

# Génétique et Sélection, Bien-être, comportement et Santé Animale, Systèmes et Pratiques d'élevage, Qualité des produits dans les filières volailles

## Un cercle vertueux ou la quadrature du cercle ?



Daniel Guémené



SYSAAF, Centre INRA Val de Loire, Centre INRA - Val de Loire, Unité Mixte de Recherche en Biologie des Oiseaux et Aviculture, 37380 Nouzilly, France

[daniel.guemene@inra.fr](mailto:daniel.guemene@inra.fr)

GP/FR/OIN/0918/0009

## Impact d'un programme de sélection sur la vitesse de croissance chez le Poulet de chair

Figure 3: Broiler carcasses from the Ross 308 and the Control (ACRBC) broilers in the 2001 study (Havenstein et al., 2003a,b)

ACRBC Males - 2001 Feed



Ross Males - 2001 Feed

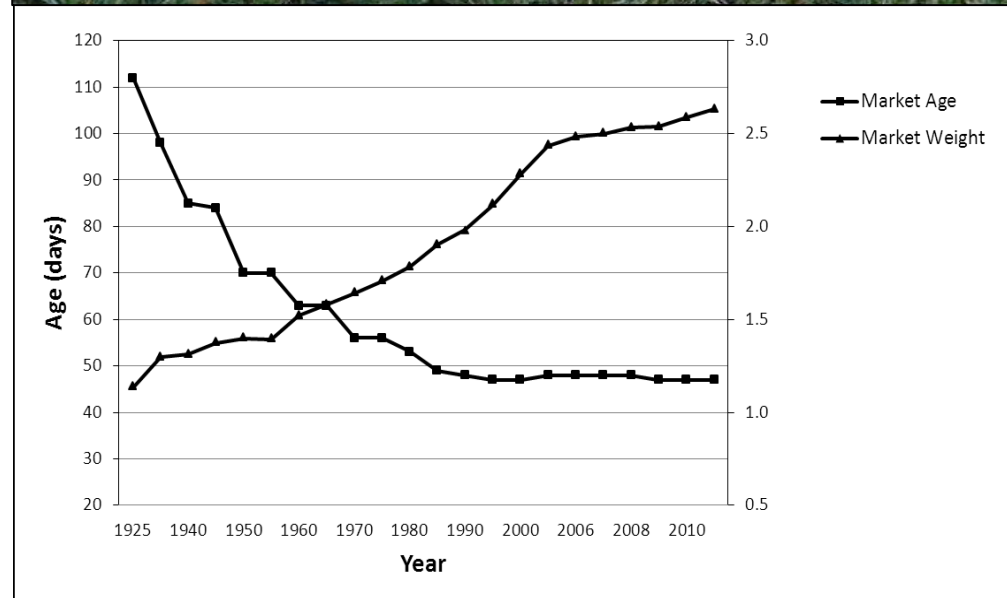


Day 43

Day 57

Day 71

Day 85





## Impact d'un programme de sélection sur la vitesse de croissance chez le Poulet de chair et la dinde

Figure 3: Broiler carcasses from the Ross 308 and the Control (ACRBC) broilers in the 2001 study (Havenstein et al., 2003a,b)

ACRBC Males - 2001 Feed



Ross Males - 2001 Feed



Day 43

Day 57

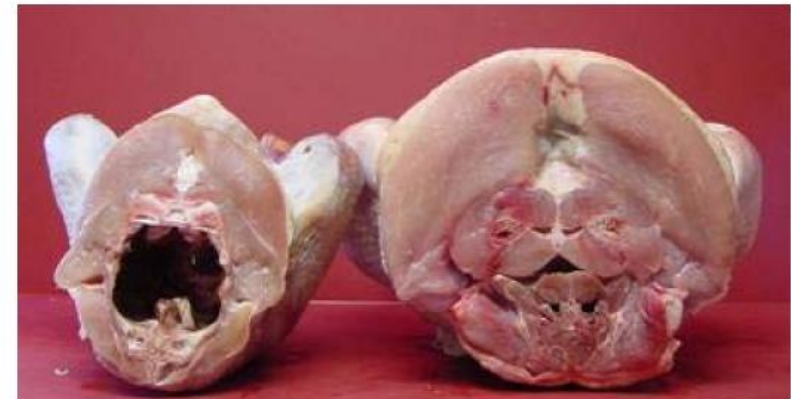
Day 71

Day 85

Figure 4: Turkey carcasses at 196 days of age from the randombred RBC2 strain established in 1966 and maintained at Ohio State University and a modern turkey hatched in 2003 (Source: Havenstein et al., 2004a,b; 2007)

RBC2

2003 Turkey



# La sélection génétique : Quelles implications ?

Impact d'un programme de sélection sur la vitesse de croissance chez le Poulet de chair et la dinde

Figure 3: Broiler carcasses from the Ross 308 and the Control (ACRBC) broilers in the 2001 study (Havenstein et al., 2003a,b)

ACRBC Males - 2001 Feed



L'amélioration des performances n'est pas due au seul progrès génétique, mais ce dernier y contribue !

Performances (Phénotype) =  
Génotype + Environnement + G x E

Toutefois :

- ✓ La sélection génétique pour des caractères de production ou la sélection "naturelle" pour l'adaptation aux facteurs de l'environnement va augmenter la fréquence d'allèles récessifs rares qui ont des effets négatifs sur l'adaptabilité.
- La théorie génétique prédit donc que la sélection génétique pour des caractères de production aura inévitablement des effets sur d'autres caractères et que certains seront préjudiciables.

Day 43

Day 57

Day 71

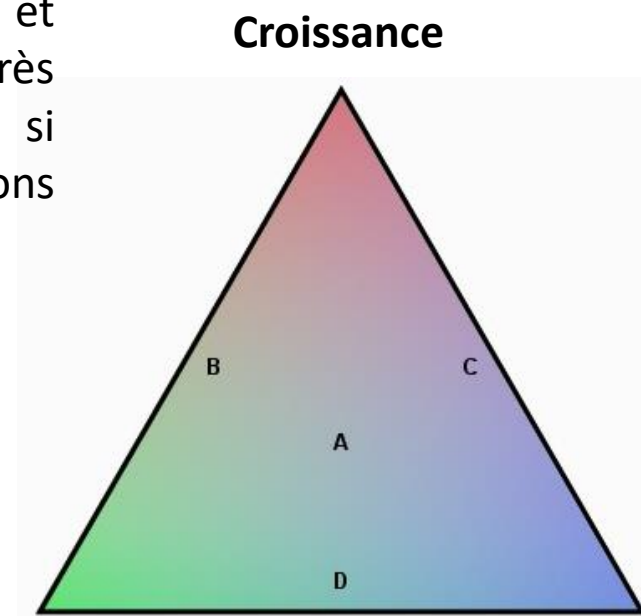
Day 85

### **Théorie de l'écologie évolutive :**

- Sélection "naturelle" = Principale force qui modèle les paramètres d'histoire de vie des organismes vers une meilleure valeur sélective (fitness) et pour laquelle les processus consommateurs d'énergie et de nutriments ne peuvent être tous optimisés simultanément (allocation de ressources).
- Sélection « commerciale » : Les "trade-off" qui ont modelé le métabolisme et la physiologie durant l'évolution sont toujours présents et sont exacerbés après la sélection intensive qui tend à compromettre cet équilibre, même si l'environnement des animaux d'élevage (logement, alimentation, conditions sanitaires...) est mieux contrôlé.

### Principaux paramètres d'histoire de vie concernés :

- Croissance,
- Reproduction,
- Immunocompétence.



Reproduction

Immunité



### Théorie de l'écologie évolutive :

- Sélection « naturelle » = Principale force de sélection qui agit sur les meilleurs individus (meilleure valeur de fitness)

### Functional Ecology

Functional Ecology 2011, 25, 74–80



doi: 10.1111/j.1365-2435.2010.01800.x

ECOLOGICAL IMMUNOLOGY

### Trade-off between growth and immune function: a meta-analysis of selection experiments

Peter J. van der Most<sup>1</sup>, Berber de Jong<sup>1</sup>, Henk K. Parmentier<sup>2</sup> and Simon Verhulst<sup>1\*</sup>

Les paramètres d'élevage (conditions d'élevage (contraintes...)) est mieux contrôlé.

Principaux paramètres d'histoire de vie concernés :

- Croissance,
- Reproduction

### Trade-offs in evolutionary immunology: just what is the cost of immunity?

Robert L. Lochmiller and Charlotte Deerenberg

Les Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français

Les paramètres d'histoire de vie des organismes vers une allocation des ressources (entre les processus consommateurs d'énergie et de nutriments et la production de ressources).

frontiers in GENETICS

### Immune response from a resource allocation perspective

Wendy M. Rauw\*

Departamento de Mejora Genética Animal, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid, Spain

### Reproductive soundness is higher in chickens selected for low antibody response as compared with high antibody response

H. N. Albrecht,\* P. B. Siegel,\* F. W. Pierson,† M. L. McGilliard,‡ and R. M. Lewis\*<sup>1</sup>

Production

Immunité

## SCIENTIFIC OPINION

### Scientific Opinion on the influence of genetic parameters on the welfare and the resistance to stress of commercial broilers<sup>1</sup>

EFSA Panel on Animal Health and Welfare<sup>2,3</sup>

European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy

3.	Overview of the welfare of broilers .....	9
3.1.	Mortality .....	10
3.2.	Musculoskeletal disorders .....	12
3.3.	Muscle disorders .....	15
3.4.	Contact dermatitis .....	16
3.5.	Ascites, pericarditis, sudden death syndrome and spiking mortality syndrome .....	18
3.6.	Respiratory and mucous membrane diseases .....	20
3.7.	Thermal discomfort .....	21
3.8.	Behavioural restriction .....	22
3.9.	Environmental factors linked to welfare .....	23
3.10.	Nutrition and feed management, water .....	23
3.11.	Digestive function .....	24

La sélection chez le poulet de chair à croissance rapide est associée à des problèmes de :

- ✓ Reproduction,
- ✓ Comportement (alimentaire, social (picage, « nervosisme », accouplement), locomotion, etc...),
- ✓ Santé Animale (mortalité, morbidité, pathologies, réponse immune, boiteries, etc...),
- ✓ Qualité des produits (wooden breast, stries blanches, pHu, couleur de la viande, etc...).

# Evolution du nombre de caractères sélectionnés chez le poulet de chair...

**1960**  
Poids vifs  
Vitesse de croissance  
IC

ACRBC Males - 2001 Feed



Ross Males - 2001 Feed



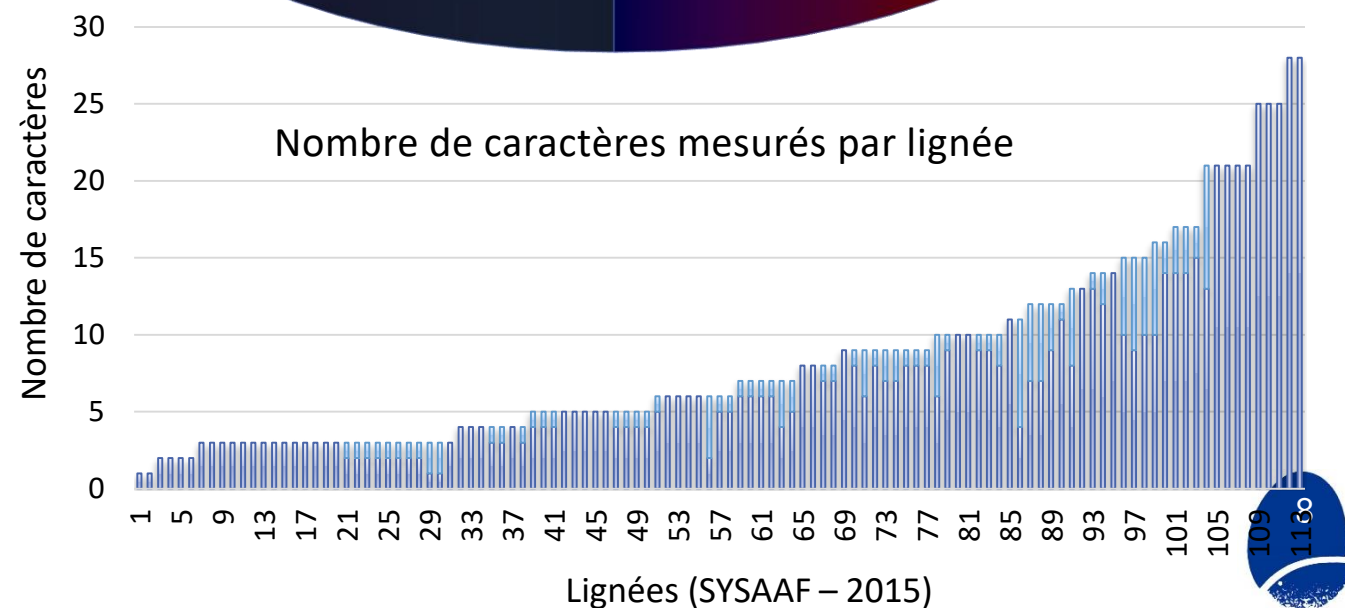
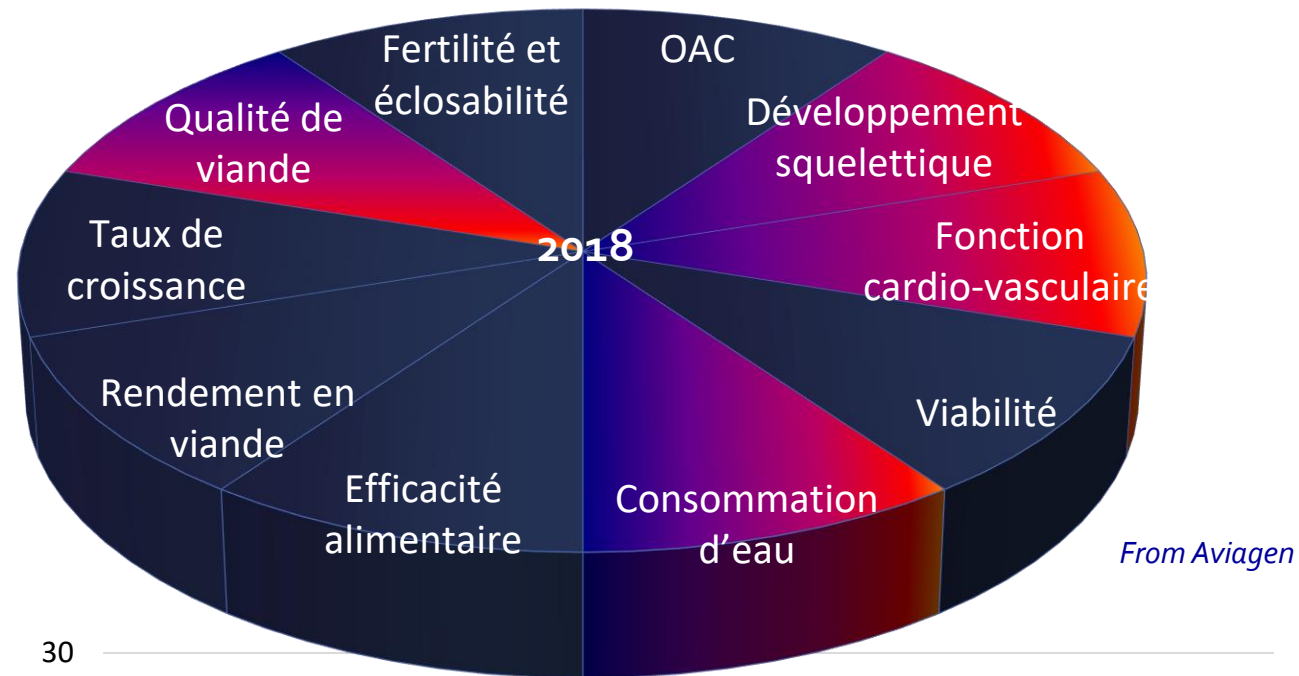
Day 43

Day 57

Day 71

Day 85

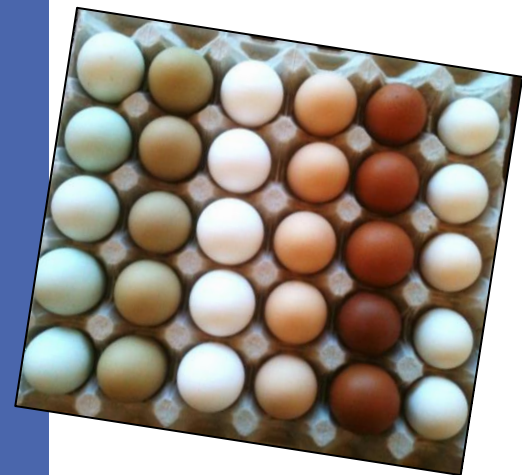
[Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français](http://www.syAAF.fr)





# Sélectionner : Pourquoi et comment ?

- Gallus [Poule pondeuse, Poulet de chair à croissance rapide ou lente, races locales]



Poulet Export  
<36jr & <1,5kg

Poulet Standard  
<42jr & <2,5kg

Poulet Certifié & lourd  
50-70jr & 2,5 à 5kg

Poulet à croissance lente  
"Label Rouge" & Bio  
>81jr & <2,5kg

Race Locale  
(Poulet de Bresse)  
>110 jr



# Sélectionner : Pourquoi et comment ?

✓ Sélectionner = choisir : Choix de reproducteurs pour produire la génération suivante

➤ Evolution des méthodes de choix.



Génétique Quantitative-Pedigree

Avant 1960  
Apparence  
(Sélection massale)

1960-1980  
Modèle statistique  
(Héritabilité-Pedigree)

1980-2000  
Modèle statistique  
BLUP

Depuis 2000  
Génotypage et  
Sélection Génomique

$$V_G = E(G^2) = \sum_{i \leq j} f_{ij} G_{ij}^2$$



➤ Gérer des populations = lignées "pures"

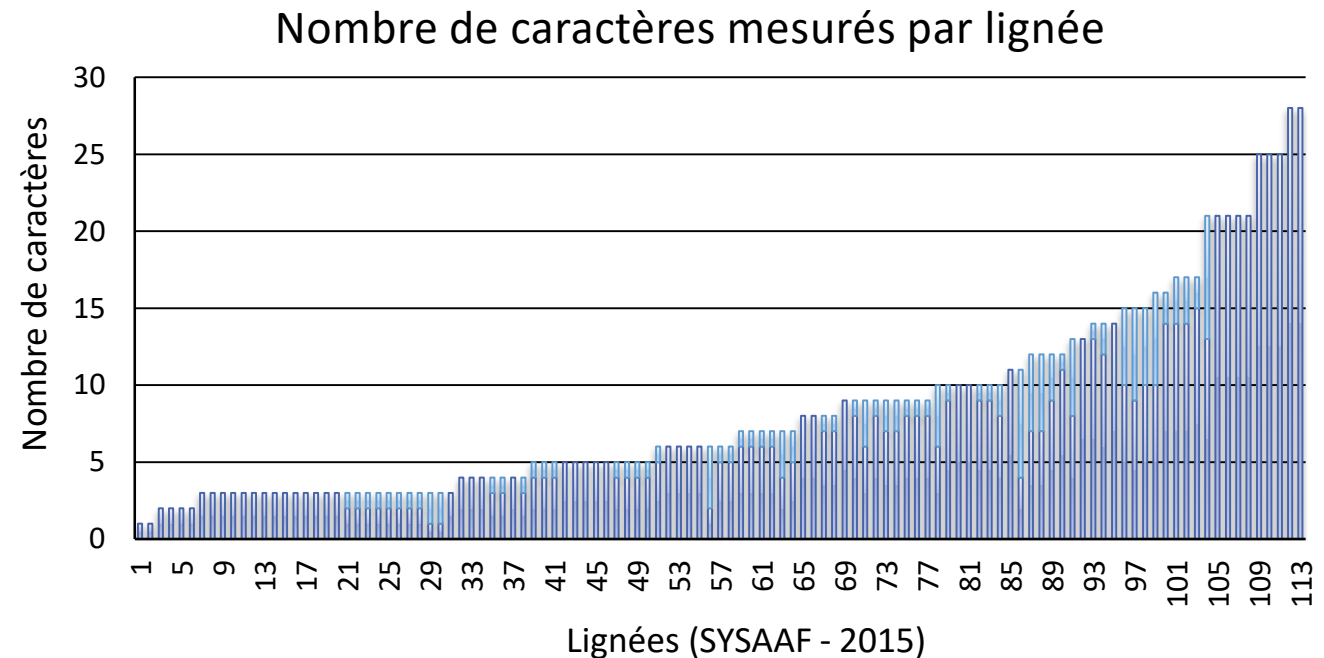
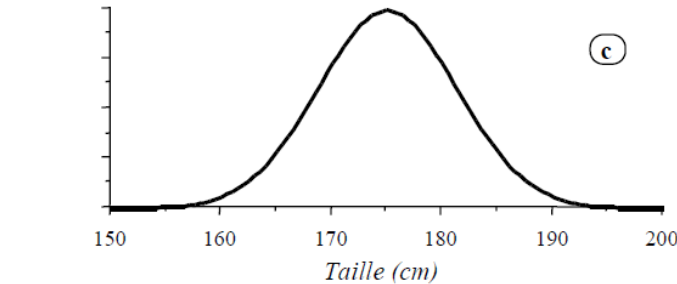
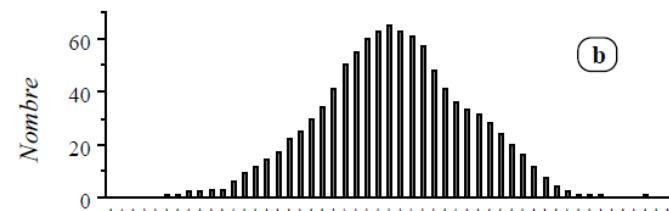
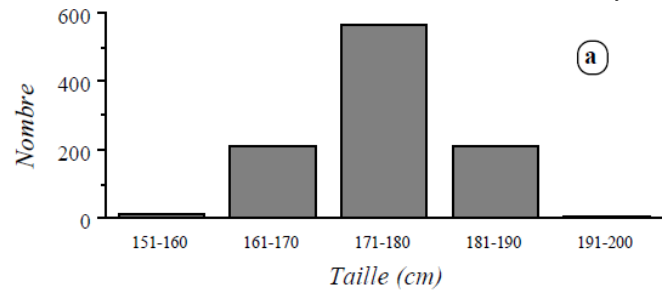
- ✓ Pureté = **gestion de populations fermées sans introduction** de nouveaux reproducteurs depuis l'extérieur,
- ✓ Gérer les apparentements (entre reproducteurs au sein de la population) et la consanguinité (individu)

➤ Pour générer du progrès génétique en choisissant des reproducteurs au sein d'une population en fonction d'objectifs pré-définis afin d'orienter les caractéristiques phénotypiques qui seront transmises à la descendance.

# Sélectionner : Pourquoi et comment ?

## ➤ Caractéristiques phénotypiques :

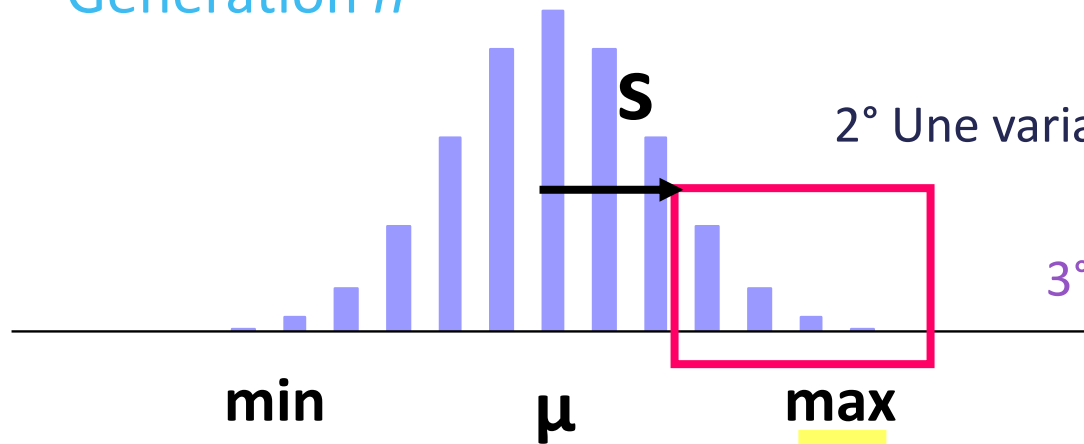
- **Objectifs** : Choisir pour fixer, augmenter, stabiliser ou homogénéiser, réduire l'expression de caractères d'intérêts ou indésirables,
- **Nature des caractères** :
  - ✓ Discontinus ou discrets : Catégories distinctes (Note d'emplument, couleur, etc...), présence-absence (Mort)
  - ✓ Continus : Poids vif, vitesse de croissance, ponte, consommation alimentaire, indice de consommation





1° Un caractère continu mesuré dans une population

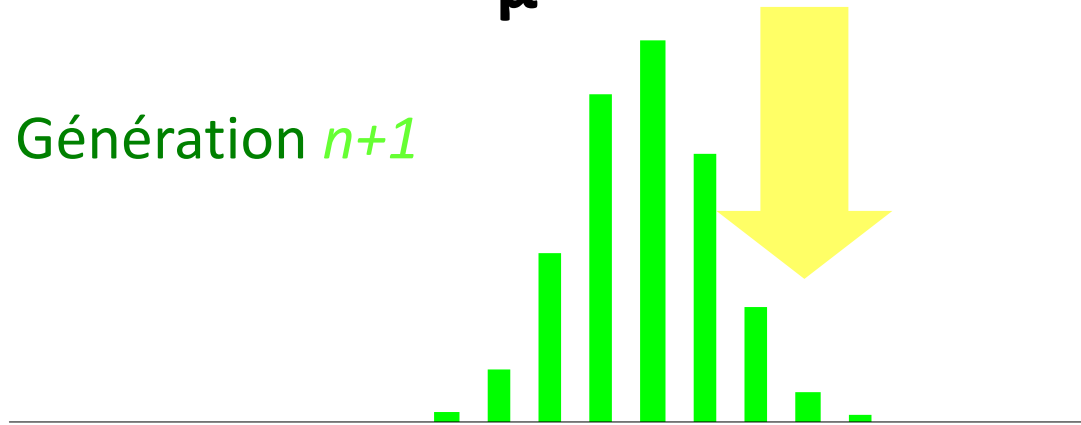
Génération  $n$



2° Une variabilité observée et quantifiée

3° Une sélection directionnelle par troncature

Génération  $n+1$



L'**héritabilité** ( $h^2$  comprise entre 0 et 1) est une donnée statistique évaluant la part des facteurs génétiques dans la variation de l'expression d'un caractère phénotypique mesurable au sein d'une population donnée.

**Un gain attendu à la génération suivante  
(avec des conséquences sur la variabilité génétique = réduction)**



Je veux faire reproduire les animaux ayant le meilleur potentiel, mais dans des environnements très différents sur un marché mondial

➤ **Comment choisir ? :**

## E N V I R O N N E M E N T

➔ Une analyse statistique rigoureuse est indispensable.

➤ **En tenant compte du - des...**

✓ **Phénotype individuel ?**

- ✓ Efficace si le caractère est bien héritable (ex : Poids vifs),
- ✓ Moins efficace si le caractère est peu héritable (ex : Meilleures pondeuses, les filles ne sont pas meilleures).

✓ **Phénotype individuel et de ses apparentés** : meilleure stratégie, plus efficace...

Deux sœurs se ressemblent plus que deux 1/2 sœurs que 2 cousines ...

✓ **Apparentements et consanguinité des candidats reproducteurs** : Représentation familiale, accouplements...

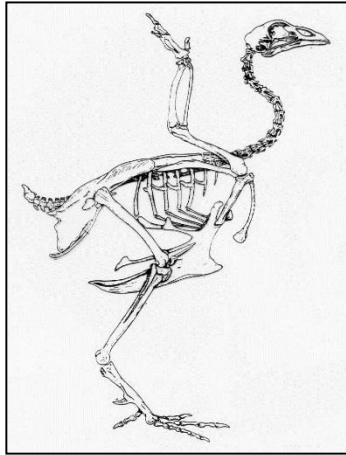
**Aucune maîtrise sans connaissance des pedigree !**





Troubles musculo-squelettiques : Affectent principalement le système locomoteur et génèrent des boiteries.

- Evalué sur le terrain par le test du “gait score”, mais causes diverses.
- Différentes causes :
  - ✓ Croissance et développement (Déformations osseuses comme les valgus-varus, dyschondroplasies, problèmes d’ossification),
  - ✓ Infectieuses (Nécroses des têtes fémorales, synovie, infections combinées).



valgus-varus  
Déviations vers l'intérieur ou  
l'extérieur du tibia ou du  
fémur



- ✓ Origine génétique et possibilités de sélection :
  - Très faible corrélation génétique entre les performances de croissance et la susceptibilité de déformation des pattes (corrélations génétiques de 0,05 et 0,01 entre le poids vifs à 6 semaines et l'occurrence de valgus et varus, respectivement).
  - Les déformations varus et valgus sont héritables ( $h^2 = 0,22$ , mâle).

[Le Bihan-Duval et al. 1997]

# La sélection génétique : Quelles implications ?

Troubles musculo-squelettiques : Affectent principalement le système locomoteur et génèrent des boiteries.

- Evalué sur le terrain par le test du “gait score”, mais causes diverses.
- Différentes causes :
  - ✓ Croissance et développement (Déformations osseuses comme les valgus-varus, dyschondroplasies, problèmes d’ossification),
  - ✓ Infectieuses (Nécroses des têtes fémorales, synovie, infections combinées).

## Scoring scale

TD 1 = mild



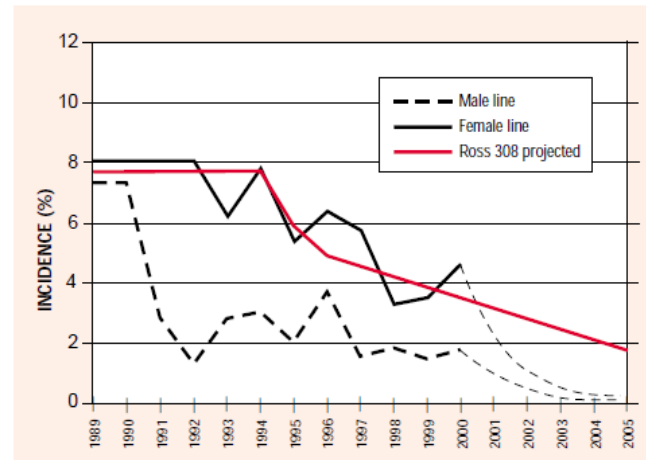
TD 2 = severe



TD 3 = very severe



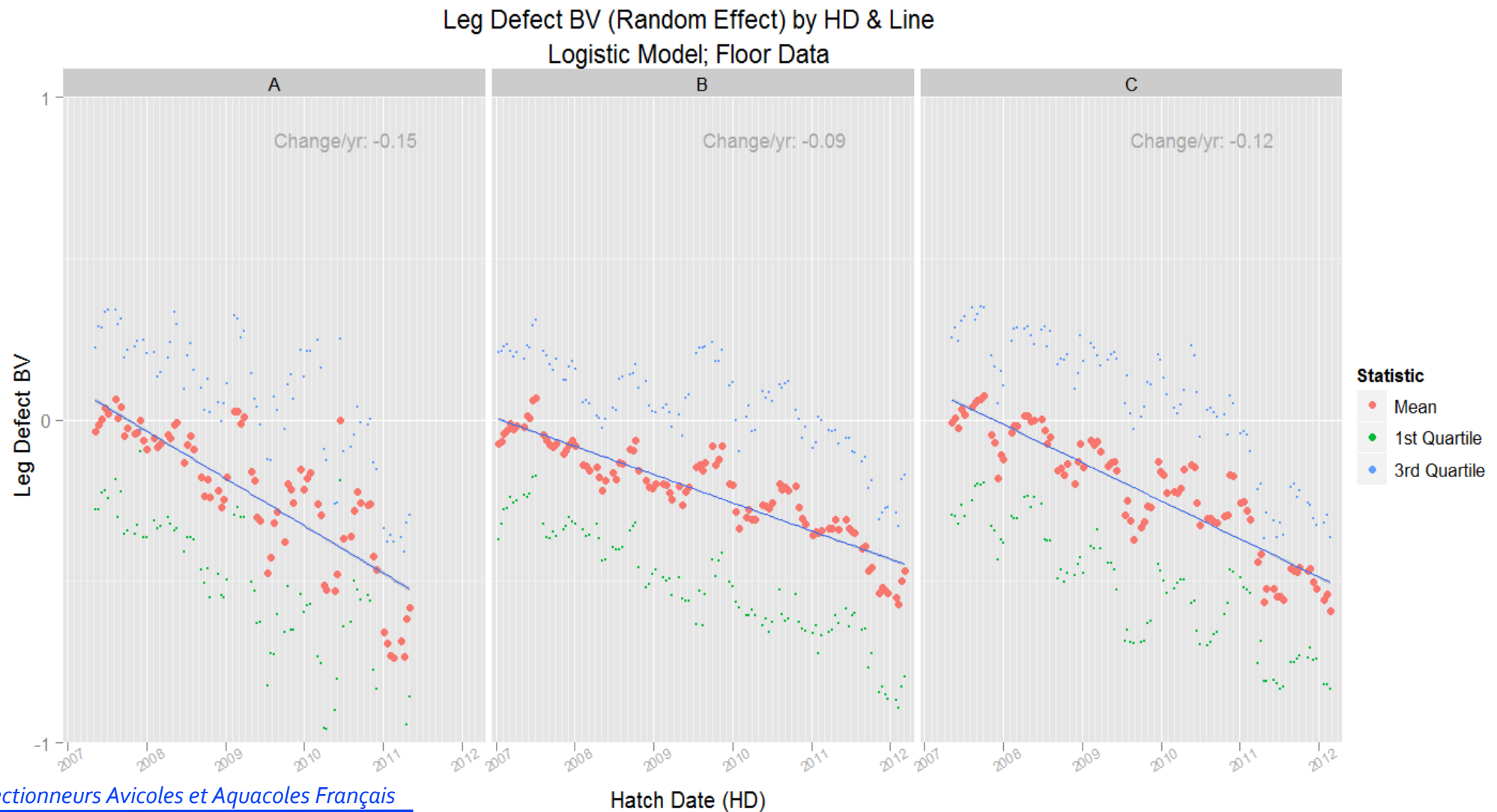
**DIAGRAM 2:** Graph of reduction in incidence of Tibial dyschondroplasia through time



- ✓ Origine génétique et possibilités de sélection :
  - L’héritabilité de la dyschondroplasie tibiale à 4 (0,37) et 7 semaines d’âge (0,42) est significative,
  - Les corrélations génétiques de la dyschondroplasie tibiale avec le poids vif à 4 (-0.01) et 7 semaines d’âge (+0.10) sont limitées [Kuhlers and McDaniel, 1996].

# La sélection génétique : Quelles implications ?

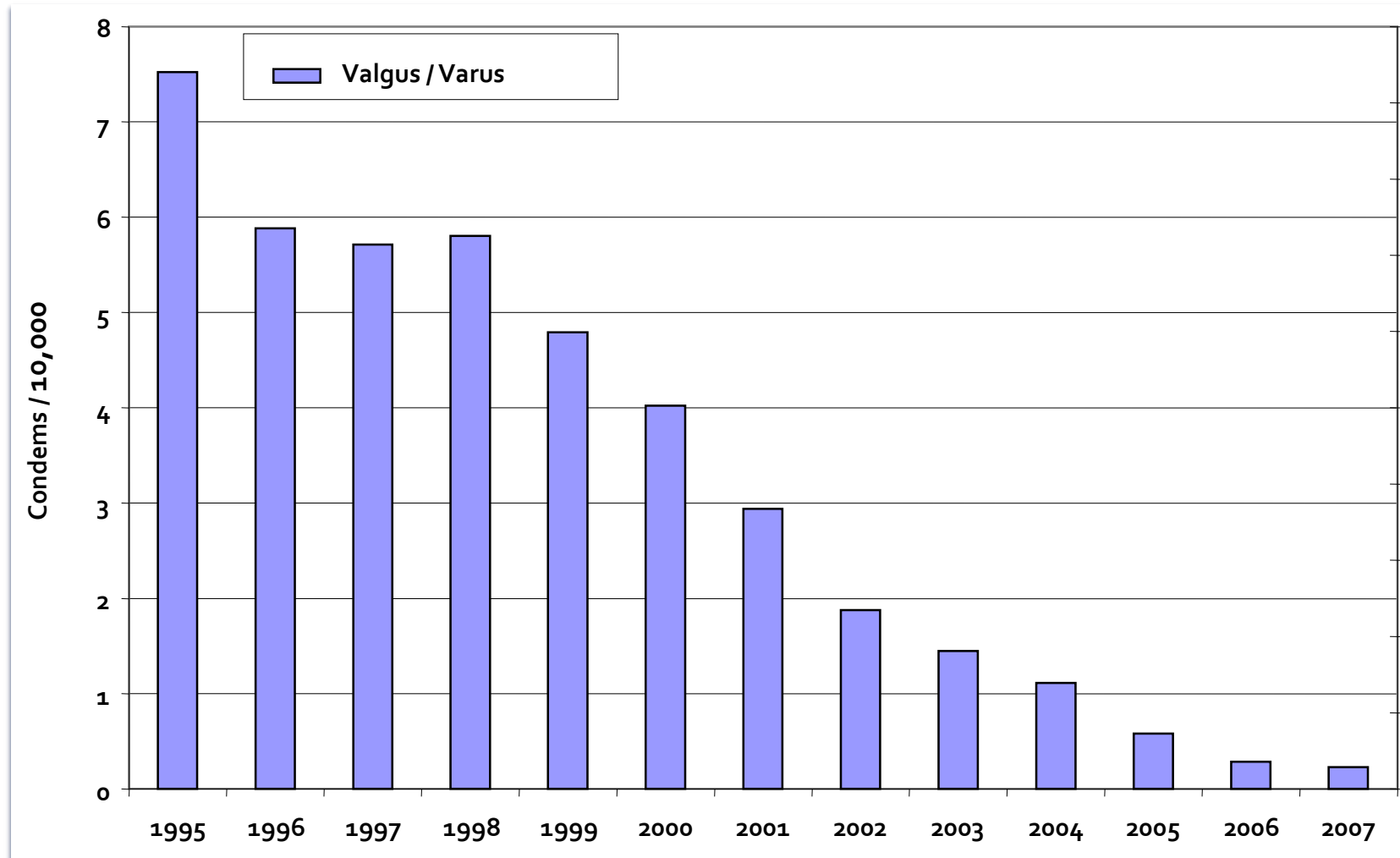
- Une diminution constante des troubles musculo-squelettiques associés à la sélection génétique :





# La sélection génétique : Quelles implications ?

- Evolution du taux de saisies pour troubles musculo-squelettiques (Canadian Food Inspection Agency Annual Report)



➤ Emergence de nouveaux problèmes de qualité des viandes

❖ Défauts de **qualité technologique** (Fletcher, 2002)

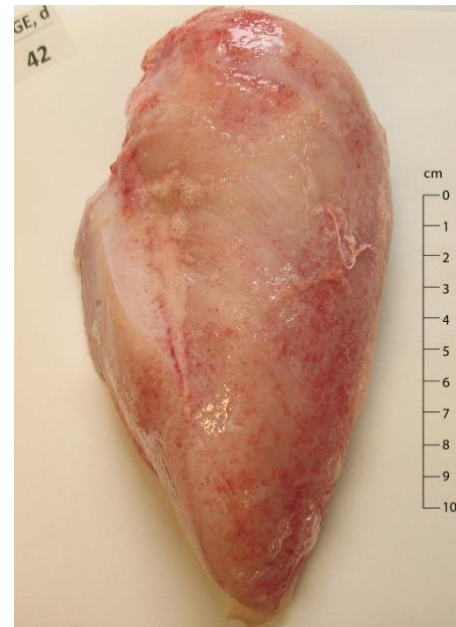
❖ Défauts de **structure musculaire** (Lorenzi et al., 2014)



Viande DFD



Viande Acide



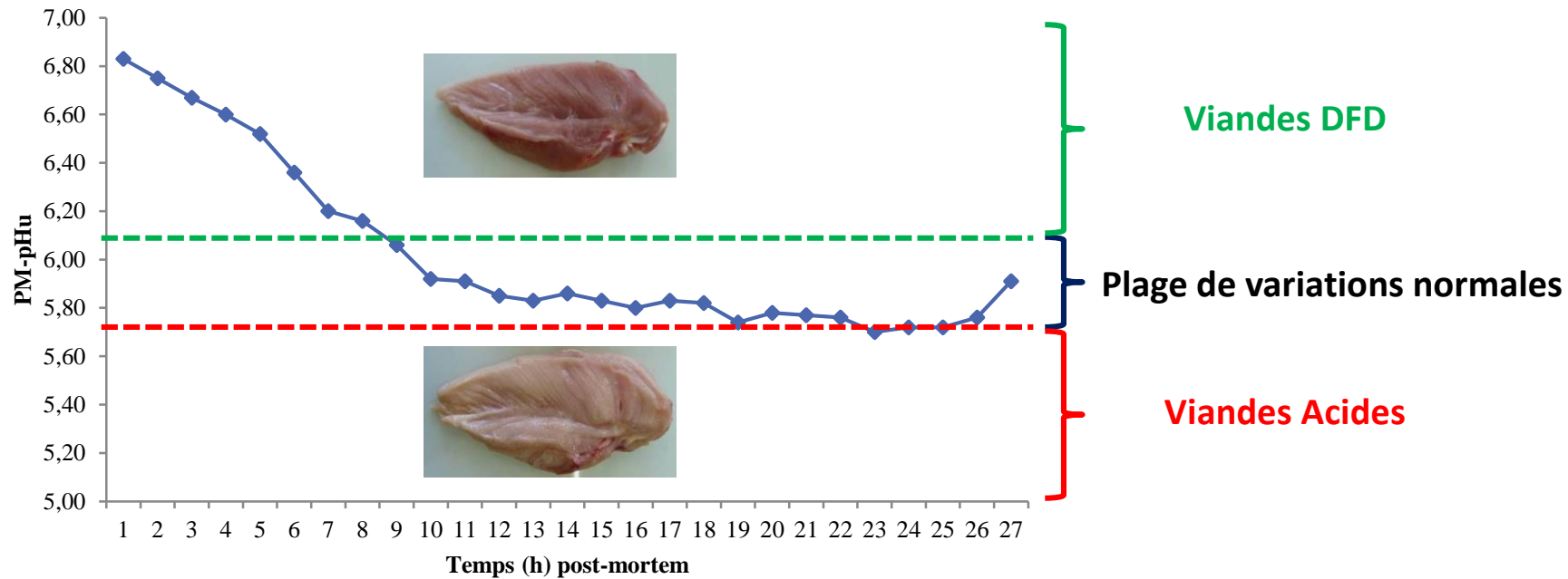
Wooden breast



Striations blanches

# La sélection génétique : Quelles implications ?

- Variations extrêmes de **PM-pHu** et défauts de qualité technologique chez le poulet

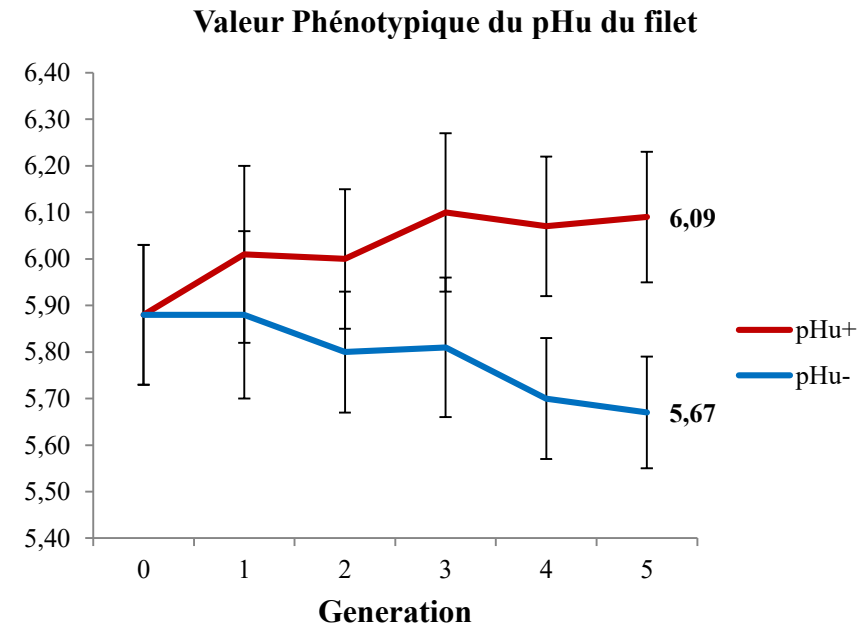
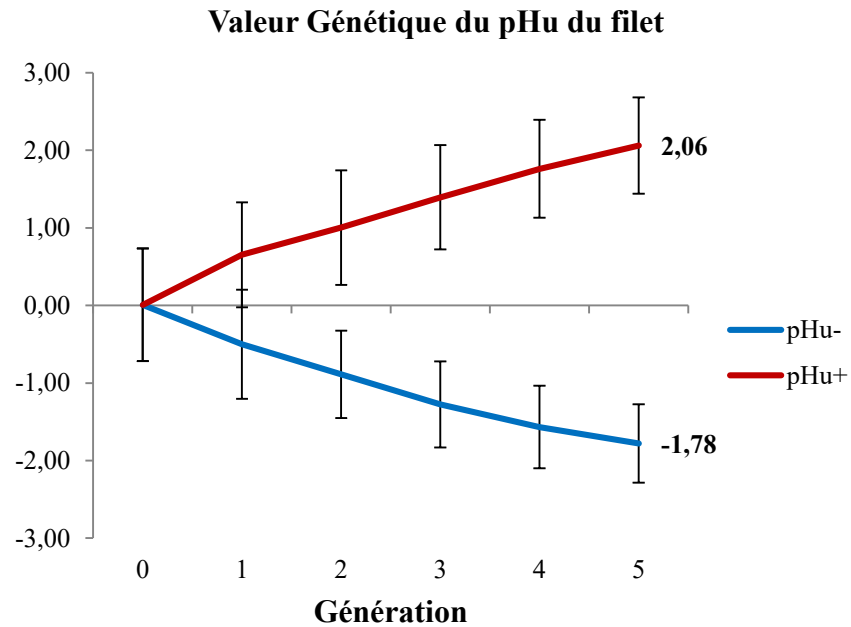


Source: Thielke et al. (2005)



# La sélection génétique : Quelles implications ?

## ❑ Résultats (1) : Evolution génétique et phénotypique du critère de sélection



À G5,

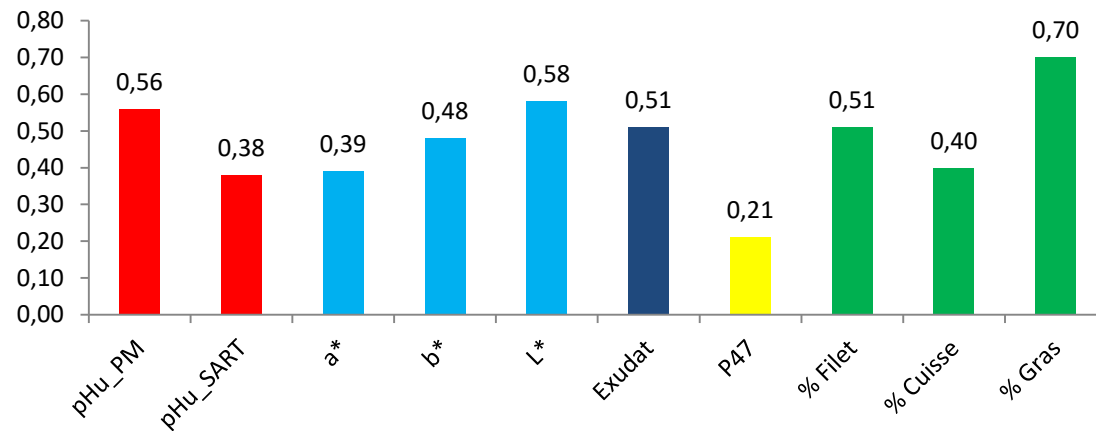
Divergence phénotypique: **0.43** Unités

Divergence génétique : **4** ETG

Source: Alnahass et al. (2016)

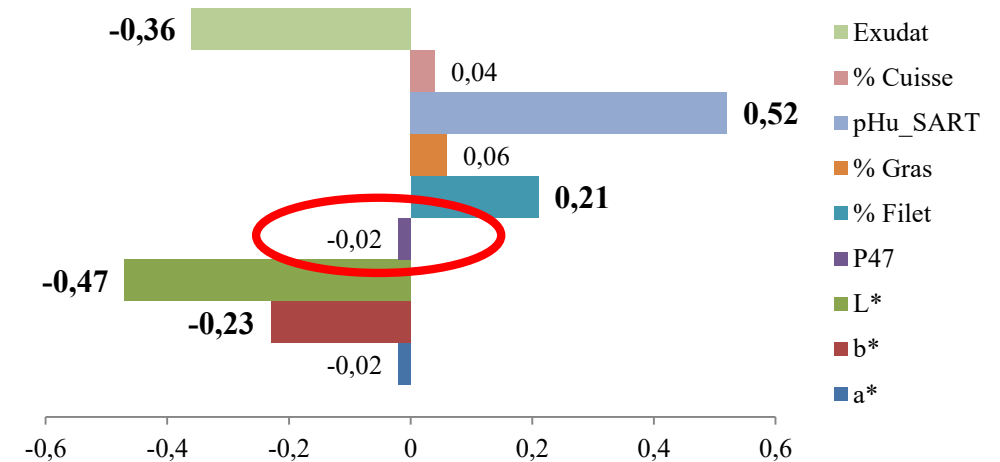
## ❑ Résultats (2): Déterminisme génétique – Population totale

### Héritabilité (h<sup>2</sup>)



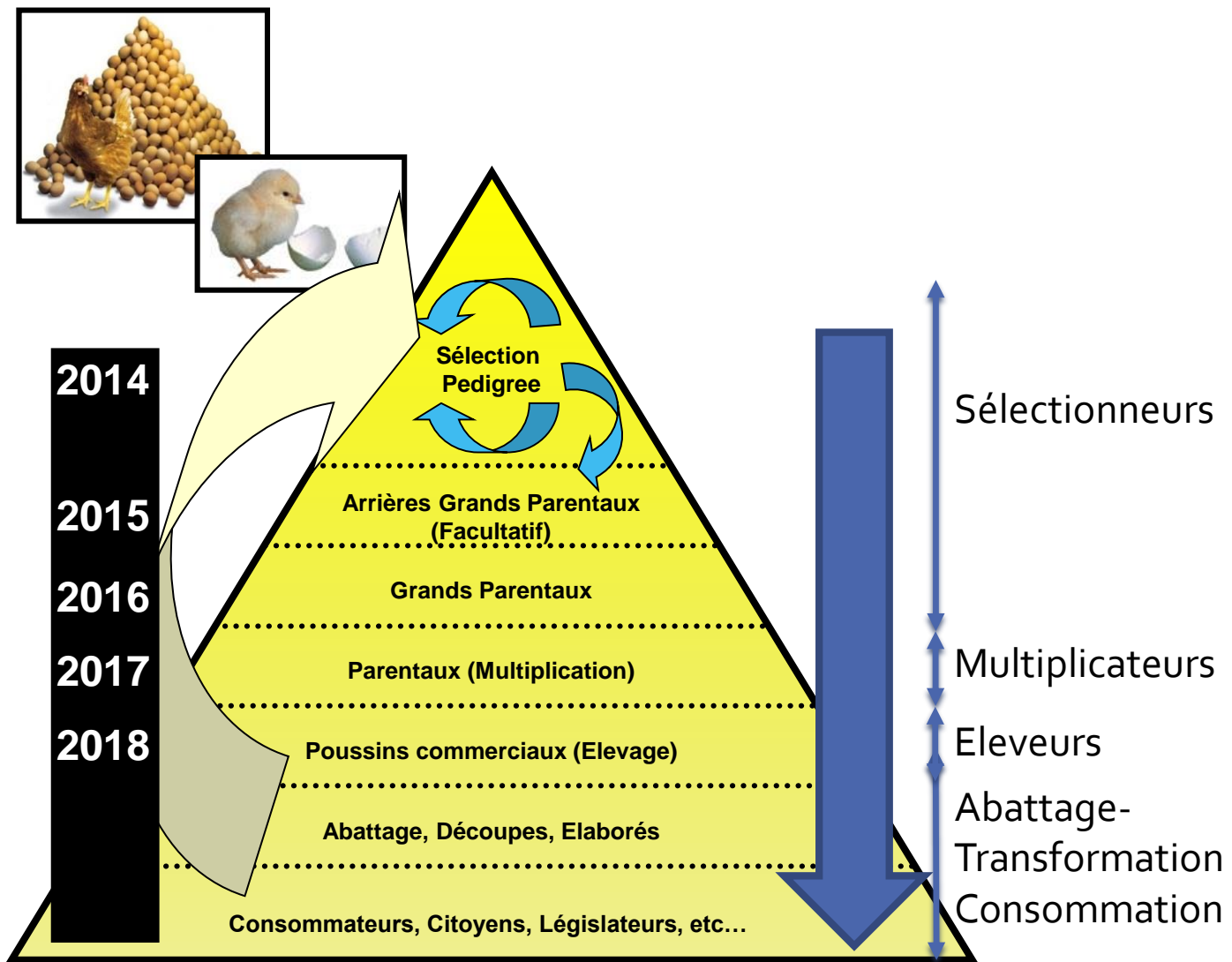
Estimation en Gras ≠ 0 à  $P \leq 0.05$

### Corrélations génétiques avec PM-pHu (r<sub>g</sub>)



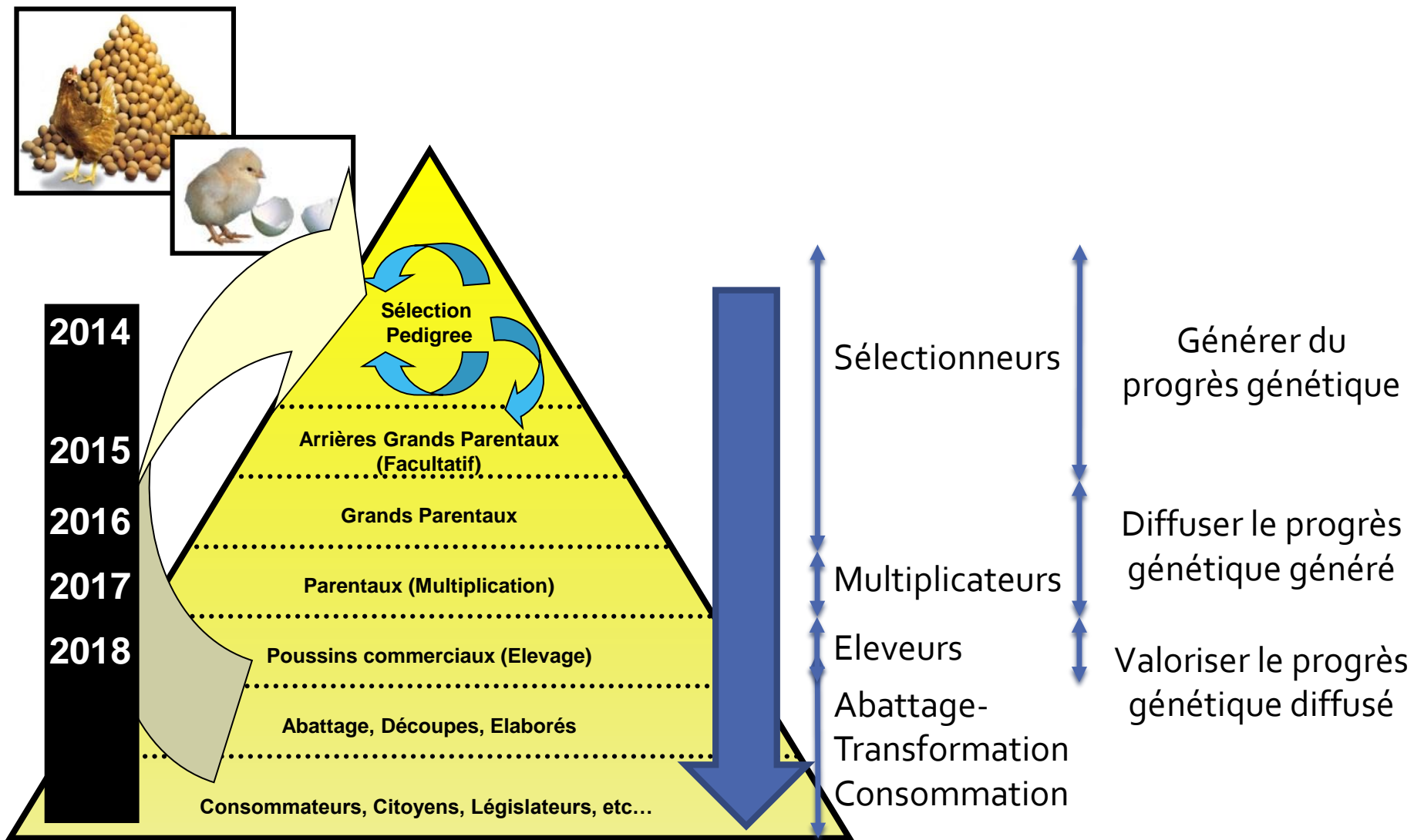
Source: Alnahass et al. (2016)

# Organisation pyramidale des schémas de production en filière avicole

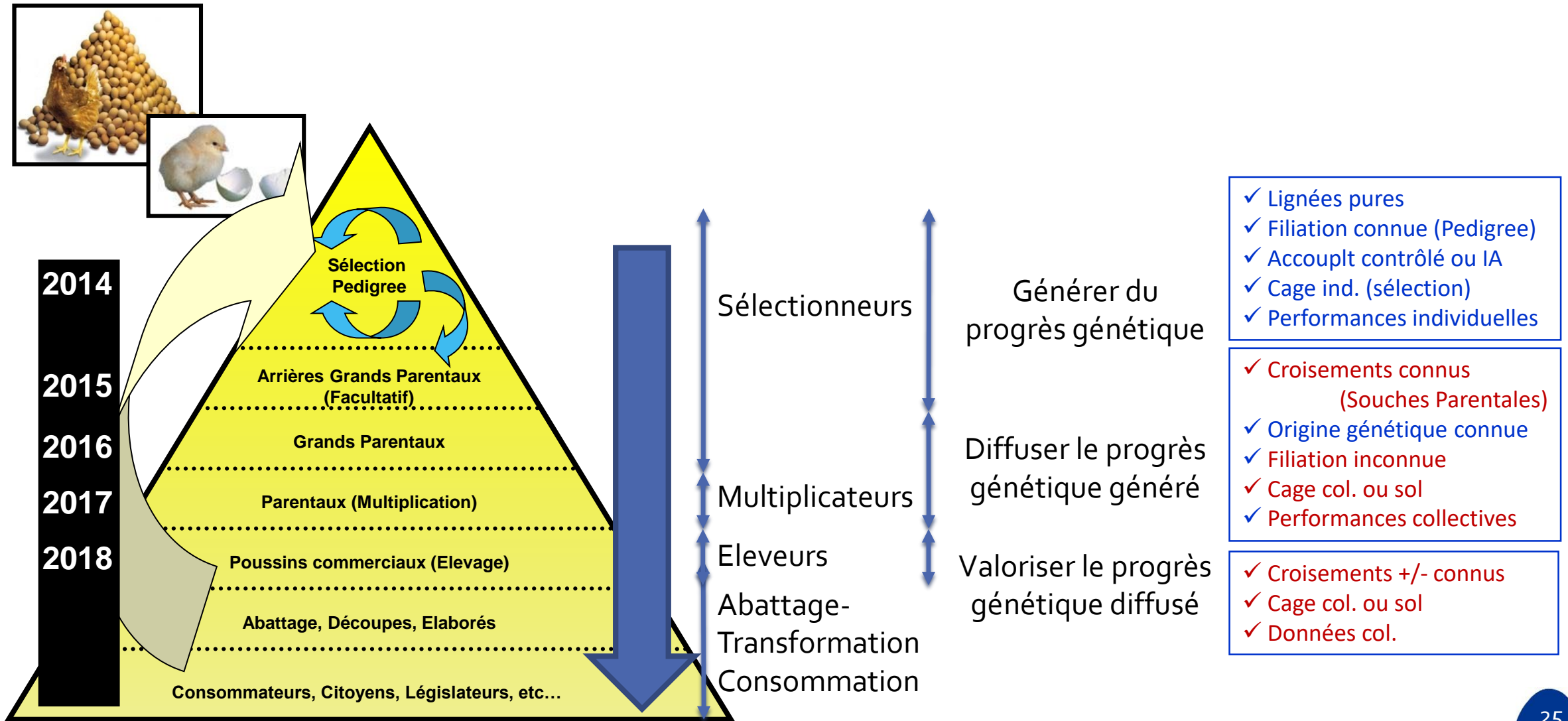




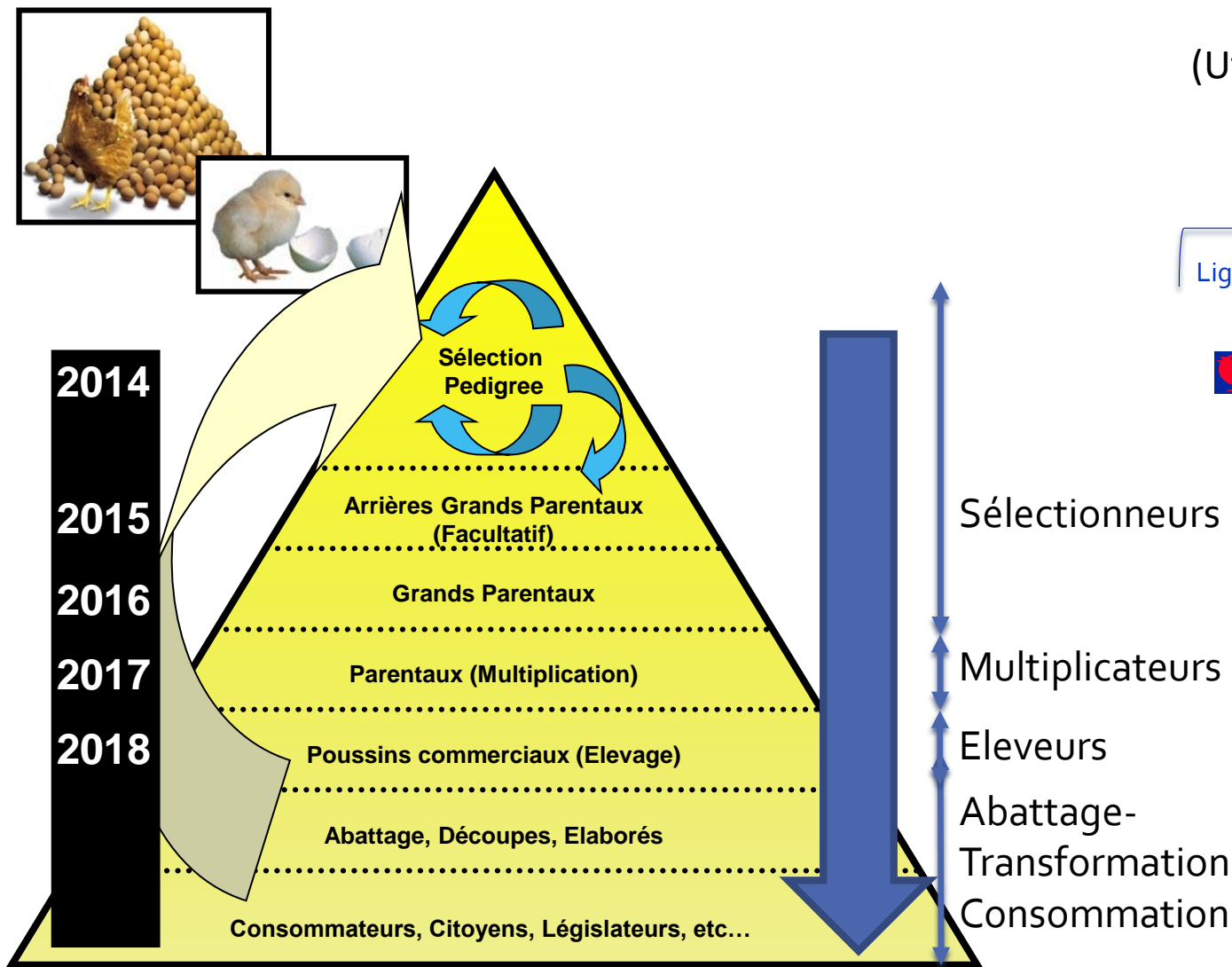
# Organisation pyramidale des schémas de production en filière avicole



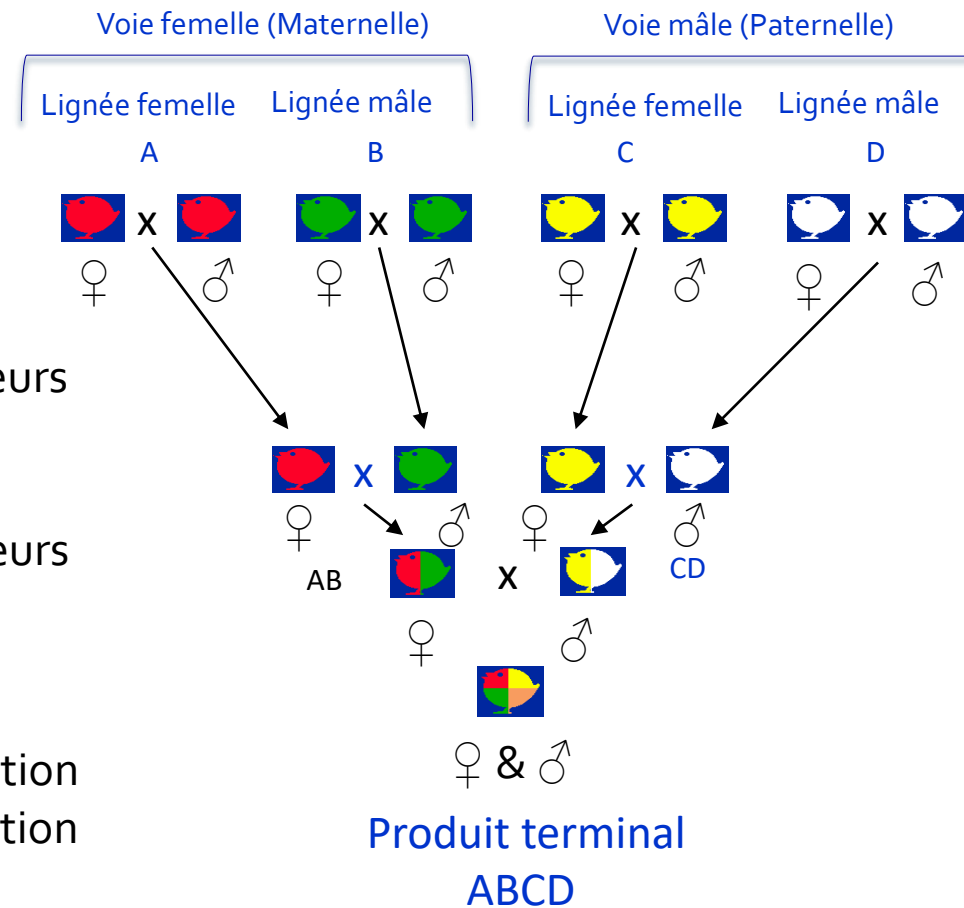
# Organisation pyramidale des schémas de production en filière avicole



# Organisation pyramidale des schémas de production en filière avicole

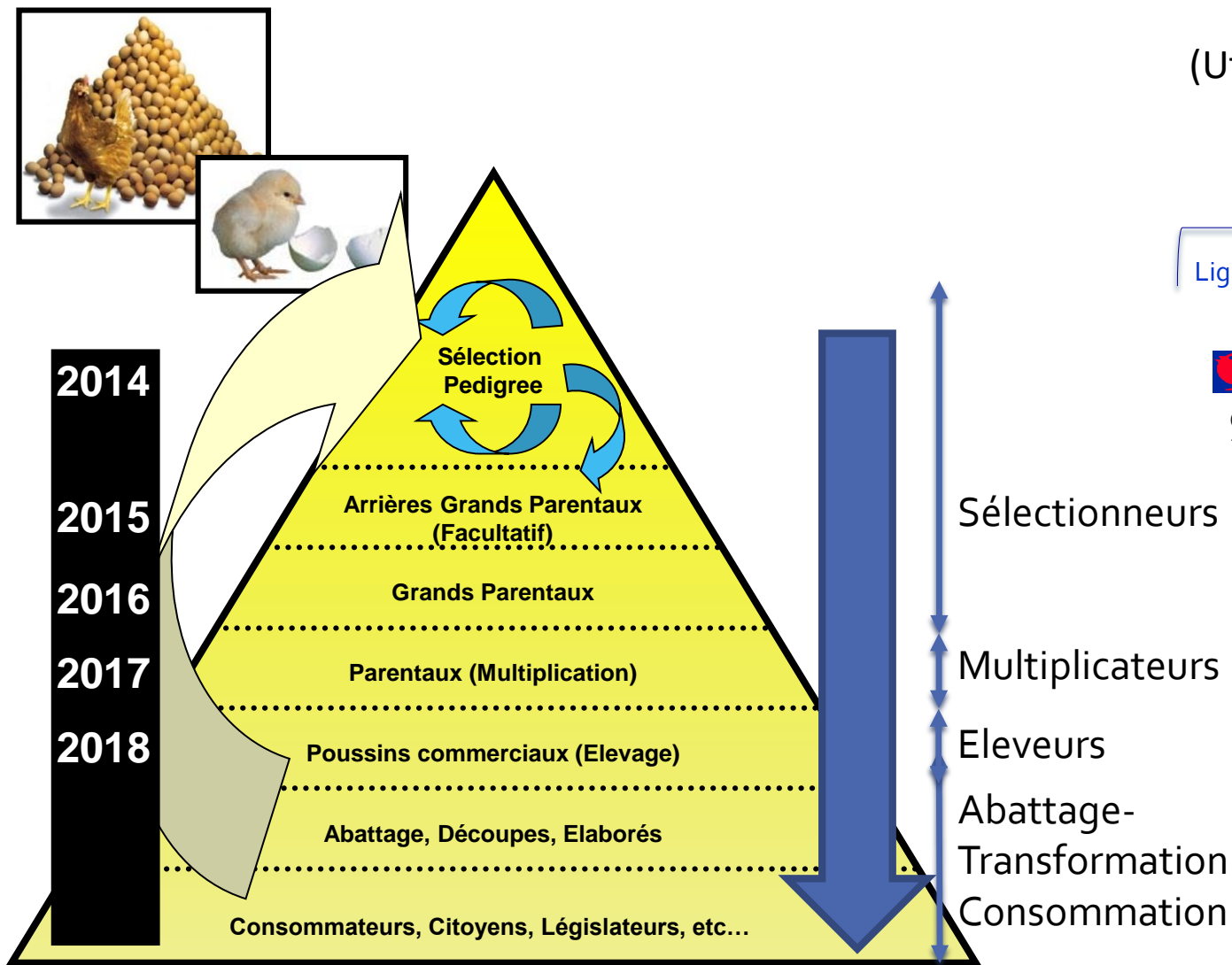


## Schéma de croisement 4 voies (Utilisation d'un sexe par lignée à chaque étape)

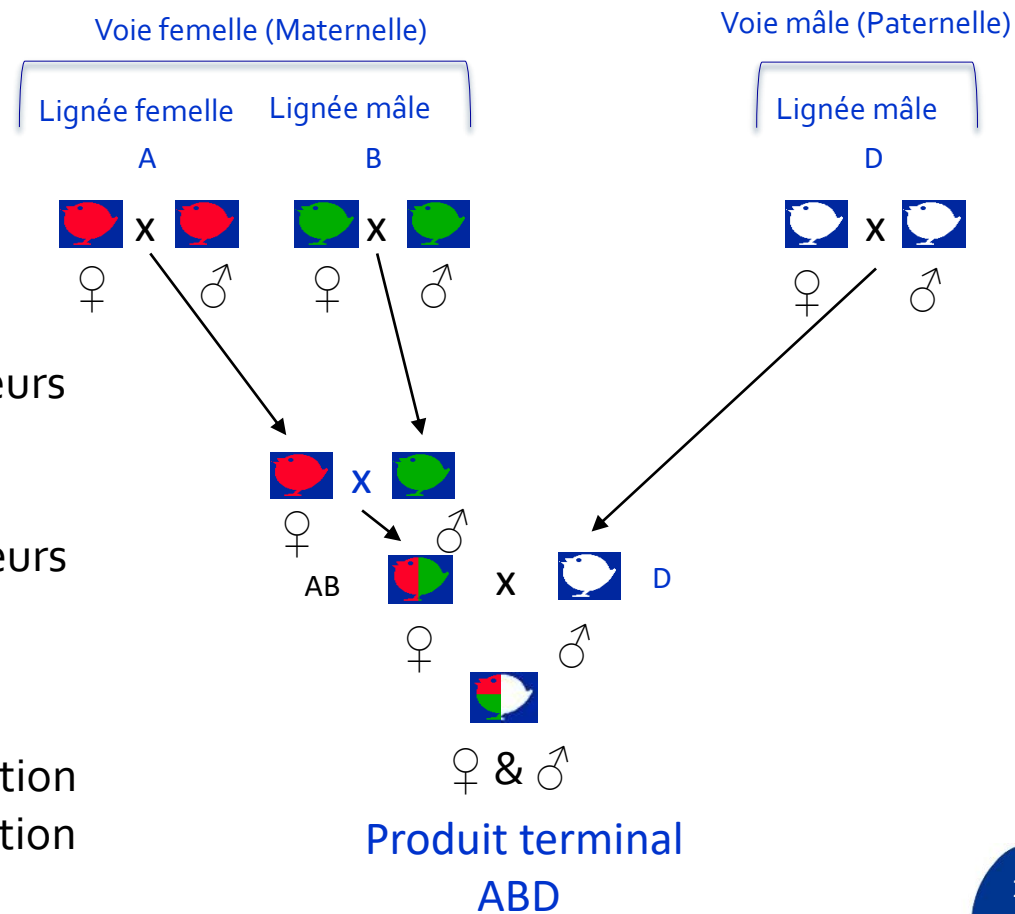




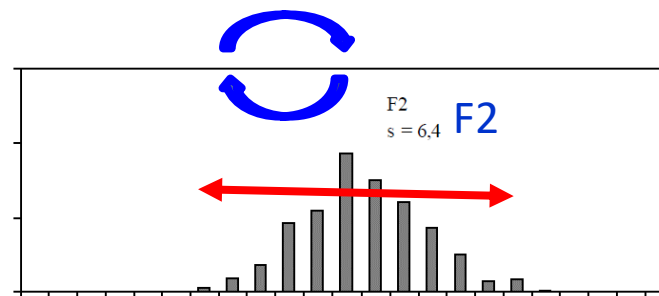
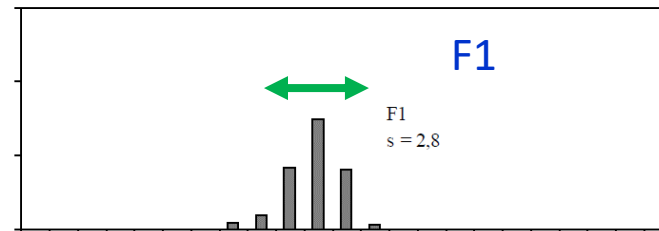
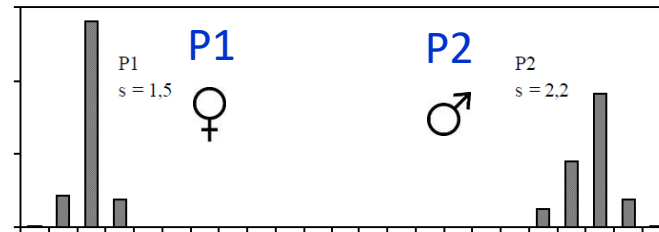
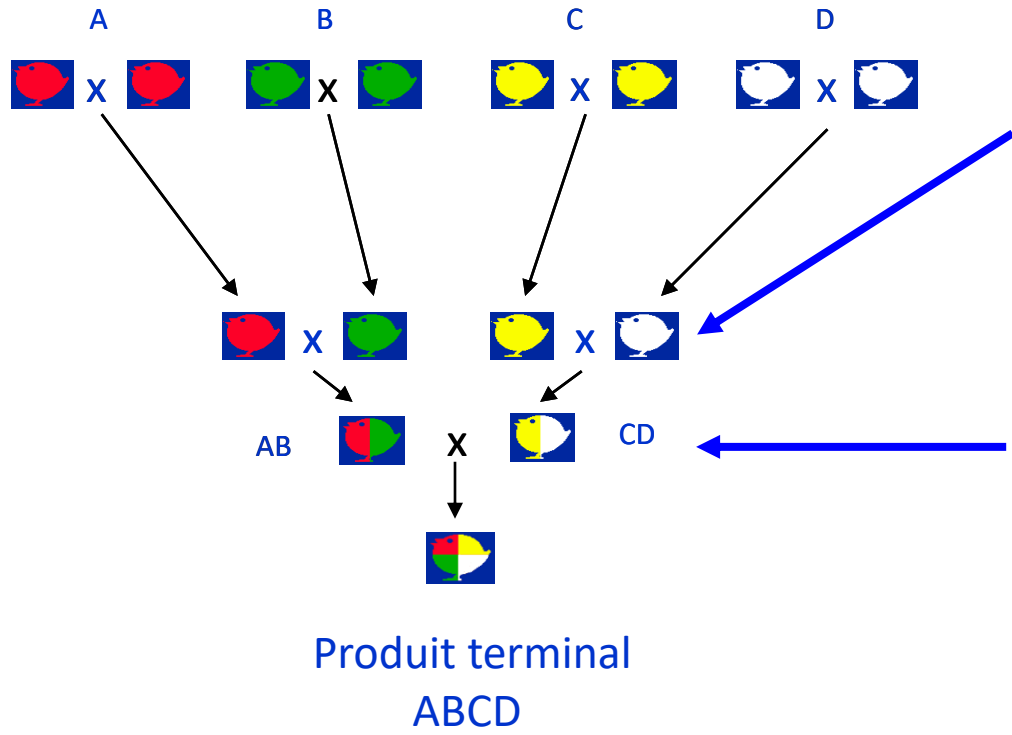
# Organisation pyramidale des schémas de production en filière avicole



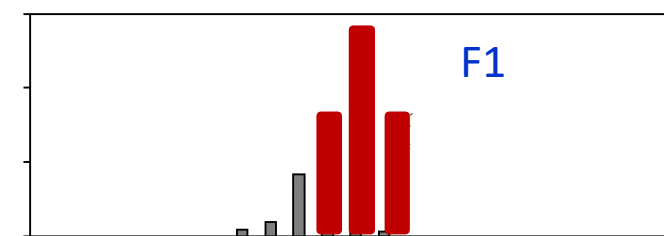
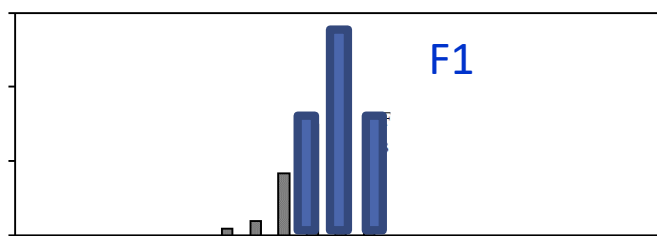
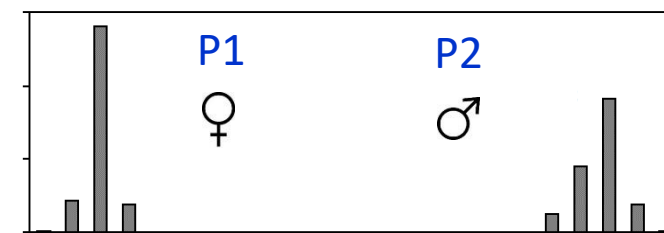
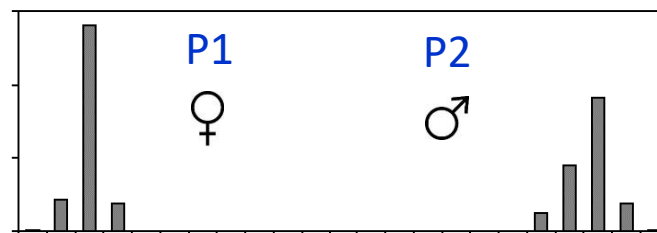
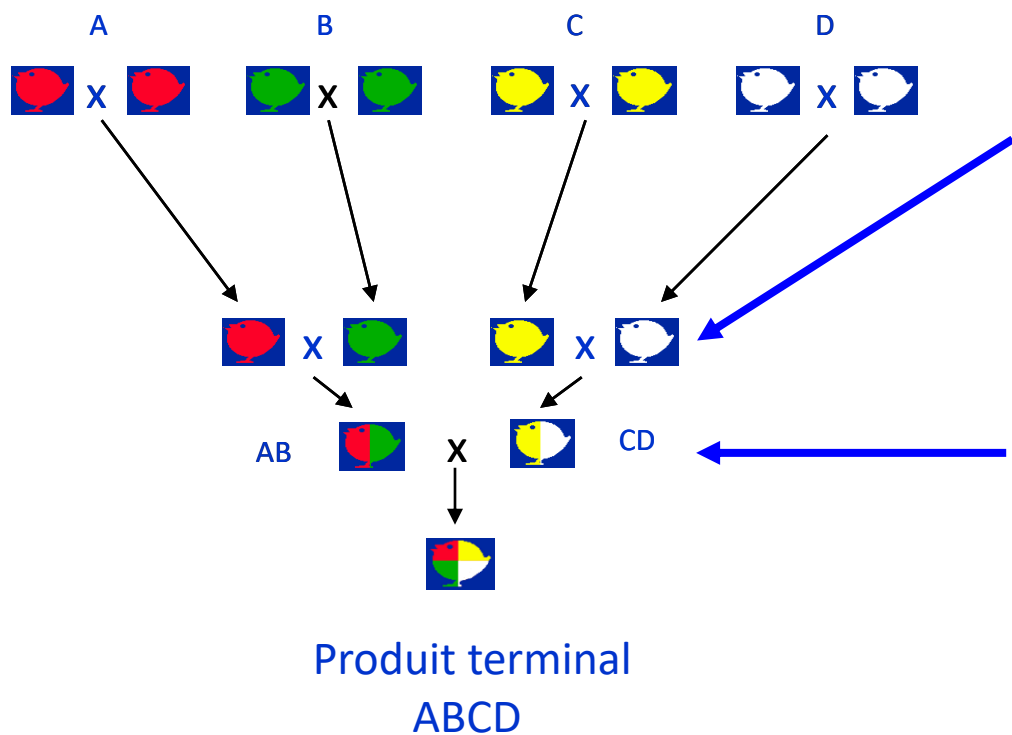
## Schéma de croisement 3 voies (Utilisation d'un sexe par lignée à chaque étape)



## Schéma de croisement 4 voies



## Schéma de croisement 4 voies



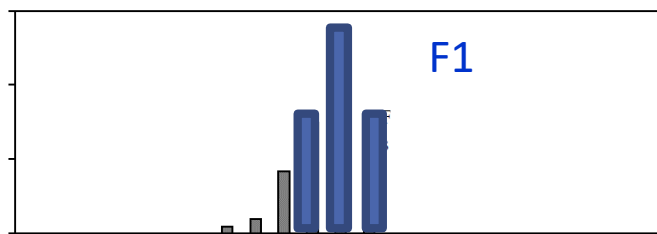
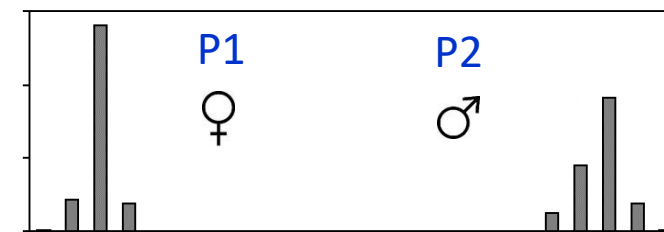
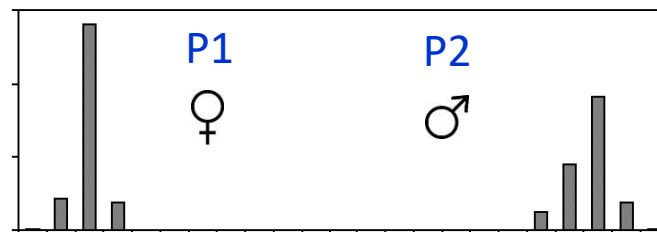
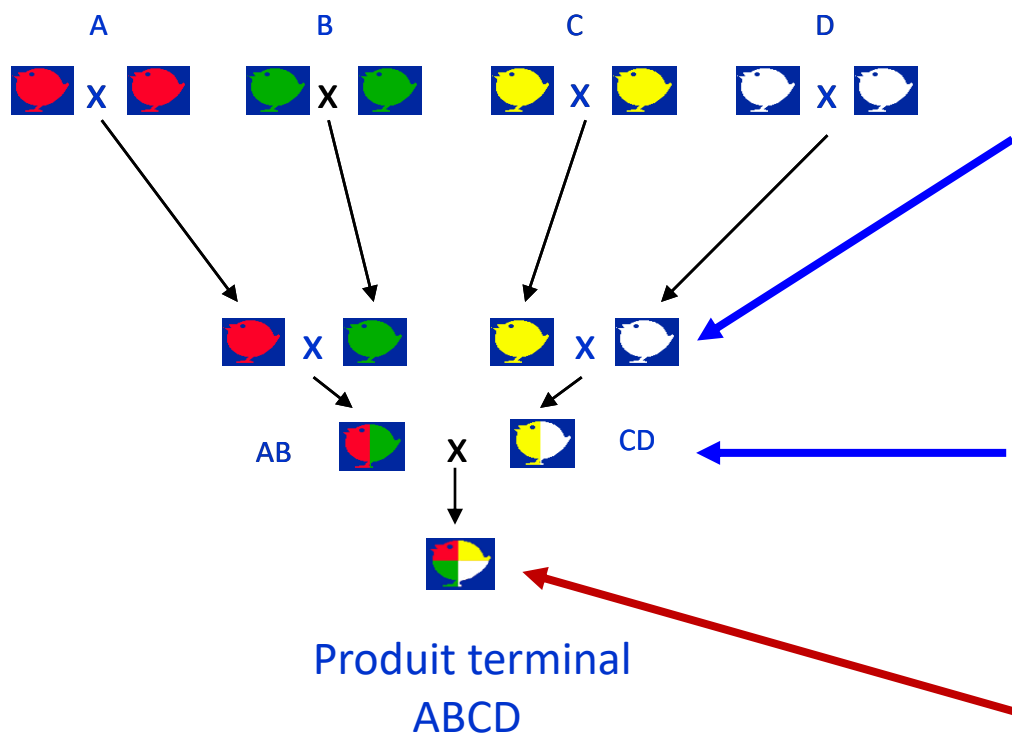
AB > à la moyenne A & B  
(Reproduction)

CD > à la moyenne C & D  
(Poids vif & croissance)

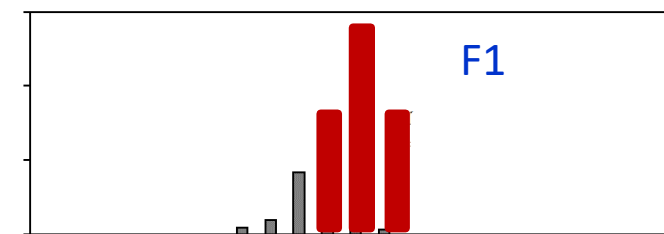
Produit terminal ABCD > à la moyenne AB & CD



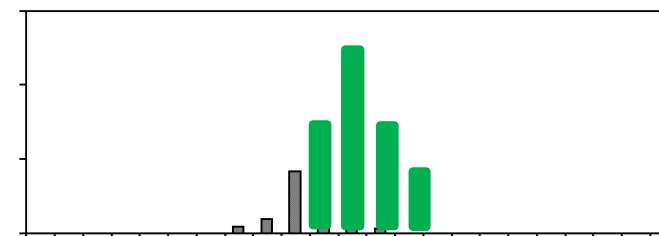
## Schéma de croisement 4 voies



AB > à la moyenne A & B  
(Reproduction)



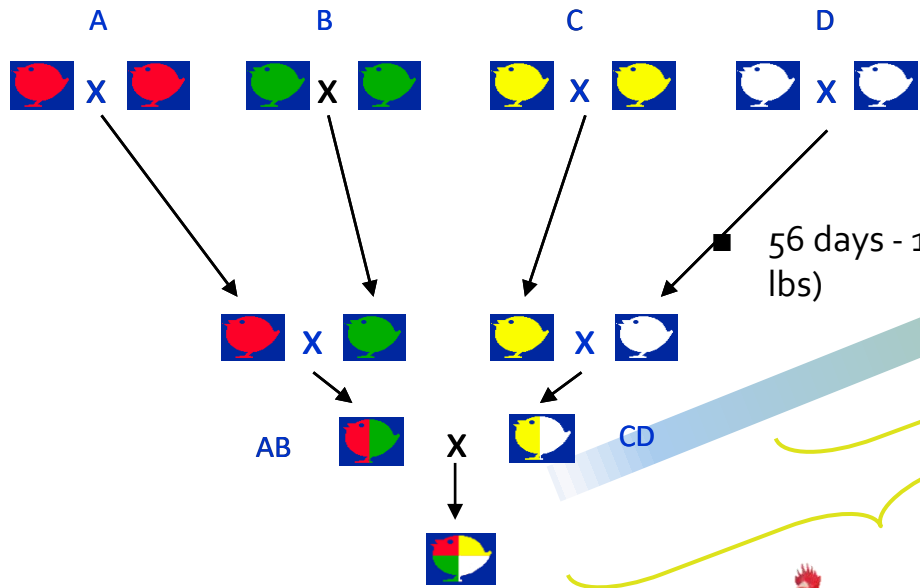
CD > à la moyenne C & D  
(Poids vif & croissance)



Produit terminal ABCD > à la moyenne AB-CD  
(Poids vif & croissance)

# Utilisation du croisement pour l'obtention de génotypes (Souches) intermédiaires

## Schéma de croisement 4 voies



### Objectifs :

■ 81 days - 2.3kg (5.07lbs)

■ 70 days - 2.2kg (4.84 lbs)

■ 56 days - 1.7kg (3.75 lbs)

### Most used crosses:



Hubbard JA female breeds



From Hubbard



166



S77

189/127 or ColorYield



M99



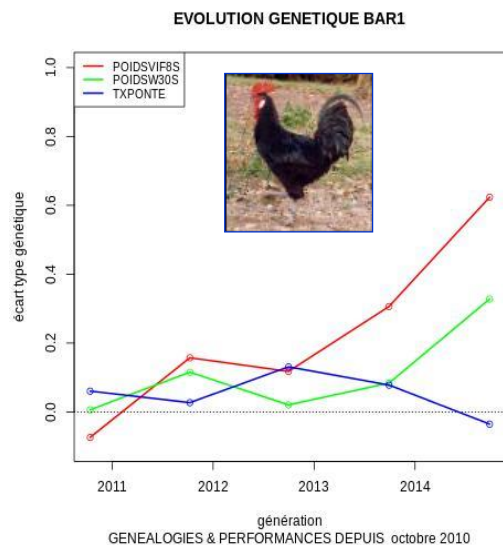
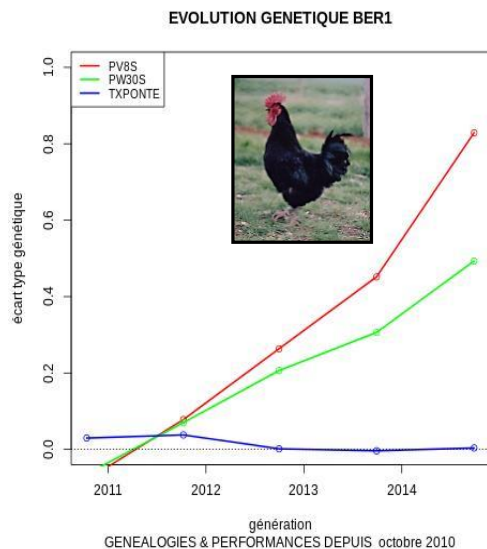
M77

Hubbard male breeds

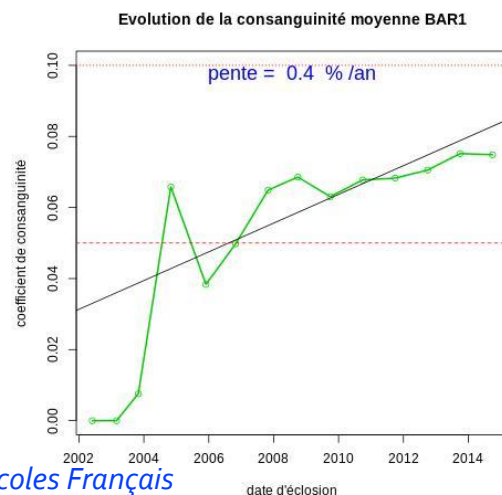
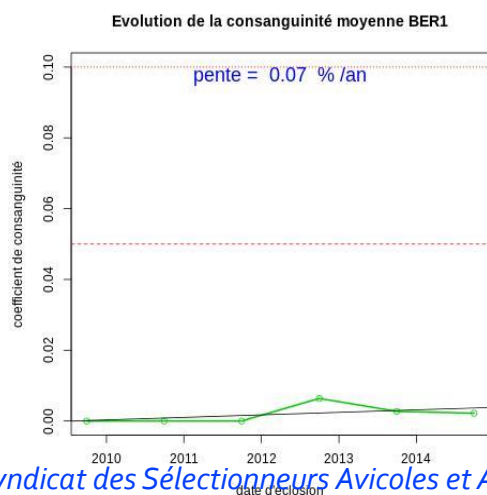


Produit terminal ABCD

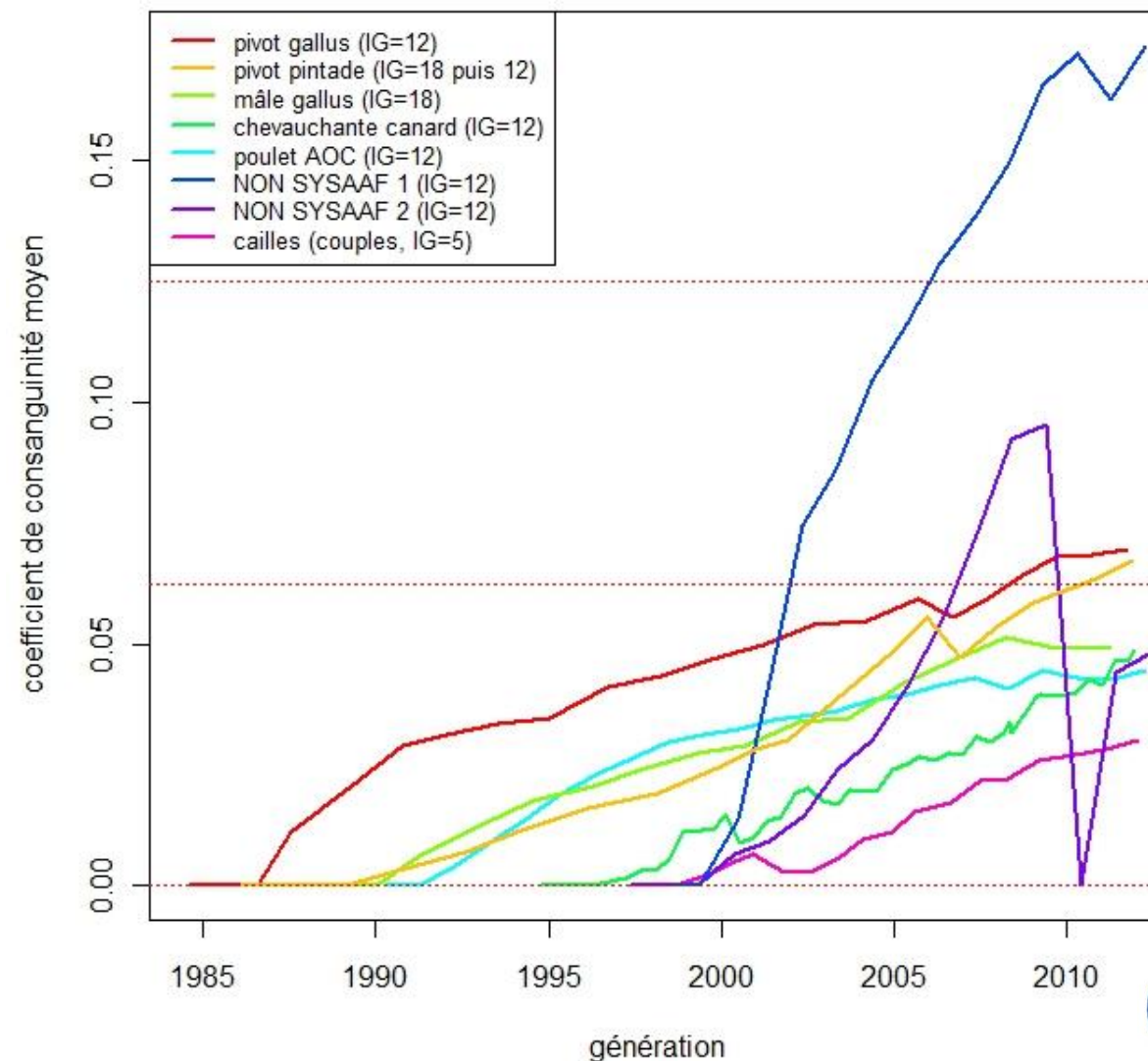
## Evolution génétique



## Evolution de la consanguinité



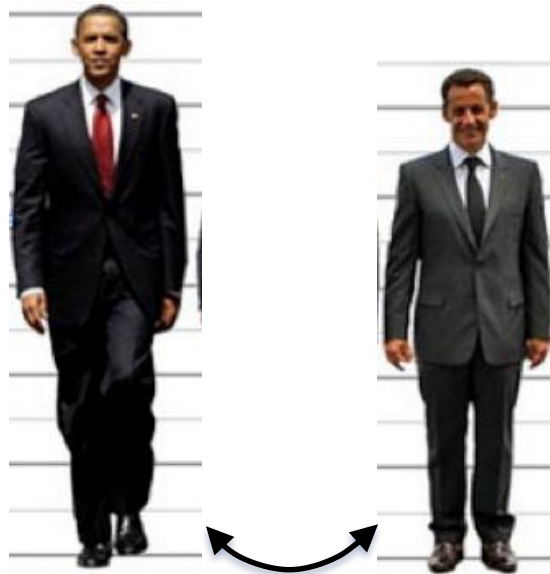
## Evolution moyenne de la consanguinité



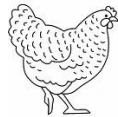
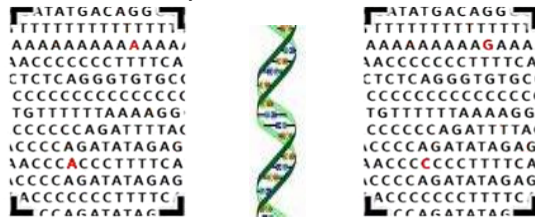
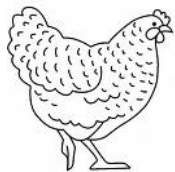


# La diversité génétique décrit le niveau de la *diversité intraspécifique* ?

Nous ne sommes pas tous égaux génétiquement !



99,9% d'identité



Génome d'environ 1 Milliard de nt  
→ ~1 million de variations

L'ADN est « responsable » de la variabilité phénotypique qui existe entre les espèces et au sein d'une même espèce



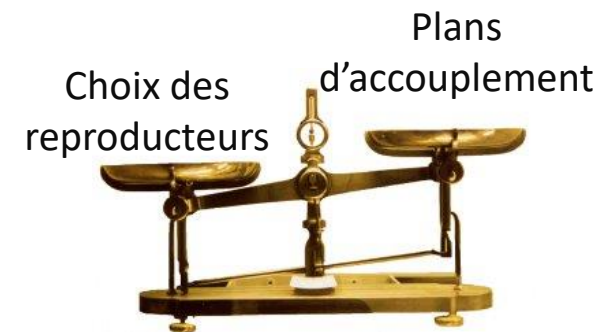


# Pourquoi gérer la variabilité génétique ?

- Sans diversité génétique, pas de sélection possible...
- La variabilité génétique permet aux espèces de réagir à un changement d'environnement, à la sélection !
- Un appauvrissement de la variabilité génétique diminue les performances de la population en augmentant le risque d'homozygotie sur des allèles récessifs à effet délétère.
- La variabilité génétique s'appauvrit sous l'effet de la sélection et de la « dérive génétique » mais peut être relancée par des mutations (très rares).
- La consanguinité apparaît quand on accouple des reproducteurs apparentés → perte de la diversité, augmentation du taux d'homozygotie.
- Un goulot d'étranglement dans un pedigree va réduire la variabilité.

Plus l'effectif de la population est réduit et plus il faut prendre soin de la variabilité génétique !

**Variabilité génétique  
= Equilibre**



## En conclusion : Cercle vertueux ou quadrature du cercle ?

- ✓ La théorie génétique prédit que la sélection génétique pour des caractères de production aura inévitablement des effets sur d'autres caractères et que certains seront préjudiciables,
- ✓ La sélection génétique pour des caractères de production ou la sélection "naturelle" pour l'adaptation aux facteurs de l'environnement va augmenter la fréquence d'allèles récessifs rares qui ont des effets négatifs sur l'adaptabilité,
- ✓ La théorie de l'écologie évolutive prédit que les processus consommateurs d'énergie et de nutriments ne peuvent être tous optimisés simultanément (Notion de trade-offs (compromis) et allocation de ressources),
- ✓ La sélection génétique pour des caractères de production aura donc inévitablement des effets sur d'autres caractères et certains d'entre-eux seront préjudiciables,

Néanmoins :

- ✓ L'expression des caractères phénotypiques résulte des interactions génotype x environnement,
- ✓ On peut sélectionner différents types de caractères d'intérêt (Production, qualité, comportement, santé, adaptabilité, robustesse), si on peut les quantifier de façon fiables, s'ils sont héréditaires et ne sont pas fixés dans la population concernée,
- ✓ La sélection génétique est un processus lent, mais qui peut-être associé au croisement pour résoudre certains problèmes,

## En conclusion : Cercle vertueux ou quadrature du cercle ?

- ✓ La théorie génétique prédit que la sélection génétique pour des caractères de production aura inévitablement des effets sur d'autres caractères et que certains seront préjudiciables,
- ✓ La sélection génétique pour des caractères de production ou la sélection "naturelle" pour l'adaptation aux facteurs de l'environnement va augmenter la fréquence d'allèles récessifs rares qui ont des effets négatifs sur l'adaptabilité,
- ✓ La théorie de l'écologie évolutive prédit que les processus consommateurs et producteurs ne peuvent être tous optimisés simultanément (Notion de trade-off).

- ✓ La sélection génétique pour des caractères de production exacerbe la fréquence de problèmes zootechniques et physiologiques, mais également une solution si la diversité génétique au sein de la population est suffisante et les caractères quantifiables et héréditaires.

Caractères phénotypiques résulte des interactions génotype x environnement,

- ✓ On peut sélectionner différents types de caractères d'intérêt (Production, qualité, comportement, santé, adaptabilité, robustesse), si on peut les quantifier de façon fiables, s'ils sont héréditaires et ne sont pas fixés dans la population concernée,
- ✓ La sélection génétique est un processus lent, mais qui peut-être associé au croisement pour résoudre certains problèmes,



Merci pour votre  
Attention

Cercle vertueux ou quadrature du cercle ?



La sélection génétique exacerbe la fréquence de problèmes zootechniques et physiologiques, mais également une solution si la diversité génétique au sein de la population est suffisante et les caractères quantifiables et héréditaires.

