



**HAL**  
open science

## Amélioration génétique des animaux d'élevage : Pourquoi ? Comment ?

Nicolas Bédère, Frédéric Herault, Christian Diot

### ► To cite this version:

Nicolas Bédère, Frédéric Herault, Christian Diot. Amélioration génétique des animaux d'élevage : Pourquoi ? Comment ?. École thématique. Intervention en collège (classes de 3e) dans le cadre de la fête de la science, France. 2021. hal-03381841

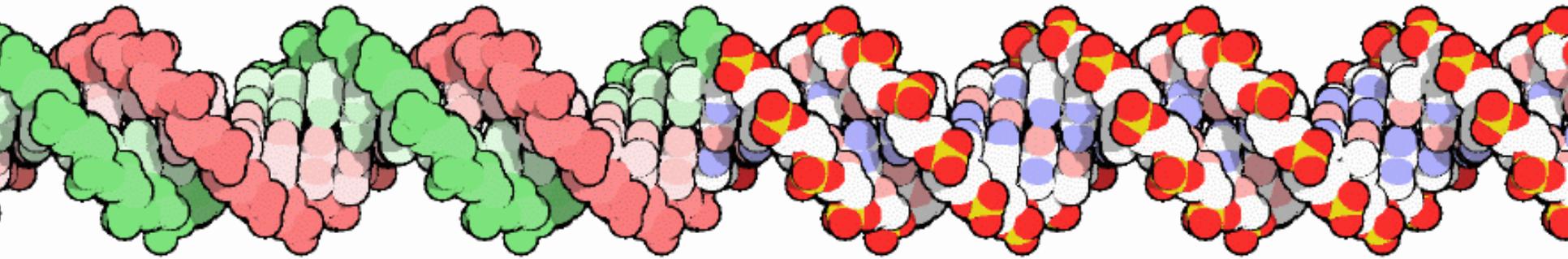
**HAL Id: hal-03381841**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03381841>**

Submitted on 18 Oct 2021

**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.



@PDB-101

# ➤ Amélioration génétique des animaux d'élevage : Pourquoi ? Comment ?

Nicolas Bédère, Frédéric Hérault et Christian Diot

Chercheurs INRAE (l'institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

Fête de la science – Octobre 2021



# ➤ Notre métier : développer et partager une expertise au travers d'expériences

## DEMARCHE SCIENTIFIQUE

Identifier les questions de recherche



Etablir une stratégie pertinente



Etablir un protocole expérimental



Financer par des projets



Réaliser l'expérimentation



Collecter et analyser les données



Interpréter les résultats

## DIFFUSER LES RESULTATS

Articles scientifiques

Congrès

Vulgarisation

## EDUCATION

Former des étudiants  
(stages, doctorat...)

Enseigner

## COOPERATION

Pluridisciplinaire

Multi-espèce

Science participative

Relations internationales



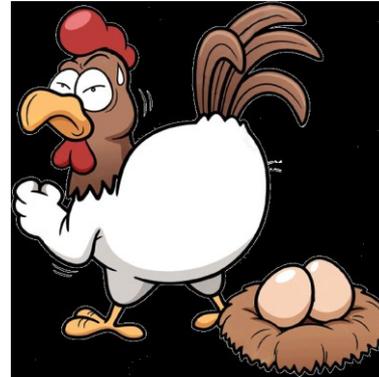
**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# ➤ La génétique : semblables et différents

Comprendre ce qui différencie :



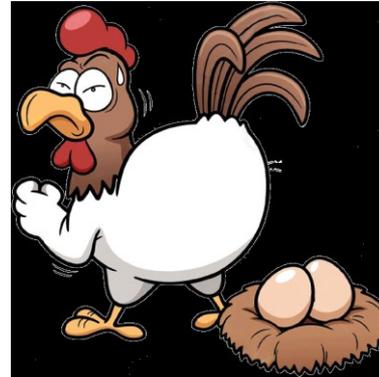
**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Hérault et Christian Diot

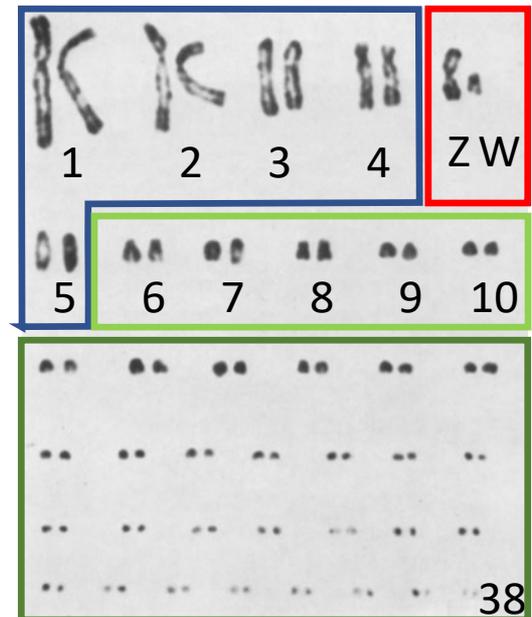
# ➤ La génétique : semblables et différents

Comprendre ce qui différencie :



Le génome :

- 39 paires de chromosomes ( $2n=78$ )
- Taille du génome 1,2 Gb (A,T,C,G)



**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

Adapté de J.T.T Owen Chromosoma (1965)

## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

1 - Mesure sur les œufs : 31 381 poules à 50 et 70 semaines



<http://www.zootests.fr/prestations/laboratoire/mesures-qualite>

- Mesure de la couleur :
  - 27 108 œufs à 50 semaines
  - 25 188 œufs à 70 semaines



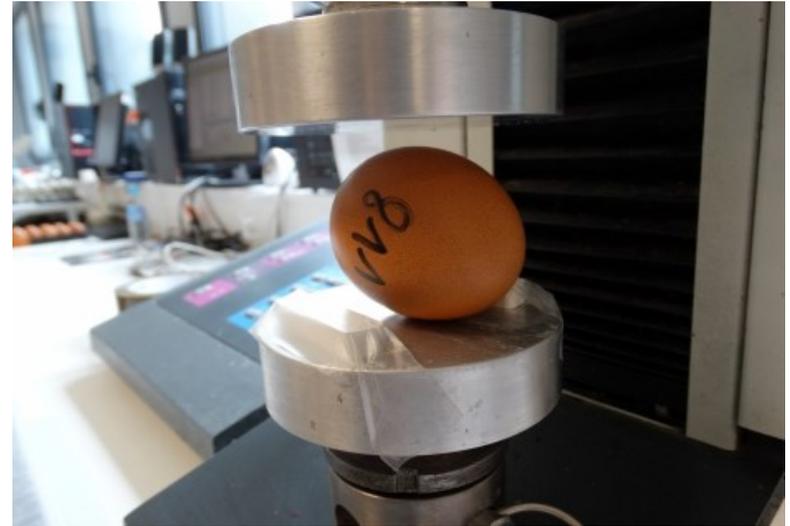
**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

### 1 - Mesure sur les œufs : 31 381 poules à 50 et 70 semaines



<http://www.zootests.fr/prestations/laboratoire/mesures-qualite>

- Mesure de la couleur :
  - 27 108 œufs à 50 semaines
  - 25 188 œufs à 70 semaines
- Mesure de la force de fracture :
  - 24 789 œufs à 50 semaines
  - 22 334 œufs à 70 semaines



**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

2 - Analyser l'ADN : Utilisation de marqueur (600k : 1 / 2kb)



AT T TCAGCT ... CGAC G ACGT ... GCTCG ... ADN animal 1



AT C TCAGCT ... CGAC G ACGT ... GCTCG ... ADN animal 2



AT C TCAGCT ... CGAC A ACGT ... GCTCG ... ADN animal 3

## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

2 - Analyser l'ADN : Utilisation de marqueur (600k : 1 / 2kb)



AT **T** TCAGCT ... CGAC **G** ACGT ... GCTCG ... ADN animal 1

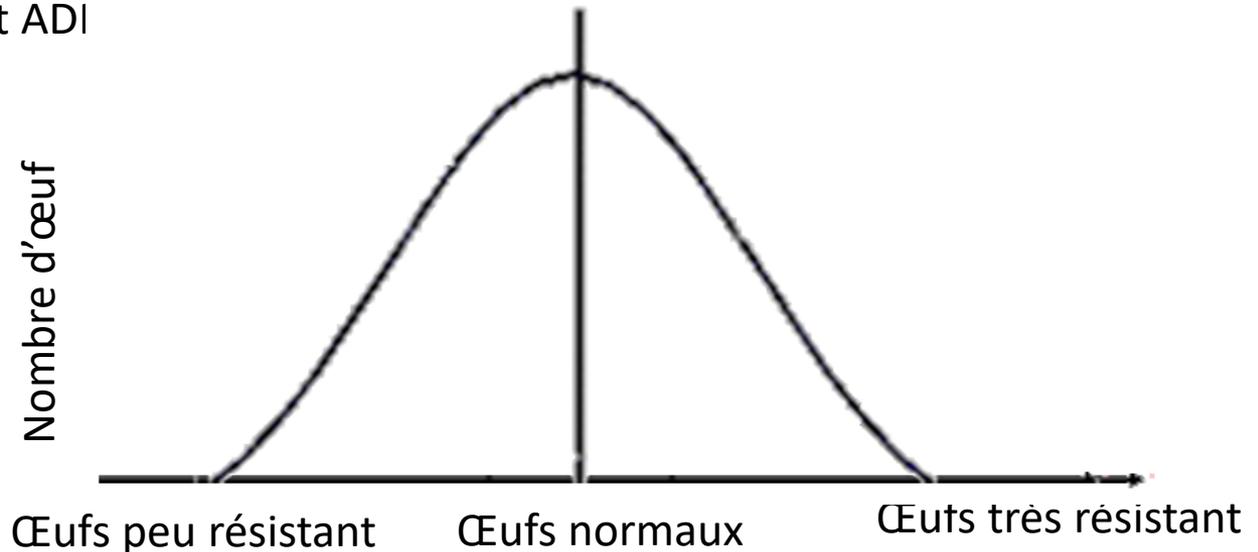


AT **C** TCAGCT ... CGAC **G** ACGT ... GCTCG ... ADN animal 2



AT **C** TCAGCT ... CGAC **A** ACGT ... GCTCG ... ADN animal 3

3 – Comparer : mesure et ADI



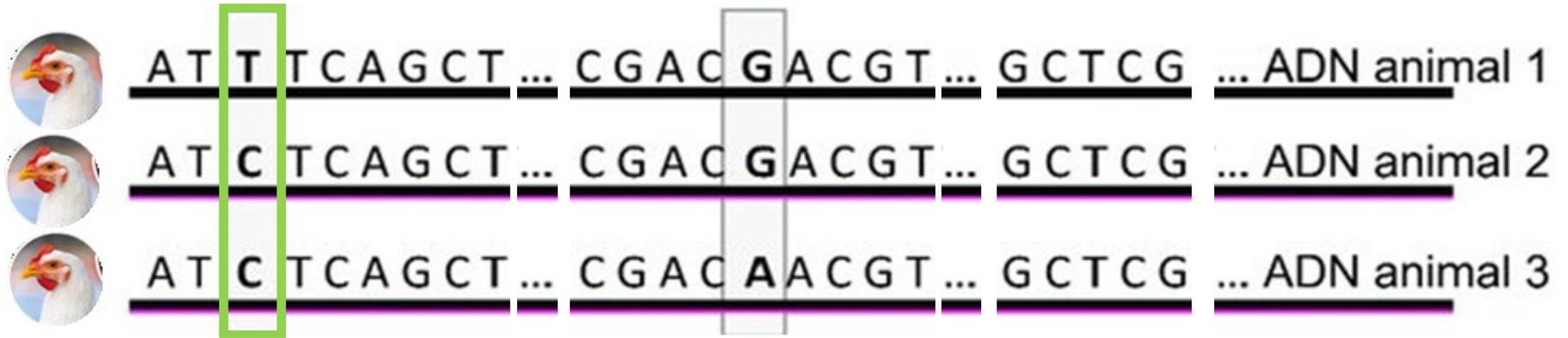
**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

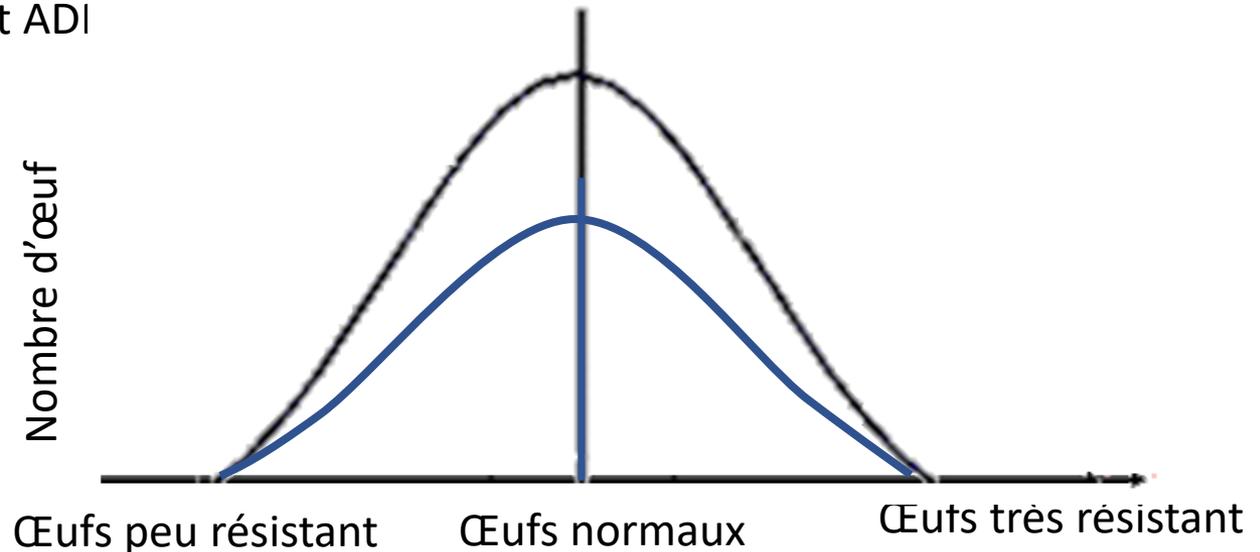
## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

2 - Analyser l'ADN : Utilisation de marqueur (600k : 1 / 2kb)



3 – Comparer : mesure et ADI

### Groupe des animaux C



## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

2 - Analyser l'ADN : Utilisation de marqueur (600k : 1 / 2kb)

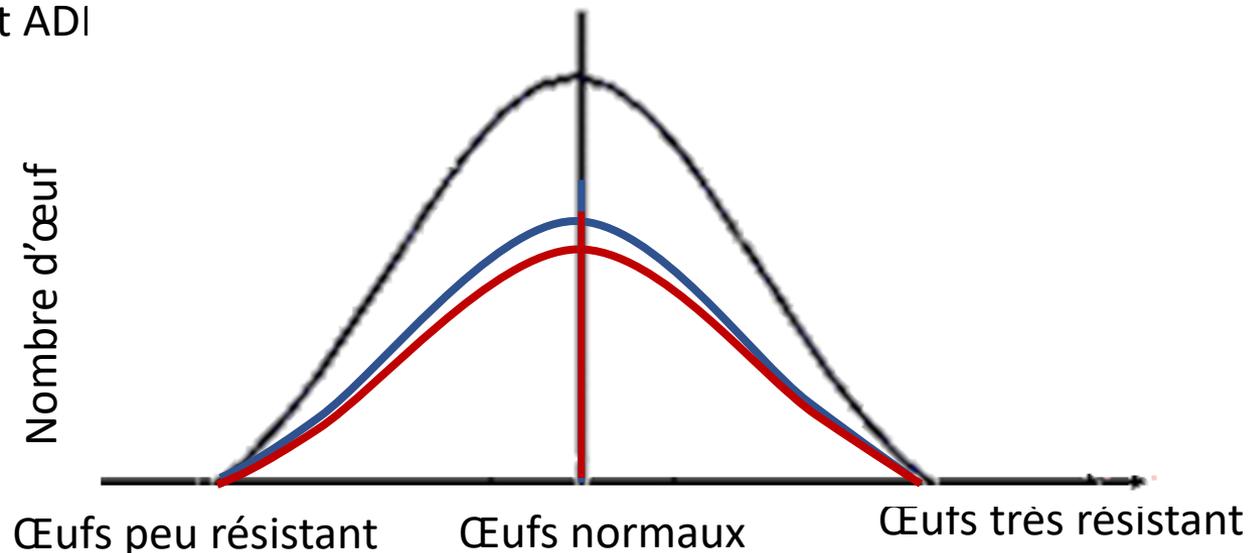


3 – Comparer : mesure et ADI

**Groupe des animaux C**

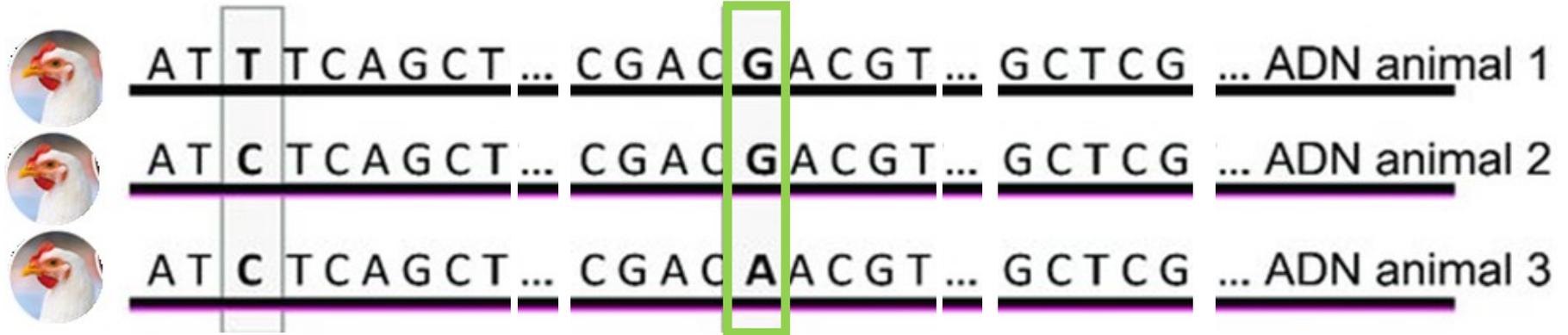
**Groupe des animaux T**

Pas de différence !



## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

2 - Analyser l'ADN : Utilisation de marqueur (600k : 1 / 2kb)

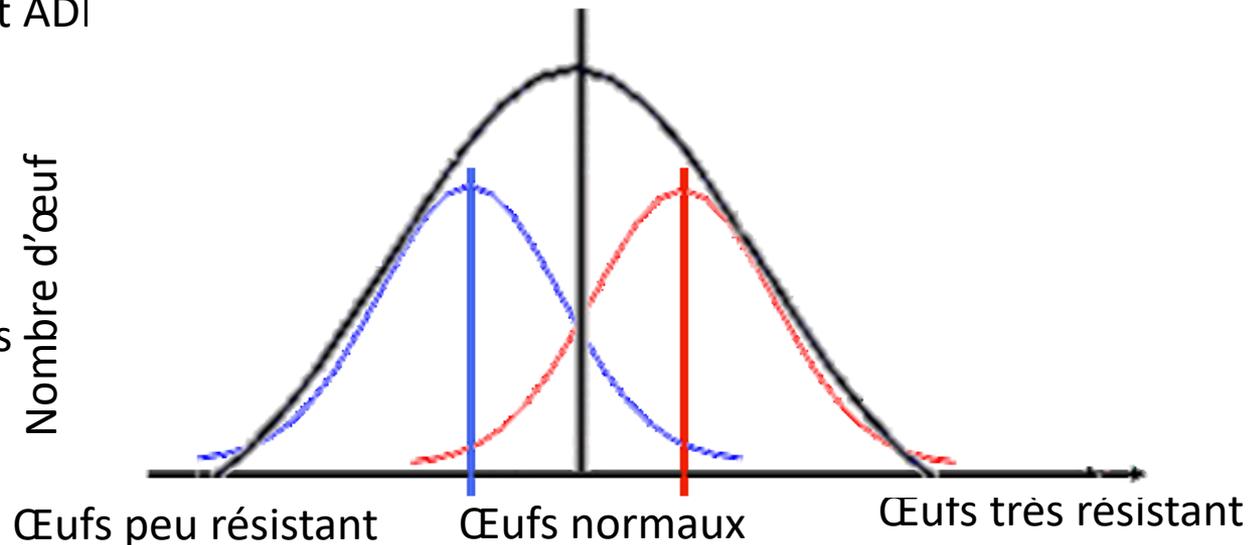


3 – Comparer : mesure et ADI

**Groupe des animaux G**

**Groupe des animaux A**

Les animaux « **A** » ont des œufs avec une coquille plus solide !



## ➤ Trouver les gènes responsables des phénotypes observés :

4 – Interpréter :



- Dans cette région il y a un gène qui est important pour la solidité de la coquille.
- Dans ce gène il y a une différence entre les poules qui portent le « G » ou les poules qui portent le « A » qui fait que la résistance de la coquille est différente.

5 – Continuer à chercher :

- Quels sont les gènes présent dans cette région?
- Quelle est leur rôle?
- Quelle mutation explique la différence?

# ➤ Que faire du gène que l'on a découvert ?

## Objectifs

- Rien

Nous pouvons tout à fait nous satisfaire d'avoir acquis des connaissances sur le fonctionnement du génome

- Introgression/sélection

Nous pouvons souhaiter introduire un gène aux effets désirables dans une population qui ne le possède pas ou simplement augmenter la part de la population qui possède une certaine version du gène (variant)

- Éradication

Certains variants de gènes sont responsables de maladies et de malformations, il peut être souhaitable de les faire disparaître de la population

## Méthodes

- Modifier la population

Choisir les individus qui possèdent le gène d'intérêt comme géniteurs de la génération suivante.

- Modifier le génome

Utiliser les biotechnologies du génome pour modifier les gamètes des individus reproducteurs pour changer le génome qu'il transmettent à la génération suivante.

Illustrations

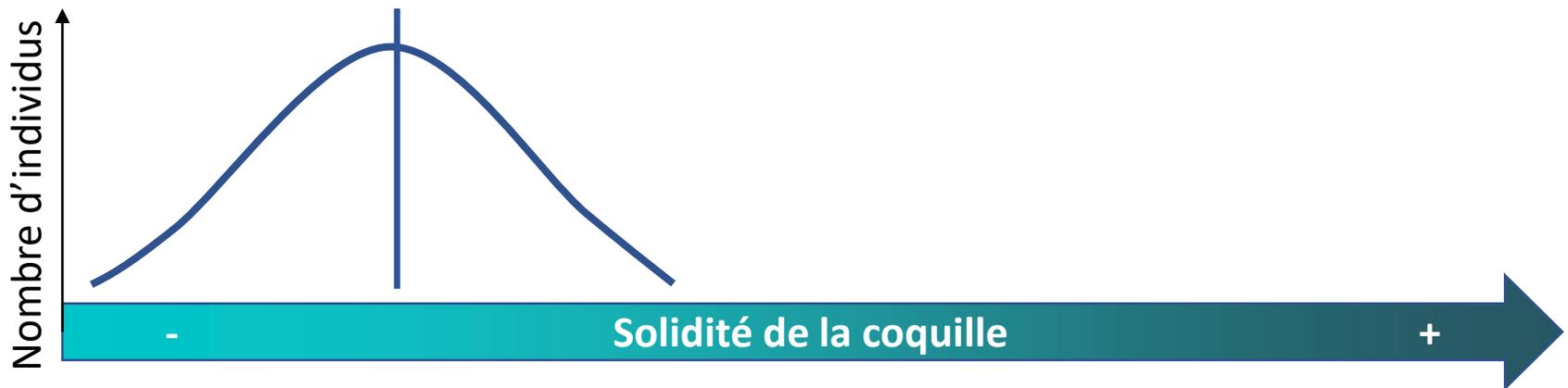


INRAE

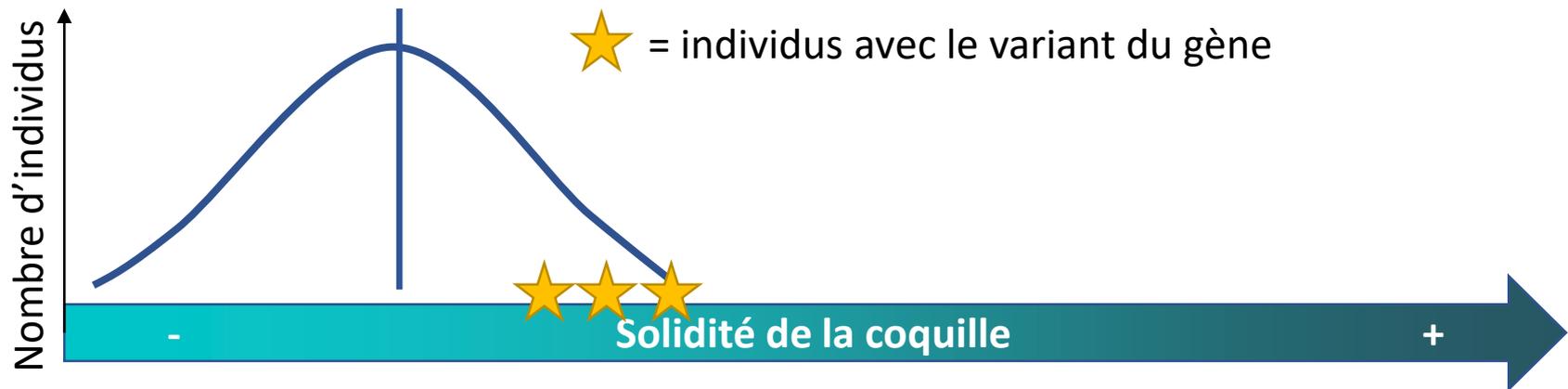
Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

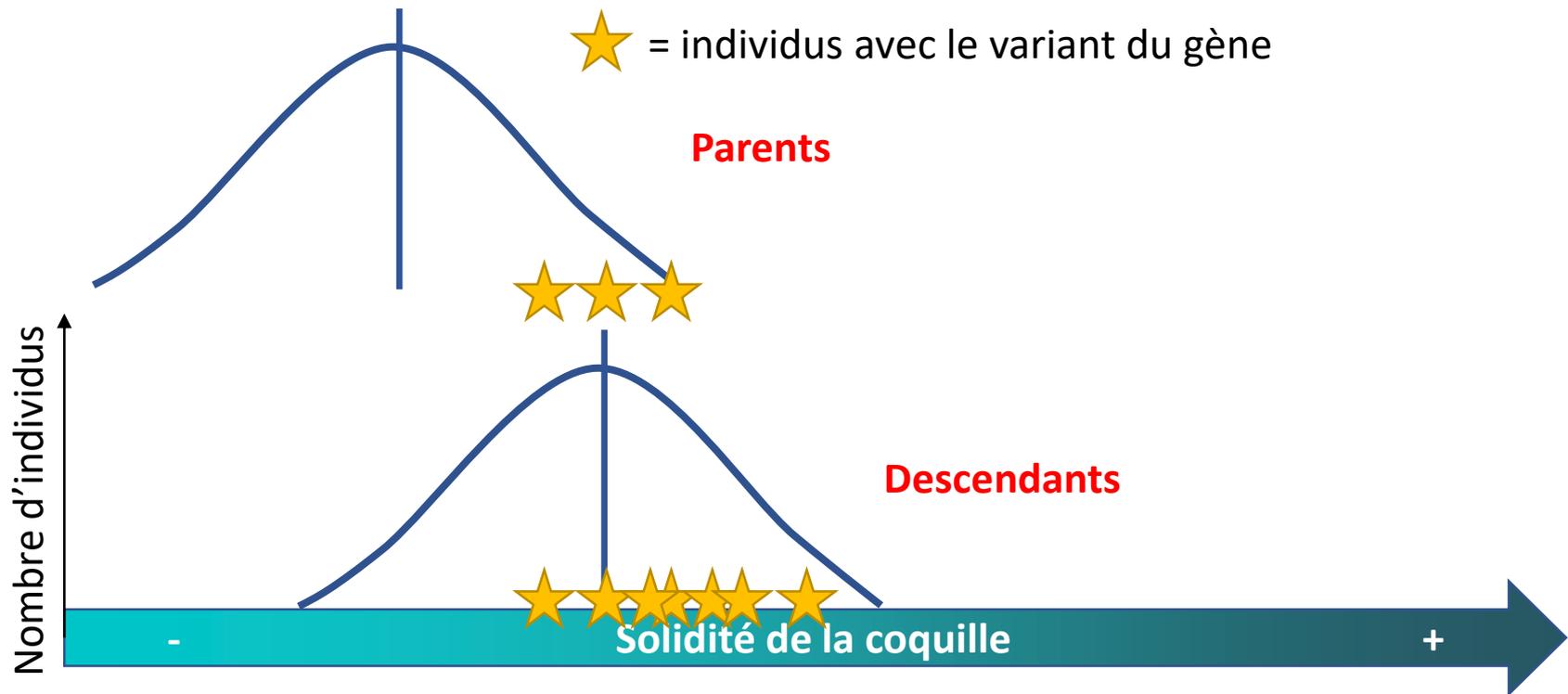
➤ Exemple d'augmentation de la fréquence d'un variant dans une population par sélection génétique



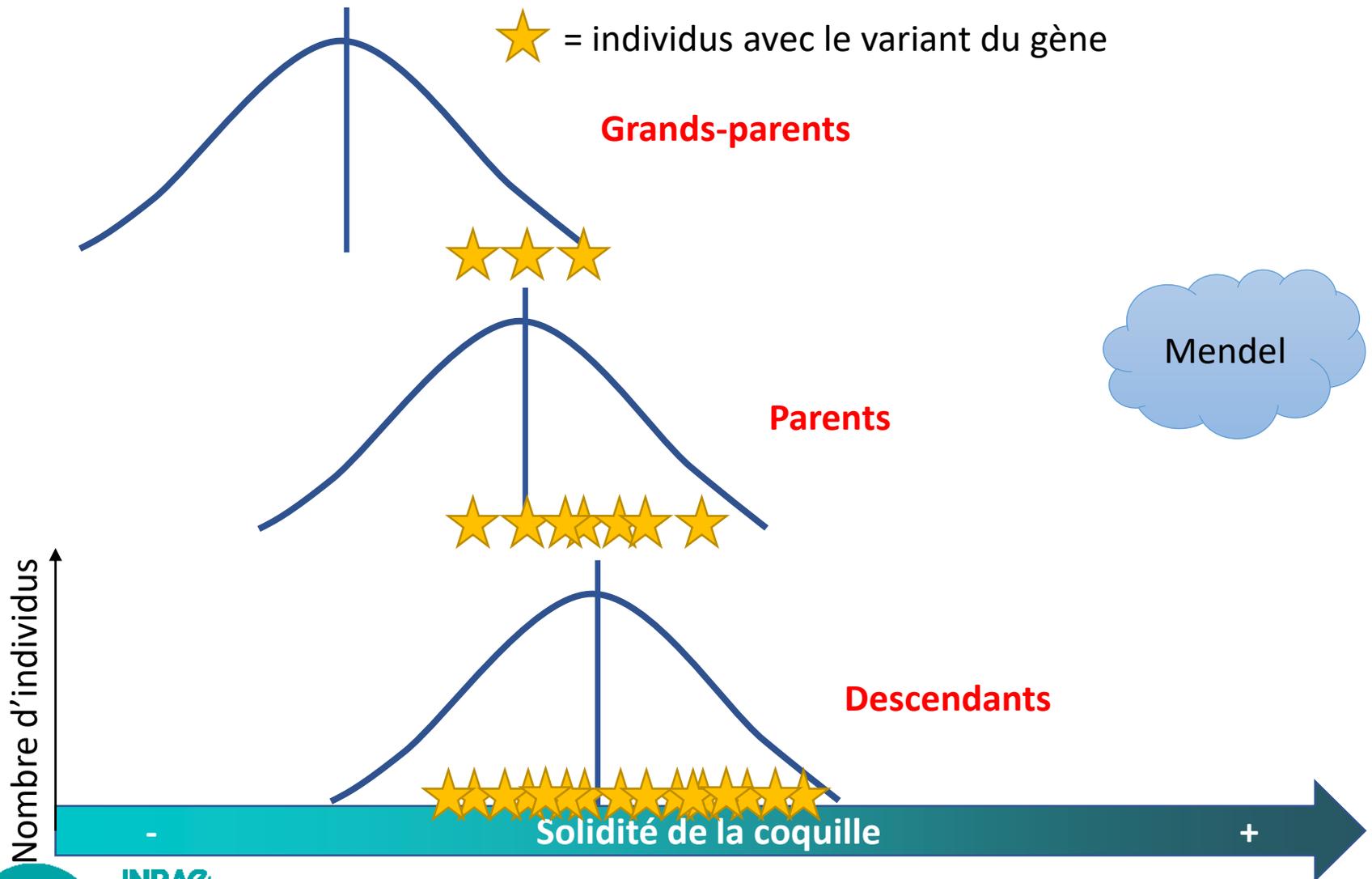
## ➤ Exemple d'augmentation de la fréquence d'un variant dans une population par sélection génétique



# ➤ Exemple d'augmentation de la fréquence d'un variant dans une population par sélection génétique



# ➤ Exemple d'augmentation de la fréquence d'un variant dans une population par sélection génétique



INRAE

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# ➤ Que faire du gène que l'on a découvert ?

## Objectifs

- Rien

Nous pouvons tout à fait nous satisfaire d'avoir acquis des connaissances sur le fonctionnement du génome

- Introgression/sélection

Nous pouvons souhaiter introduire un gène aux effets désirables dans une population qui ne le possède pas ou simplement augmenter la part de la population qui possède une certaine version du gène (variant)

- Éradication

Certains variants de gènes sont responsables de maladies et de malformations, il peut être souhaitable de les faire disparaître de la population

## Méthodes

- Modifier la population

Choisir les individus qui possèdent le gène d'intérêt comme géniteurs de la génération suivante.

- Modifier le génome

Utiliser les biotechnologies du génome pour modifier les gamètes des individus reproducteurs pour changer le génome qu'il transmettent à la génération suivante.

Illustrations



INRAE

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# Genome editing

*INRA Prod. Anim.,  
2017, 30 (1), 3-18*

## **Modifications ciblées des génomes : apports et impacts pour les espèces d'élevage**

*A. DUCOS<sup>1</sup>, B. BED'HOM<sup>2</sup>, H. ACLOQUE<sup>1</sup>, B. PAIN<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-ENVT, 31320, Castanet Tolosan, France*

*<sup>2</sup> GABI, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 78350, Jouy-en Josas, France*

*<sup>3</sup> Univ Lyon, Université Lyon 1, INSERM, INRA, Stem Cell and Brain Research Institute,  
CSC USC1361, 69675, Bron, France*

*Courriel : a.ducos@envt.fr*



**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# Genome editing : modification du génome

Implique une nucléase **ciblant spécifiquement un locus**  
genome editing with engineered nuclease

## Hybrid Meganuclease



## ZFN



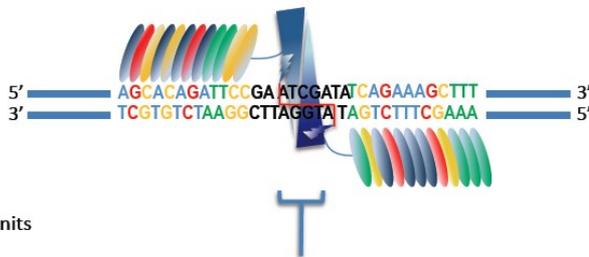
Zinc finger domains



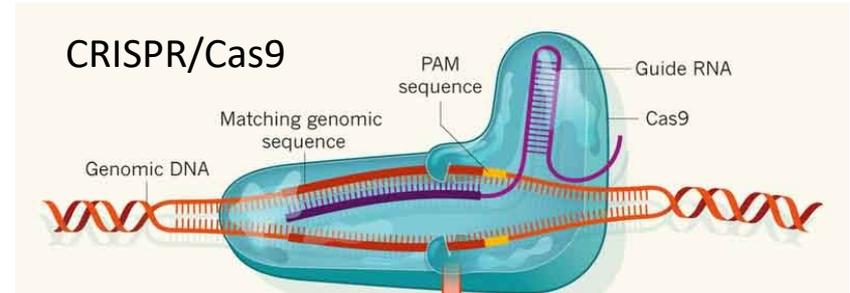
## TALEN



TALE subunits



active FokI catalytic subunit heterodimer



- the **quickest and cheapest method** (less than two hundred dollars and a few days of time)
- **requires the least amount of expertise** in molecular biology as the design lays in the guide RNA instead of the proteins.



INRAE

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# Welcome to VectorBuilder

A revolutionary platform for vector design & custom cloning

Design My Vector ▶

Use this option to design vectors using our free online platform. You can also ask us to clone the vectors for you.

Send Design Request ▶

Use this option to ask our scientists to design your vectors for free. You can also submit other service inquiries here, including:

- Virus packaging
- BAC modification
- Library construction
- and more...

[Retrieve Vector Information »](#)

[Retrieve Service Proposal »](#)



9 8 6 5 0 »  
Total Vectors Delivered

## Mammalian CRISPR Vectors

• Regular plasmid (single gRNA)	<a href="#">Guide »</a>	From \$99.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• Regular plasmid (dual gRNA)		From \$289.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• Lentivirus (single gRNA)	<a href="#">Guide »</a>	From \$99.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• Lentivirus (dual gRNA)		From \$289.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• Adenovirus (single gRNA)		From \$239.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• Adenovirus (dual gRNA)		From \$389.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• PiggyBac (single gRNA)		From \$99.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• PiggyBac (dual gRNA)		From \$289.00	<a href="#">Go to Design ▶</a>
• Regular plasmid gRNA sensor vector (for testing gRNA specificity)			Coming soon

## Mammalian TALEN Vectors

• Regular plasmid			Coming soon
-------------------	--	--	-------------



**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Transfert de gènes dans des cellules en culture  
Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bedère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# Genome editing in livestock: **ethical issue**

## Checking your chickens before they hatch

Gene editing may provide the Australian egg industry with a solution for managing male chicks. A new marker gene will enable fertilised eggs to be sorted on the basis of sex, eliminating the need to incubate and then cull the males after they hatch.

### The issue

Female chickens are the foundation of the Australian egg industry, while male chickens have no economic value and are culled soon after hatching. It is estimated that more than 12 million day-old male chicks are culled in Australia each year, either through maceration or gassing with CO<sub>2</sub>. These practices are used across the entire egg industry, including organic, caged and free-range. While both practices are legal and endorsed by the RSPCA, there is mounting concern from consumers.

### The technology

In association with the Poultry CRC, researchers Dr Tim Doran and Dr Mark Tizard from the CSIRO Animal Health Laboratory in Victoria have discovered a way to identify male chicks before they hatch.

The researchers are using the new CRISPR/Cas9 gene-editing tool to introduce a biological marker to the male chicks, so that males and females can be determined and sorted before they hatch.

Dr Tizard explained that with recent advancements

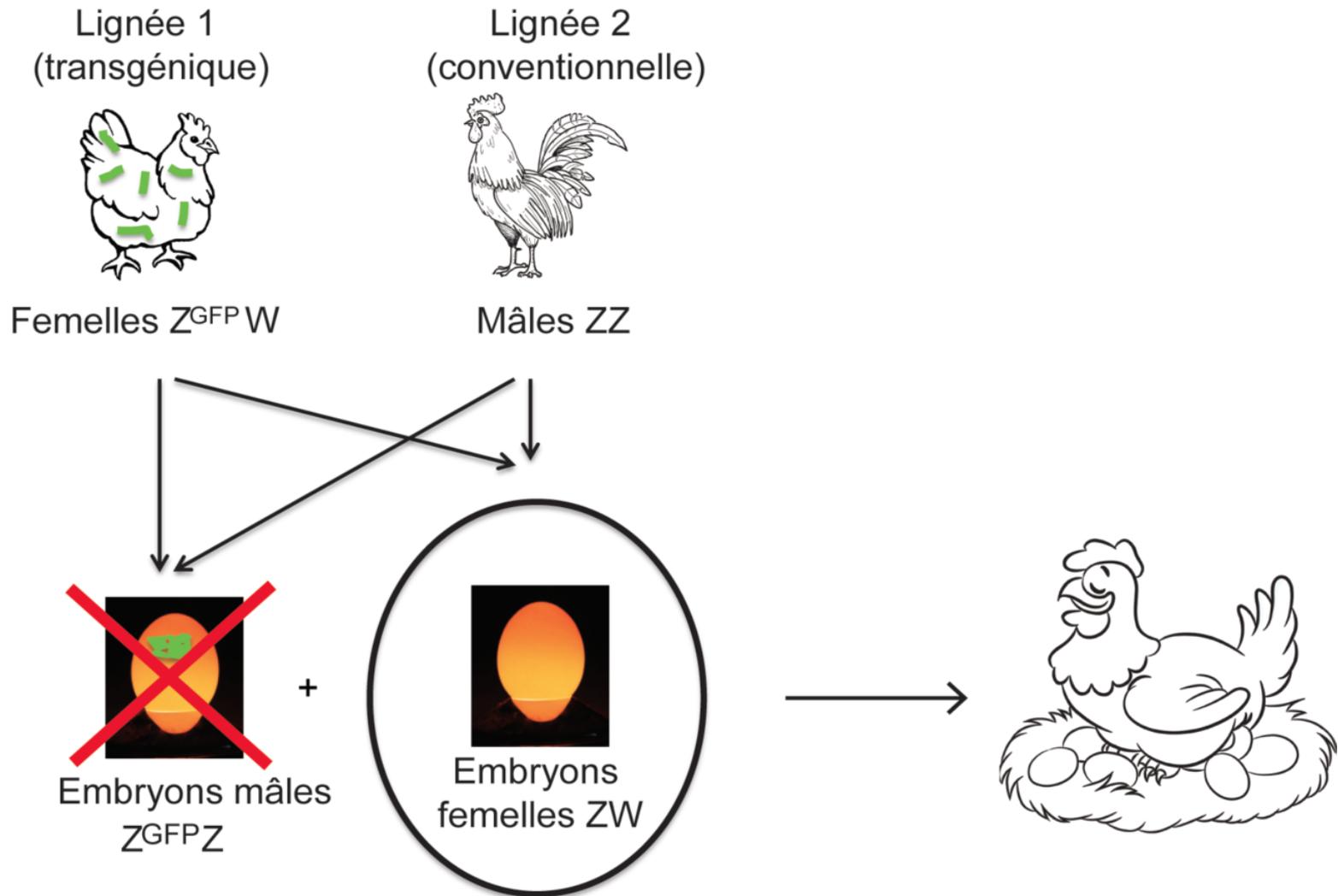


**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

# Genome editing in livestock: ethical issue

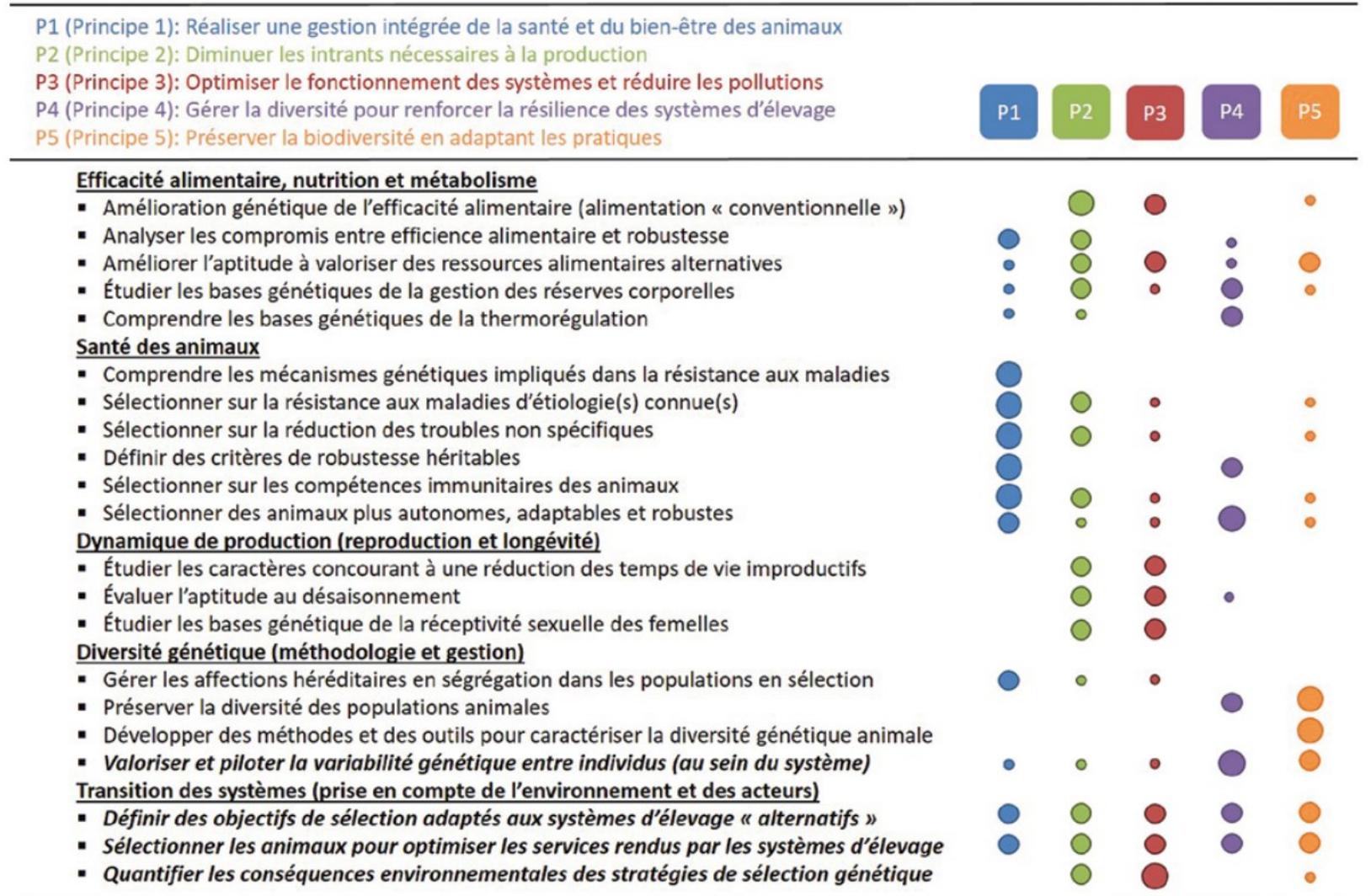


**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

**Figure 1. Exemples de contributions de la génétique animale aux 5 principes agroécologiques<sup>1</sup> pour les systèmes d'élevage<sup>2,3</sup>.**



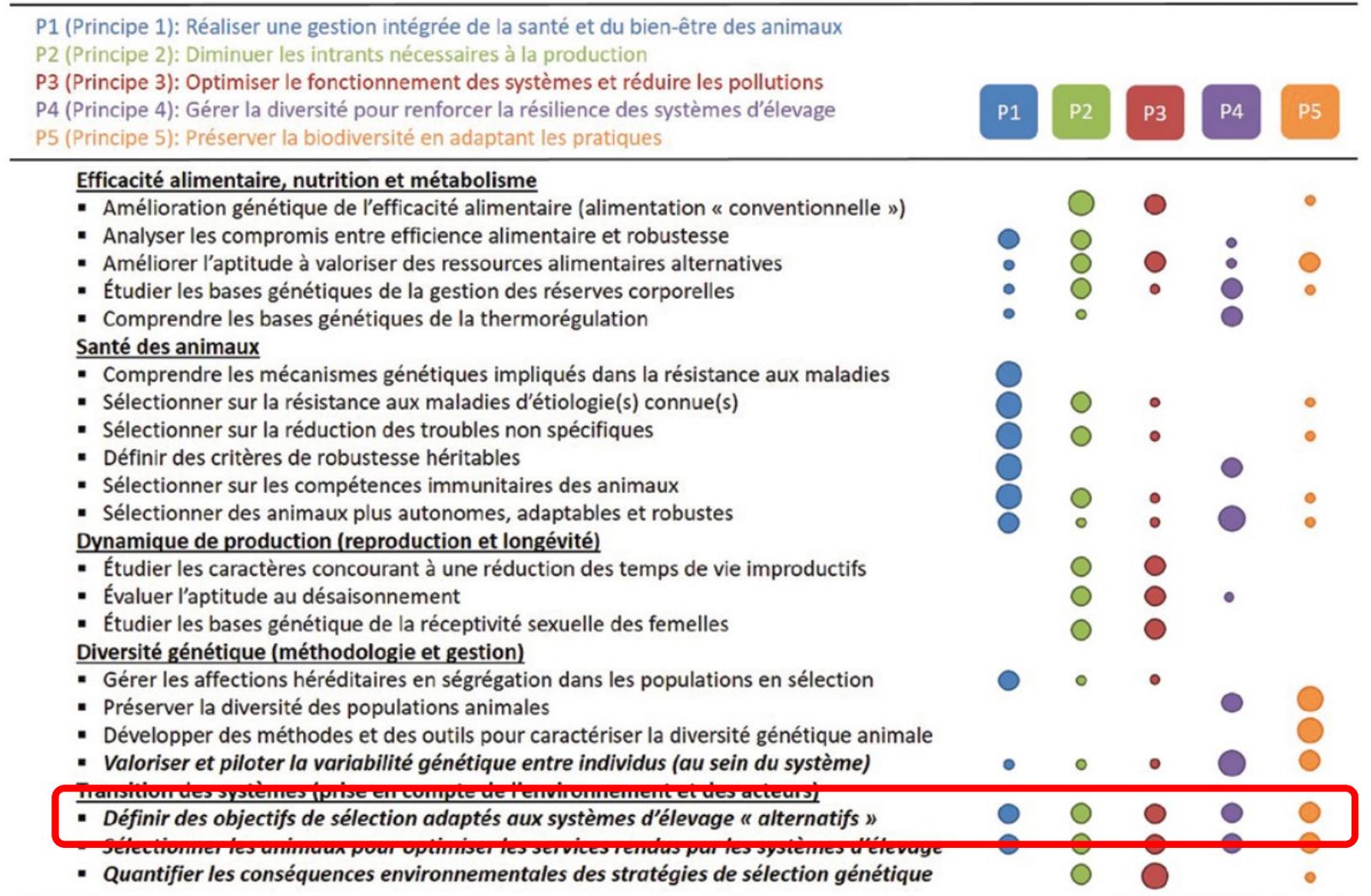
<sup>1</sup>Les cinq principes du cadre conceptuel proposé par Dumont *et al.* (2013).

<sup>2</sup>La taille du cercle indique l'importance de la contribution (avérée ou potentielle) d'une action/thématique de recherche au principe (voir aussi le texte).

<sup>3</sup>Les thématiques de recherche figurant en gras et italiques ont fait l'objet d'un nombre limité de travaux à ce jour.



**Figure 1. Exemples de contributions de la génétique animale aux 5 principes agroécologiques<sup>1</sup> pour les systèmes d'élevage<sup>2,3</sup>.**



<sup>1</sup>Les cinq principes du cadre conceptuel proposé par Dumont *et al.* (2013).

<sup>2</sup>La taille du cercle indique l'importance de la contribution (avérée ou potentielle) d'une action/thématique de recherche au principe (voir aussi le texte).

<sup>3</sup>Les thématiques de recherche figurant en gras et italiques ont fait l'objet d'un nombre limité de travaux à ce jour.

## ➤ Exemple de travaux : sélectionner des poules pondeuses adaptées à un système d'élevage alternatif à la cage

- Thèse de Lorry Bécot commencée en 2020 (finira en 2023).
  - Dans notre labo INRAE appelé « PEGASE », co-encadré par 2 chercheurs : Pascale le Roy et Nicolas Bédère.
  - En collaboration avec une entreprise privée de sélection de poule pondeuse (Novogen). Thierry Burlot, généticien de l'entreprise est aussi co-encadrant de thèse.

Pour en savoir plus :

<https://www6.rennes.inrae.fr/pegase/Actualites/Demarrage-de-these/These-Selectionner-des-poules-pondeuses-adaptees-aux-elevages-alternatifs>



**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

## ➤ Exemple de travaux : sélectionner des poules pondeuses adaptées à un système d'élevage alternatif à la cage

- 52% des poules pondeuses sont élevées dans des systèmes alternatifs à la cage dans l'UE (source : Commission Européenne, 2019).



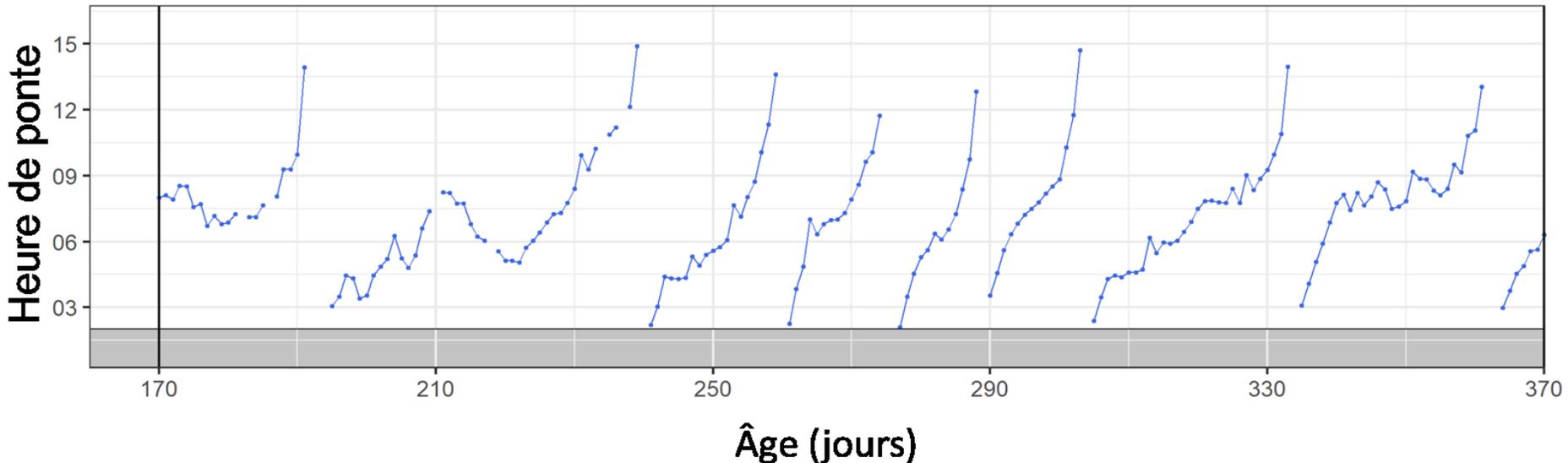
Rangée de nids

PHOTO : site web Big Dutchman

- **Dans les systèmes alternatifs, les poules doivent pondre dans des nids (et non hors-nid).**
- Mais les indices de sélection actuels reposent sur des poules élevées en cage.
- Et le déterminisme génétique des caractères de comportement au nid est mal connu.

## ➤ Exemple de travaux : sélectionner des poules pondeuses adaptées à un système d'élevage alternatif à la cage

- Exemple : utilisation d'un nid par une poule pondeuse



### • Résultats de cette étude :

- L'heure de ponte est sous influence majeure de caractéristiques génétiques
- Les poules qui ont le potentiel génétique de pondre tôt le matin, et de manière stable possède également un potentiel génétique à pondre davantage dans les nids que d'autres poules

➔ Pour permettre de développer les élevages alternatifs à la ponte, il faut améliorer l'utilisation des nids des poules pondeuses, ce qui peut se faire en sélectionnant sur l'heure de ponte.



INRAE

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot

## ➤ Exemple de travaux : sélectionner des poules pondeuses adaptées à un système d'élevage alternatif à la cage

- Pour en savoir plus :

<https://www.inrae.fr/actualites/determinisme-genetique-ponte-poules-cle-accompagner-transition-elevages-cages>





à votre attention, place au débat !

Nous avons vu :

- Ce qu'est le métier de chercheur
- Ce qu'est l'amélioration génétique en agriculture, avec un exemple sur la solidité des coquilles d'œufs
- Les méthodes disponibles
- Les défis pour l'agriculture

## ➤ Questions autour de la durabilité de nos régimes alimentaires ?

ATTENTION aux mensonges ou fantasmes...

Renseignez vous auprès d'organismes qui sont fiables. Voici quelques liens fiables

- INRAE

<https://www.inrae.fr/actualites/six-infographies-comprendre-notre-alimentation>

<https://www.inrae.fr/actualites/quel-est-le-benefice-et-les-limites-dune-diminution-de-la-consommation-de-viande>

- PNNS

<https://www.mangerbouger.fr/>

- INSERM

<https://www.inserm.fr/dossier/nutrition-et-sante/>



©MangerBouger

## ➤ Questions autour du bien-être animal, de l'expérimentation animale, de l'éthique...

ATTENTION aux mensonges ou fantasmes...

Renseignez vous auprès d'organismes qui sont fiables. Voici quelques liens fiables

- INRAE

<https://www.inrae.fr/actualites/conscience-animale-connaissances-nouvelles>

<https://www.inrae.fr/actualites/douleur-souffrance-conscience-mieux-identifier-animaux>

<https://www6.inrae.fr/lit-ouest-territoires-elevage/>

- Centre National de Référence pour le Bien-être Animal

<https://www.cnr-bea.fr/>

- ANSES

<https://www.anses.fr/fr/content/l%E2%80%99anses-propose-une-d%C3%A9finition-du-bien-%C3%AAtre-animal-et-d%C3%A9finit-le-socle-de-ses-travaux-de-1>



**INRAE**

Amélioration génétique des animaux

Octobre 2021 / Fête de la science / Nicolas Bédère, Frédéric Héroult et Christian Diot