



Apport des techniques à haut débit pour l'identification des gènes et des protéines impliqués dans un processus physiologique

Joël Gautron

► To cite this version:

Joël Gautron. Apport des techniques à haut débit pour l'identification des gènes et des protéines impliqués dans un processus physiologique. Doctorat. M2R physiopathologies. Analyse des génomes: aspects fondamentaux et approches méthodologiques, Tours (Online), France. 2021. hal-04217878

HAL Id: hal-04217878

<https://hal.inrae.fr/hal-04217878>

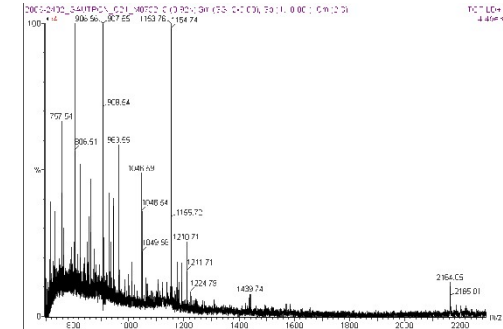
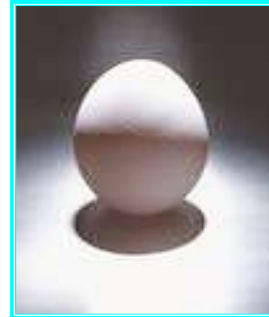
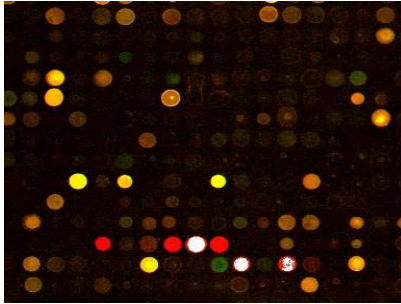
Submitted on 26 Sep 2023

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.

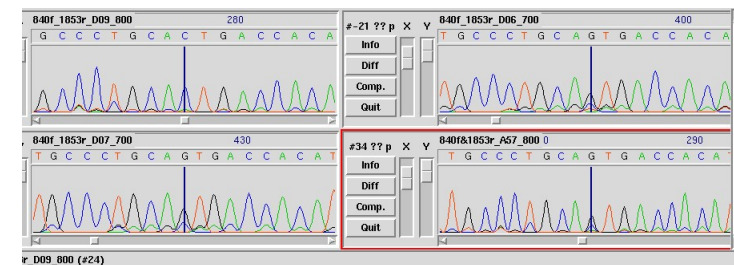
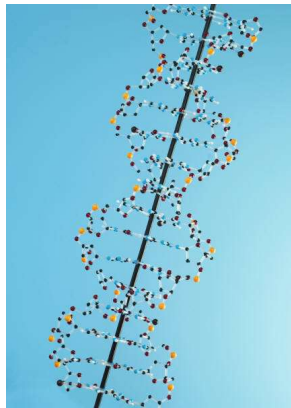


Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Apport des techniques à haut débit pour l'identification des gènes et des protéines impliqués dans un processus physiologique

Joël GAUTRON, UMR Biologie des Oiseaux et Aviculture
INRAE, Université de Tours, 37380 Nouzilly, France



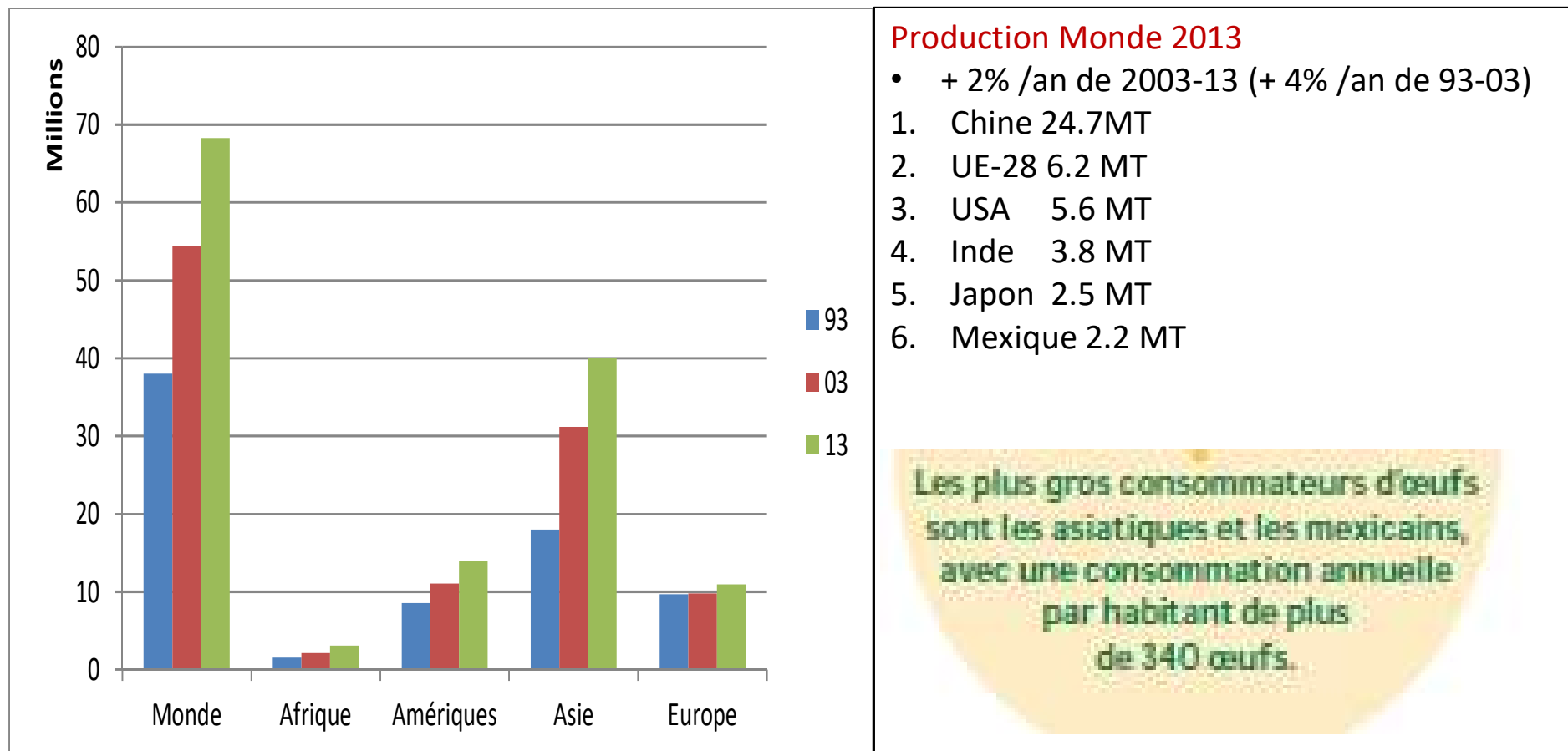
Plan

- I. Introduction
- II. Approches à haut débit pour identifier les protéines déposées dans l'œuf d'oiseau
 - 1. Généralité – stratégie expérimentale
 - 2. Utilisation combinée des banques et outils
 - 3. Transcriptome de l'œuf
 - 4. Protéome de l'œuf
- III. Mieux comprendre les défenses de l'œuf grâce aux approches à haut débit
 - Défense physique (coquille)
 - a) Protéines de la matrice organique et biominéralisation
 - b) Caractérisation fonctionnelle des protéines de la matrice
 - c) Avancées récentes en génomique pour améliorer la solidité de la coquille
- IV. Conclusion



68.2 MT d'œufs produites dans le Monde en 2013

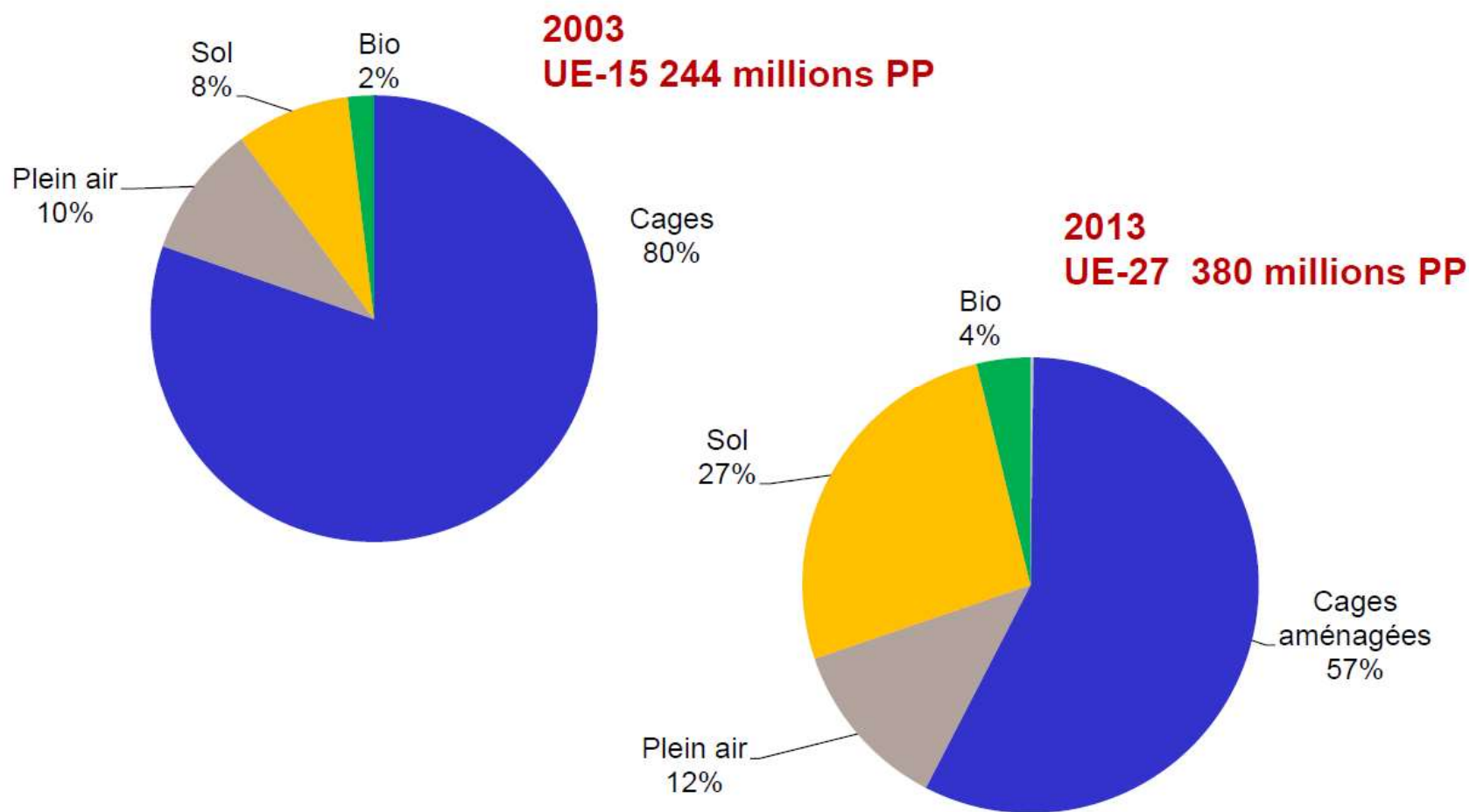
> 1200 Milliards d'œufs chaque année



Itavi d'après FAO, Commission et FranceAgriMer



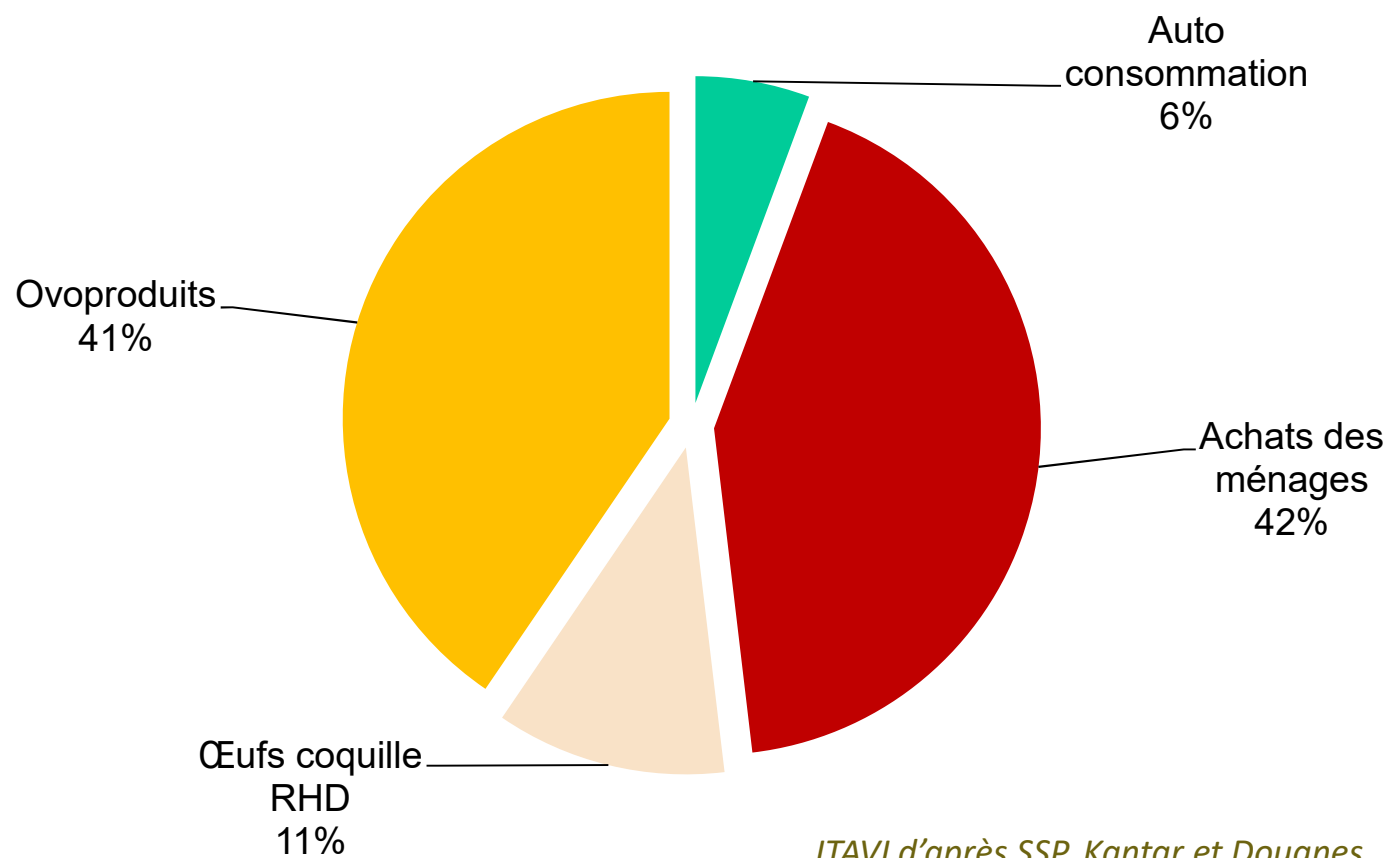
Evolution des systèmes de production dans l'UE



Source Commission européenne



Répartition de la consommation globale française en 2013



ITAVI d'après SSP, Kantar et Douanes



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



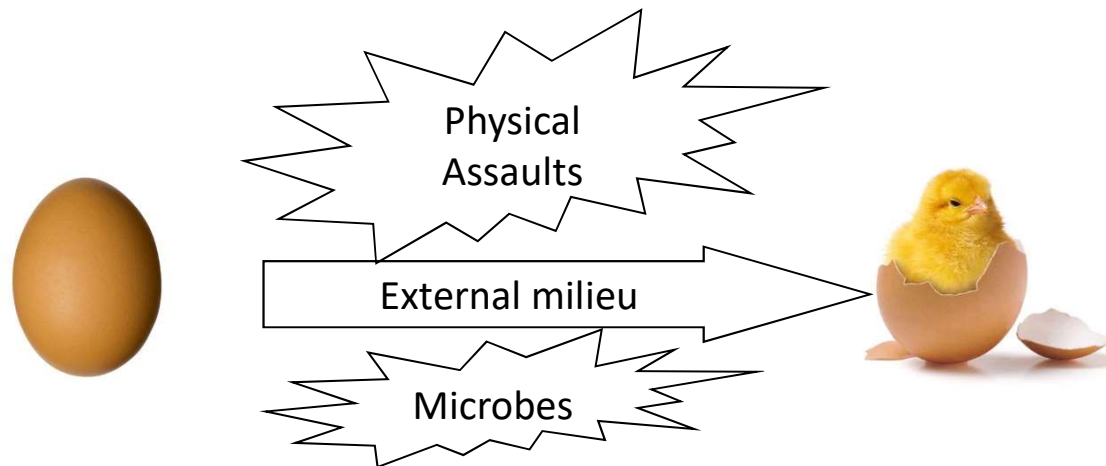
L'œuf de poule

- ✓ Ingrédient de base pour la consommation humaine
(Éléments nutritionnels parfaitement équilibrés)

Chambre isolée pour permettre le développement de l'embryon

Doit contenir la totalité des composants nécessaires au développement embryonnaire

→ **Systèmes de protection (défenses naturelles de l'œuf)**



→ **Source majeure de composés avec un large spectre d'activités biologiques**

Valorisation alimentaire et non alimentaire de l'œuf et des produits d'œufs

L'œuf de poule

- ✓ Ingrédient de base pour la consommation humaine
(Éléments nutritionnels parfaitement équilibrés)

Chambre isolée pour permettre le développement de l'embryon

→ Rôle central des protéines déposées dans l'œuf

→ Identification et caractérisation des protéines de l'œuf

→ Source majeure de composés avec un large spectre d'activités biologiques

Valorisation alimentaire et non alimentaire de l'œuf et des produits d'oeufs



Plan

- I. Introduction
- II. Approches à haut débit pour identifier les protéines déposées dans l'œuf d'oiseaux
 - 1. Généralité – stratégie expérimentale
 - 2. Utilisation combinée des banques et outils
 - 3. Transcriptome de l'œuf
 - 4. Protéome de l'œuf
- III. Mieux comprendre les défenses de l'œuf grâce aux approches à haut débit
 - Défense physique (coquille)
 - a) Protéines de la matrice organique et biominéralisation
 - b) Caractérisation fonctionnelle des protéines de la matrice
 - c) Avancées récentes en génomique pour améliorer la solidité de la coquille
- IV. Conclusion



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, 3'reads
418,700	EST, 5'reads
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)



dbEST: database of "Expressed Sequence Tags"

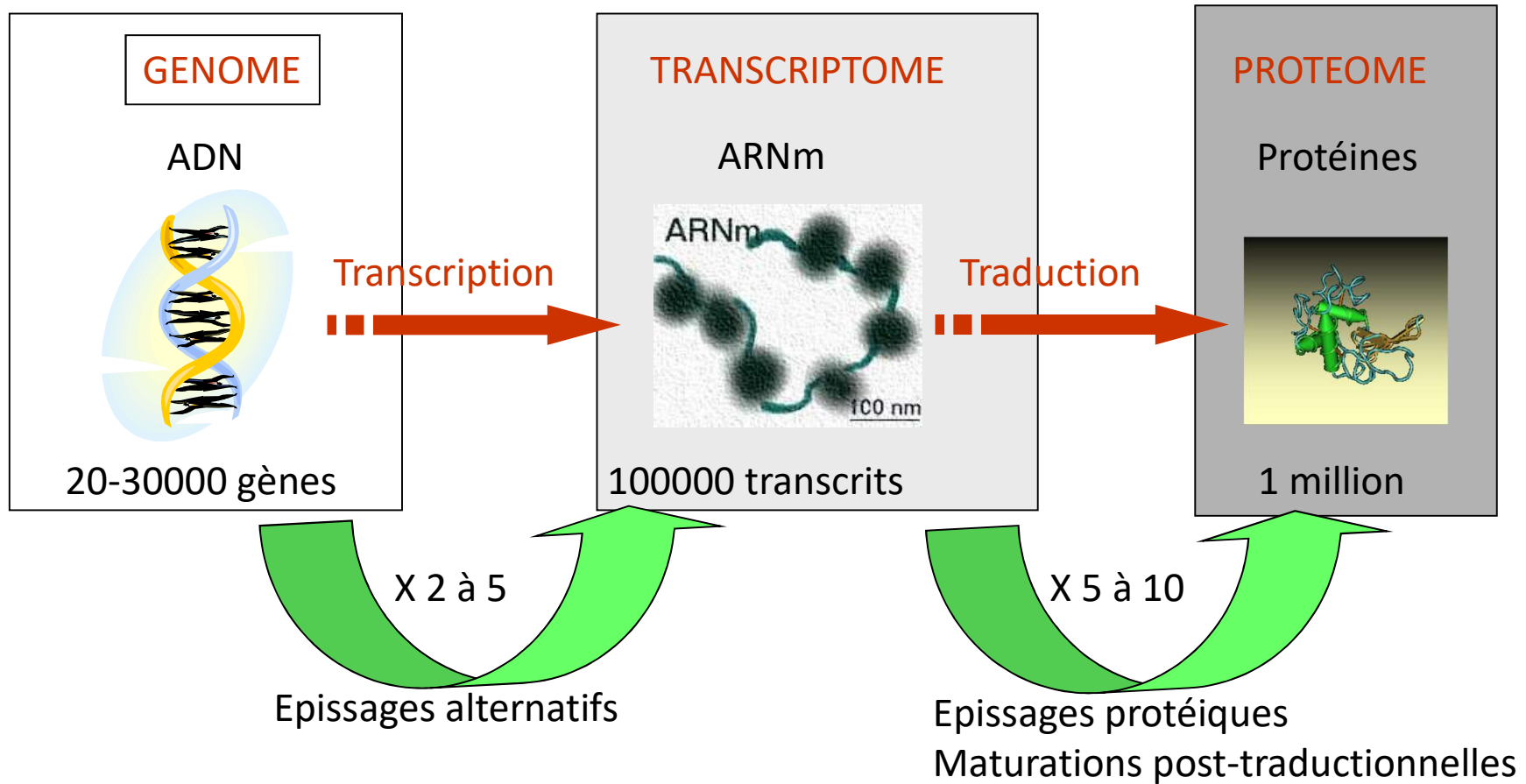
dbEST release 130101



Les banques cDNA et EST

Le but

* Identifier les gènes fonctionnels



Les banques EST

Le but

- * Identifier les gènes fonctionnels

Méthode

- * Un catalogue compréhensible de l'ensemble des séquences d'un organisme ou d'un tissu spécifique ou d'une fonction biologique

Recueil des tissus:

Nombreuses fonctions biologiques :
(Tissus reproducteurs, système digestif, Système nerveux central, foie, intestin, rate, ...)

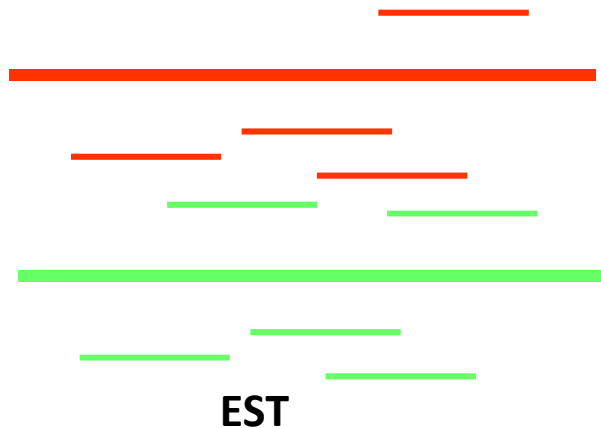
Différentes conditions :
(embryons, jeunes, adultes, males, femelles, facteurs nutritionnels...)

→ ARNm → cDNAs

↙
Clonage dans
des bactéries

↙
**Séquence partielle du
cDNA cloné (EST)**

Les banques EST



Assembled into a genome-wide non-redundant
catalog of expressed genes
(Unigenes)

Main projects for poultry:

University Delaware (<http://www.chickest.udel.edu/>)

University of Manchester (<http://www.chick.umist.ac.uk/index.html>)

Inra (<http://www.sigenae.org>)



dbEST: database of "Expressed
Sequence Tags"

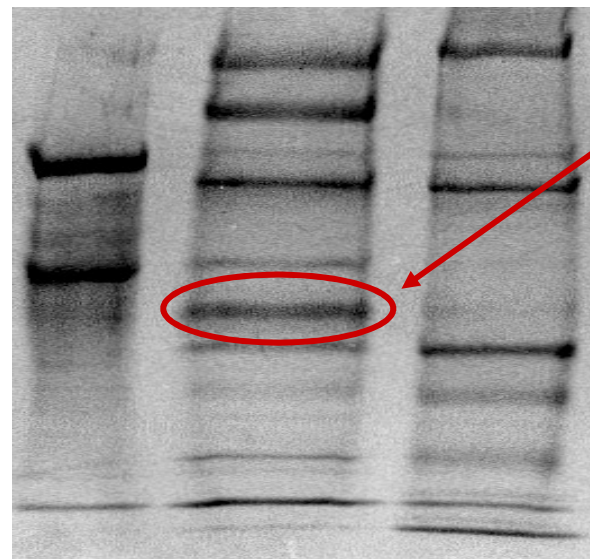
dbEST release 130101

600 434 séquences (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/dbEST/dbEST_summary.html) **pour 260 460 contigs et 129 842
singlets** (http://public-contigbrowser.sigenae.org:9090/Gallus_gallus/index.html)



Utilisation combinée des banques cDNA, EST, génomique et des outils de bioinformatique

Ovocalyxin-36, une protéine de la matrice organique de la coquille

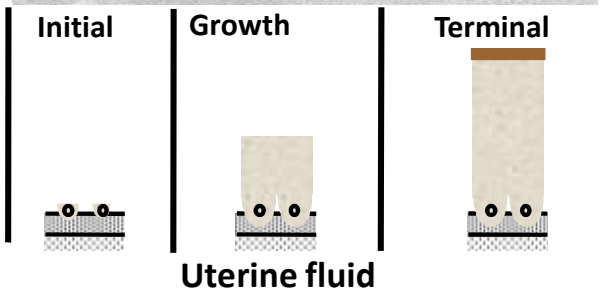


36 kDa Band

N-terminal Amino acid sequencing :
VLGSGLSCAISPRAMQQVLSDAIIQTGGL

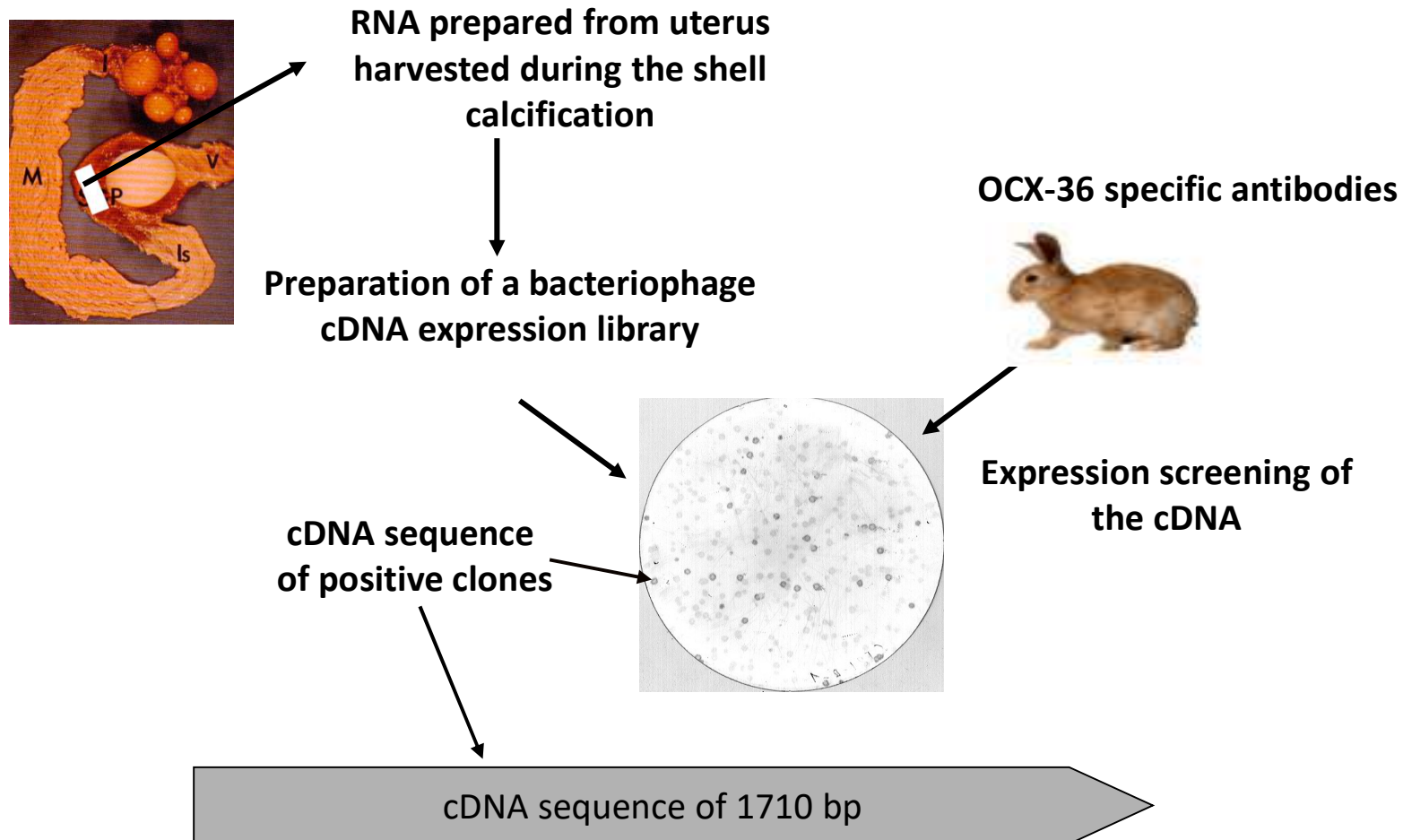
No correspondences in databases

Specific antibodies



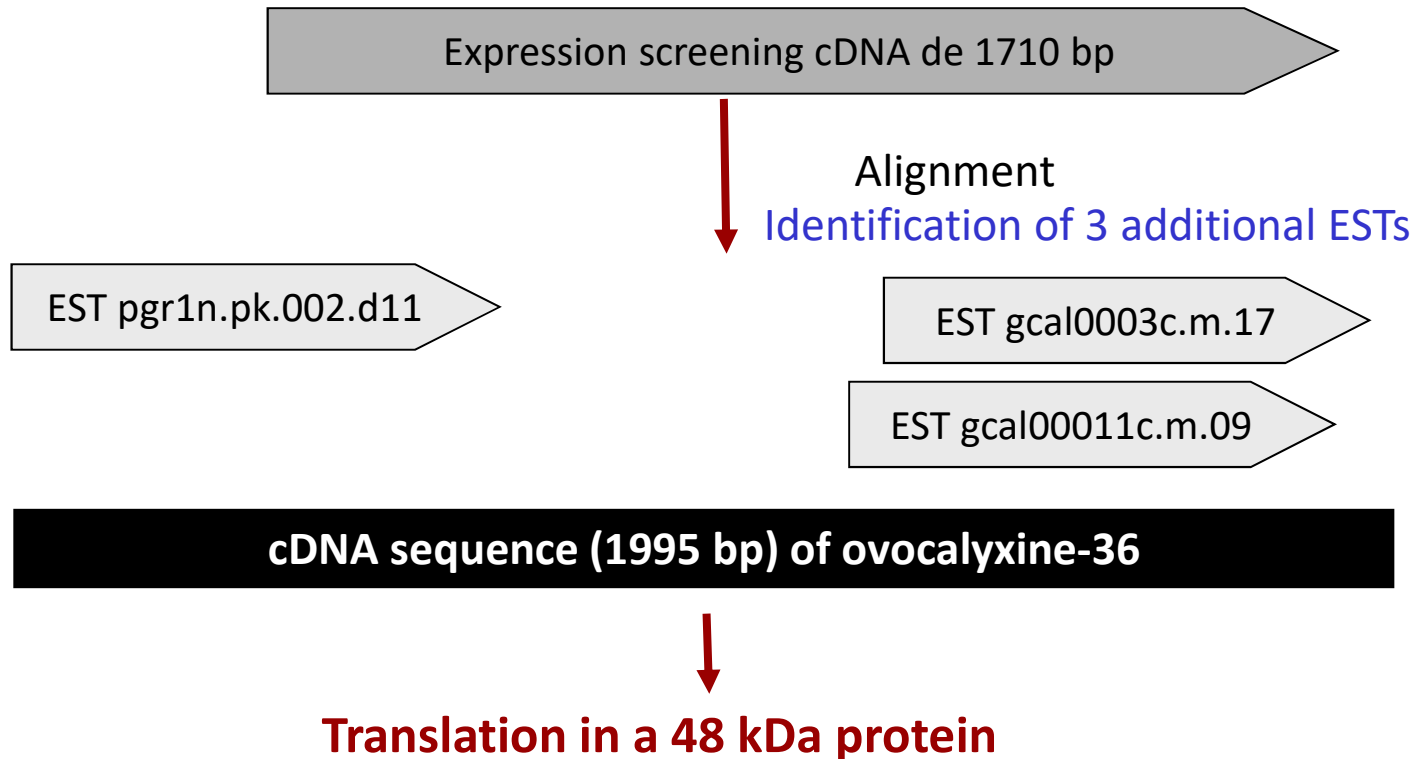
Utilisation combinée des banques cDNA, EST, génomique et des outils de bioinformatique

Ovocalyxin-36, une protéine de la matrice organique de la coquille



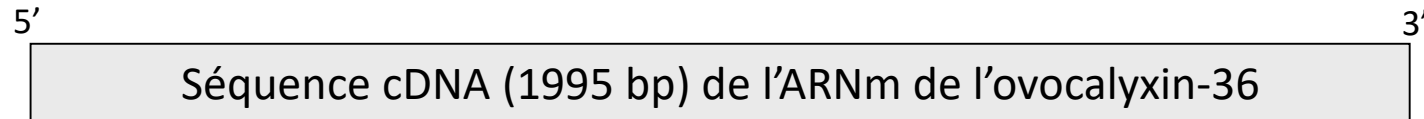
Utilisation combinée des banques cDNA, EST, génomique et des outils de bioinformatique

Ovocalyxin-36, une protéine de la matrice organique de la coquille



Utilisation combinée des banques cDNA, EST, génomique et des outils de bioinformatique

Ovocalyxin-36, une protéine de la matrice organique de la coquille

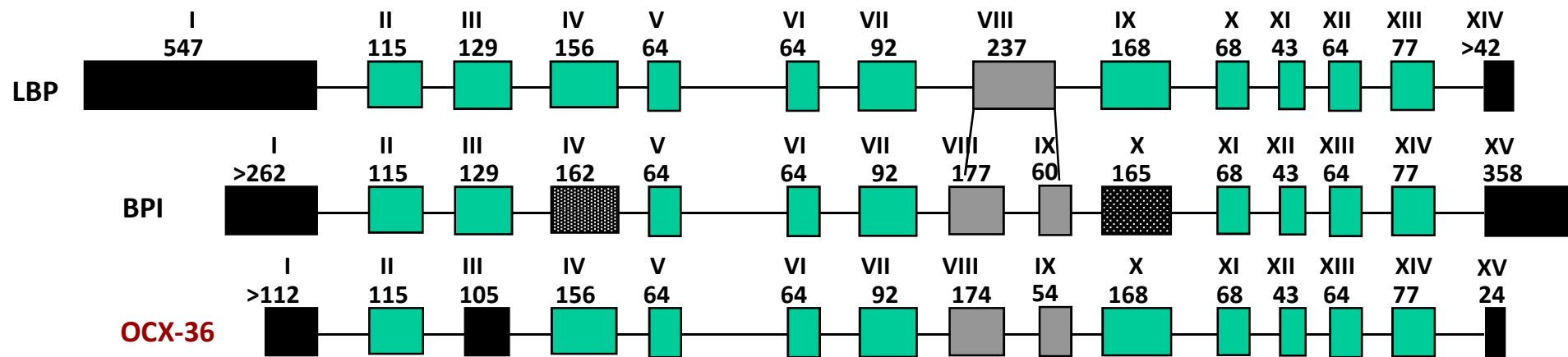


Identification de la séquence génomique de l'ovocalyxine-36
Chromosome 20
Position 9834141 et 9842177

Utilisation combinée des banques cDNA, EST, génomique et des outils de bioinformatique

Ovocalyxin-36, une protéine de la matrice organique de la coquille

Architecture du gène



Gènes apparentés

Ovocalyxine-36, protéine apparentée à LBP/BPI et Plunc

Se lie au lipopolysaccharide (LPS) de la paroi des bactéries à Gram négatif
Mort de la bactérie

Reconnaissance précoce des produits bactériens dans le système respiratoire supérieur chez les mammifères

Ovocalyxin-36

H. sapiens Chr 20 *M. domestica* Chr 1 *G. Gallus* Chr 20 *O. latipes* Ultra90

BIOLOGY OF REPRODUCTION 83, 893–900 (2010)
Published online before print 11 August 2010.
DOI 10.1095/biolreprod.110.085019

Minireview

What Makes an Egg Unique? Clues from Evolutionary Scenarios of Egg-Specific Genes¹

Xin Tian,^{3,4,5,6} Joel Gautron,⁷ Philippe Monget,^{3,4,5,6} and Géraldine Pascal^{2,3,4,5,6}

UMR85,³ Physiologie de la Reproduction et des Comportements, INRA, Nouzilly, France
UMR6175,⁴ CNRS, Nouzilly, France
Université François Rabelais de Tours,⁵ Tours, France
Haras Nationaux,⁶ Nouzilly, France
UR83 Recherches Avicoles,⁷ INRA, Nouzilly, France

Developmental and Comparative Immunology xxx (2010) xxx–xxx

Contents lists available at ScienceDirect

Developmental and Comparative Immunology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/dci



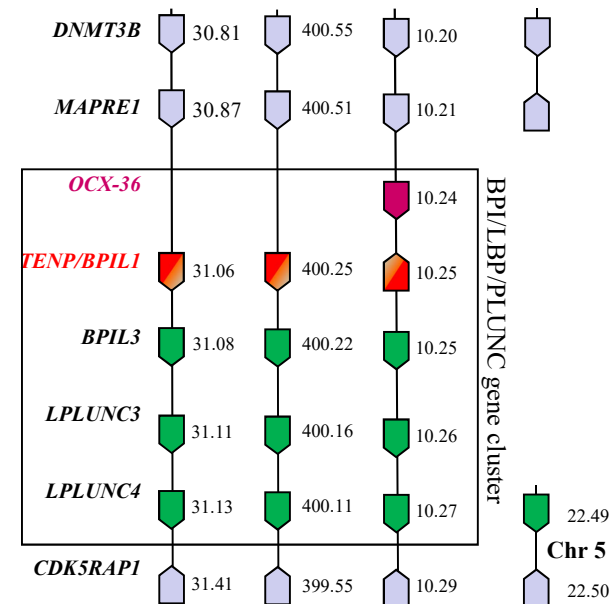
Identification and characterisation of the BPI/LBP/PLUNC-like gene repertoire in chickens reveals the absence of a LBP gene[☆]

Shih-Chieh Chiang^{a,1}, Edwin J.A. Veldhuizen^b, Frances A. Barnes^a, C. Jeremy Craven^c, Henk P. Haagsman^b, Colin D. Bingle^{a,*}

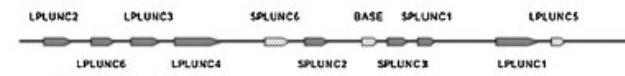
^a Academic Unit of Respiratory Medicine, Department of Infection and Immunity, University of Sheffield, Sheffield S10 2TF, UK

^b Department of Infectious Diseases and Immunology, Faculty of Veterinary Medicine, Utrecht University, P.O. Box 80.165, 3508 TD Utrecht, The Netherlands

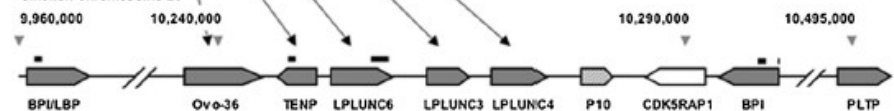
^c Krebs Institute for Biomolecular Research, Department of Molecular Biology and Biotechnology, University of Sheffield, Sheffield S10 2TN, UK



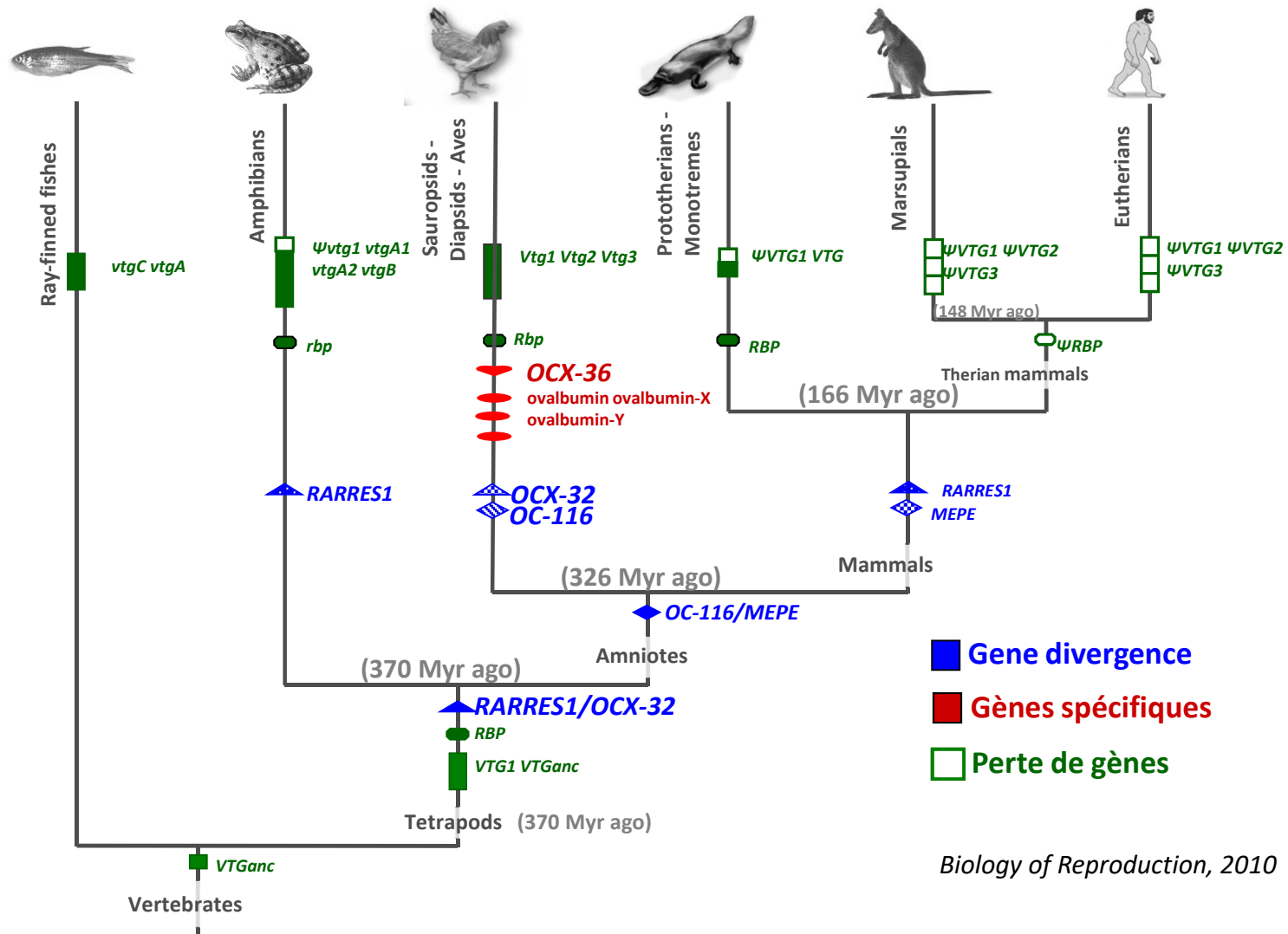
Human Chromosome 20



Chicken Chromosome 20



Evolution des gènes



Biology of Reproduction, 2010

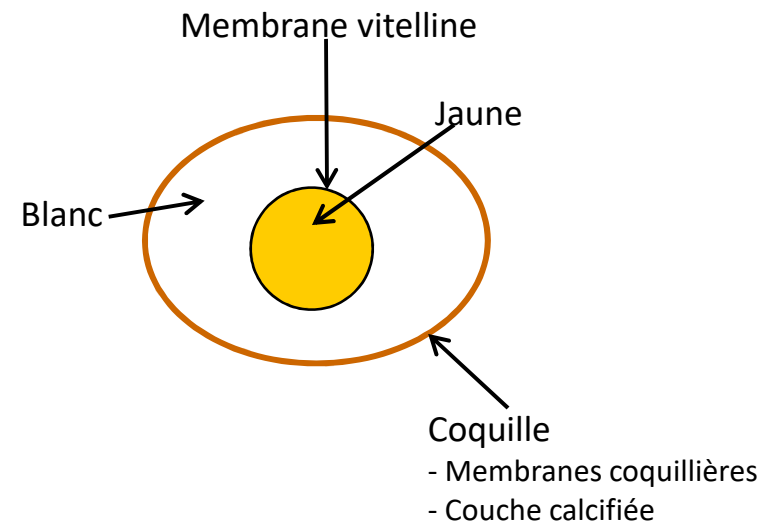
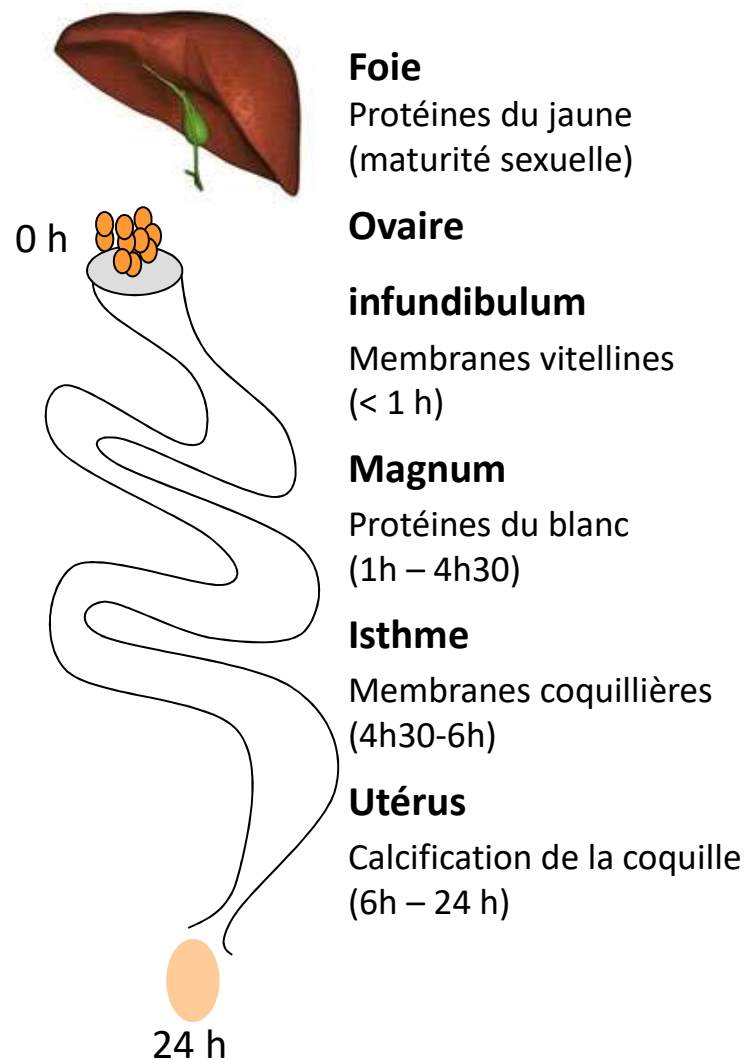


Plan

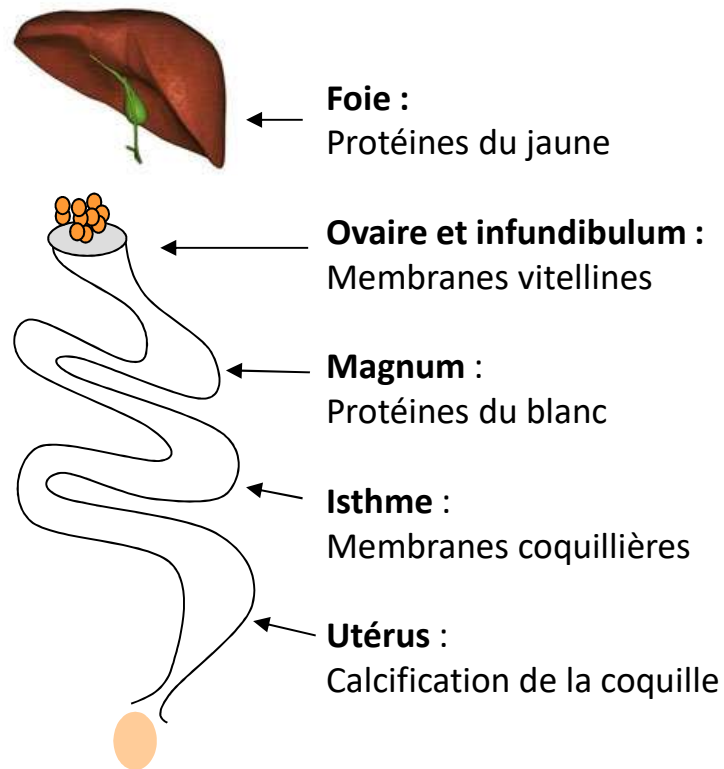
- I. Introduction
- II. Approches à haut débit pour identifier les protéines déposées dans l'œuf d'oiseaux
 - 1. Généralité – stratégie expérimentale
 - 2. Utilisation combinée des banques et outils
 - 3. Transcriptome de l'œuf
 - 4. Protéome de l'œuf
- III. Mieux comprendre les défenses de l'œuf grâce aux approches à haut débit
 - Défense physique (coquille)
 - a) Protéines de la matrice organique et biominéralisation
 - b) Caractérisation fonctionnelle des protéines de la matrice
 - c) Avancées récentes en génomique pour améliorer la solidité de la coquille
- IV. Conclusion



La formation de l'œuf



La transcriptomique



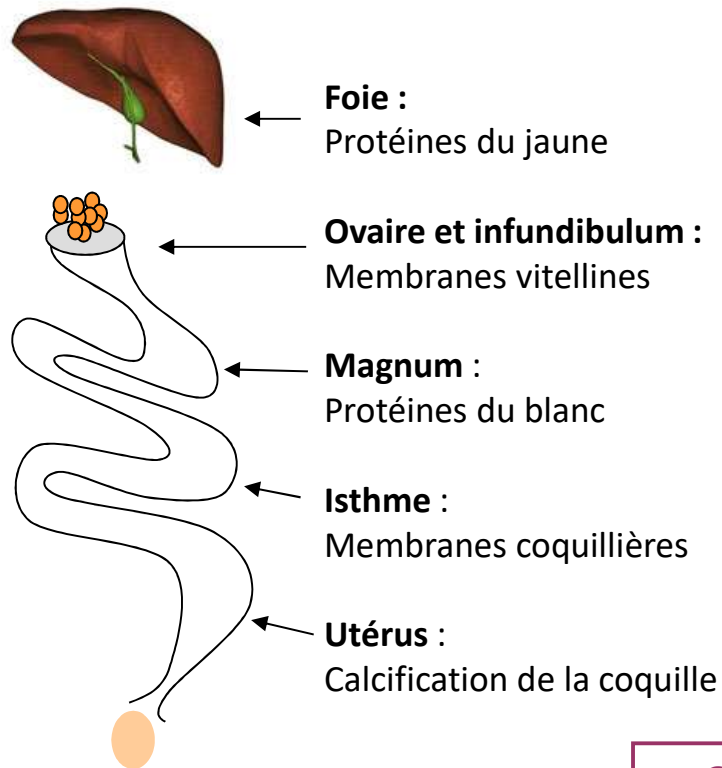
L'appareil reproducteur de la poule est un modèle parfaitement adapté à une approche transcriptomique

↓
Formation dans le temps et l'espace des constituants de l'œuf

↓
Spécialisation des tissus ou organes

↓
Différents stades physiologiques

La transcriptomique



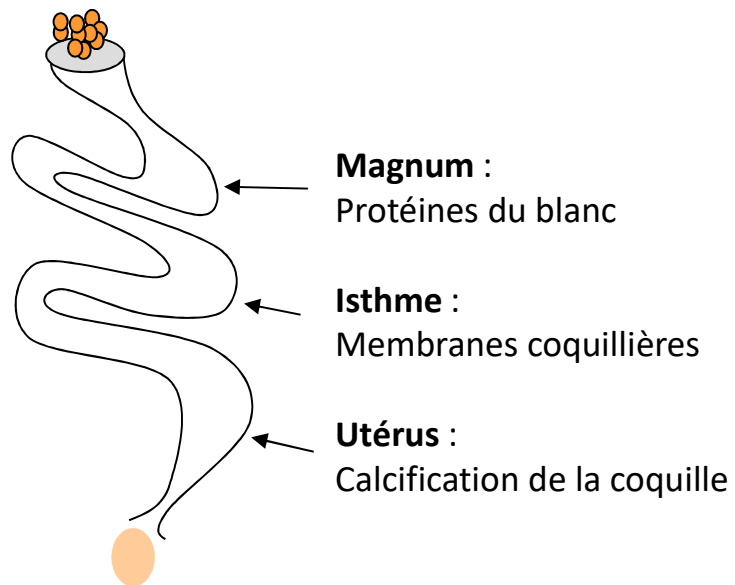
Utilisation de puces à ADN ou RNA-Seq

↓
Comparaison de l'expression des gènes
entre les différents tissus

↓
Quantification des gènes spécifiquement exprimés en relation avec la formation du jaune, des membranes vitellines, du blanc d'oeuf, des membranes coquillières et de la calcification de la coquille

La transcriptomique

Identification des gènes spécifiquement impliqués dans la synthèse du blanc, des membranes coquillières et la calcification de la coquille



Utilisation de puces à ADN

↓
Comparaison de l'expression des gènes
entre les différents tissus

La transcriptomique

Several differentially expressed genes
(Fold difference range from 1.98 to 174.1)

Magnum

Uterus

Tissue specific genes ?

White Isthmus



La transcriptomique

Several differentially expressed genes
(Fold difference range from 1.98 to 174.1)

Magnum

Uterus

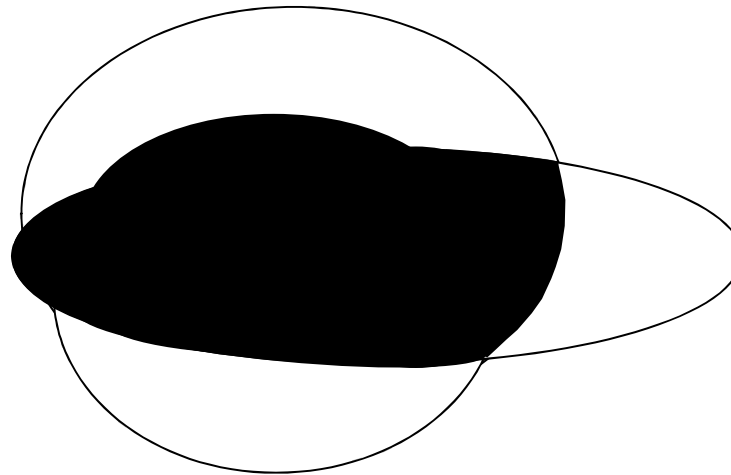
White Isthmus



La transcriptomique

Several differentially expressed genes
(Fold difference range from 1.98 to 174.1)

Magnum (egg white deposition)



White isthmus (eggshell
membranes)

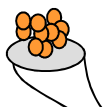
Uterus (eggshell calcification)

La transcriptomique

✓ **Transcriptomics** (microarrays, RNA seq)



Liver: **582**
Egg yolk proteins (several weeks)



Ovary and infundibulum:
Vitelline membranes (less 1 h)

Bourin et al. BMC Genomics 2012, 13:457
<http://www.biomedcentral.com/1471-2164/13/457>

BMC Genomics

RESEARCH ARTICLE Open Access

Transcriptomic profiling of proteases and antiproteases in the liver of sexually mature hens in relation to vitellogenesis

Marie Bourin, Joël Gautron, Magali Berges, Christelle Hennequet-Antier, Cédric Cabau, Yves Nys and Sophie Réhault-Godbert*

New insights in egg white proteins using cDNA microarrays and extensive proteomic data mining

EggMeat symposia 2011 - Leipzig

Nombreuses Etudes de RNA SEQ en cours

Milliers de nouvelles séquences géniques

Brionne et al.
<http://www.>

RESEARCH ARTICLE Open Access

Hen uterine gene expression profiling during eggshell formation reveals putative proteins involved in the supply of minerals or in the shell mineralization process

Aurélien Brionne, Yves Nys, Christelle Hennequet-Antier and Joël Gautron*

RESEARCH ARTICLE Open Access

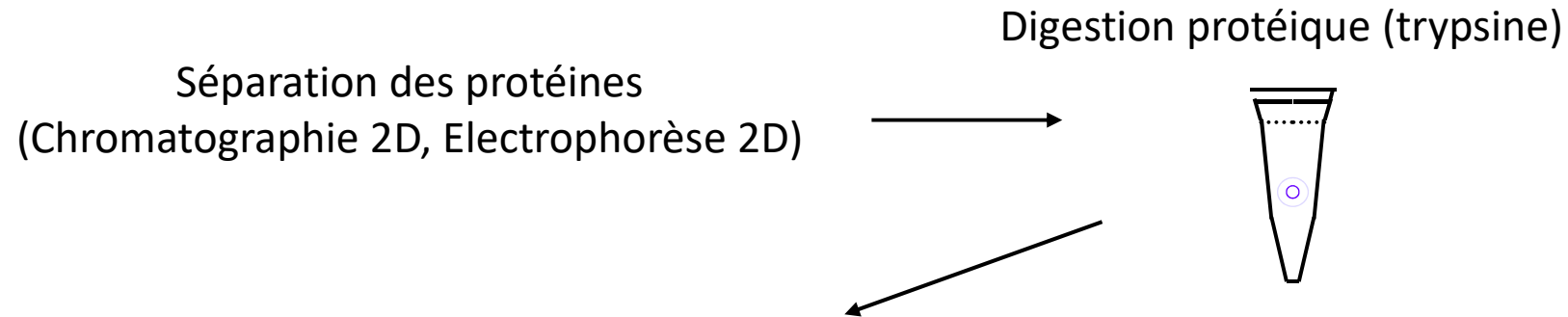
Gene expression profiling to identify eggshell proteins involved in physical defense of the chicken egg

Vincent Jonchère¹, Sophie Réhault-Godbert¹, Christelle Hennequet-Antier¹, Cédric Cabau¹, Vonick Sibut^{1,3}, Larry A Cogburn², Yves Nys¹, Joël Gautron^{1*}



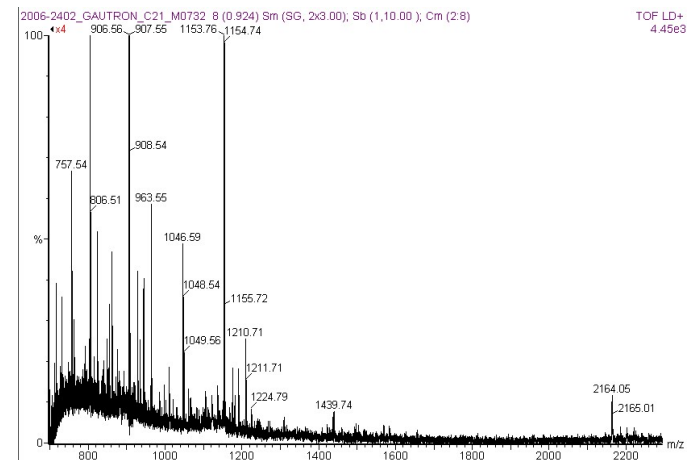
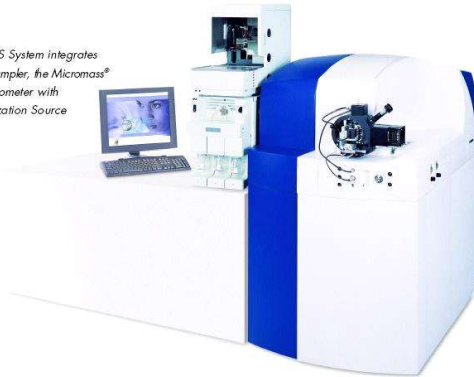
La protéomique

(Mass spectrometry-based methods for protein identification)



Fragments peptidiques des protéines

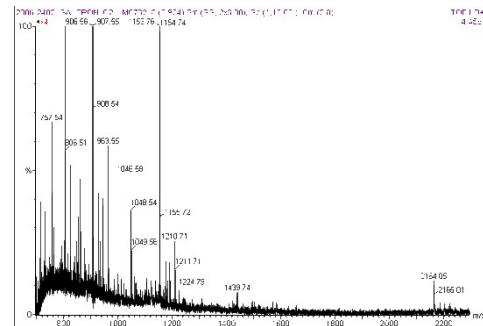
Waters® nanoscale LC/MS/MS System integrates the CapLC® XE Pump and Autosampler, the Micromass® Q-ToF Ultima™ API Mass Spectrometer with integral NanoLockSpray™ Ionization Source and Masslynx™ 4.0 Software.



Détermination de la masse Réelle des peptides

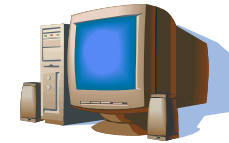


La protéomique



Masse expérimentale des peptides

Séquences génomiques
Séquences cDNA et ESTs



Digestion *in Silico* des protéines

Masse virtuelle des peptides

Comparaison

MEPSPLLLLLLLAPCGRGWAVSGR**APAEETARTDGR**/SVLPEKDDFHPRDTDTPTTNCVNNCRDDGNCGRGS
RKCCHIRCPFR**CPQPVPARPD**TYPKKKVPHIIGCCNSTCSSDTEFPNHLRCCQPMRRSSR**ITVALSLLGLGCWW**
CSDPEKLCR**LIPEH**RLCRGRAYCYACIPALRSCR**VFVHSSCGGNANNFR**TLAECQQVCQHGLHKH

Identification protéique



La protéomique

L'analyse protéomique se base sur la protéine (unité fonctionnelle)

Toutefois elle est limitée aux protéines dont la séquence est disponible

L'analyse transcriptomique est basée sur les ARNm

Elle permet donc l'analyse des gènes et des protéines non identifiées dans les bases



La protéomique

✓ **Proteomics** (*Mass spectrometry-based methods for protein identification*)

2322

DOI 10.1002/pmic.200800032

Proteomics 2008, 8, 2322–2332

178

DOI 10.1002/pmic.200700790

Proteomics 2008, 8, 178–191

RESEARCH ARTICLE

RESEARCH ARTICLE

The chicken egg yolk plasma and granule proteomes

Karlheinz Mann and Matthias Mann

Max-Planck-Institut für Biochemie, Abteilung Proteomics und Signaltransduktion, Martinsried, Germany



Chicken egg yolk cytoplasmic proteome, mined via combinatorial peptide ligand libraries

Alessia Farinazzo^a, Umberto Restuccia^b, Angela Bachi^b, Luc Guerrier^c, Frederic Fortis^c, Egisto Boschetti^c, Elisa Fasoli^a, Attilio Citterio^a, Pier Giorgio Righetti^{a,*}

3558

DOI 10.1002/pmic.200700397

Proteomics 2007, 7, 3558–3568

RESEARCH ARTICLE

The chicken egg white proteome

Karlheinz Mann

Max-Planck-Institut für Biochemie, Abteilung Proteomics und Signaltransduktion, Martinsried, Germany

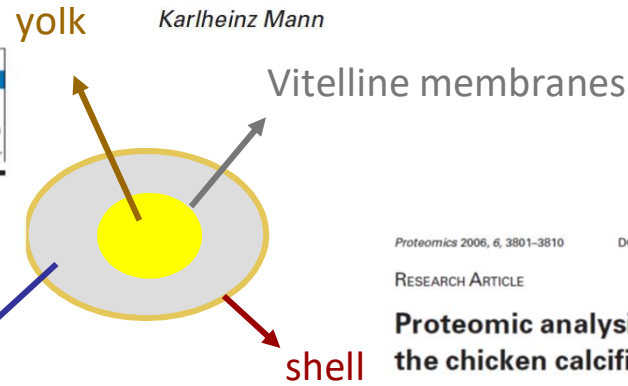
Journal of
research articles **proteome**
research
2008, 7, 3461–3474

Exploring the Chicken Egg White Proteome with Combinatorial Peptide Ligand Libraries

Chiara D'Ambrosio,^a Simona Arena,^a Andrea Scaloni,^a Luc Guerrier,^a Egisto Boschetti,^a Martha Elena Mendieta,^a Attilio Citterio,^a and Pier Giorgio Righetti^{a,*}

Proteomic analysis of the chicken egg vitelline membrane

Karlheinz Mann



Proteomics 2006, 6, 3801–3810

DOI 10.1002/pmic.200600120

3801

RESEARCH ARTICLE

Proteomic analysis of the acid-soluble organic matrix of the chicken calcified eggshell layer

Quantitative proteomics provides new insights into chicken eggshell matrix protein functions during the primary events of mineralisation and the active calcification phase

Pauline Marie^a, Valérie Labas^b, Aurélien Brionne^a, Grégoire Harichaux^b, Christelle Hennequet-Antier^a, Alejandro F...



Proteo
eggshu
Megan R

Quantitative proteomics and bioinformatic analysis provide new insight into protein function during avian eggshell biomineralization

Pauline Marie^a, Valérie Labas^b, Aurélien Brionne^a, Grégoire Harichaux^b, Christelle Hennequet-Antier^a, Yves Nys^a, Joël Gautron^{a,*}

^aINRA, UR83 Recherches Avicoles, Fonction et Régulation des Protéines de l'œuf, F-37380 Nouzilly, France

^bINRA, UMR INRA85, UMR CNRS 7247, Université de Tours, IFCE, Physiologie de la Reproduction et des Comportements, Plate-forme d'Analyse Intégrative des Biomolécules, Laboratoire de Spectrométrie de Masse, F-37380 Nouzilly, France



proteins



Gautron J. / Eggshell formation



« omics » to identify novel egg proteins



✓ **Proteomics** (*Mass spectrometry-based methods for protein identification*)

>4000 different protein identifiers in the different egg proteomes from 3 different databases
IPI (closed), GeneBank and UniProt



Lot of redundancies
Majority of them were not annotated



How many in each compartments ?
What is common, what is compartment specific ?
Functions in the egg ?



Data mining and bioinformatics tools



Loading of the sequences, multi alignment to eliminate redundancies



Repartition in individual egg compartments



Update of functional annotations

Novel egg proteins

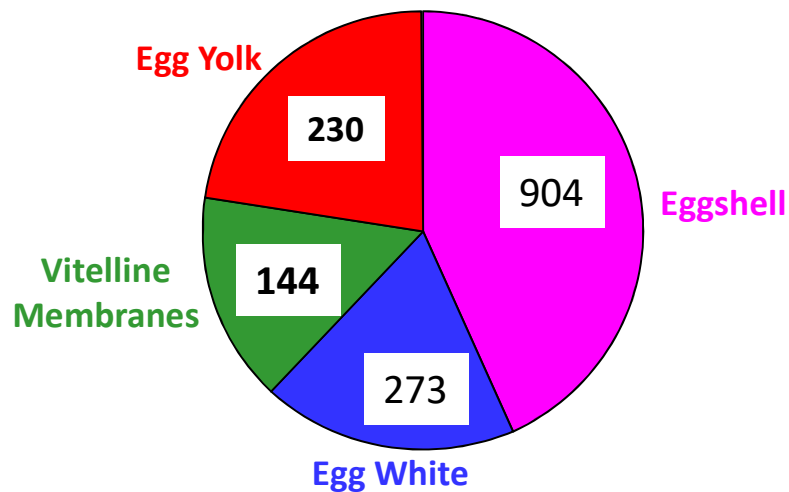


894 genes encode egg proteins

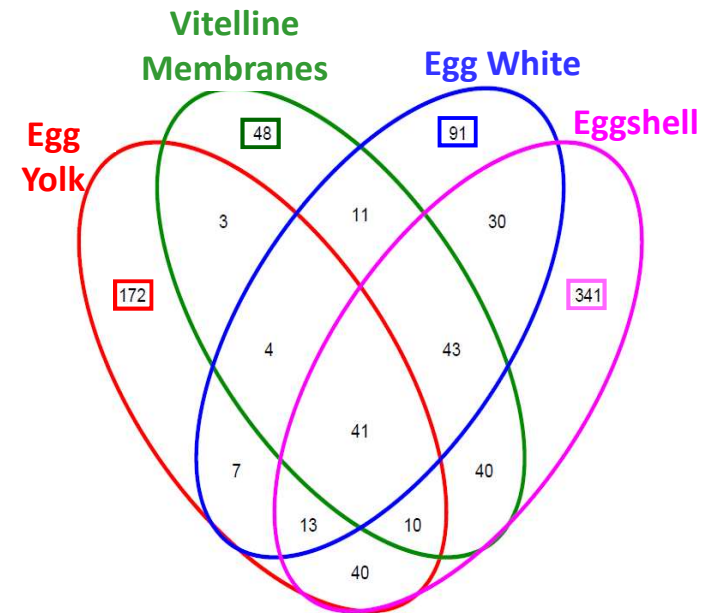
Protein variants
and isoforms

1261 non redundant proteins in the egg

Repartition in egg compartments



Common, shared and specific proteins

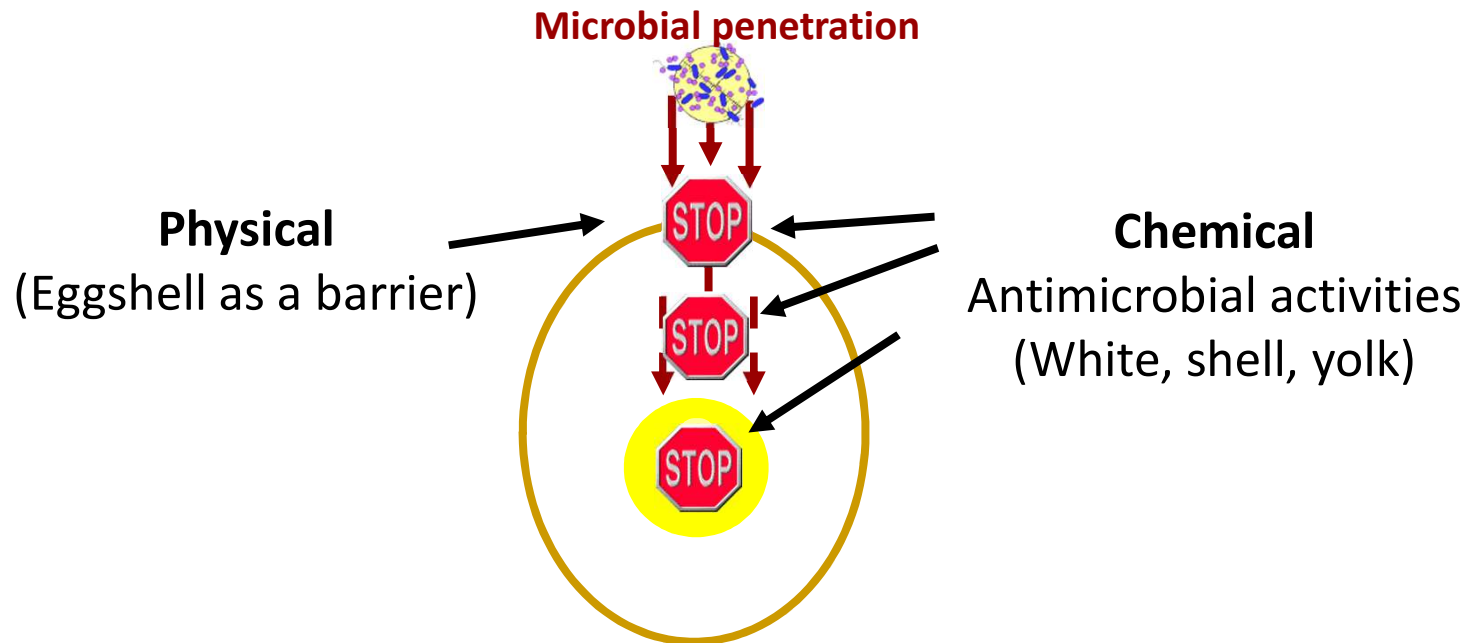


Plan

- I. Introduction
- II. Approches à haut débit pour identifier les protéines de l'œuf
 - 1. Généralité – stratégie expérimentale
 - 2. Utilisation combinée des banques et outils
 - 3. Transcriptome de l'œuf
 - 4. Protéome de l'œuf
- III. Mieux comprendre les défenses de l'œuf grâce aux approches à haut débit
 - Défense physique (coquille)
 - a) Protéines de la matrice organique et biominéralisation
 - b) Caractérisation fonctionnelle des protéines de la matrice
 - c) Avancées récentes en génomique pour améliorer la solidité de la coquille
- IV. Conclusion



Egg defences



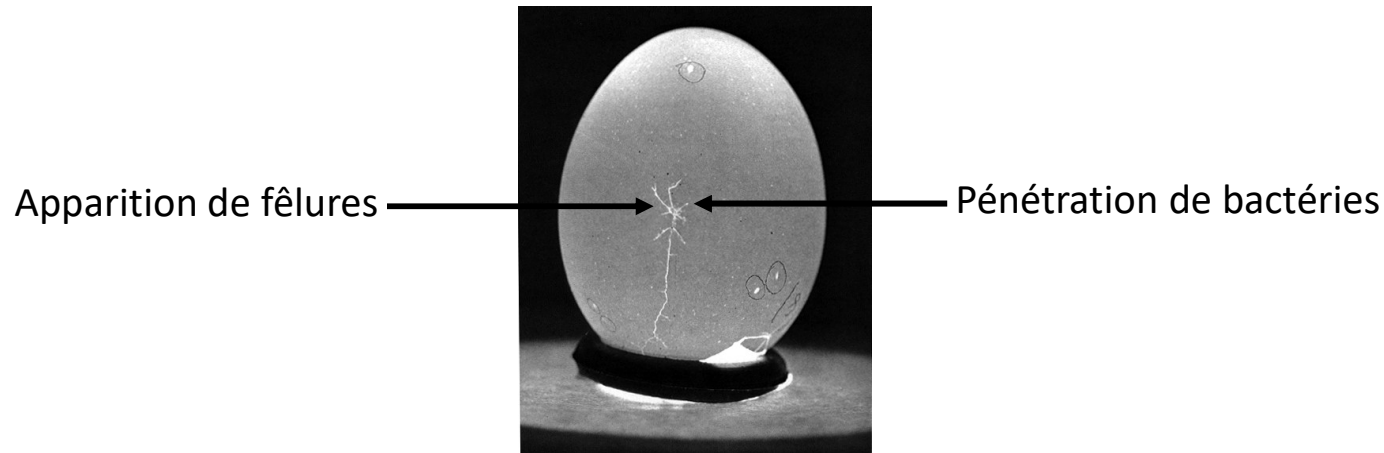
Microbial quality of eggs ?



Humans toxi-infections

La coquille : une barrière physique contre la pénétration bactérienne

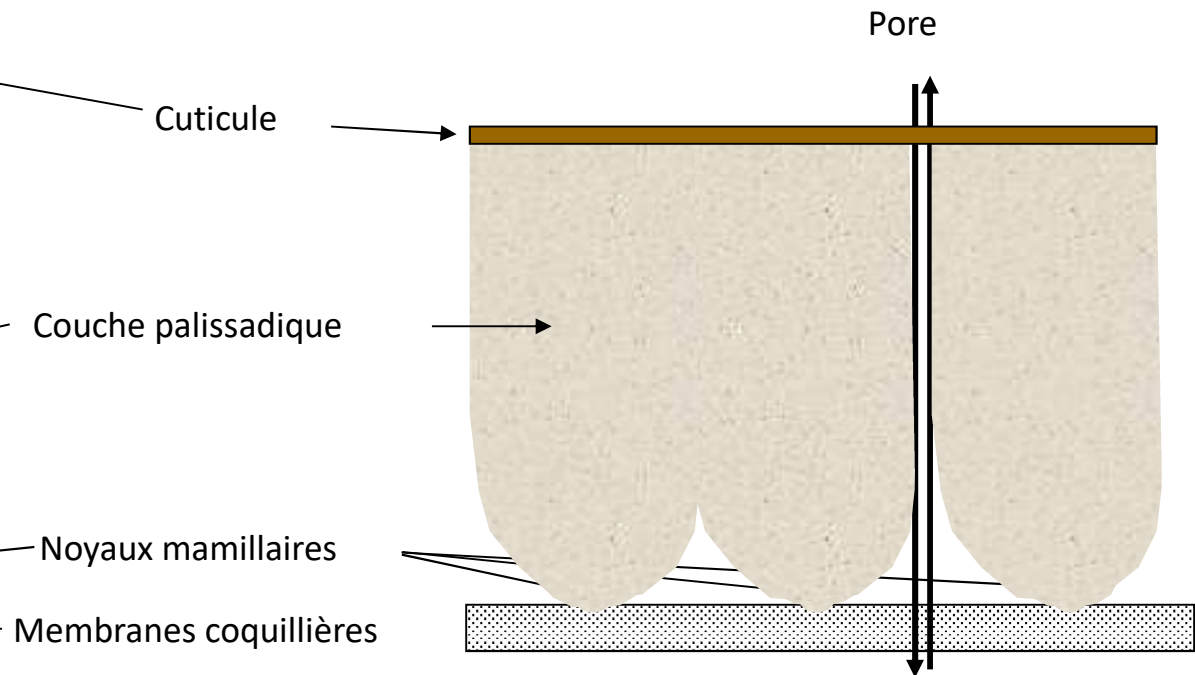
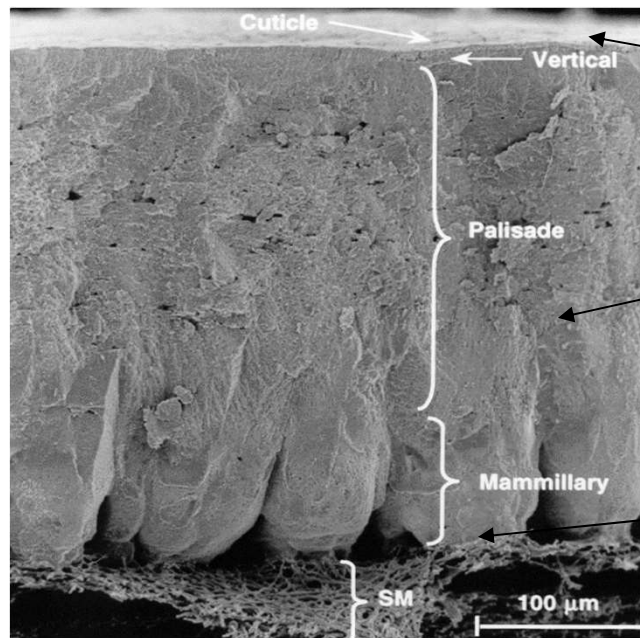
→ L'intégrité de la coquille est cruciale pour la sécurité alimentaire du consommateur



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

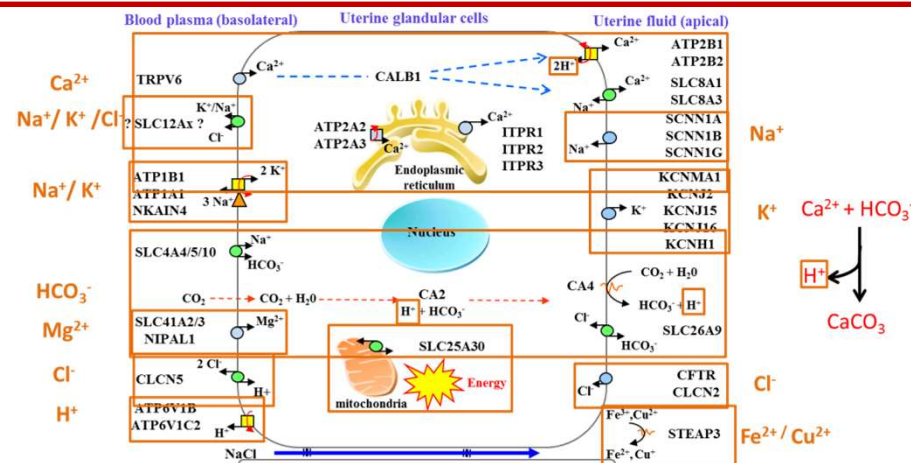
Développer de nouveaux outils pour la sélection

La coquille (défense physique)



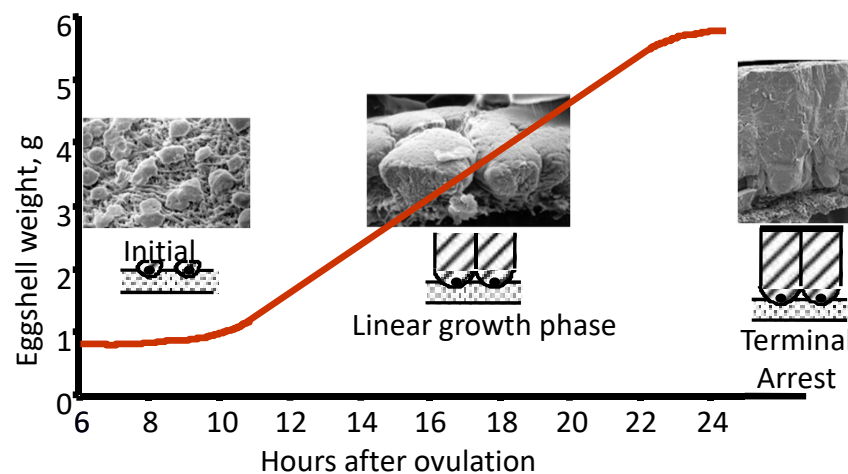
Eggshell biomineralization in uterus

Supply of minerals for shell mineralization



Jonchère, et al., BMC physiology, 2012; Brionne, et al., BMC Genomics, 2014

3 main phases in the uterine fluid (acellular milieu)



La Biominéralisation

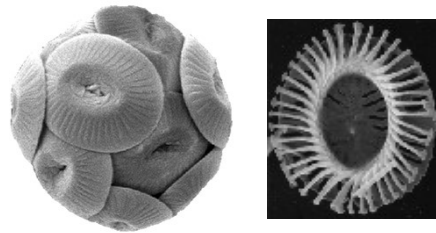
→ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

* 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

Biominéralisation acellulaire dite contrôlée



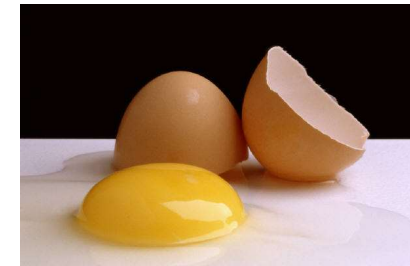
Perle



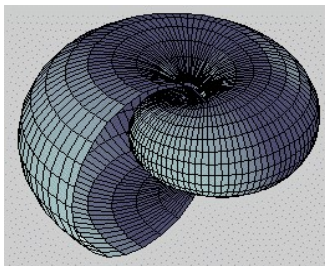
Coccolithes



Corail



Coquilles d'oiseaux



Coquilles de mollusques



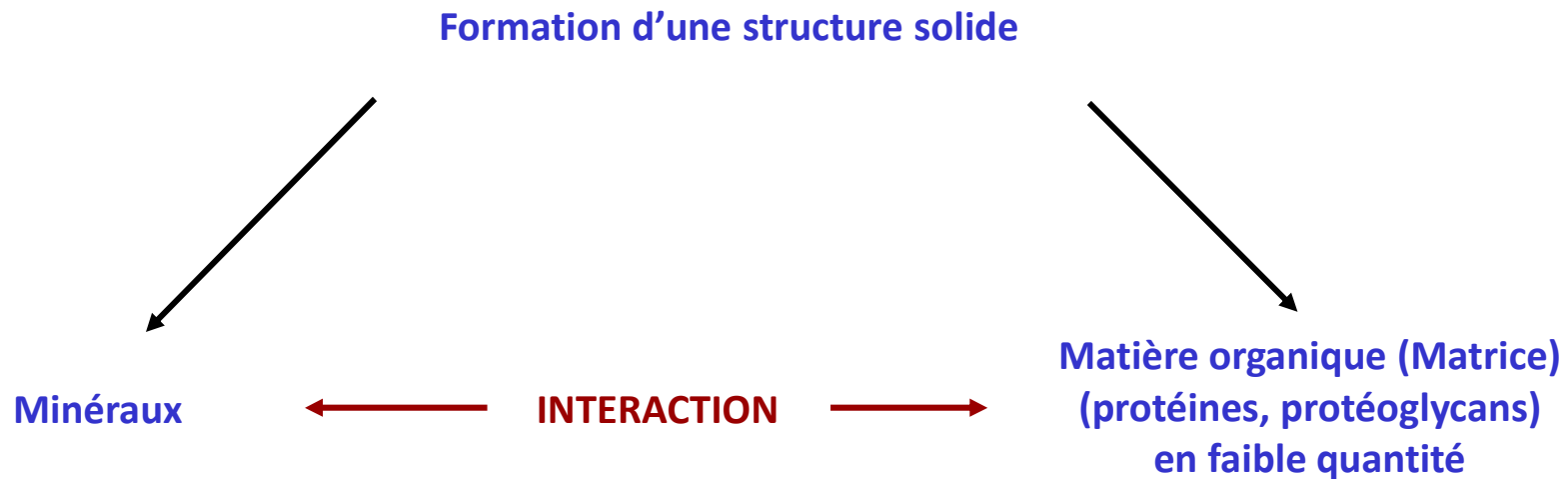
gastéropodes



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



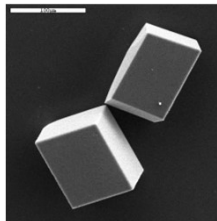
La Biominéralisation

→ PROCESSUS UNIVERSEL ET CONSERVE SUR TERRE

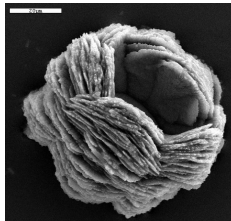
Malgré la diversité de formes et de fonctions, les structures biominérales se forment toujours selon les mêmes principes

→ 95% de carbonate de calcium sous forme de calcite

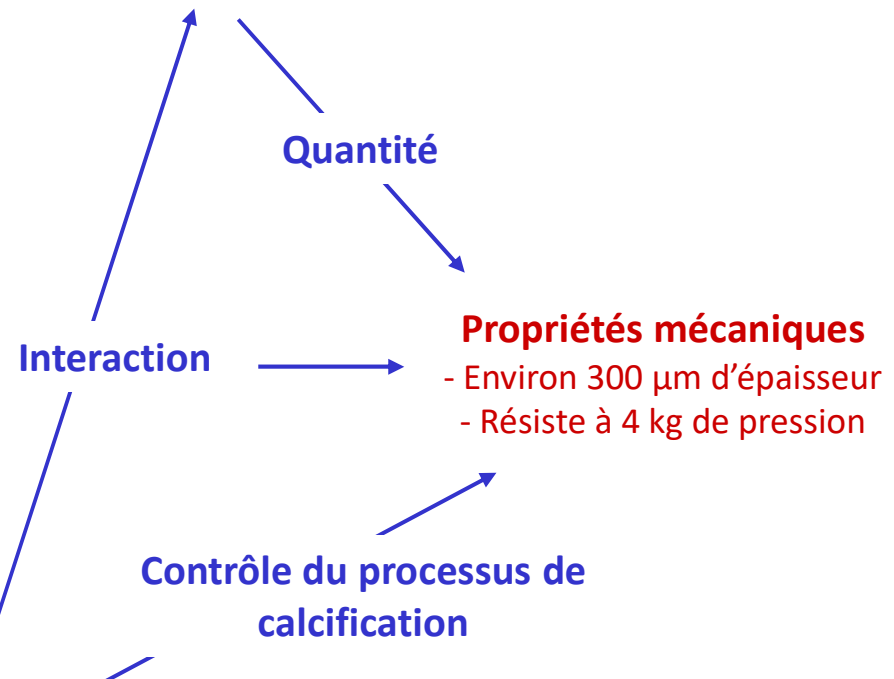
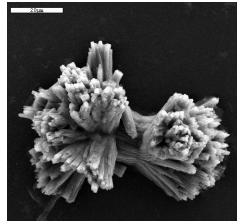
Calcite



Aragonite



Vatélite



→ 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

Un espace biologiquement compartimenté (utérus pour la poule)

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

Une hypersaturation du milieu

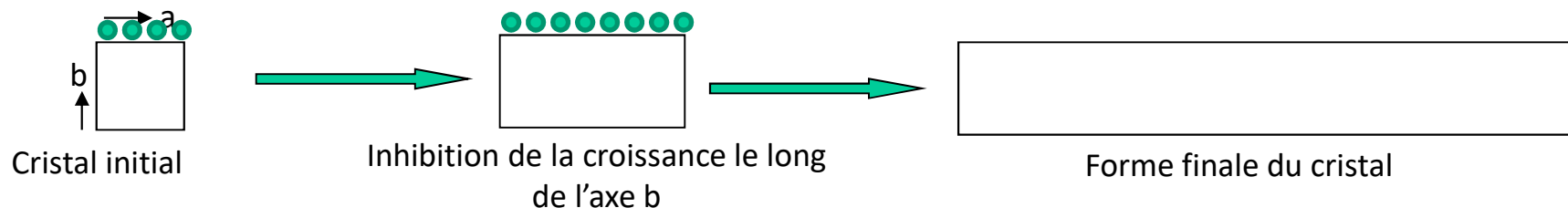
→ Les ions constitutifs du minéral doivent se trouver en conditions saturantes

La nucléation et la croissance du minéral

→ 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

- Elle inhibe la croissance du minéral selon un ou plusieurs axes



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

Un espace biologiquement compartimenté (utérus pour la poule)

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

Une hypersaturation du milieu

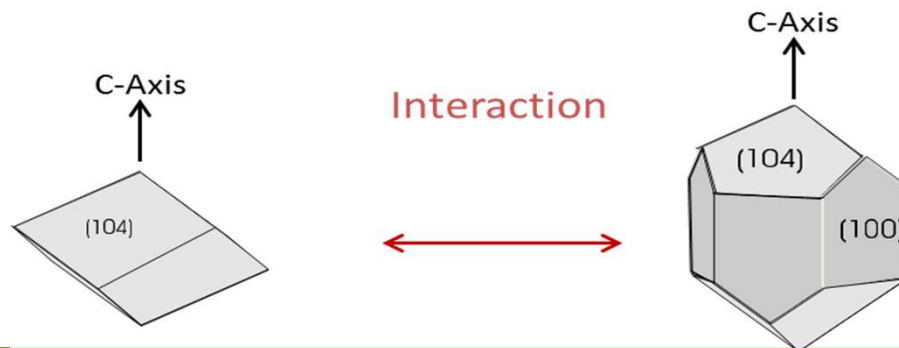
→ Les ions constitutifs du minéral doivent se trouver en conditions saturantes

La nucléation et la croissance du minéral

→ 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

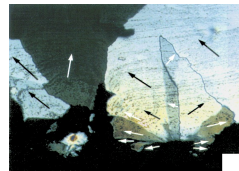
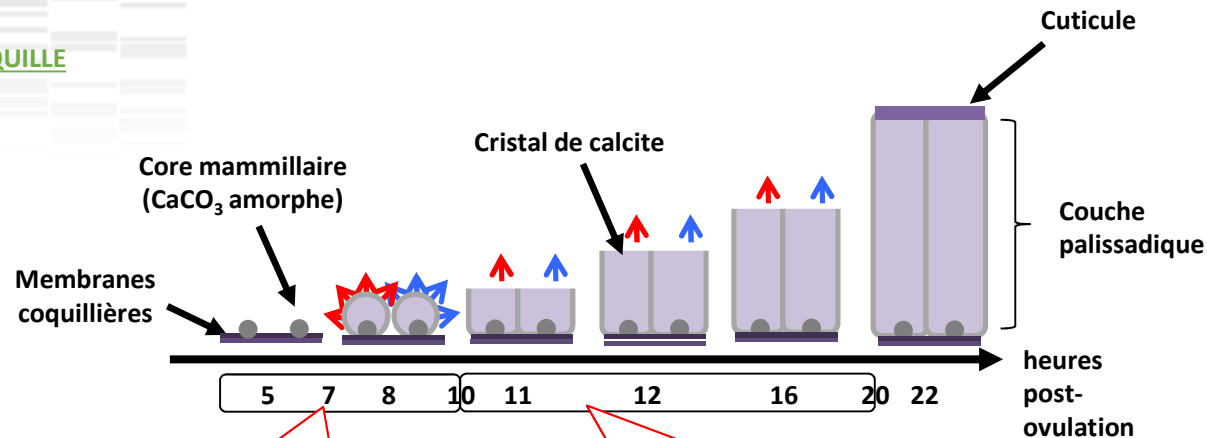
- Elle inhibe la croissance du minéral selon un ou plusieurs axes



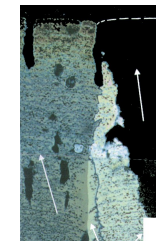
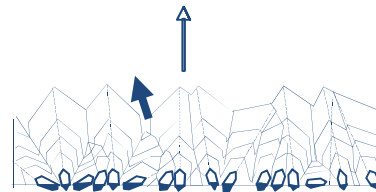
Functions of eggshell matrix proteins

LA FORMATION DE LA COQUILLE

Axes de croissance cristal 1
Axes de croissance cristal 2



COMPETITION ENTRE LES CRISTAUX



CROISSANCE ANISOTROPE
($\perp$ aux membranes coquillières et $\parallel$ à l'axe c)

Rôle déterminant des protéines de la matrice

Approches globales et non hiérarchisées

- ✓ Plus de 900 protéines
- ✓ Plus de 600 transcrits spécifiques

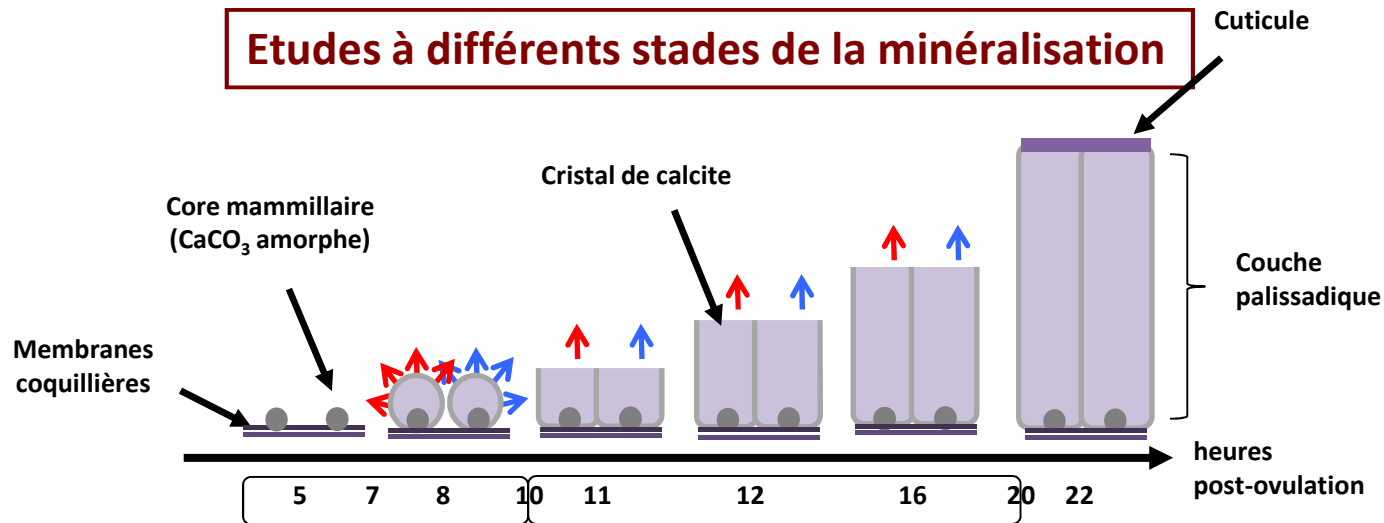
Lesquelles ? Quand ?

Où ? Pourquoi faire ?
Comment faire ?

Eggshell biomineralization

Hierarchiser les acteurs moléculaires prépondérants lors du processus de minéralisation

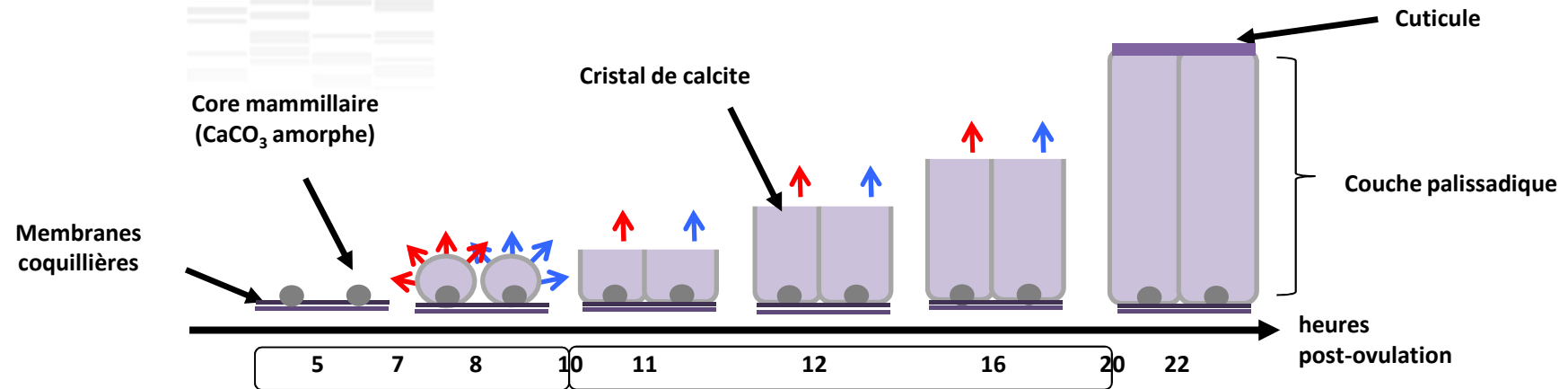
Etudes à différents stades de la minéralisation



High-throughput quantitative proteomics, Uterine RNA-seq, statistical and bioinformatic functional analyses of matrix proteins

To sort major protein candidates involved in particular key points of the eggshell mineralization

Etude spatio-temporelle des protéines impliquées dans la biominéralisation de la coquille des oiseaux



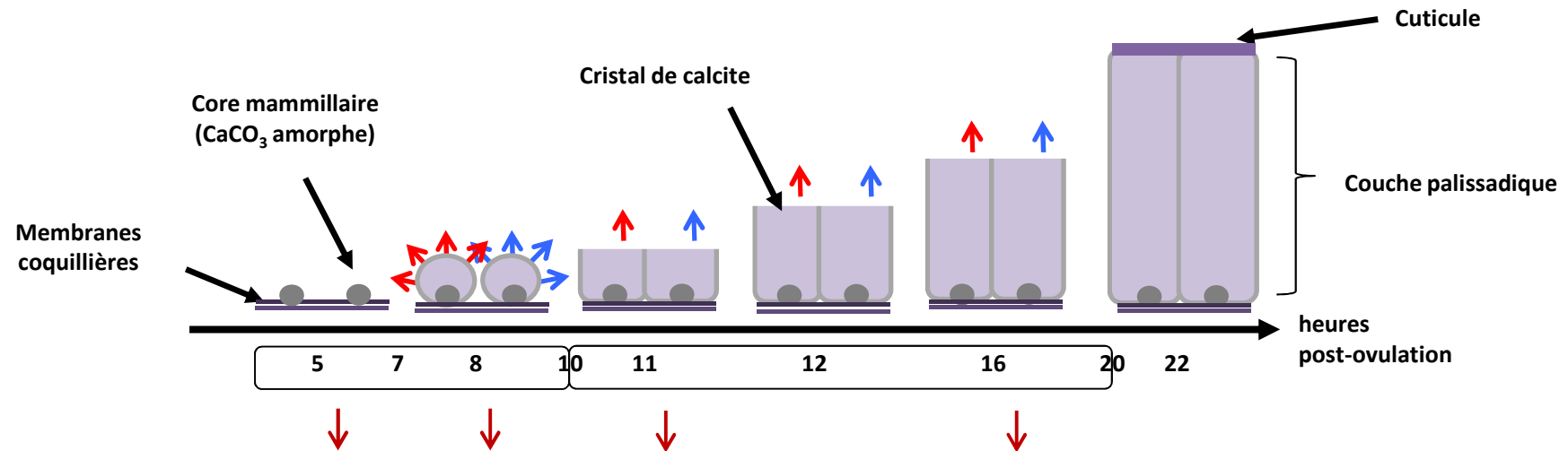
Recueil du tissu utérin (ARNm), et des coquilles (protéines de la matrice)

Analyse protéomique
sur LTQ-VelosOrbitrap
des bandes

Identification des protéines

Etablissement d'une liste non
redondante de 316 protéines

Etude spatio-temporelle des protéines impliquées dans la biominéralisation de la coquille des oiseaux

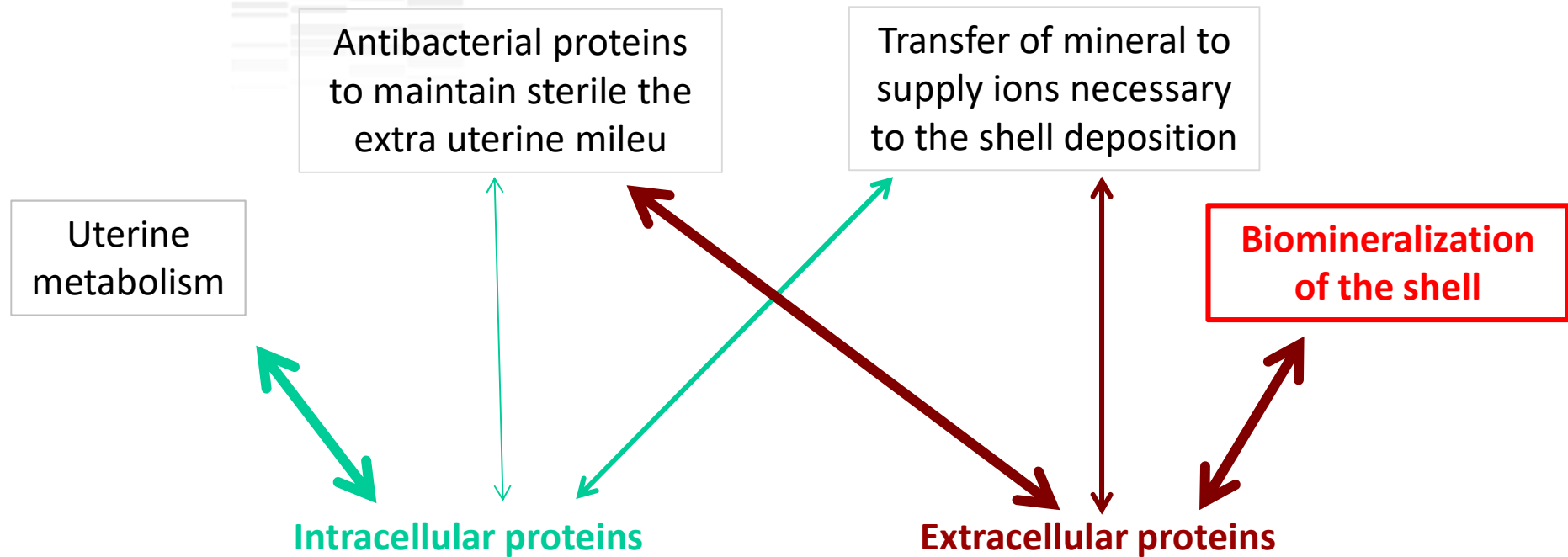


Use of DESeq2 (R package),
Normalization, adjustment of p-values using the Benjamini-Hochberg method (5%)

↓
Transcripts with an absolute Fold Change (Fc) upper than 1.5 in one stage

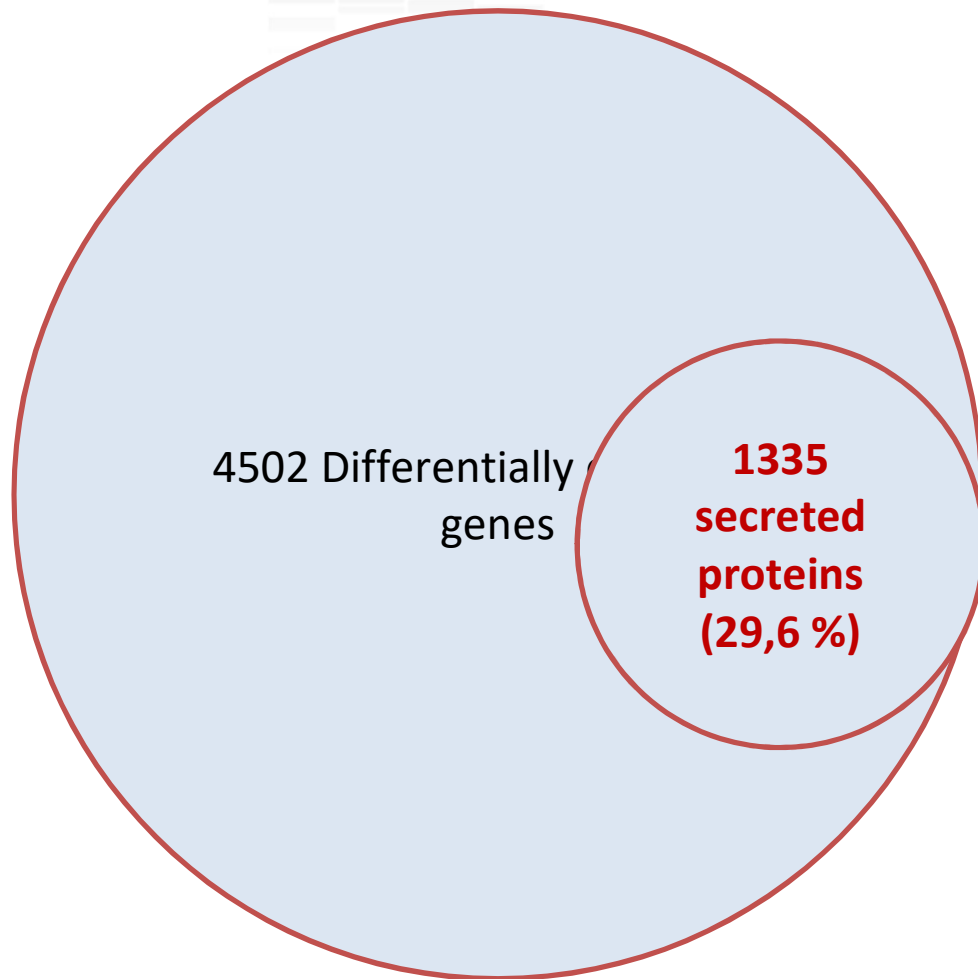
↓
4502 differentially expressed transcripts representing 3766 different genes

Rôle of uterine differentially expressed genes



→ Predictive analysis of DE genes coding for secreted proteins

Uterine genes and eggshell matrix proteins

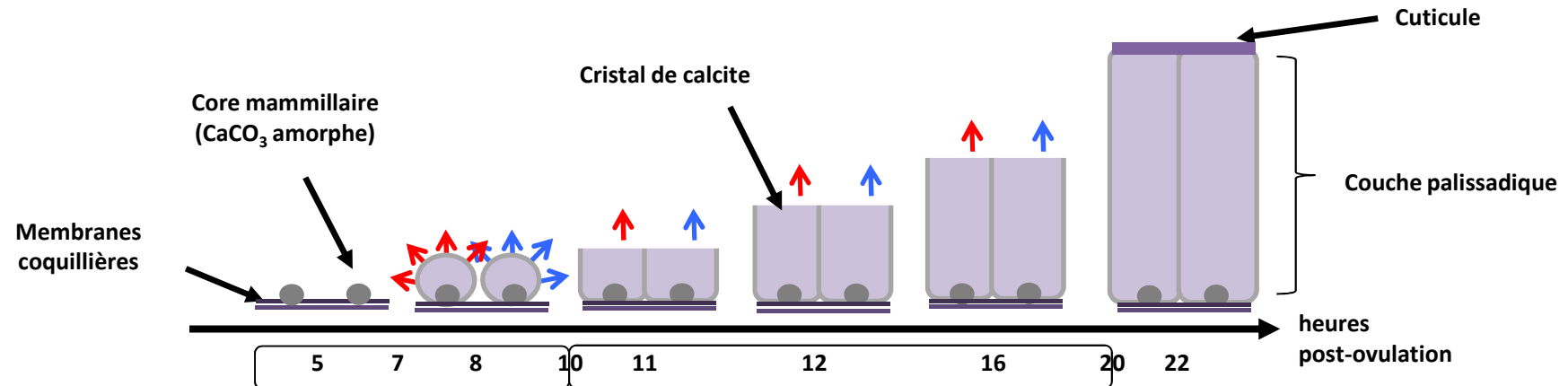


900 eggshell matrix proteins

444 Main candidate proteins to be involved in the shell biomineralization process



Etude spatio-temporelle des protéines impliquées dans la biominéralisation de la coquille des oiseaux



**Proteomics and transcriptomics:
Distribution and variation of abundance of 444 matrix proteins**

Predicted functional activities of the identified matrix proteins ?

(Marie et al., 2014, 2015a,b)



**Impact
(2013-2017)**

Literature, data mining and bioinformatics tools

Classification in 3 different groups according to their potential functions

**Associated to mineralization
process**

**Involved in the regulation of
activity of proteins**

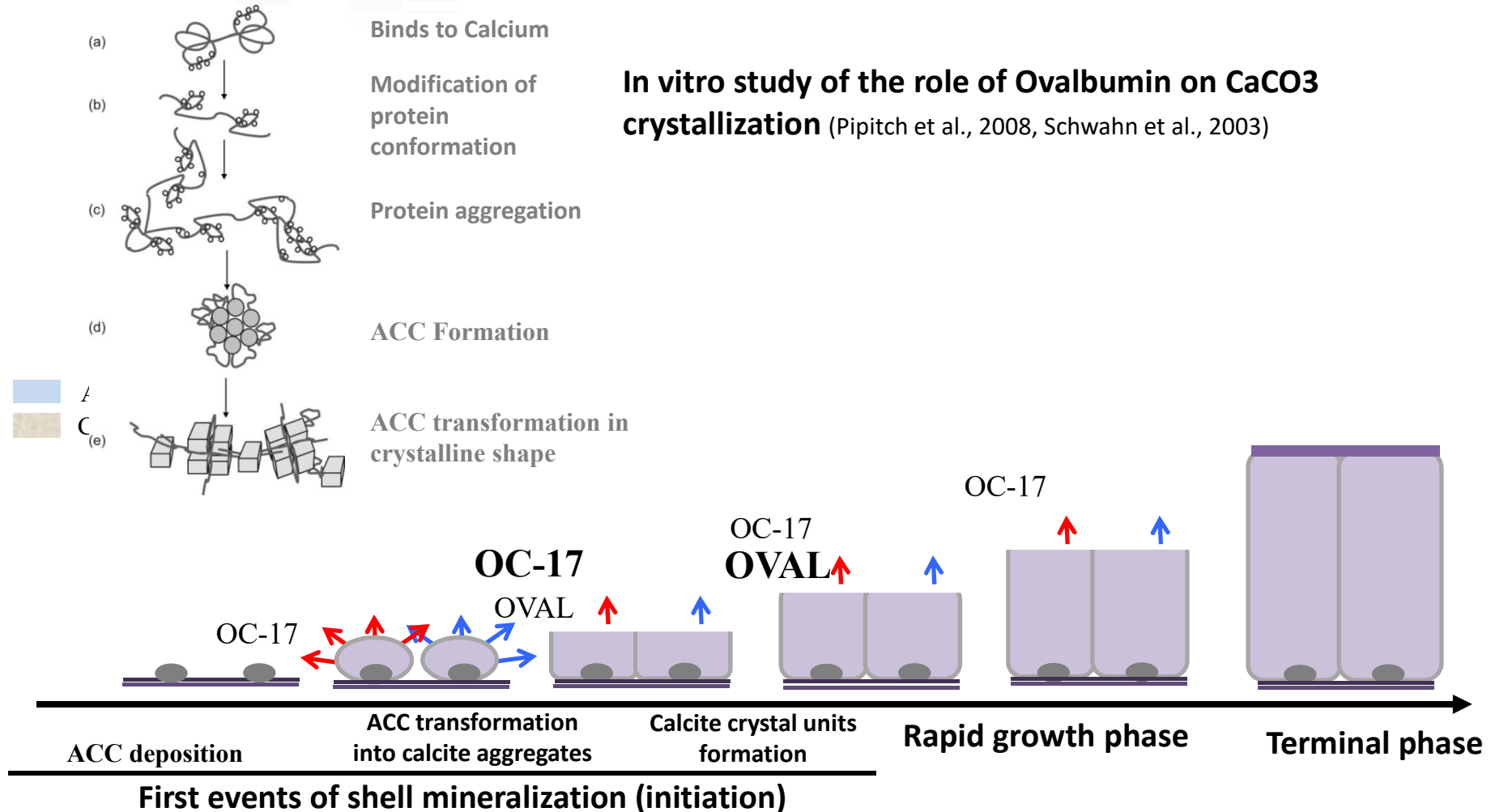
**Antimicrobial and other
proteins**



Function of matrix proteins at pivotal events

❑ Proteins having a direct involvement in eggshell mineralization

✓ Proteins with established role in the **biomineralisation**



Function of matrix proteins at pivotal events

❑ Proteins having a direct involvement in eggshell mineralization

- ✓ Proteins with established role in the **biomineralisation**

Freeman et al, 2010

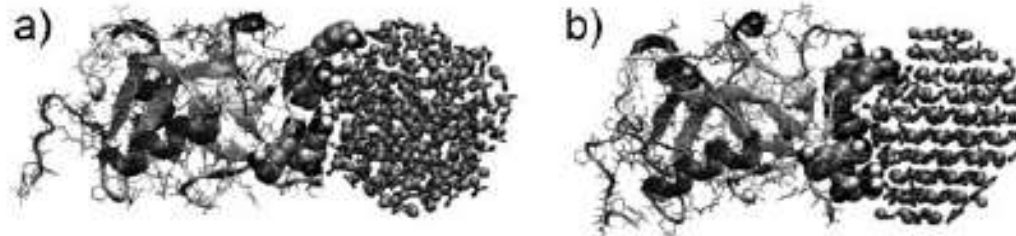
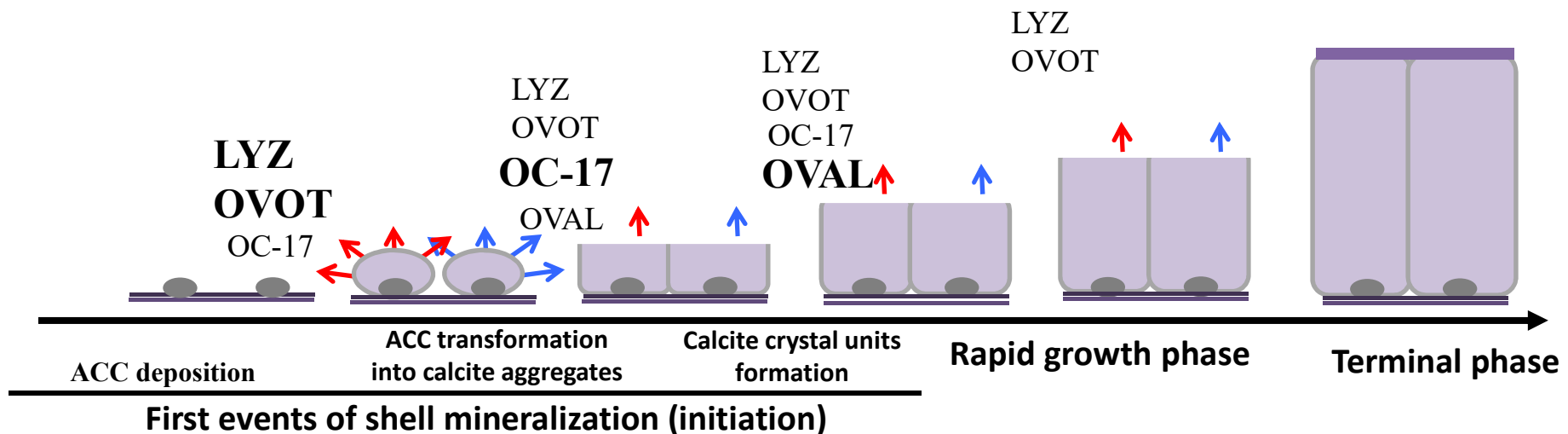


Figure 1. Ovocleidin-17 bound to an amorphous (a) and a crystallized (b) calcium carbonate nanoparticle containing 192 formula units. The



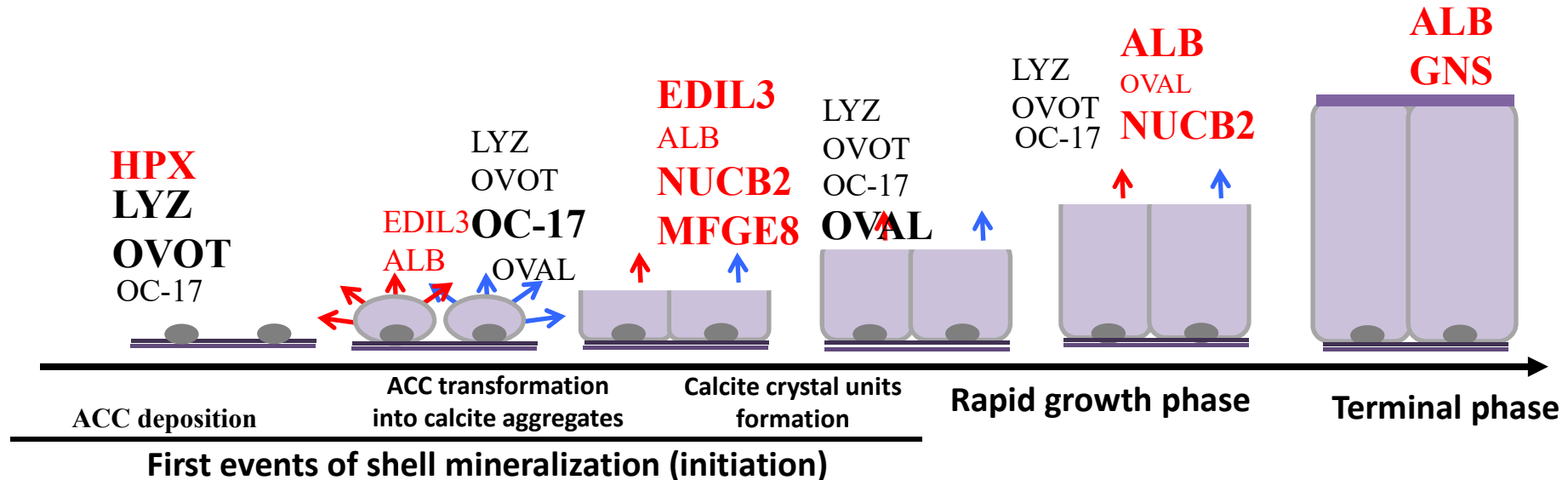
Function of matrix proteins at pivotal events

❑ Proteins having a direct involvement in eggshell mineralization

✓ Proteins with established role in the **biomineralisation**

✓ **Calcium binding proteins (CaBPs)** interacting with calcium, favoring crystal nucleation and driving the morphology of crystals

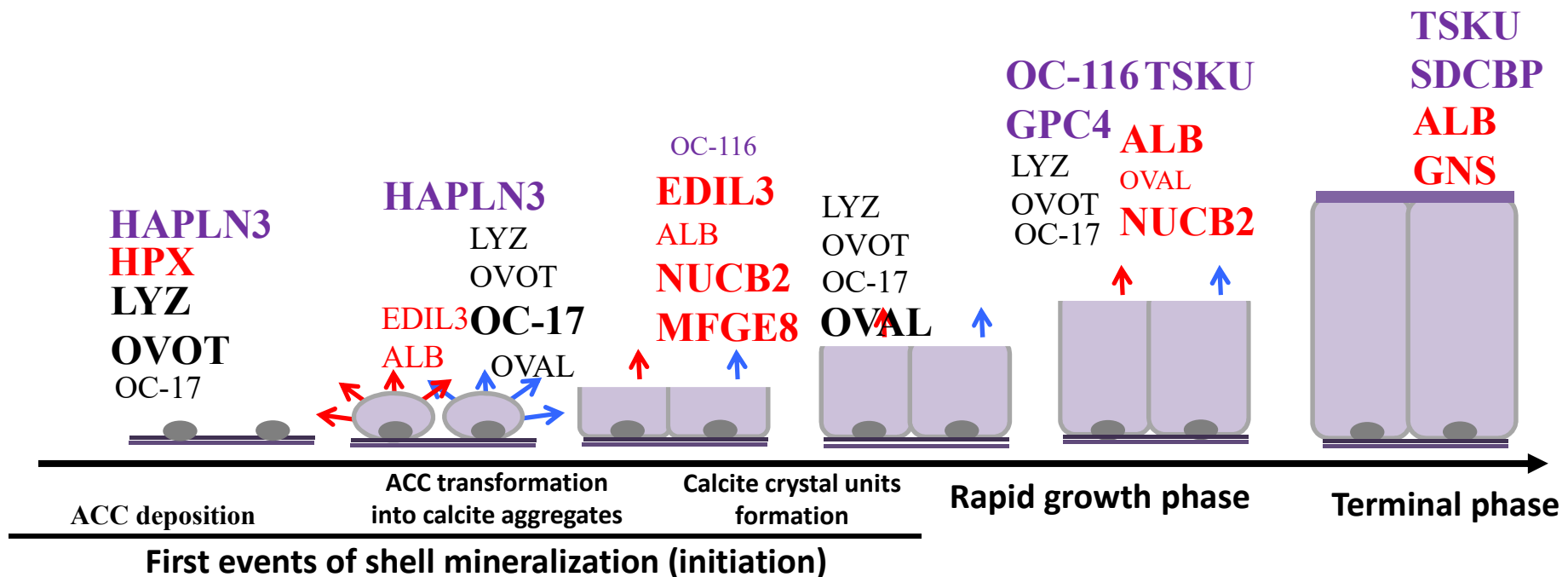
- *Proteins with EF-hand and EGF-like calcium binding domains*



Function of matrix proteins at pivotal events

❑ Proteins having a direct involvement in eggshell mineralization

- ✓ Proteins with established role in the **biomineralisation**
- ✓ **Calcium binding proteins (CaBPs)** interacting with calcium, favoring crystal nucleation and driving the morphology of crystals
 - *Proteins with EF-hand and EGF-like calcium binding domains*
- ✓ **Proteoglycans and proteoglycan binding proteins**
 - proteoglycans have a negative charge to attract Ca^{2+} ions



Function of matrix proteins at pivotal events

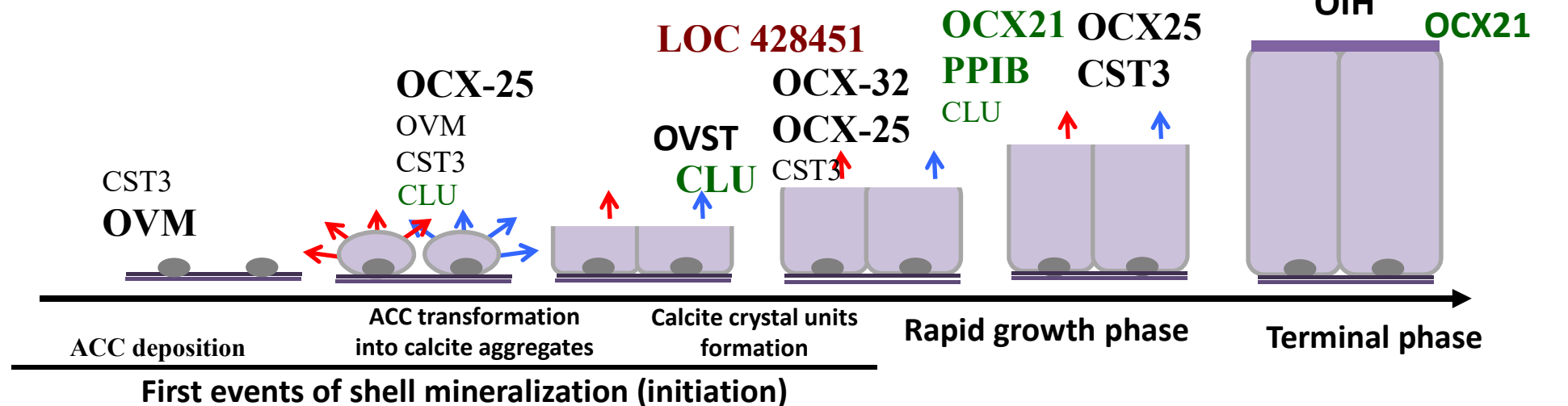
❑ Proteins involved in the regulation of proteins driving mineralization

- ✓ Proteins involved in the **proper folding of the eggshell matrix** to ensure calcium and mineral interactions and to ensure template to the mineralized structure
- ✓ Proteins **inhibiting or activating proteins present in the mineralization milieu (non cellular).**
 - *Direct interaction with other proteins.*

- **Molecular chaperone interact with proteins driving mineralization**
- **Proteases and protease inhibitors (specific and controlled role during calcification process, either by degrading proteins or regulating processing of proteins into their mature forms)**

- ✓ Mineralization depends of the **degree of protein phosphorylation**

- **Kinases and Phosphatases**



Apport des techniques à haut débit pour l'identification des gènes et des protéines impliqués dans la formation de la coquille

✓ RNA seq and Quantitative proteomics to classify and determine a hierarchy of proteins driving the mineralization → 444 candidates identified and a more restricted list of 22 pivotal candidate proteins with functions associated to mineralization

Use as biological markers for genomic selection to reinforce eggshell breaking strength

✓ Associate transcripts with published and private SNPs, QTLs related to shell quality

(Collaboration with breeders and avian genetic teams)

Plan

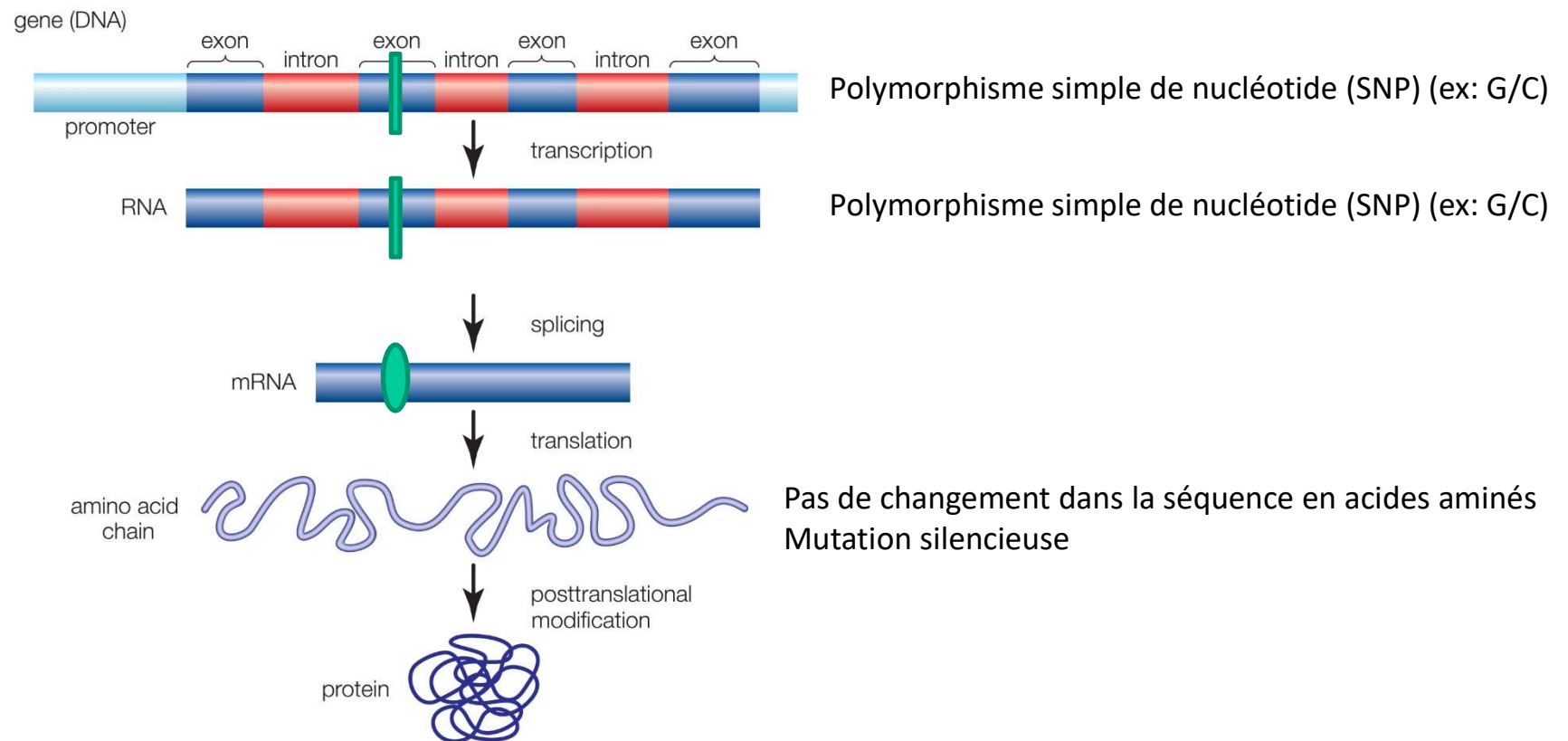
- I. Introduction
- II. Approches à haut débit pour identifier les protéines déposées dans l'œuf d'oiseaux
 - 1. Généralité – stratégie expérimentale
 - 2. Utilisation combinée des banques et outils
 - 3. Transcriptome de l'œuf
 - 4. Protéome de l'œuf
- III. Mieux comprendre les défenses de l'œuf grâce aux approches à haut débit
 - Défense physique (coquille)
 - a) Protéines de la matrice organique et biominéralisation
 - b) Caractérisation fonctionnelle des protéines de la matrice
 - c) Avancées récentes en génomique pour améliorer la solidité de la coquille
- IV. Conclusion



Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)

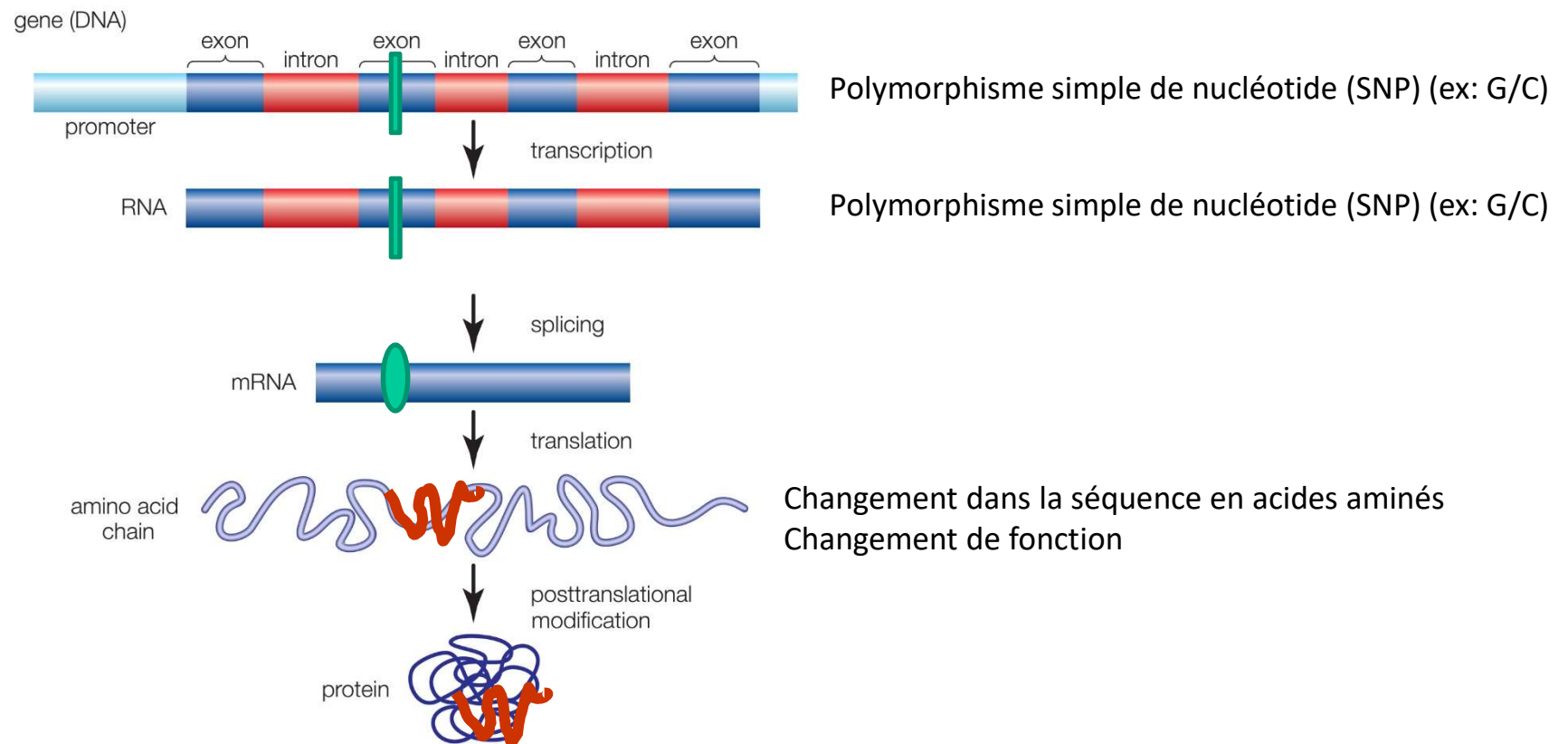


© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)

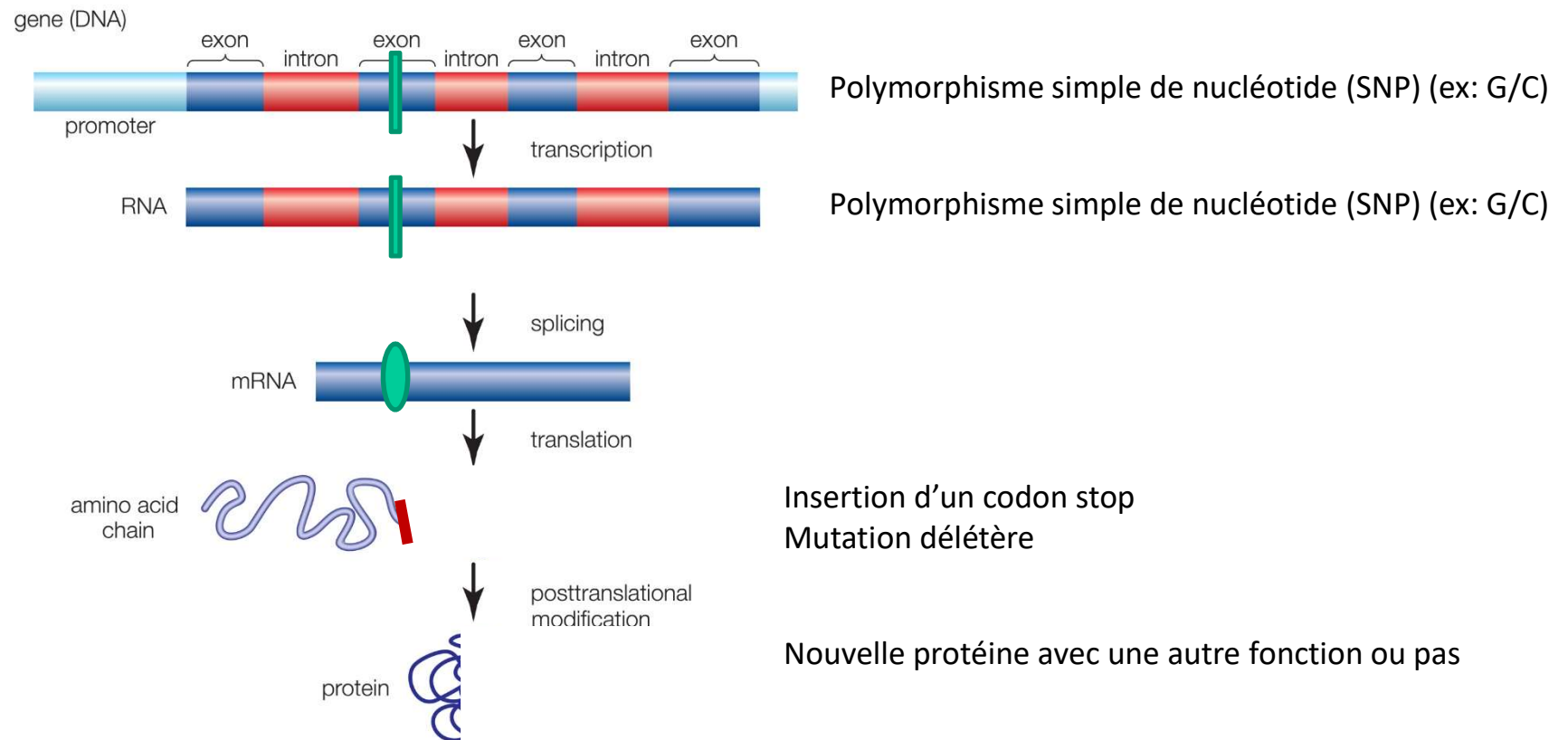


© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)

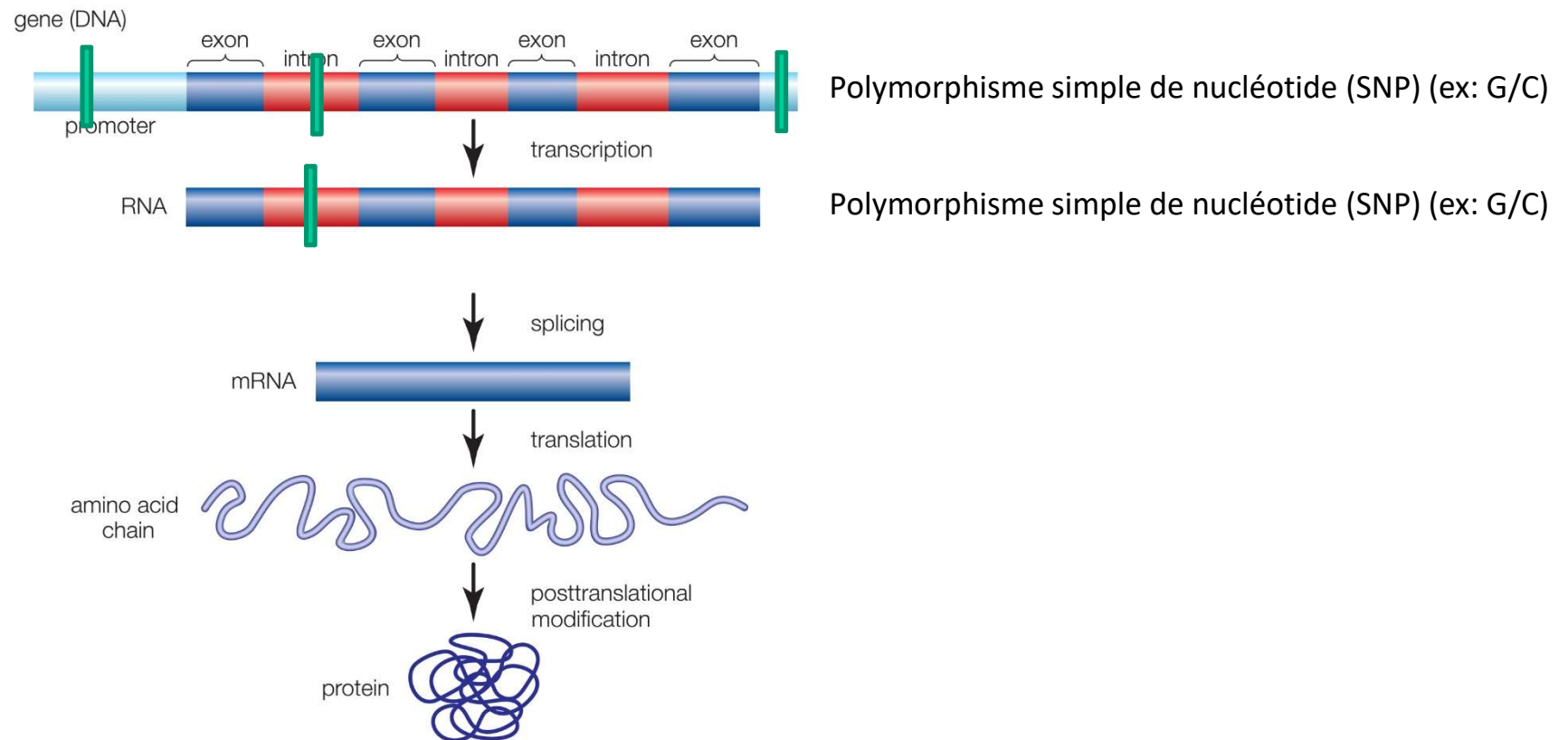


© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)

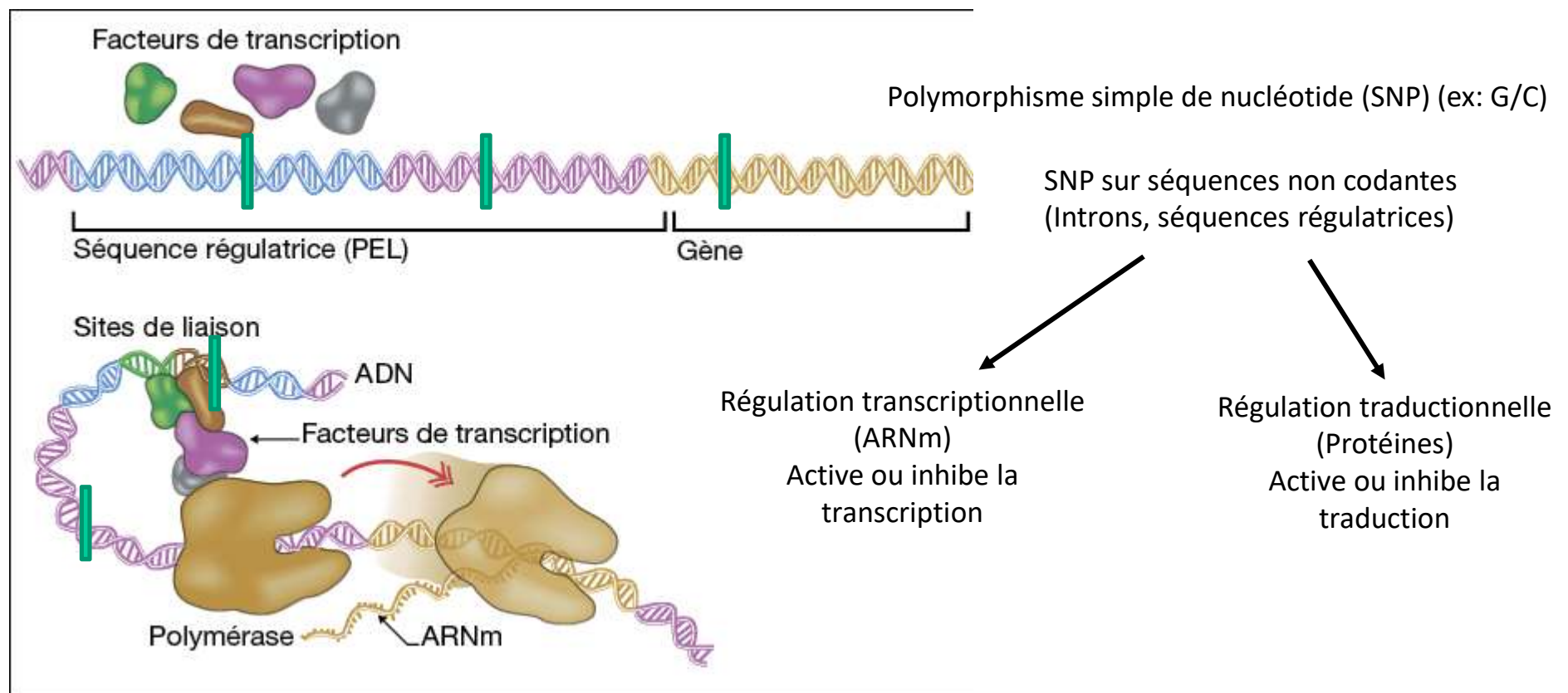


© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)



Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)

Les SNPs ont des conséquences sur le phénotype

Le phénotype décrit l'ensemble des caractères observables d'un individu. Il dépend de l'expression des gènes (génotype) et de l'environnement (épigénétique)

Les SNPs sur les gènes de la matrice organique de la coquille de l'œuf ont des conséquences sur le phénotype de la coquille de l'œuf

- Nombre d'œufs cassés
- Résistance à la rupture
- Epaisseur de coquille
- Module élastique de la coquille
- Etc...



Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Sélection génomique assistée par marqueurs (MAS)

GENOTYPAGE

Prélèvement d'un échantillon de sang
des poules pondeuses

Recherche des SNPs (Puces à génotypage)

PHENOTYPAGE

Recueil des œufs pondus par les poules

Mesure des propriétés biomécaniques

- Nombre d'œufs cassés
- Résistance à la rupture
- Epaisseur de coquille
- Module élastique de la coquille
- Etc...

STATISTIQUES

Test d'association

**Test statistique pour identifier un SNP associé
avec une modification de solidité de la coquille**



Utilisation des avancées récentes en génétique et génomique pour améliorer la solidité de la coquille

Stratégie de sélection pour améliorer les défenses naturelles de l'œuf



INRA STATION DE RECHERCHES AVICOLLES
Hélicourt, 37380 MONNAIE, France

Ian Dunn, Maureen Bain
Roslin Institute, University of Glasgow



Sélection assistée par marqueurs (MAS)

Approche gènes candidats

(Environ 16000 génotypages pour 8 gènes et 2066 descendants)

Tests d'association

P value

Ovocleidin-116

Module élastique

P= 0.0004

Ovocalyxin 32

Déformation à la fracture

P= 0.006

Ovocalyxin 32

Résistance à la rupture

P= 0.001

Les études d'associations suggèrent que les gènes candidats peuvent expliquer les variations des propriétés structurales de la coquille de l'oeuf de poule.



Plan

- I. Introduction
- II. Approches à haut débit pour identifier les protéines déposées dans l'œuf d'oiseaux
 - 1. Généralité – stratégie expérimentale
 - 2. Utilisation combinée des banques et outils
 - 3. Transcriptome de l'œuf
 - 4. Protéome de l'œuf
- III. Mieux comprendre les défenses de l'œuf grâce aux approches à haut débit
 - 1. Défense physique (coquille)
 - a) Protéines de la matrice organique et biominéralisation
 - b) Caractérisation fonctionnelle des protéines de la matrice
 - c) Avancées récentes en génomique pour améliorer la solidité de la coquille
 - 2. Défense antimicrobienne
 - a) Analyse bioinformatique des protéines antimicrobiennes
 - b) Classement fonctionnel des protéines antimicrobiennes
- IV. Conclusion



CONCLUSIONS

Les stratégies utilisant la génomique et la génomique fonctionnelle simultanément avec la protéomique offrent un potentiel important

- Caractérisation des acteurs moléculaires
- Criblage de nombreuses fonctions biologiques potentielles

Intérêts dans la science de l'œuf

- protéines impliquées dans la biominéralisation de l'œuf
- Protéines de défenses moléculaires
- Autres activités biologiques

