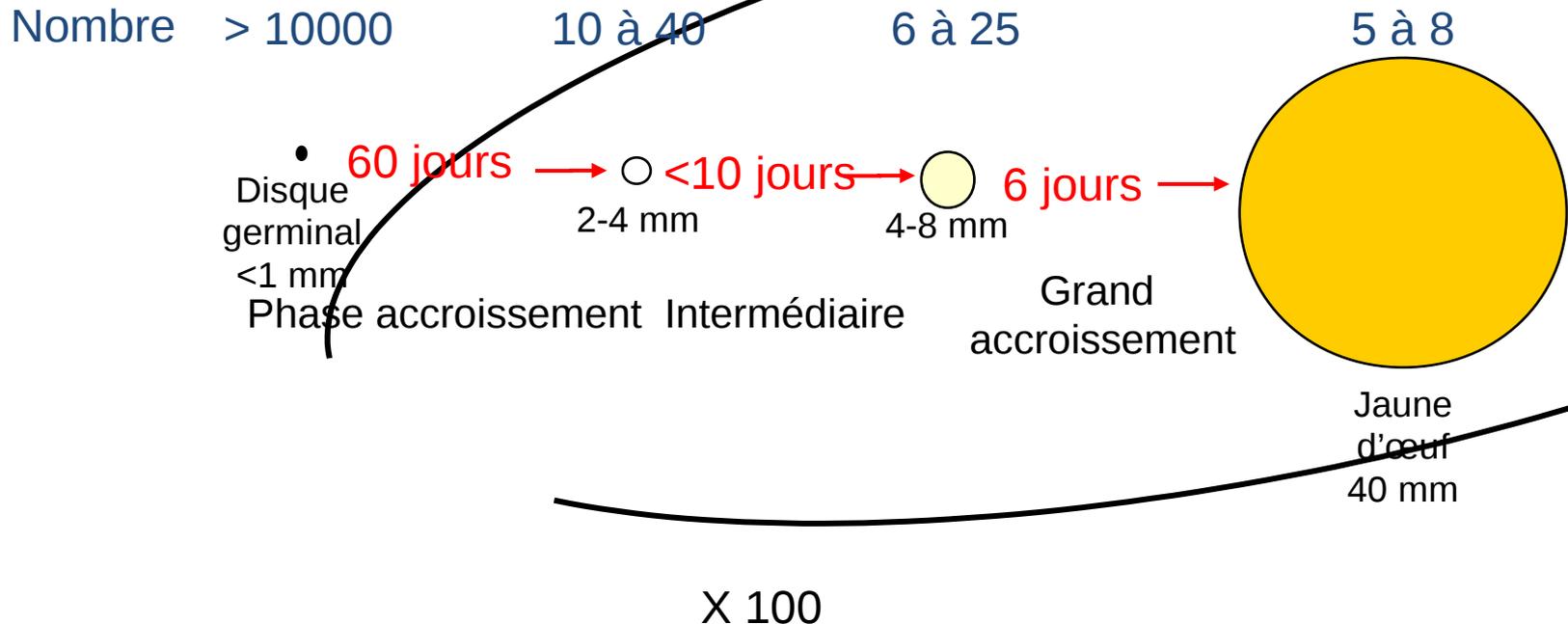
La maturité sexuelle

- ✓ 12000 oocytes produits durant l'embryogénèse
- ✓ Moins de 2000 formeront un jaune d'œuf après maturité sexuelle
- ✓ Début de la maturité sexuelle (12-13 semaines, 3 mois environ)
- ✓ Premier œuf pondu à 18 semaines environ
- ✓ Pic de ponte vers 22 semaines (6 mois environ)

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



L'OVULATION

- ✓ Se produit 24-25 heures avant la ponte de l'œuf et dépendante de la photopériode
- ✓ Sous contrôle hormonal (LH) au niveau de l'hypothalamus et dépendante de la maturation folliculaire
- ✓ A 14 heures de lumière par jour, la poule pond de 0 à 6 heures après l'allumage avec un décalage quotidien

Jour	Heure de ponte
1	07:15
2	07:30
3	08:05
4	08:30
....
n	11:30
n+1	13:00
n+2	
N+3	07:15

Série de ponte

Pause

Nouvelle Série de ponte

L'OVULATION

- ✓ Se produit 24-25 heures avant la ponte de l'œuf et dépendante de la photopériode
- ✓ Sous contrôle hormonal (LH) au niveau de l'hypothalamus et dépendante de la maturation folliculaire
- ✓ A 14 heures de lumière par jour, la poule pond de 0 à 6 heures après l'allumage avec un décalage quotidien

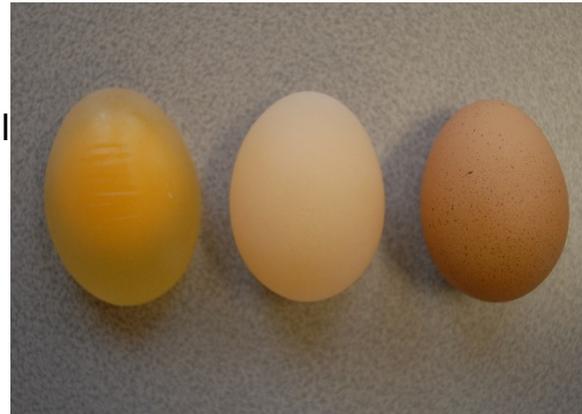
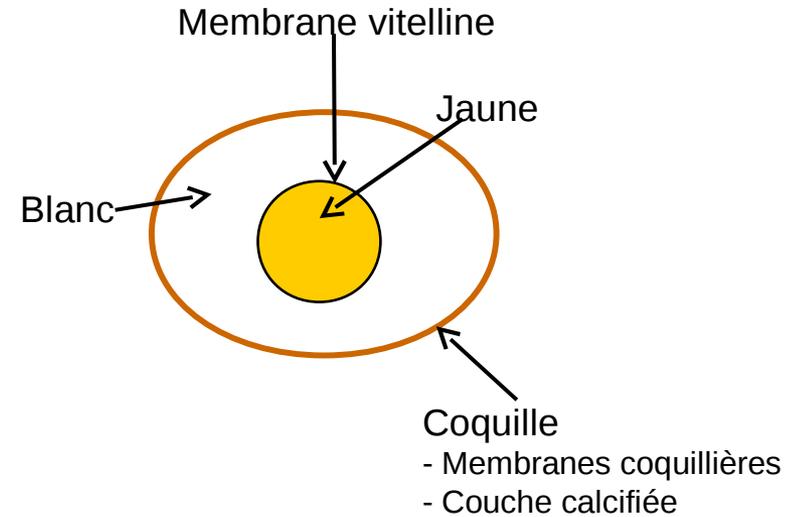
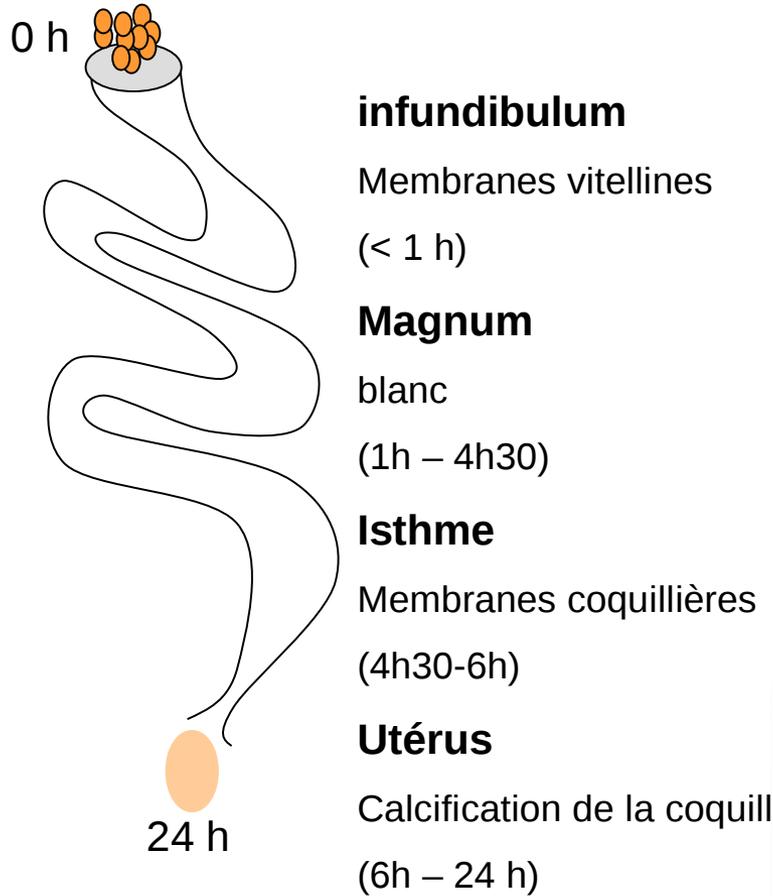
Jour	Heure de ponte
1	07:15
2	07:30
3	08:05
4	08:30
....
n	11:30
n+1	13:00
n+2	
N+3	07:15

Série de ponte

Pause

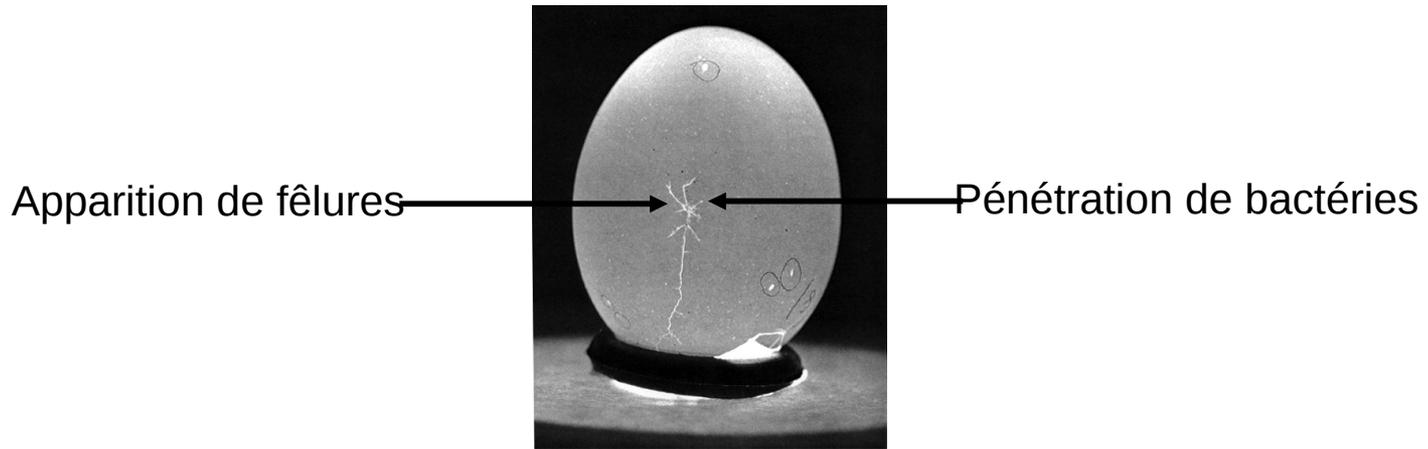
Nouvelle Série de ponte

La formation de l'œuf dans l'oviducte



La coquille : une barrière physique contre la pénétration bactérienne

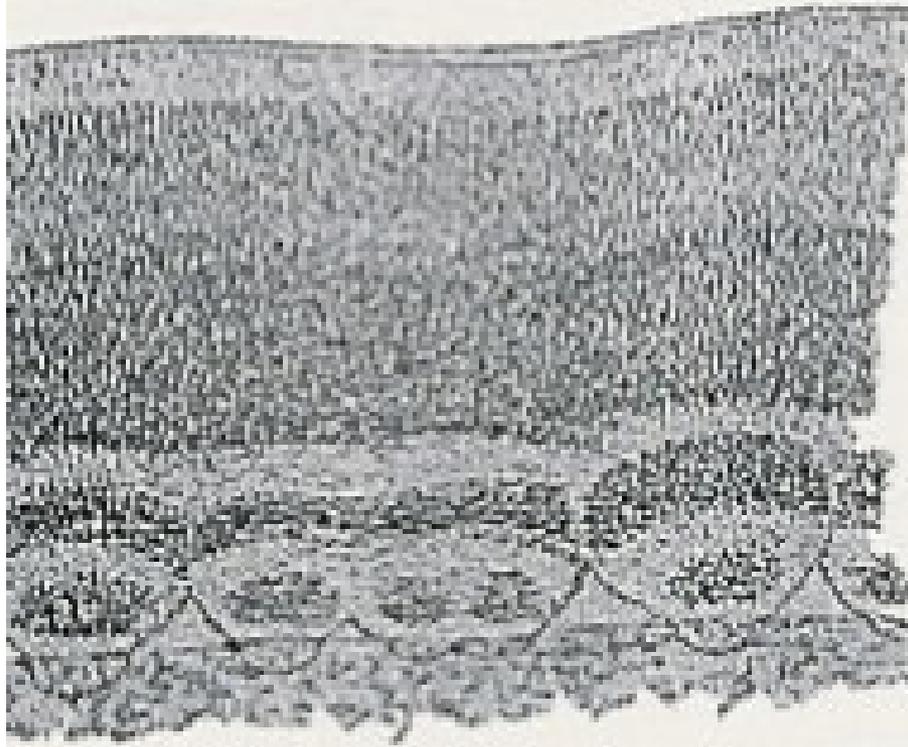
- L'intégrité de la coquille est cruciale pour la sécurité alimentaire du consommateur



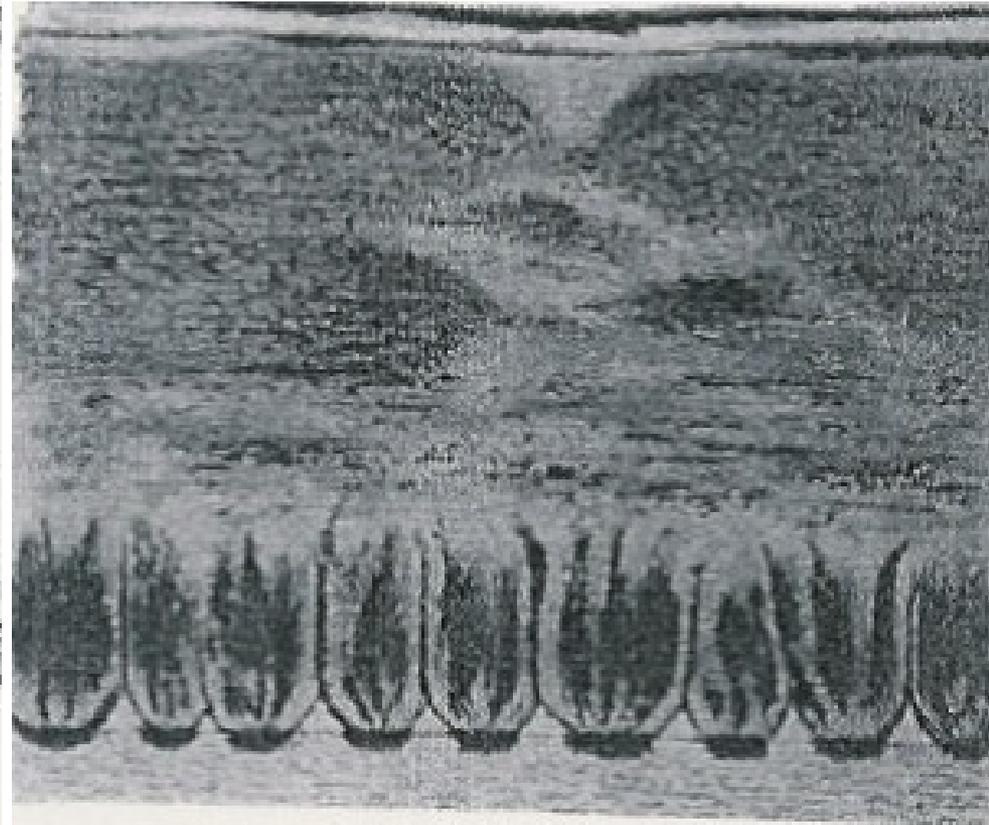
Comprendre les mécanismes de fabrication de la coquille et déterminer l'origine de ses faiblesses

Développer de nouveaux outils pour la sélection

La coquille (défense physique)



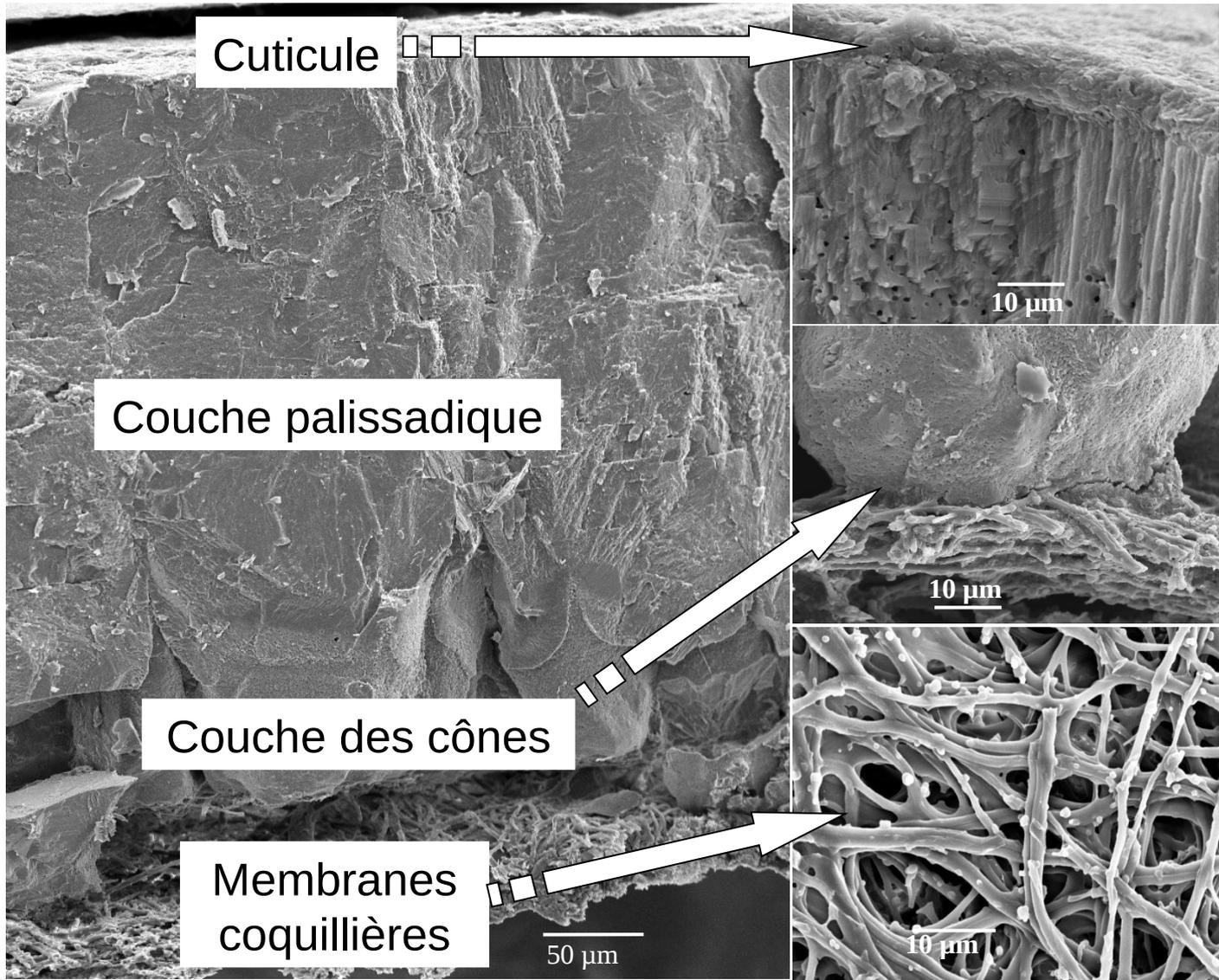
Gallus gallus x 72



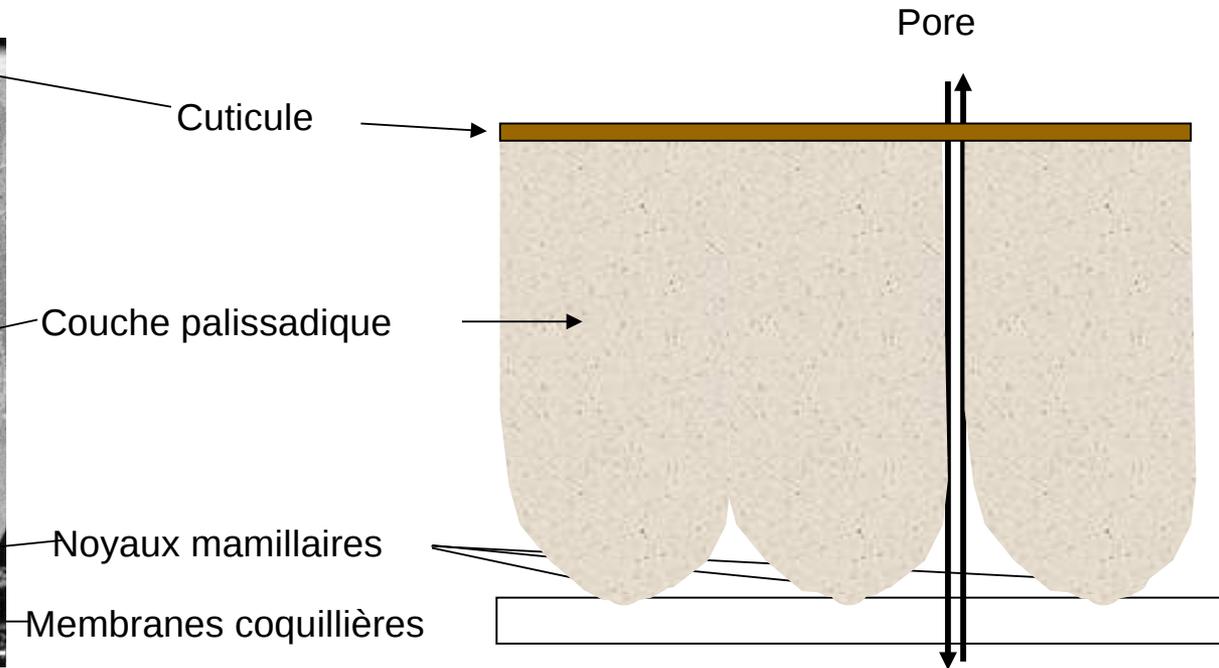
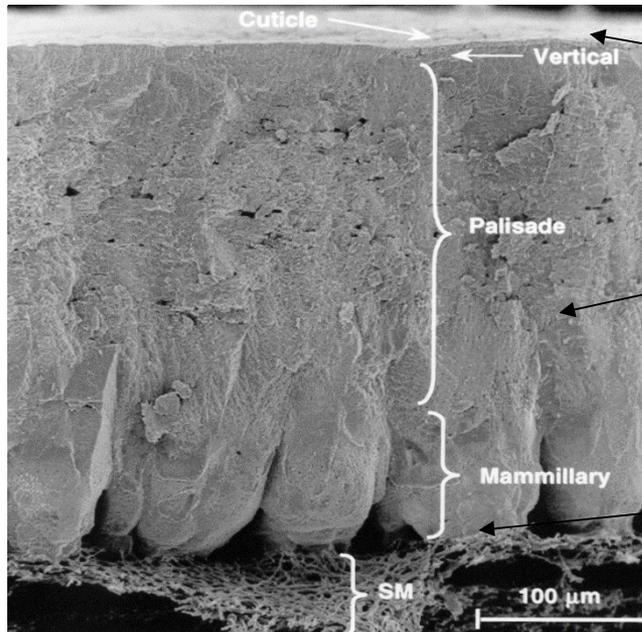
Cygnus x 53

Dessin de Wilhem von Nathusius, 1821-99

La coquille (défense physique)



La coquille (défense physique)



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

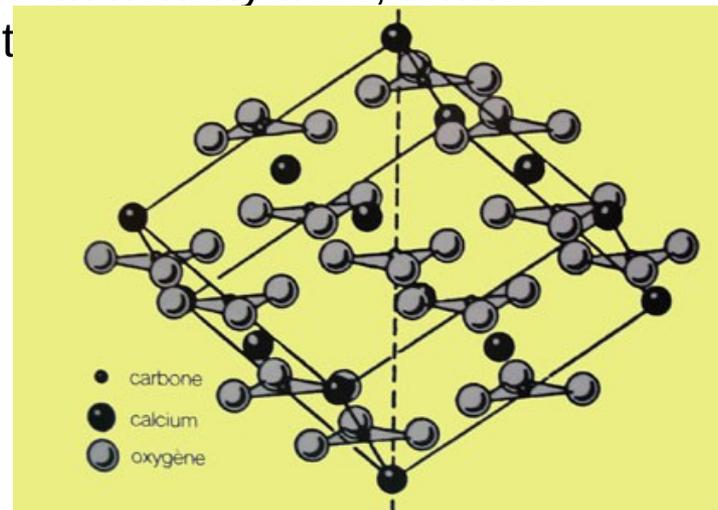
Le minéral de la coquille est du carbonate de calcium.

Le **carbonate de calcium** (CaCO_3) est composé d'un ion carbonate (CO_3^{2-}) et d'un ion calcium (Ca^{2+}). Cette substance blanche a une masse molaire de 100,1 g/mol. $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$

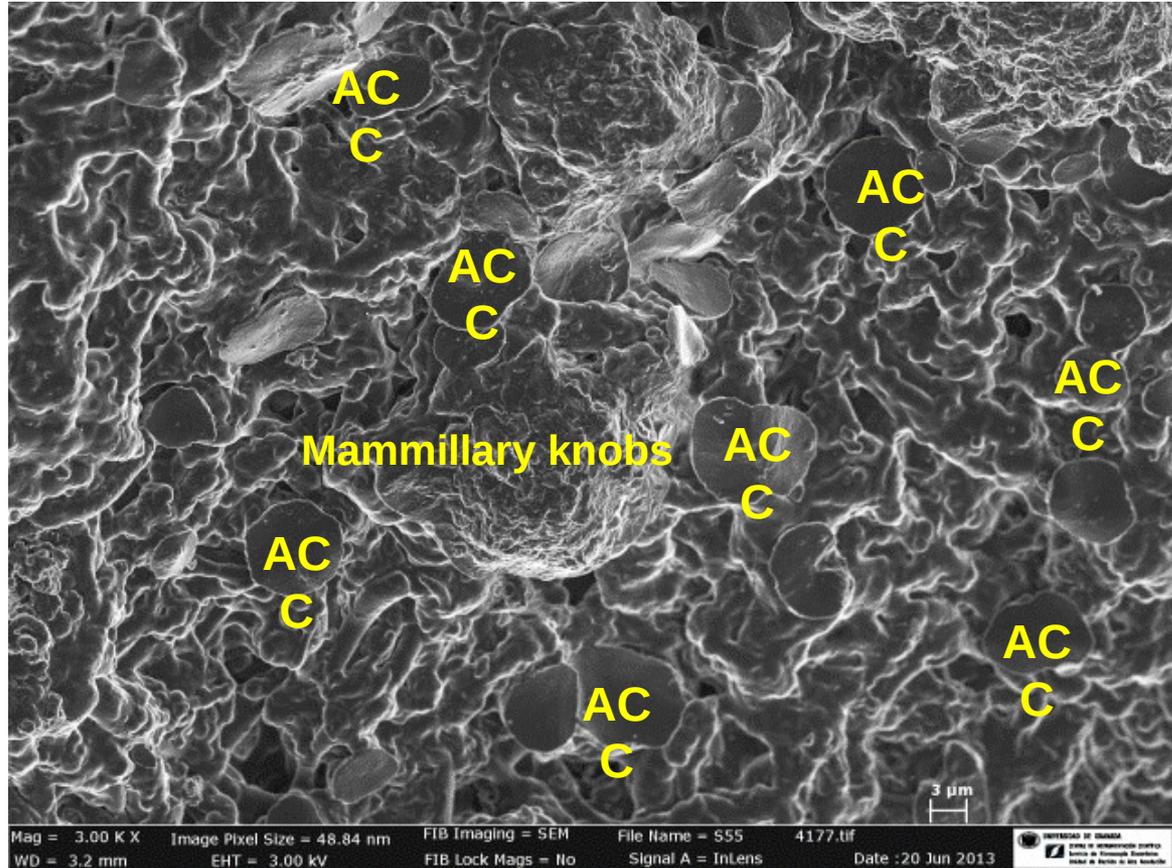
Le carbonate de calcium est le composé majeur des calcaires comme la craie, mais également du marbre. C'est aussi le constituant principal des coquilles d'animaux marins, du corail et des escargots.

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 vaterite & un hexahydrate, formes intermédiaires peu stables qui évoluent

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

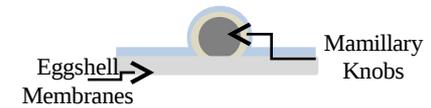


La formation de la coquille



- Carbonate de calcium amorphe (ACC)
- Calcite

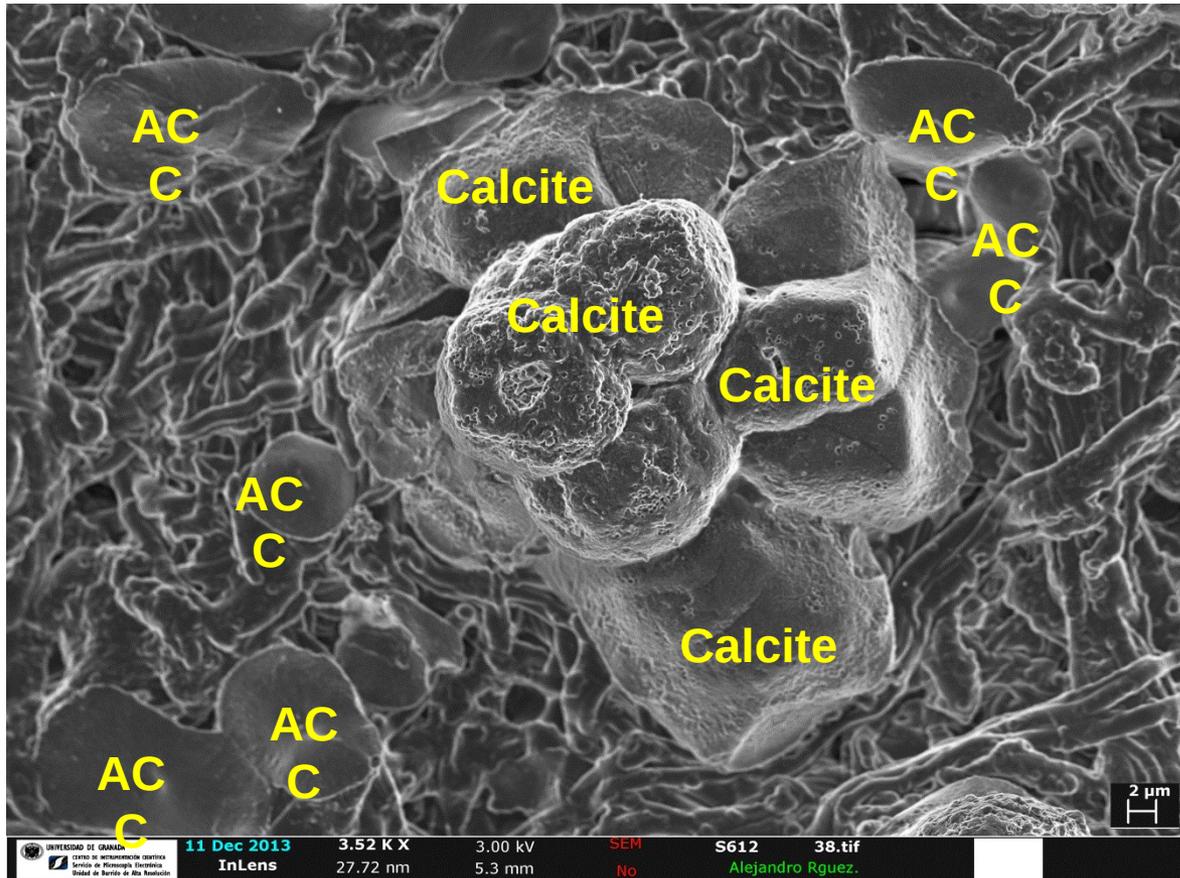
Premier évènements de nucléation



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

La formation de la coquille

Role of amorphous calcium carbonate (ACC)



Calcite formation

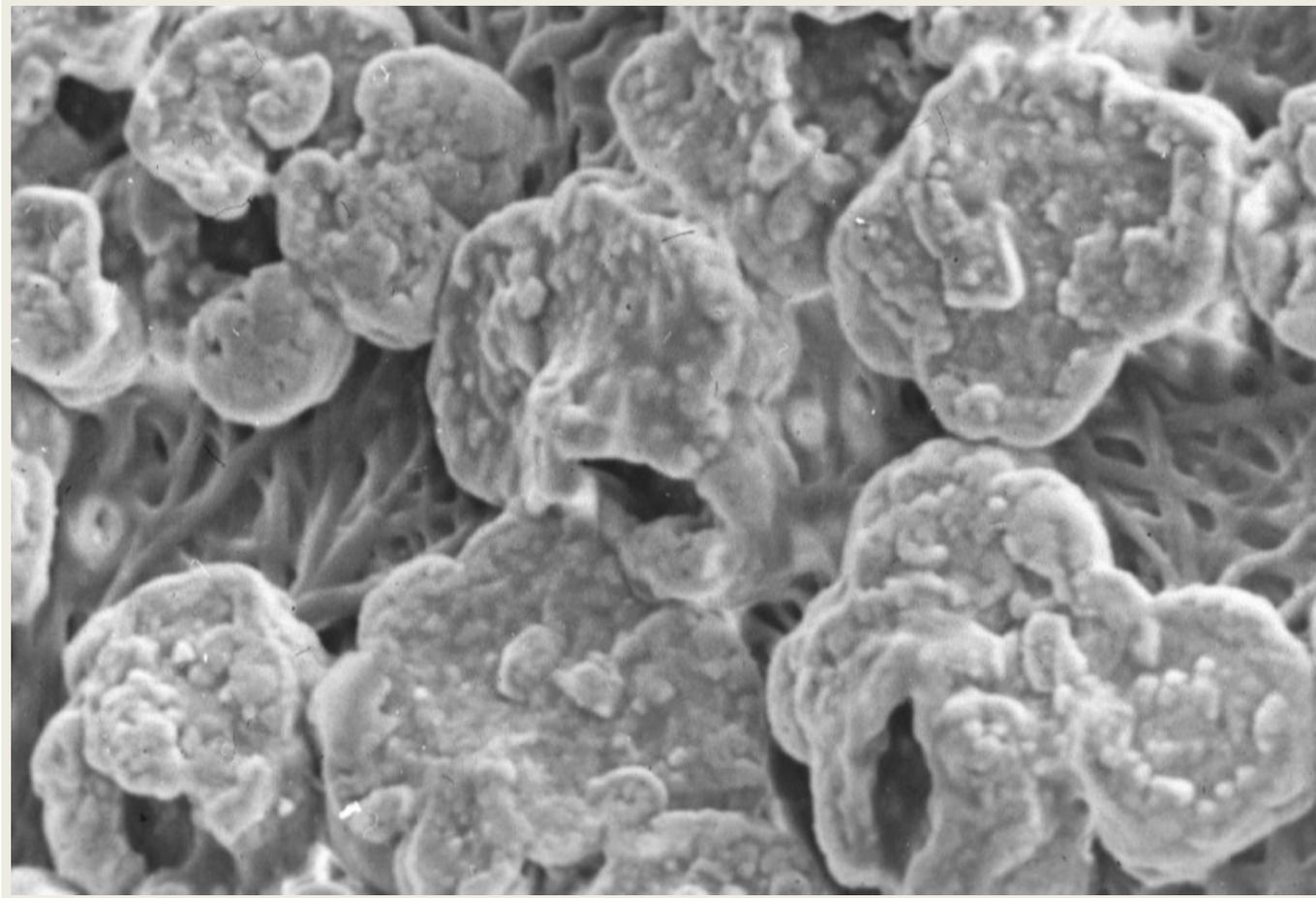
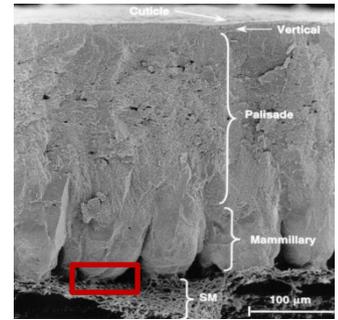


Time 2 (6-7 h post ovulation):

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

La formation de la coquille

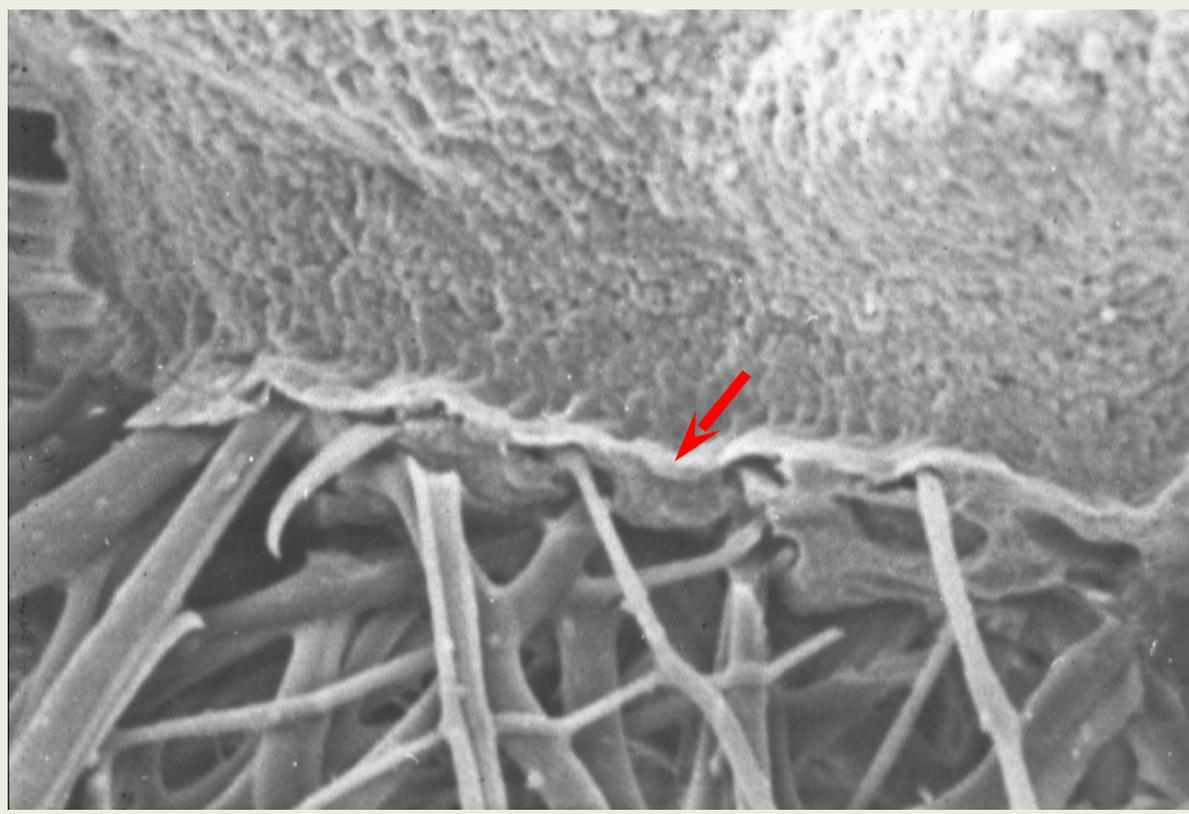
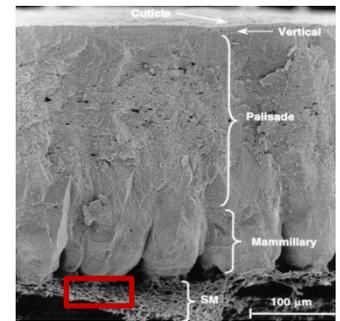
La phase initiale



Peu à peu les noyaux mamillaires sont recouverts de calcite

La formation de la coquille

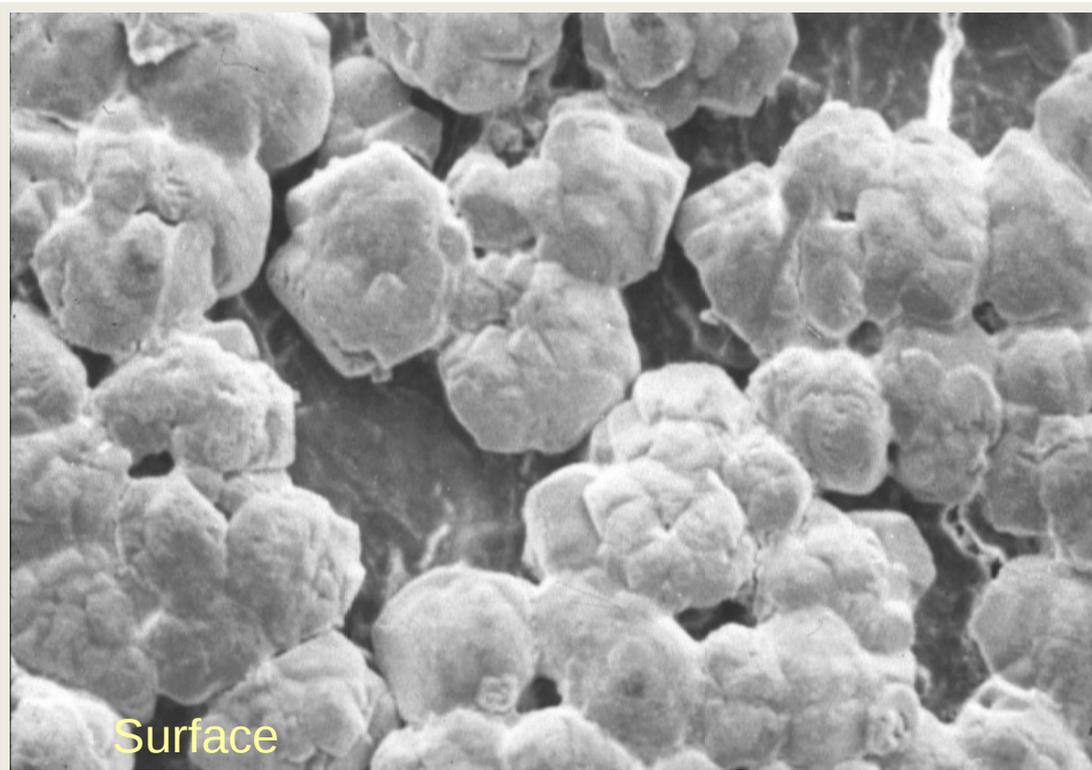
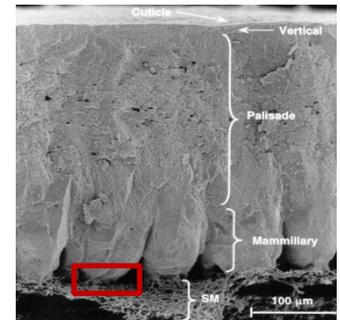
La phase initiale



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

La formation de la coquille

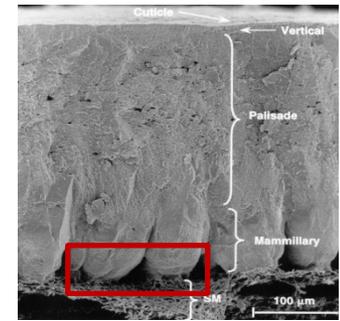
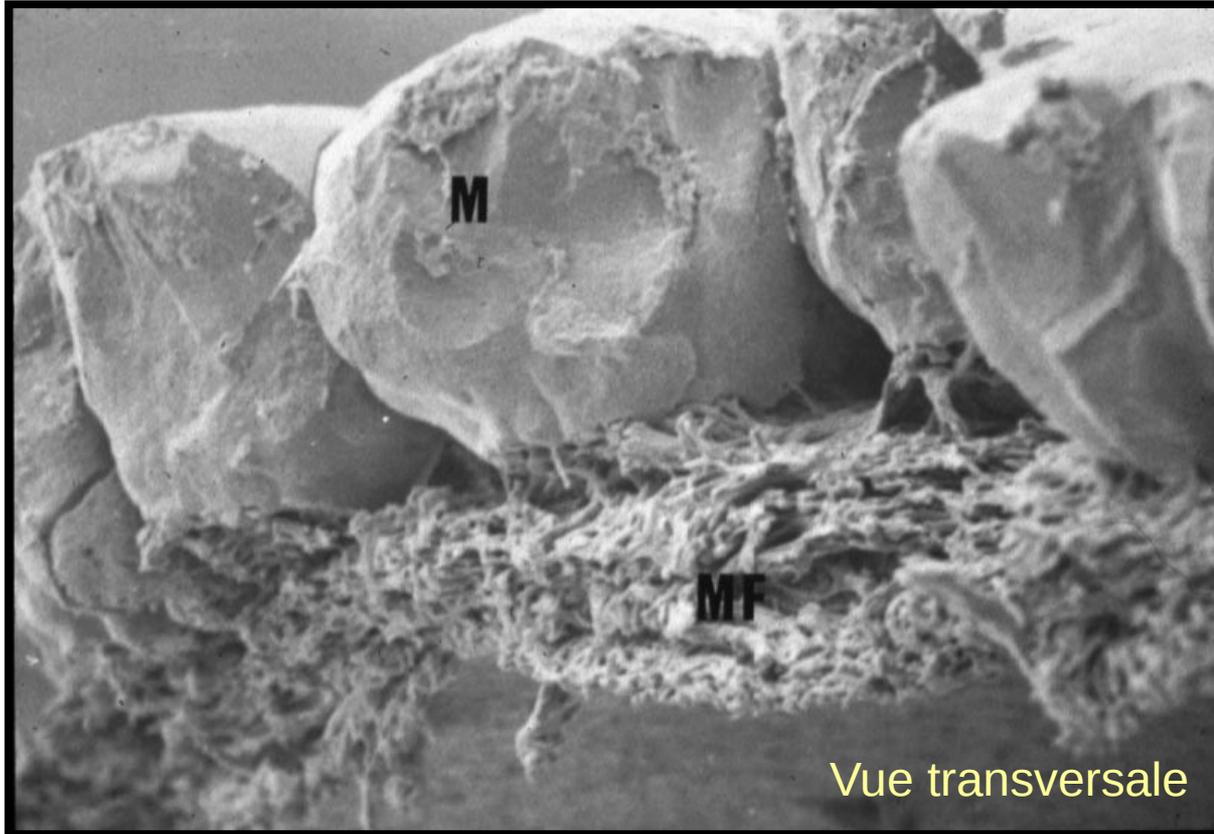
La phase initiale



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

La formation de la coquille

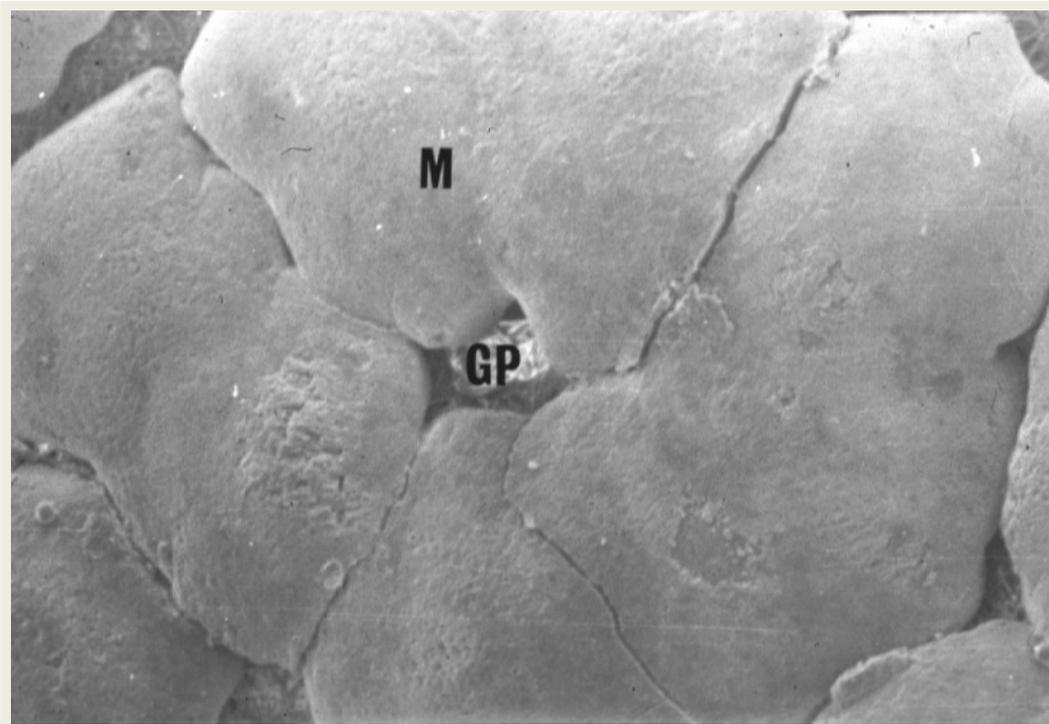
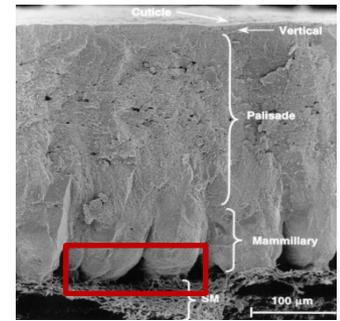
La phase de croissance



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

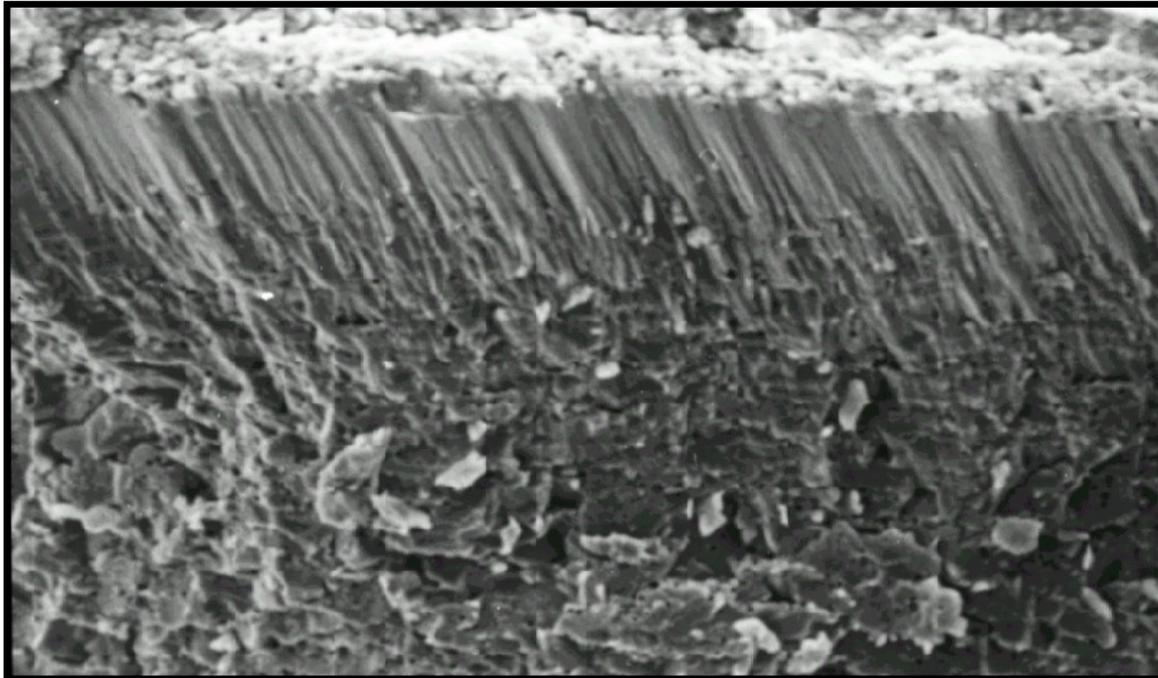
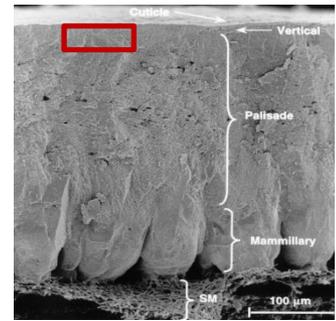
La phase de croissance



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

La formation de la coquille

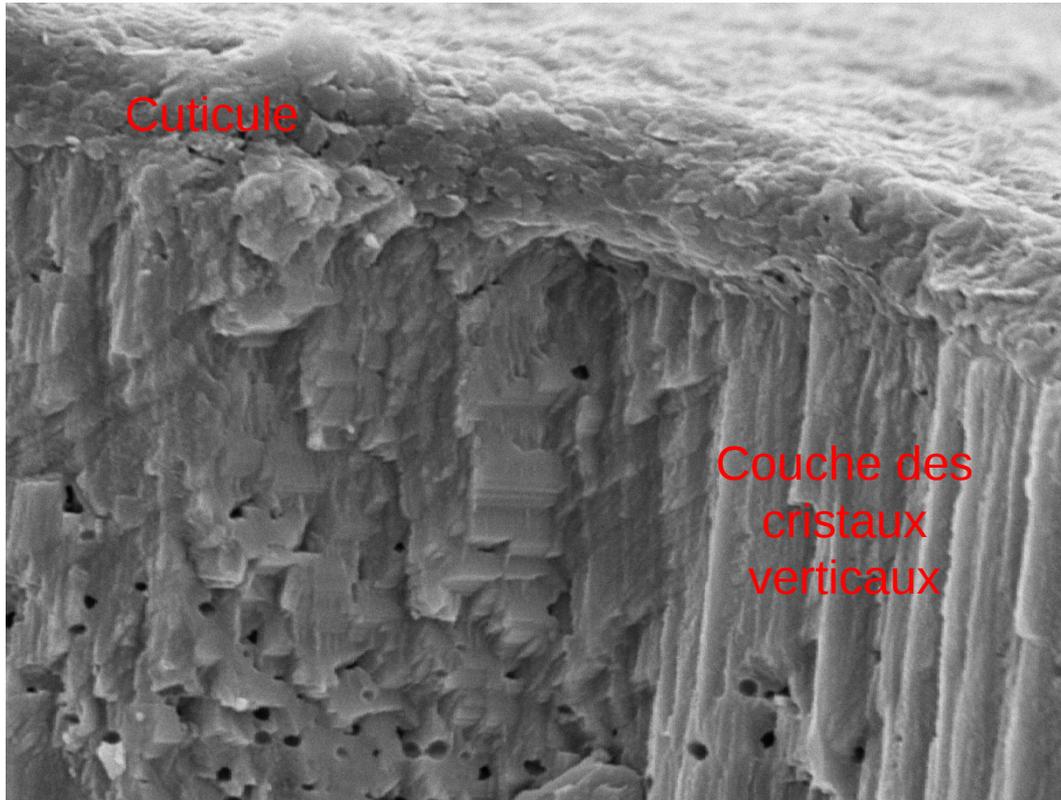
La phase terminale



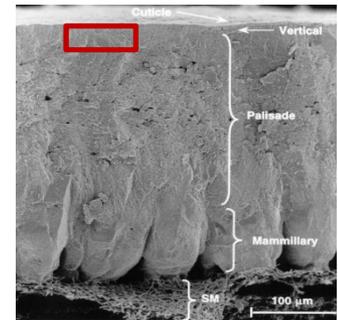
En surface de la couche calcifiée apparaît une couche monocristalline de calcite (Couche des cristaux verticaux)

La formation de la coquille

La phase terminale

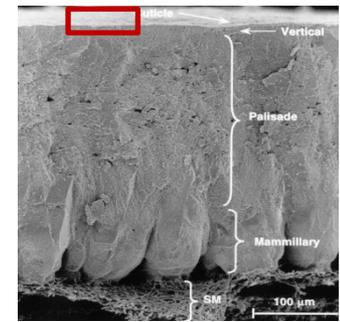
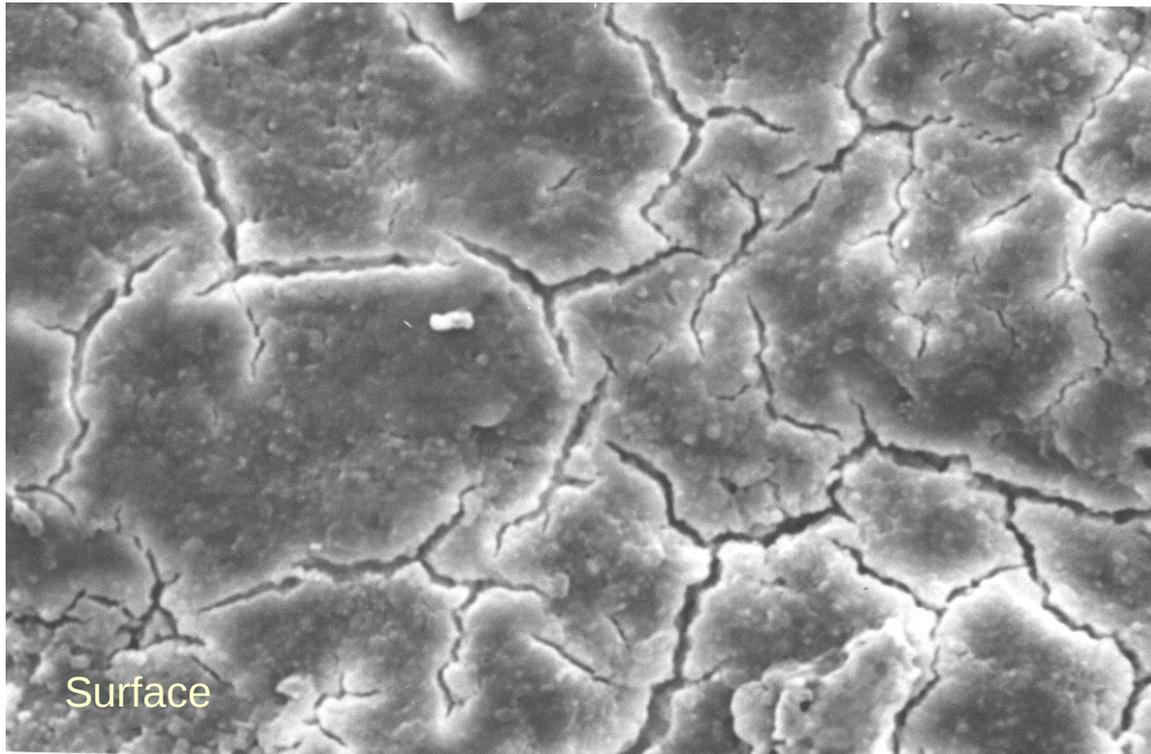


La minéralisation s'arrête. Une fine couche de matière organique vient se déposer en surface (cuticule)



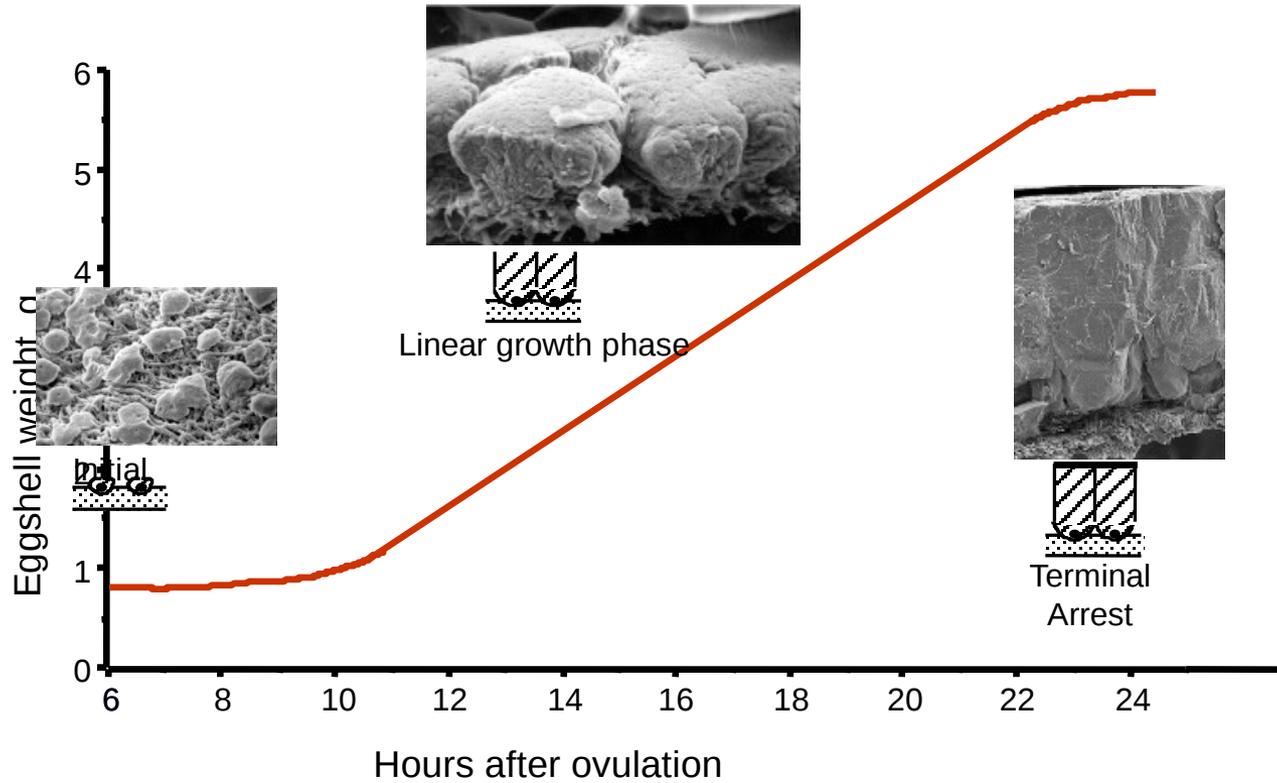
La formation de la coquille

La phase terminale

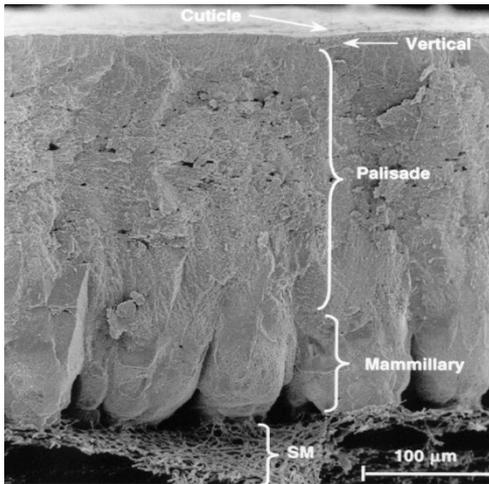


La cuticule recouvre la totalité de l'œuf. En séchant, elle se fissure pour permettre les échanges gazeux via les pores

La formation de la coquille



Similitude des coquilles d'œufs



Gallus gallus



coturnix japonica



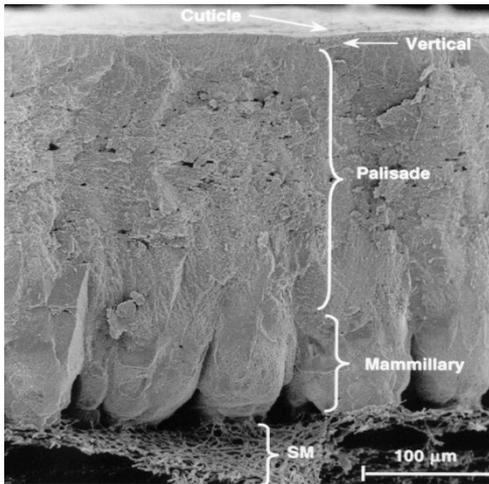
Meleagris gallopavo



Anas platyrhynchos

Similitude des coquilles d'œufs

□ PROCESSUS DE BIOMINÉRALISATION UNIVERSEL



Gallus gallus



Numida meleagris

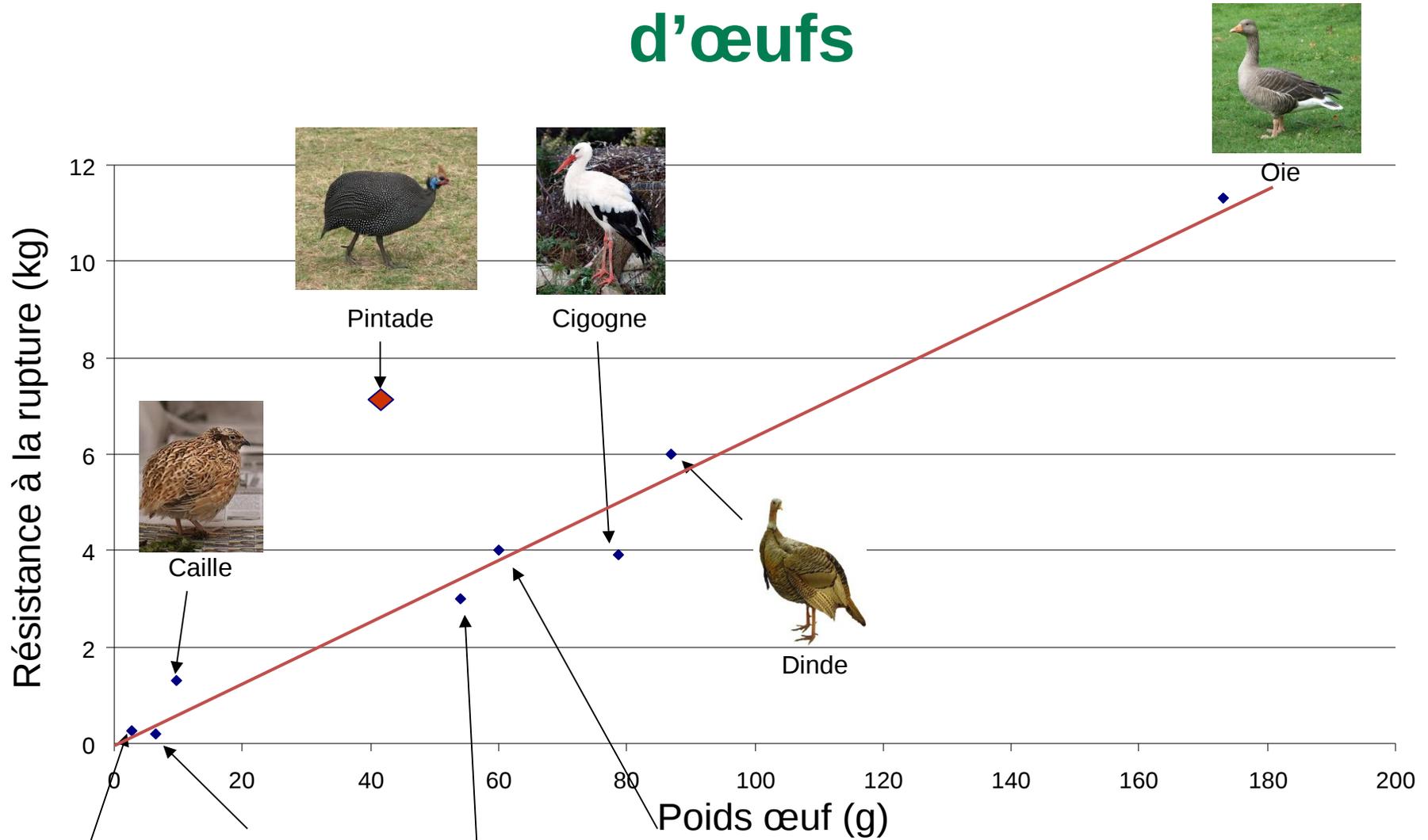


Struthio



Sankofa pyrenaica

Propriétés biomécaniques des coquilles d'œufs



Moineau

Merle noir

Canard

Poule

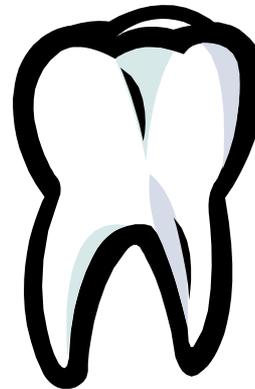
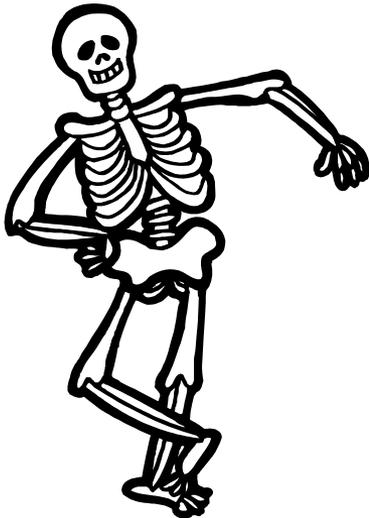
La Biominéralisation

□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

* Dépôts de minéraux sous conditions physiologiques dans un organisme vivant qui aboutit à la formation de structures très diversifiées avec des formes, des tailles et des couleurs différentes

1) Biominéralisation cellulaire

Os, dents....



La Biominéralisation

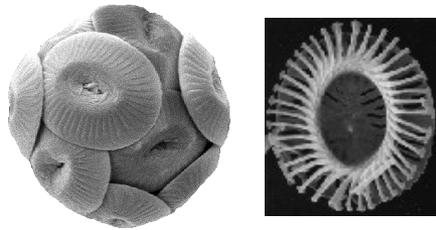
□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

* Dépôts de minéraux sous conditions physiologiques dans un organisme vivant qui aboutit à la formation de structures très diversifiées avec des formes, des tailles et des couleurs différentes

2) Biominéralisation acellulaire dite contrôlée



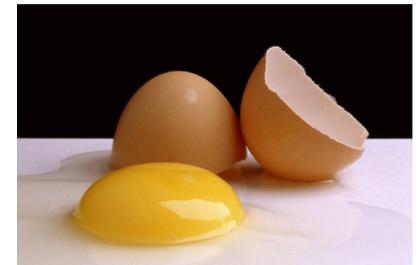
Perle



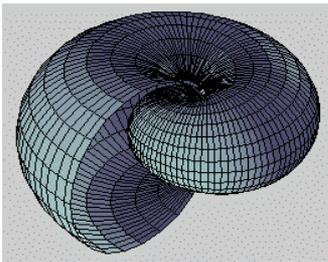
Coccolithes



Corail



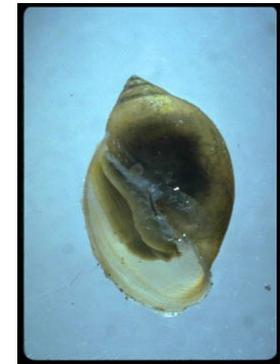
Coquilles d'oiseaux



Coquilles de mollusques



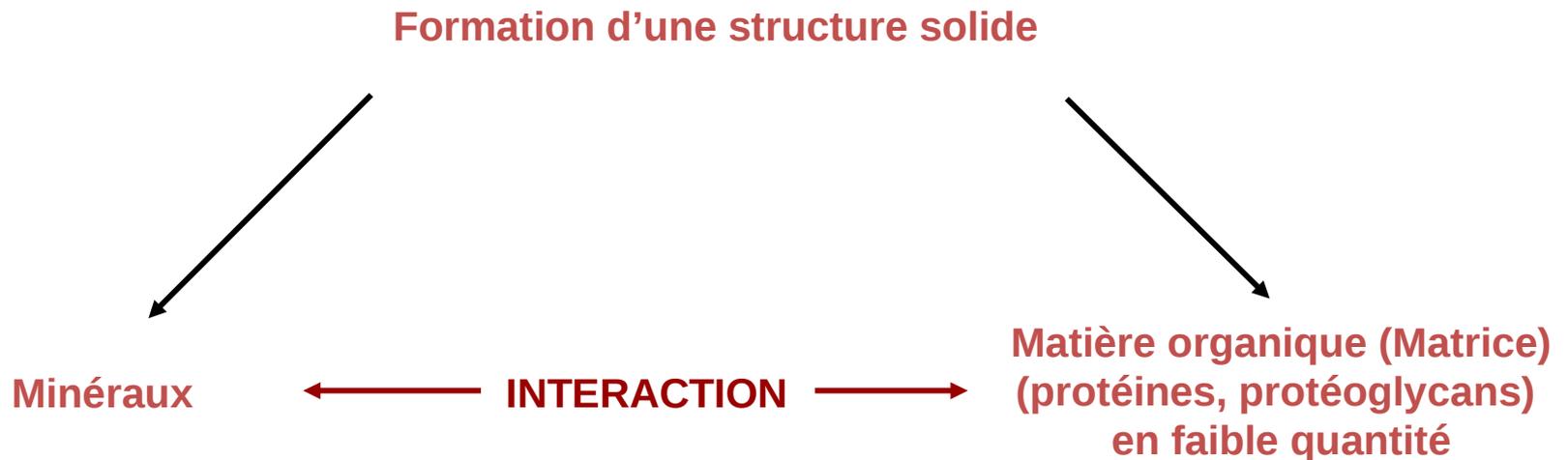
gastéropodes



La Biominéralisation

□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

Malgré la diversité de formes et de fonctions, les structures biominérales se forment toujours selon les mêmes principes

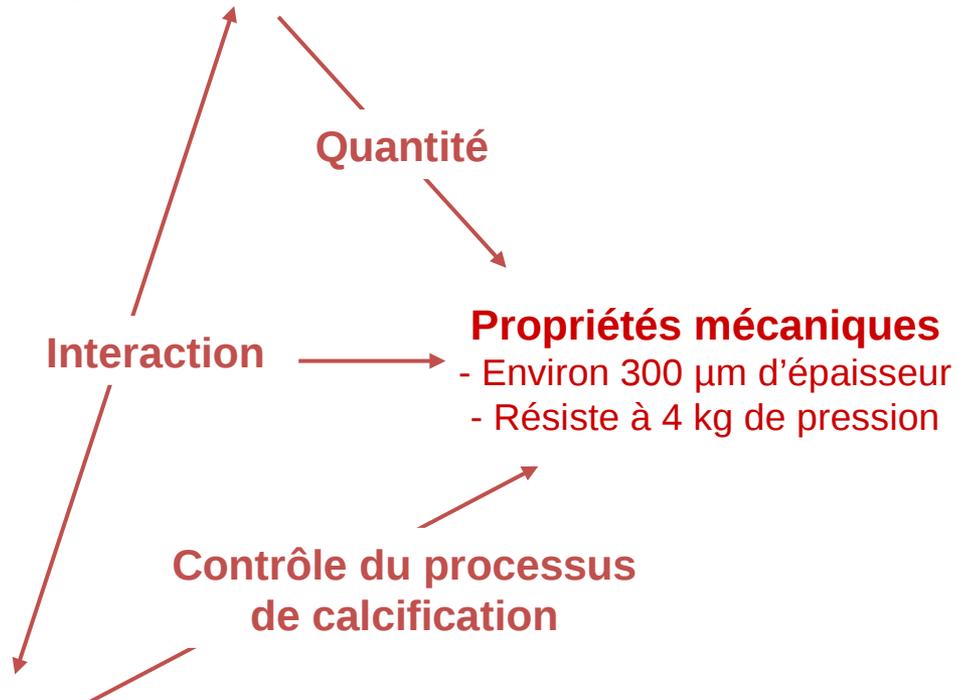


La Biominéralisation

□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

Malgré la diversité de formes et de fonctions, les structures biominérales se forment toujours selon les mêmes principes

□ 95% de carbonate de calcium sous forme de calcite



□ 3,5% de matière organique (matrice organique)

Protéines et protéoglycanes

La Biominéralisation

□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

Malgré la diversité de formes et de fonctions, les structures biominérales se forment toujours selon les mêmes principes

Définir un espace biologiquement compartimenté

- Lieu où le biominéral se formera
- Espace pouvant être:
 - * Cellulaire (cas des êtres unicellulaires type bactéries magnétiques)
 - * Fusion cellulaire pour former une vacuole unique (épine de l'oursin formée dans une vacuole allant jusqu'à 25 cm)
 - * Extra cellulaire (utérus pour la coquille d'oiseaux)

C'est dans cet espace que les entrées ioniques et organiques sont contrôlées pour atteindre les conditions physico-chimiques précises

La Biominéralisation

□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

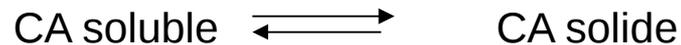
Malgré la diversité de formes et de fonctions, les structures biominérales se forment toujours selon les mêmes principes

Une hypersaturation du milieu

- Les ions constitutifs du minéral doivent se trouver en conditions saturantes



- Le sel CA formé est en équilibre entre 2 formes



Si le produit de solubilité de CA est atteint, la forme solide est favorisée et le sel précipite dans le milieu.

Le milieu est dit « hypersaturé »

La Biominéralisation

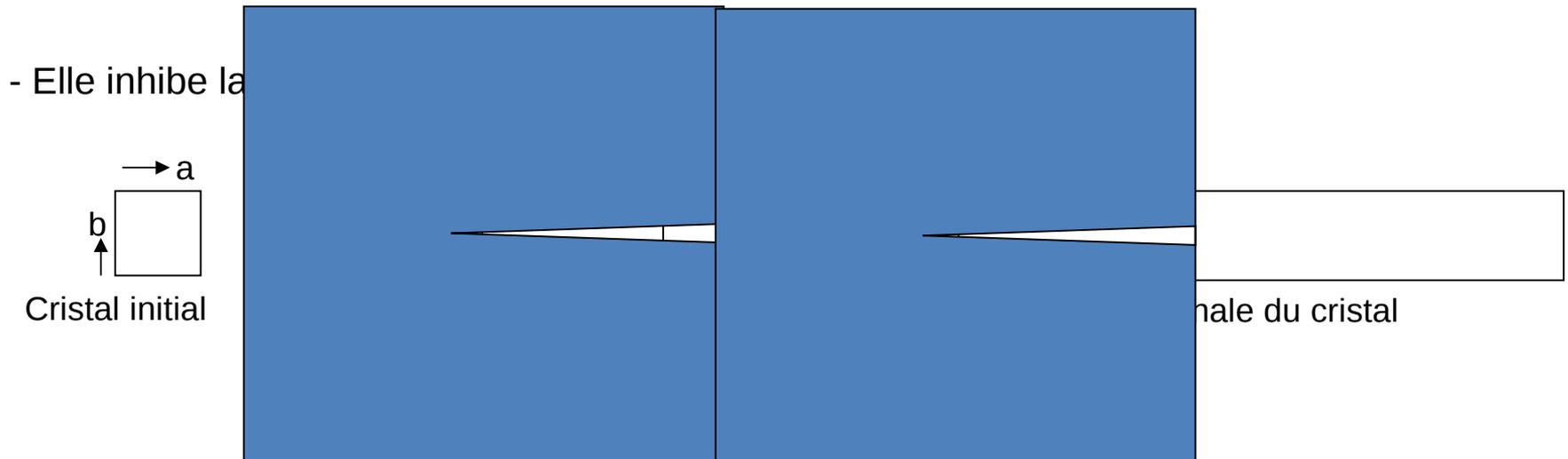
□ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

Malgré la diversité de formes et de fonctions, les structures biominérales se forment toujours selon les mêmes principes

La nucléation et la croissance du minéral

- Les conditions d'hyperméaturation ne sont pas suffisantes à elles seules pour précipiter un sel.
- L'initiation de la cristallisation se fait à partir de sites se trouvant dans le milieu (nucléation)

La matrice organique joue souvent ce rôle dans les biominéraux



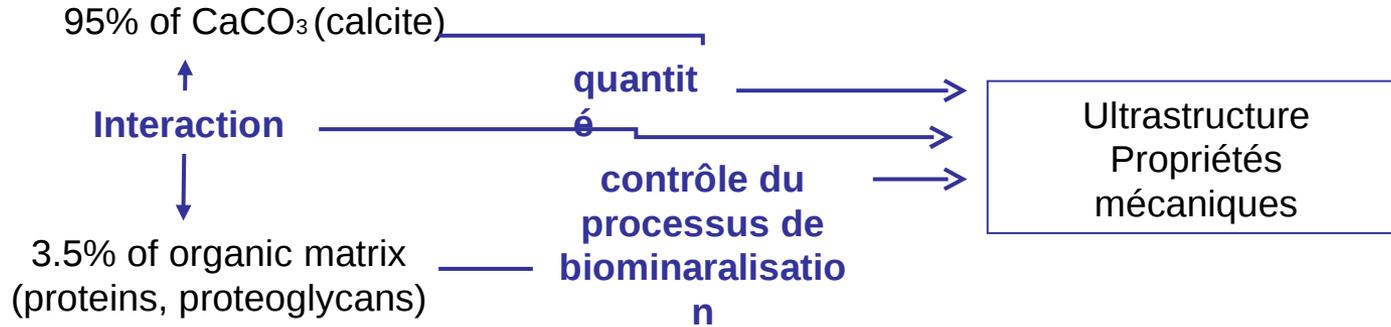
La formation de la coquille des oiseaux, un processus de biominéralisation

- Minéralisation de la coquille se produit dans l'utérus qui constitue un espace compartimenté
- Les cellules de l'utérus sécrètent un fluide acellulaire (liquide utérin) dans lequel se produit la minéralisation
- L'ensemble des constituants minéraux et organiques nécessaires à la formation de la coquille sont présents dans ce milieu
- Le carbonate de calcium précipite à partir du calcium et des bicarbonates du fluide utérin
- Le calcium et les carbonates se trouvent à des concentrations élevées
- Le produit de solubilité est dépassé de 100 fois environ

La matrice organique

✓ Joue un rôle clé

détermine la texture de la coquille et ses propriétés mécaniques

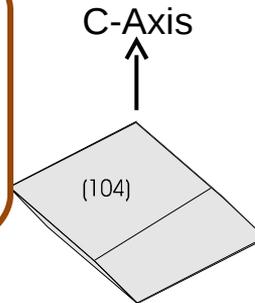


Calcium carbonate (calcite)

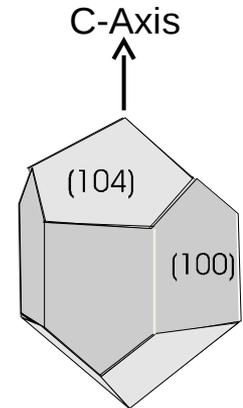


Matrice organique

Orientation et stabilisation des formes de carbonate de calcium
Détermine la morphologie des cristaux de calcite



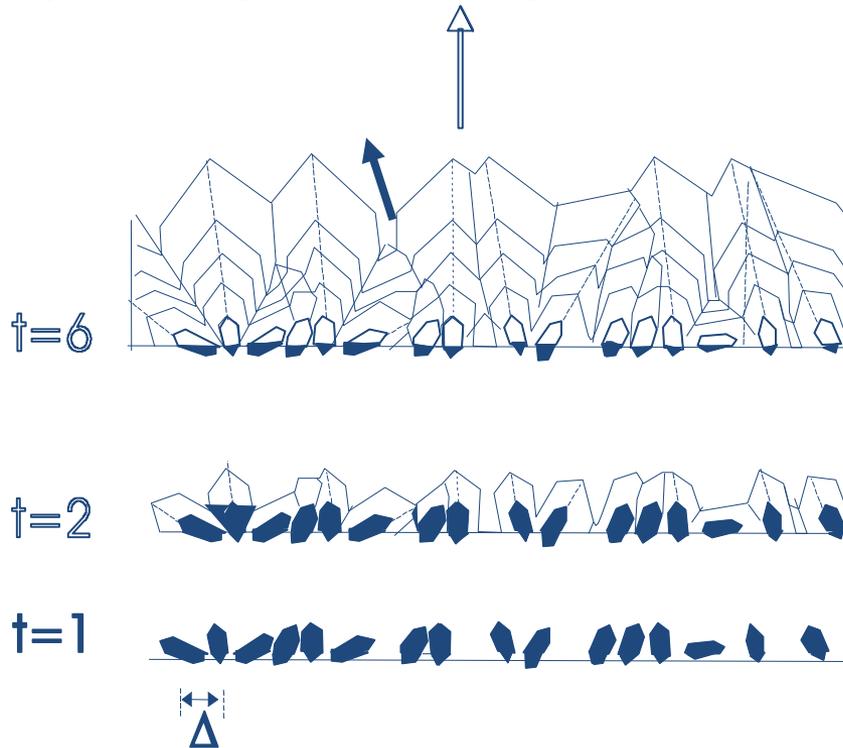
Interaction



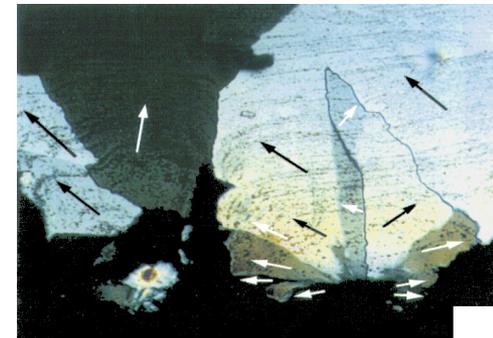
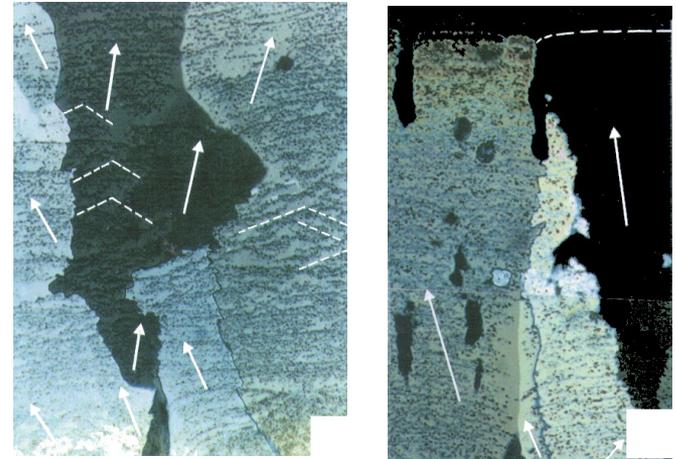
La matrice organique

Détermine la microstructure du biomatériau

- ✓ La coquille des oiseaux est une biocéramique complexe et fortement structurée
- ✓ Croissance cristalline par compétition
- ✓ Les protéines qui se lient au minéral guident la croissance cristalline (contrôle par la matrice).

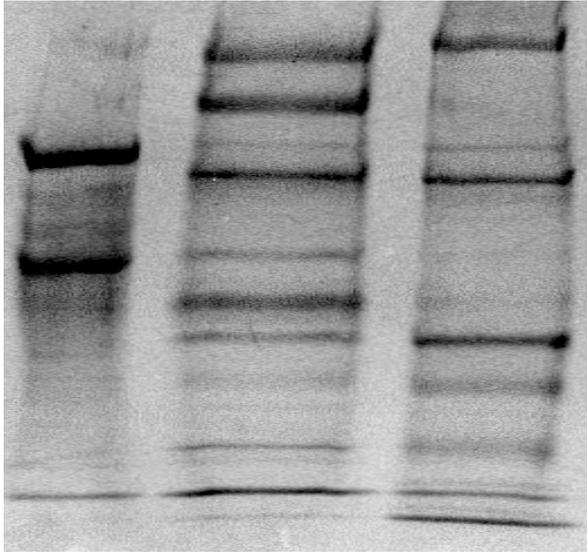


Rodriguez-Navarro et al., 2000; Nys et al., (2004)



Images: J.M. Garcia-Ruiz, Granada

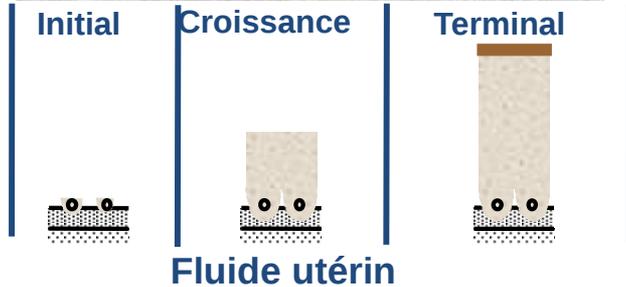
Protéines de la matrice et minéralisation de la coquille



Composition variable du fluide utérin au cours du processus de calcification



Adaptation du contenu organique selon le stade de minéralisation



Identification des protéines de l'œuf

Les techniques classiques

➤ Biochimie (Fractionnement des composés de l'œuf par chromatographie, électrophorèses...) et biologie moléculaire

□ 2006, environ 50 protéines de l'œuf (10 dans la coquille)

Les développements récents

✓ 2004, Publication de la séquence génomique de la poule



✓ Genome-wide non redundant catalog of 33 838 different genes



NCBI UniGene Gallus gallus

PubMed Protein Genome Structure PopSet Taxonomy OMIM

Search UniGene Gallus gallus[organism] Go Clear

Gallus gallus: UniGene Build #46

Lineage: cellular organisms; Eukaryota; Fungi/Metazoa group; Metazoa; Eumetazoa; Bilateria; Coelomata; Deuterostomia; Chordata; Craniata; Vertebrata; Gnathostomata; Teleostomi; Euteleostomi; Sarcopterygii; Tetrapoda; Amniota; Sauropsida; Sauria; Archosauria; Aves; Neognathae; Galliformes; Phasianidae; Phasianinae; Gallus; Gallus gallus

Sequences included in UniGene

Known genes are from GenBank 18 Aug 2012
ESTs are from dbEST through 18 Aug 2012

33,838	mRNAs
683	Models
0	HTC
11,088	EST, 3reads
418,700	EST, 5reads
79,390	EST, other/unknown
543,699	total sequences in clusters

UniGene Links

- Clusters
- Library Browser
- DDD
- Query Tips
- FAQ
- Finding cDNAs

Mise à disposition des techniques « omics » et des outils de data mining pour identifier de nouvelles protéines de l'œuf

✓ cDNA and ESTs libraries
(Identification of 600 434 functional genes in chickens)



Plus de 700 protéines identifiées dans la coquille

Eggshell proteins and physical defence

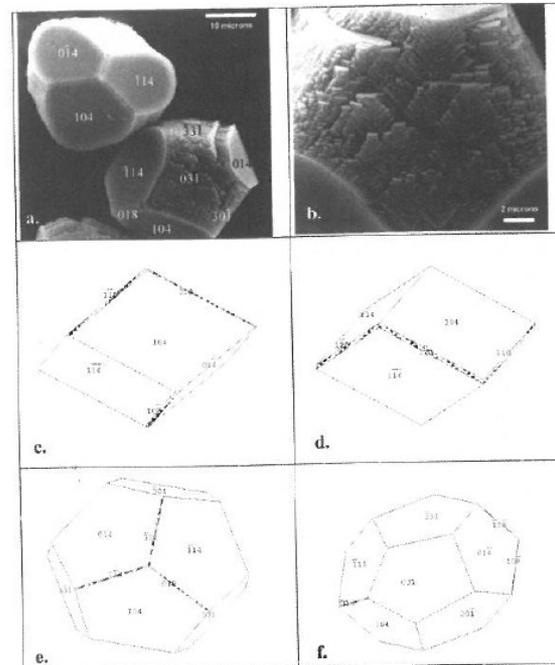
➤ calcification process

✓ Proteins involved in the **biomineralization** of shell

- *OC-17*
- *OC-116*
- *Ovotransferrin*
- *OCX-32*
- *Osteopontin*
- *Lysozyme*

Ovotransferrin is a Matrix Protein of the Hen Eggshell Membranes and Basal Calcified Layer

J. GAUTRON^a, M.T. HINCKE^b, M. PANHELEUX^a, J.M. GARCIA-RUIZ^c, T. BOLDICKE^d and Y. NYS^{a,*}



Proteins interact with minerals to influence the morphology of crystals

Eggshell proteins and physical defence

➤ calcification process

✓ Proteins involved in the **biomineralization** of shell

- OC-17
- OC-116
- Ovotransferrin
- OCX-32
- Osteopontin
- Lysozyme

Angewandte
International Edition
Chemie

DOI: 10.1002/anie.201000679

Biomaterialization

Structural Control of Crystal Nuclei by an Eggshell Protein**

*Colin L. Freeman, John H. Harding, David Quigley, and P. Mark Rodger**

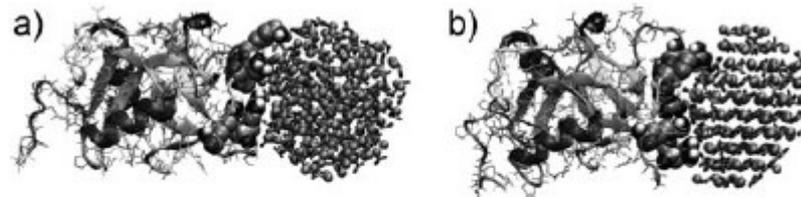
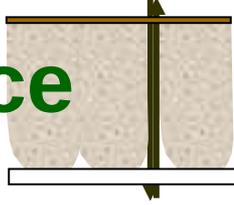


Figure 1. Ovocleidin-17 bound to an amorphous (a) and a crystallized (b) calcium carbonate nanoparticle containing 192 formula units. The

Eggshell proteins and physical defence



➤ calcification process

✓ Proteins involved in the **biomineralization** of shell

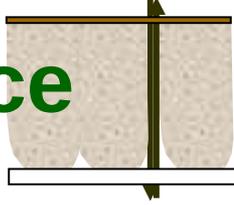
- *OC-17*
- *OC-116*
- *Ovotransferrin*
- *OCX-32*
- *Osteopontin*
- *Lysozyme*

✓ **Calcium binding proteins (CaBPs)** to interact with calcium to favour crystal nucleation or drive the morphology of crystals

Identification of numerous novel CaBPs

- *A total of 23 proteins with EF-hand and EGF-like calcium binding domains are present in the shell*

Eggshell proteins and physical defence



➤ **calcification process**

- Proteins involved in the **proper folding of the eggshell matrix**
- ✓ *An appropriate conformation of proteins is required to ensure calcium and mineral interactions and to ensure template to the mineralized structure*
 - *Molecular chaperone*
 - *Protein assisting folding*
 - *Proteins with interactive properties related to proteoglycans*
- **Regulation of the activity of proteins** related to the shell deposit
- ✓ *Shell mineralisation occurs in a non cellular milieu*
- ✓ *In situ by direct action of proteins to inhibit or activate the molecular actors present in the milieu.*
 - *Molecular chaperone which can interact with proteins might be involved in this regulation process.*
 - *Proteases and proteases inhibitors (specific and controlled role during calcification process, either by degrading proteins or regulating processing of proteins into their mature forms)*

Questions ?

A quoi n'avons nous pas répondu ?

Orientation des recherches et enjeux

- ✓ Socio-économie
 - Perception des consommateurs et conséquences sur les schémas de production
 - Systèmes avicoles innovants et durables
- ✓ Alimentation poule pondeuse et systèmes d'élevage
 - Formulation alimentaire (matière première)
 - Alternatives au soja
 - Effet de différentes sources alimentaires sur la composition en acides gras (œufs enrichis)
 - Allongement de la période de production d'œufs
- ✓ Qualité de l'œuf
 - Les nutriments de l'œuf au bénéfice de la santé de l'homme
 - Substances bioactives issues de l'œuf et leur utilisation comme moyen de prophylaxie des maladies de civilisation
 - Qualité des œufs bio, du point de vue du consommateur et du scientifique

Orientation des recherches et enjeux

- ✓ Sécurité alimentaire (microbiologie et sécurité)
 - Contrôle des contaminations bactériennes (selon systèmes de productions, lors de la transformation, lors de la commercialisation, lors de l'utilisation)
 - Les campylobacter, les salmonelles, comment s'en protéger ?
 - Améliorer les défenses naturelles des œufs.

- ✓ Sélection et génétique
 - Sélectionner des animaux adaptables pour le bio, pour les pays chauds, pour ???
 - Comprendre le génome de la poule

- ✓ Propriétés technologiques des œufs et des produits d'œufs
 - ✓ Les ovoproduits
 - ✓ Utilisation des Anticorps du jaune
 - ✓ Utilisation non alimentaire des produits d'œufs
 - ✓ Valorisation des membranes coquillières

Orientation des recherches et enjeux

Video 1, La chimie de l'oeuf

Video 2 FRPO

Equipe « *Fonction et régulation des protéines de l'œuf* »

Coordinateurs: Y. Nys puis J. Gautron

Caractérisation des défenses naturelles de l'œuf

I. Analyse exhaustive des protéines de l'œuf

Analyse des constituants moléculaires responsables de la formation et des grandes fonctions biologiques de l'œuf

(Transcriptomique, protéomique, analyse bioinformatique)

J. Gautron, S. Réhault-Godbert, A. Brionne, Y. Nys

II. Caractérisation fonctionnelle des molécules de l'œuf

- ✓ Défense physique (Biominéralisation) J. Gautron, Y. Nys, A. Brionne
- ✓ Défense physicochimique N. Guyot, Y. Nys, S. Réhault-Godbert
- ✓ Défense moléculaire S. Réhault-Godbert, N. Guyot, J.C. Poirier, M. Chessé
- ✓ Autres activités biologiques S. Réhault-Godbert, N. Guyot, J.C. Poirier, M. Mills

III. Variabilité des défenses de l'œuf

- ✓ Génétique Y. Nys, J. Gautron
- ✓ Par l'environnement de la poule et de l'œuf N. Guyot, Y. Nys, M. Chessé
- ✓ Au cours du développement embryonnaire S. Réhault-Godbert, M. Mills

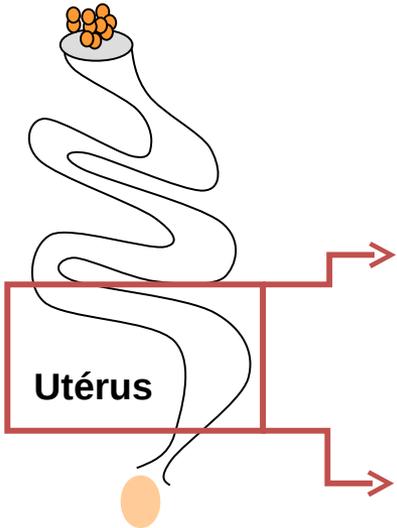
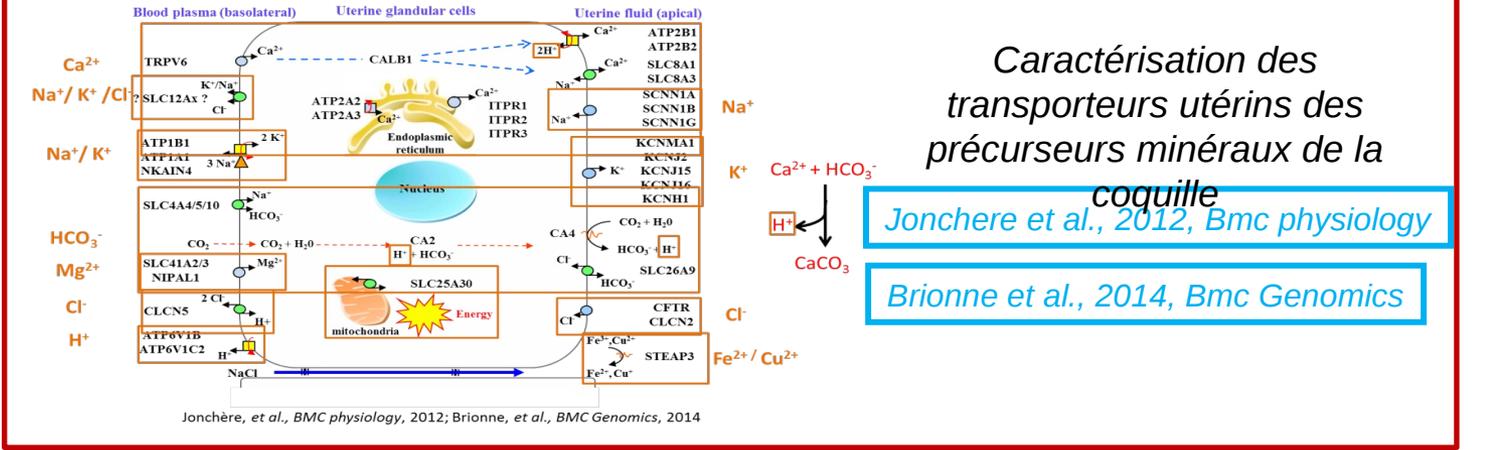
***Valoriser les molécules issues de l'œuf ou dérivés
Garantir et renforcer la qualité sanitaire des œufs***

II. Caractérisation fonctionnelle des molécules de l'œu

Défense physique (biominéralisation de la coquille)

Déterminants des propriétés mécaniques de la coquille ?

Apport de la grande quantité de minéraux nécessaires à la formation de la coquille



Processus de biomineralisation et matrice organique

Interaction matrice-minéraux

- * Mesures physiques in situ
- * Mesures in vitro

Thèse P. Marie (2011-2014)
 Collaboration université de Grenade (Espagne)
 Collaboration université Ottawa

ANR IMPACT (2013-2017)

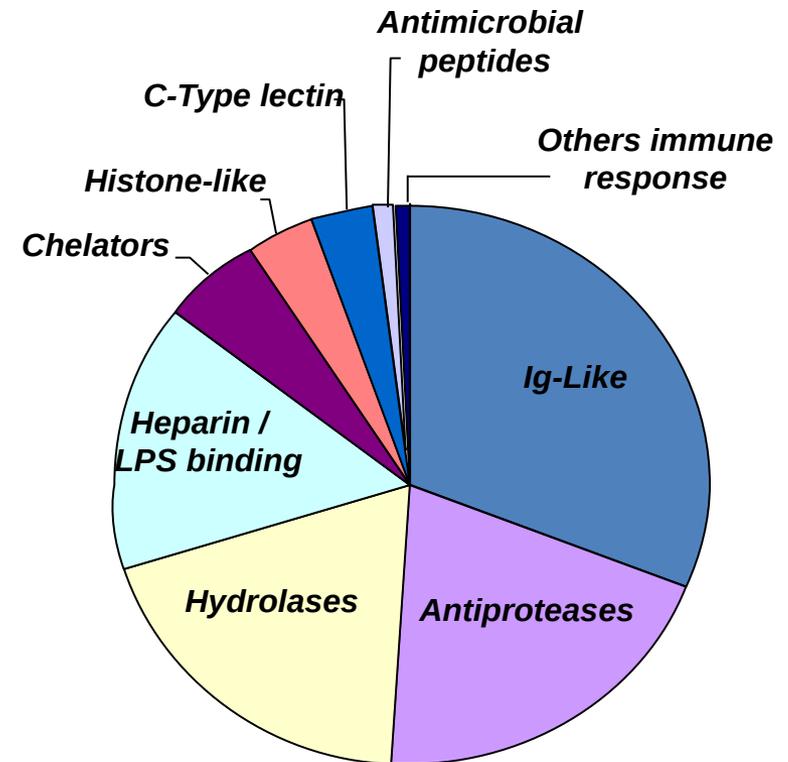
Caractérisation des Protéines de la matrice organique

- * Pintades, poules
- * protéomique, NGS

Défense moléculaire (protéines antimicrobiennes de l'œuf)

Analyse bioinformatique des protéines antimicrobiennes

90 Protéines potentiellement antimicrobiennes dans les divers compartiments de l'œuf



I. Analyse exhaustive des protéines

II. Caractérisation des défenses

III. Variabilité des défenses

Défense moléculaire (protéines antimicrobiennes de l'œuf)

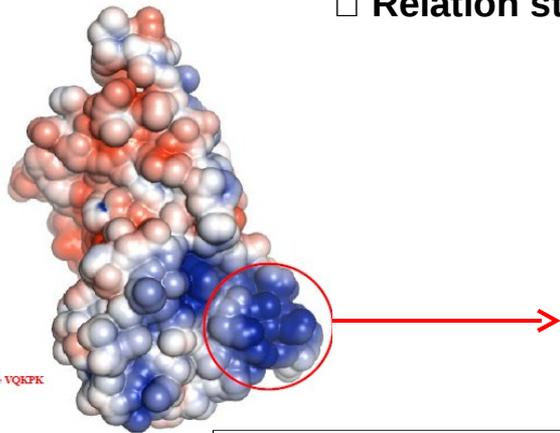
Purification et caractérisation de protéines antimicrobiennes



INRA, PRC-PAIB, Tours
INRA, ISP, Tours
CBM, CNRS, Orléans
University Ottawa, Canada

OVAX: Protéine liant l'héparine et antibactérienne

□ Relation structure-fonction [Réhault-Godbert et al., 2013, J Biol Chemistry](#)



Minimal active concentration of purified OVAX, ovalbumin, and av-BD11 (positive control)

MAC indicates minimum active concentration (corresponding to a 0.5-mm clear zone). Gram+, Gram positive; Gram-, Gram negative.

Bacterial group/strains	MAC (μM) \pm S.D.		
	AvBD11	Ovalbumin	OVAX
<i>L. monocytogenes</i> (Gram+)	0.90 \pm 0.83	>28	1.90 \pm 0.49
<i>S. aureus</i> ATCC 29740 (Gram+)	7.73	>37	>37
<i>S. enterica</i> sv. Enteritidis ATCC 13076 (Gram-)	0.79 \pm 0.49	>51	10.02 \pm 1.36
<i>E. coli</i> ATCC 25922 (Gram-)	1.6	>37	>37

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

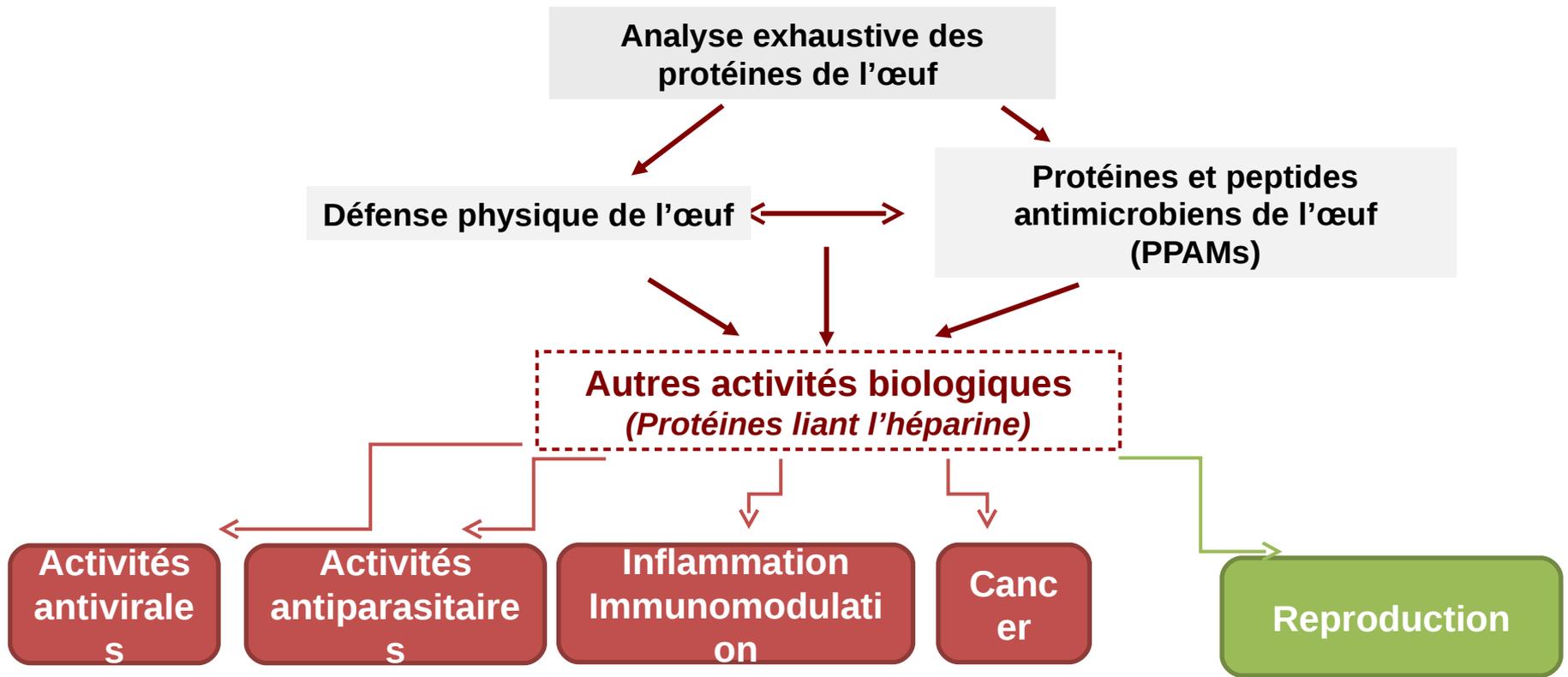
(43) Date de la publication internationale
8 décembre 2011 (08.12.2011)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/151407 A1

Ovoinhibiteur [Bourin et al., 2012, J Agric Food Chemistry](#) Thèse Marie Bourin (2009-2012)

Gallin [Hervé et al., 2014, J Biol Chemistry](#)

Autres protéines en cours de caractérisation (pleiotrophine, AvBD-10, VMO-I ...)



Medicinal USE of Eggs (MUSE) (2014-2016)



Région Centre

**Crédit incitatif
Phase EGG-Sperm
(2013-2014)**



CBM
Orléans



UR83, UMR-
PRC, ISP
Nouzilly



Tours

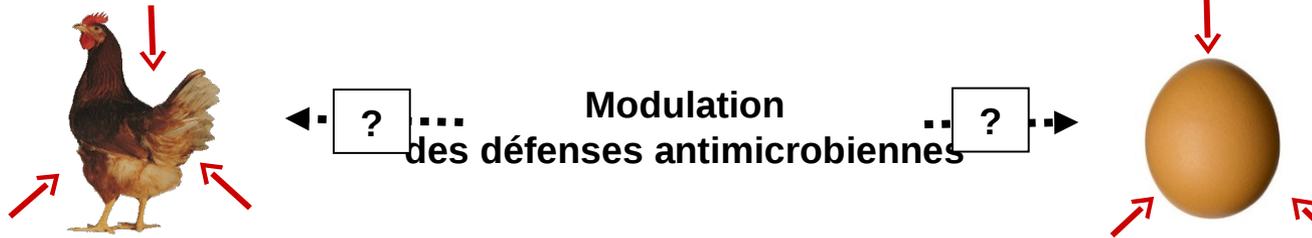
« Ambition Recherche
Développement 2020 »
Biomédicaments

CDR MufoPAM (2014-2018) (multifonction des peptides antimicrobiens)

Potentiel d'utilisation et de valorisation des molécules à activités biologiques identifiées

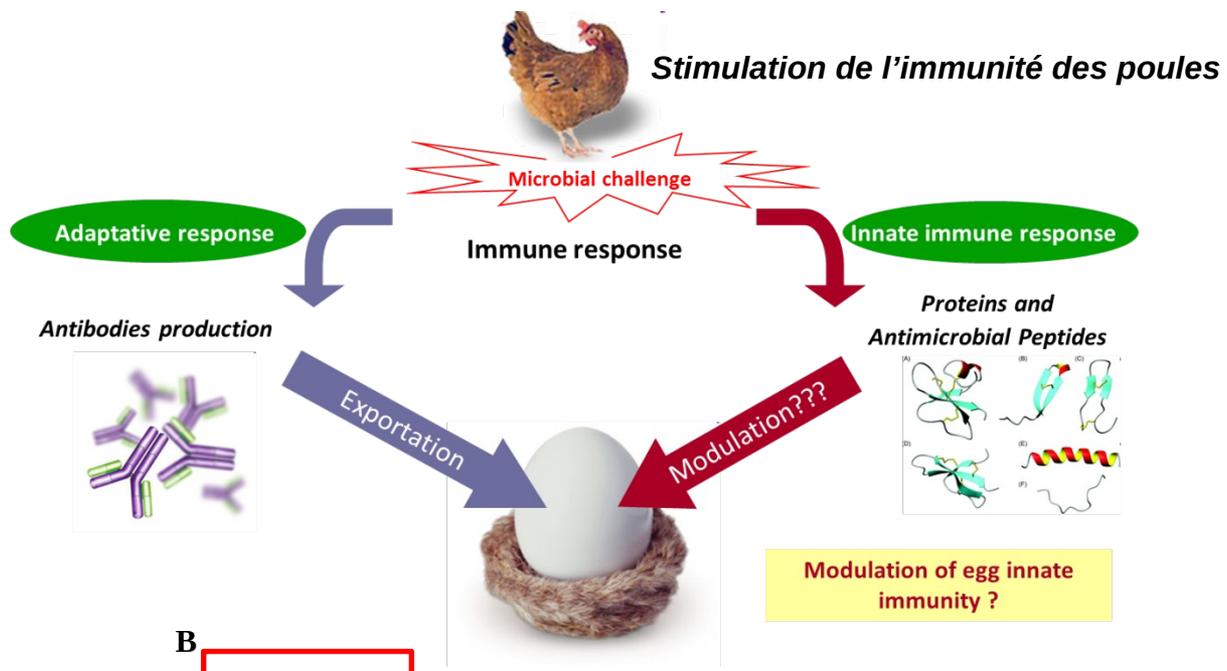
☐ Valorisation non alimentaire

Par l'environnement de la poule et de l'œuf

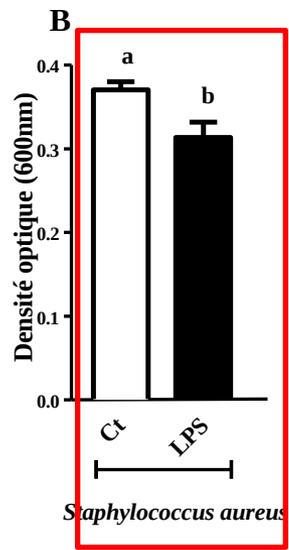


Adaptation des conditions d'élevage (pondeuses, reproductrices)

Par l'environnement de la poule et de l'œuf



Thèse Larbi Bedrani (2010-2013)



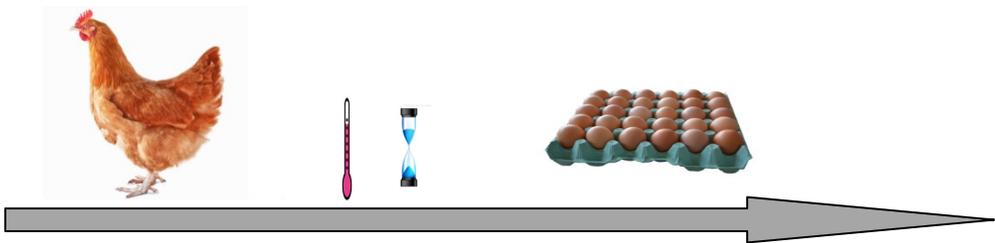
Bedrani et al., 2012, Veterinary immunology and immunopathology

Bedrani et al., 2013, BMC Microbiology

Par l'environnement de la poule et de l'œuf

INRA, STLO, Rennes
INRA, UE-PEAT, Tours
INRA, PAIB-PRC, Tours
ITAVI

Projet **ELIPSE** : Enhance the **L**evel of **I**nternal **P**rotections of **S**hell **E**ggs



Poule
☐ âge, coup de chaleur

Conditions de conservation des œufs
☐ temps, ☐ température

☐ qualité physico-chimique de l'œuf

? ↓ ?
Régulation des défenses internes de l'œuf
☐ ou ☐

Impacts économique et sanitaire

1. **Etude de la variabilité des défenses internes de l'œuf**
2. **Identification des mécanismes moléculaires**
3. **Recherche de leviers pour restaurer la qualité interne des œufs**
4. **Transfert de connaissances et d'outils vers la filière**

Soumis à l'ANR en 2014

Equipe Fonction et Régulation des Protéines de l'Œuf

l'Œuf

Compétences

Physiologie aviaire
Zootechnie
Biominéralisation
Transcriptomique
Analyse bioinformatique
Biologie moléculaire
Techniques séparatives
Biochimie
Activités antimicrobiennes

Analyse exhaustive des protéines de l'œuf

Caractérisation fonctionnelle des molécules de l'œuf

Variabilité des défenses

Contributions

Enseignement, expertise (ANR, comités éditoriaux...)
Organisation de congrès (JRA, WPSA, JFBTM...)
Vice-présidence de la branche européenne de la WPSA
Sociétés savantes (WPSA, SFBTM, GDR...)
Activité de conseil en alimentation de la poule pondeuse, qualité de l'œuf
Edition (productions animales, livre woodhead..)
Membre comité d'experts spécialisés

Approches Globales

Transcriptomique, Bioinformatique
INRA, Sigenae
INRA, CRB GADIE, Jouy en Josas
INRA UMR 0444 LGC, Toulouse

Analyses protéomiques
INRA, PRC, PAIB, Tours
Max Planck, Allemagne

Biominéralisation

Protéines de la coquille
Université d'Ottawa, Canada

Analyses texturales-Interactions matrice-minéraux
Université de Grenade, Espagne

Défense moléculaire

Structure, fonction
INRA-PRC, Tours
CNRS, CBM Orléans
INSERM, CEPR, TOURS

Activités antimicrobiennes
INRA, ISP, Tours
INRA, Agrocampus, STLO, Rennes

Variabilité des systèmes

Génétique
INRA, SAQSE, UR83, Tours
Roslin Institute, Ecosse
MTT, Finlande

Moyens, appels d'offres, thèses

2011

2012

2013

2014

2015

2016

I-Analyse intégrative



II-Caractérisation fonctionnelle



III-Variabilité



Marie Bourin (2009-2011)

Pauline Marie (2011-2014)

Larbi Bedrani (2010-2013)

Mylène DA SILVA (2014-2017)

