



Schémas expérimentaux et puissance du dispositif expérimental

Nicolas Bédère

24/09/2019



Plan de l'intervention

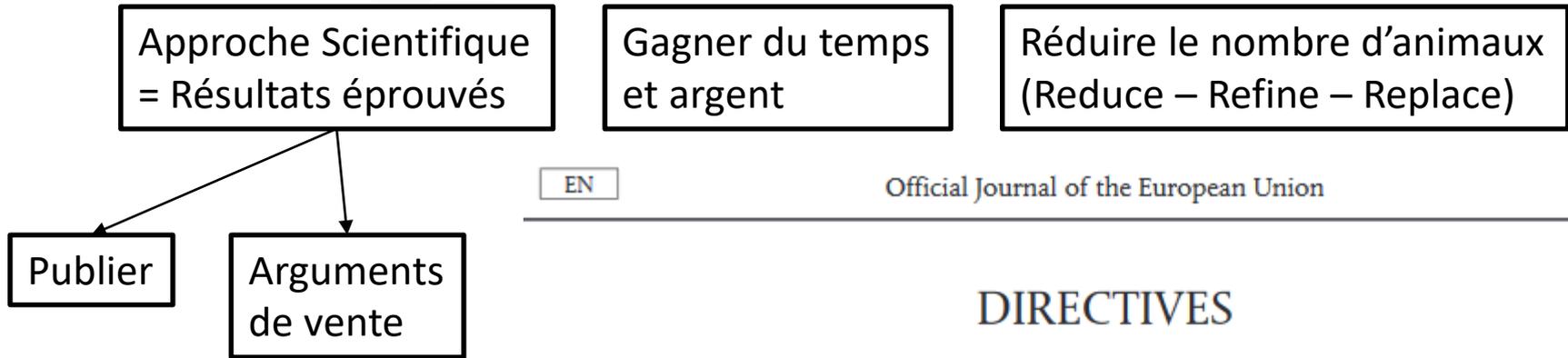
▶ Introduction

1. Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?
2. Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?
3. Dispositifs expérimentaux

Conclusion

Introduction :

Un schéma expérimental « bien » pensé...



EN

Official Journal of the European Union

DIRECTIVES

DIRECTIVE 2010/63/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
of 22 September 2010
on the protection of animals used for scientific purposes
(Text with EEA relevance)

PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE

and other scientific purposes (4). By her



Plan de l'intervention

Introduction



1. Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?
2. Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?
3. Dispositifs expérimentaux

Conclusion

Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?

Approche Scientifique
= Résultats éprouvés

Gagner du temps
et argent

Reduire le nombre d'animaux
(Reduce – Refine – Replace)

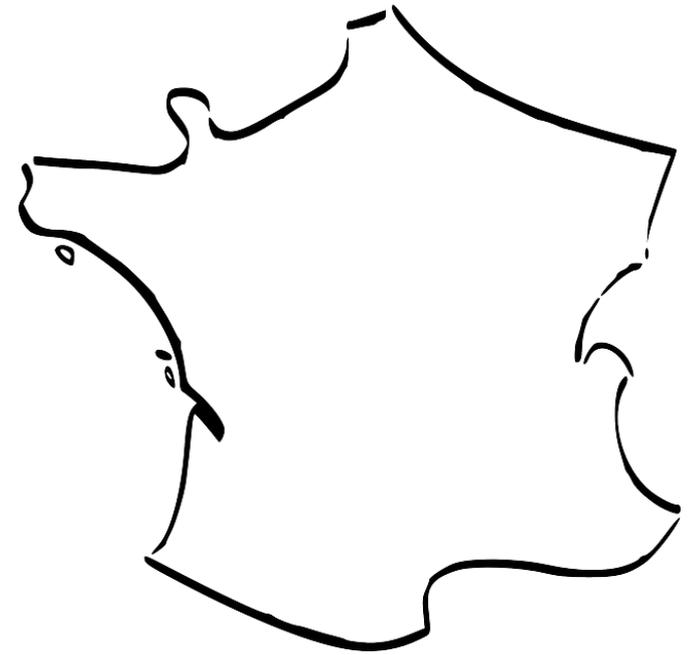
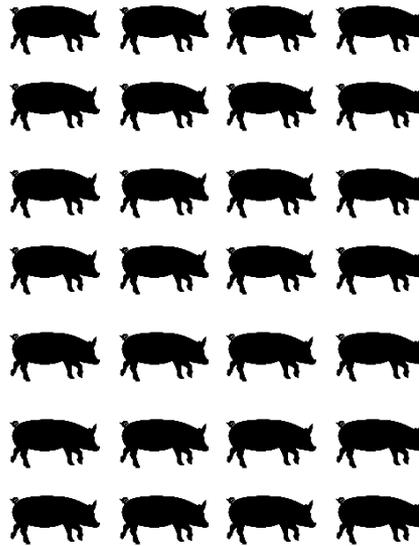
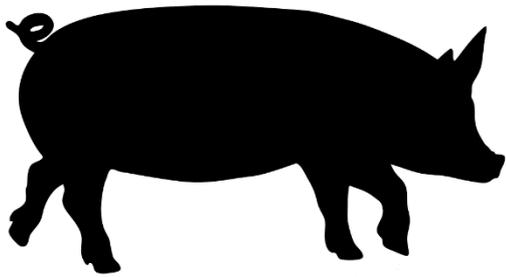
Besoin d'une « bonne » expérimentation
= Schéma expérimental bien pensé

Objectifs clairs
(cf cours de J. Flament)

∨ biais
(e.g. facteurs confondus)

Choix de l'unité
expérimentale

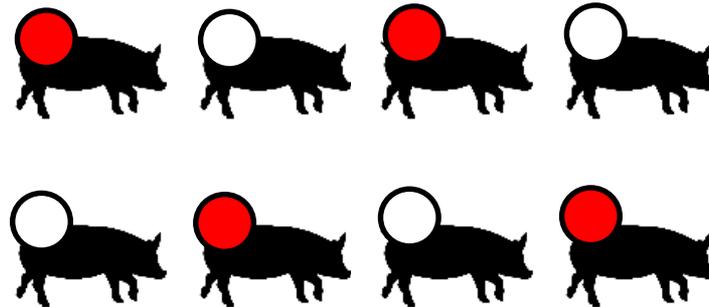
Le choix de l'unité expérimentale



Le choix de l'unité expérimentale : exemples



Si je prends 8 cochons d'une bande, j'injecte à certains un vaccin, un placebo à d'autres. Quel est le nombre d'unités expérimentales ?



A – 8

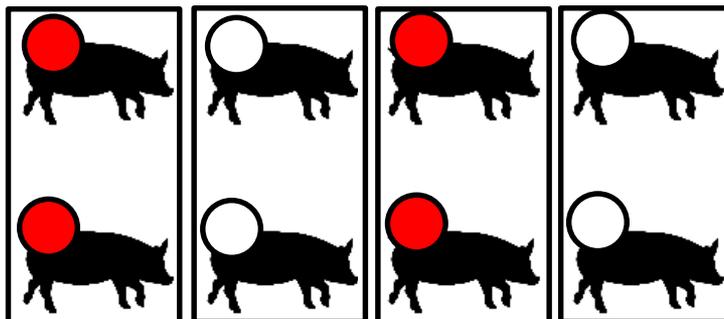
B – 4

C – 2

Le choix de l'unité expérimentale : exemples



Maintenant, si j'isole les 8 cochons malades dans mon espace de quarantaine où ils sont loger par 2 dans des cases. j'injecte mon vaccin aux cochons de 1 case sur 2. Quel est le nombre d'unité expérimentales ?



A – 8

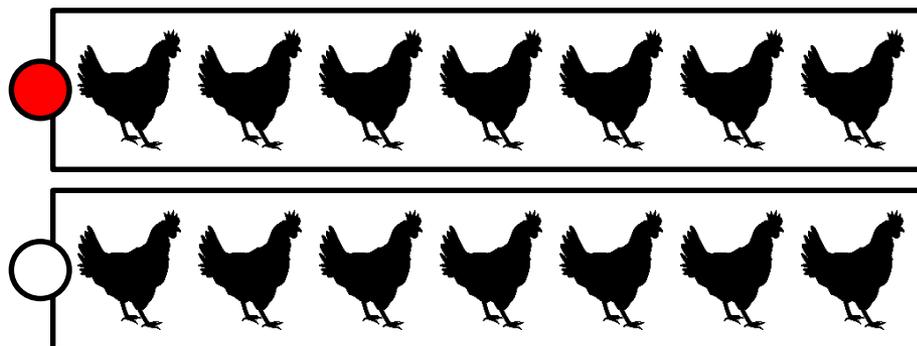
B – 4

C – 2

Le choix de l'unité expérimentale : exemples



Si je prends 2 poulaillers de 7 poulets de chair chacun. J'ajoute un vaccin à l'eau de boisson de l'un des bâtiment et rien dans l'autre. Quel est le nombre d'unités expérimentales ?



A – 14

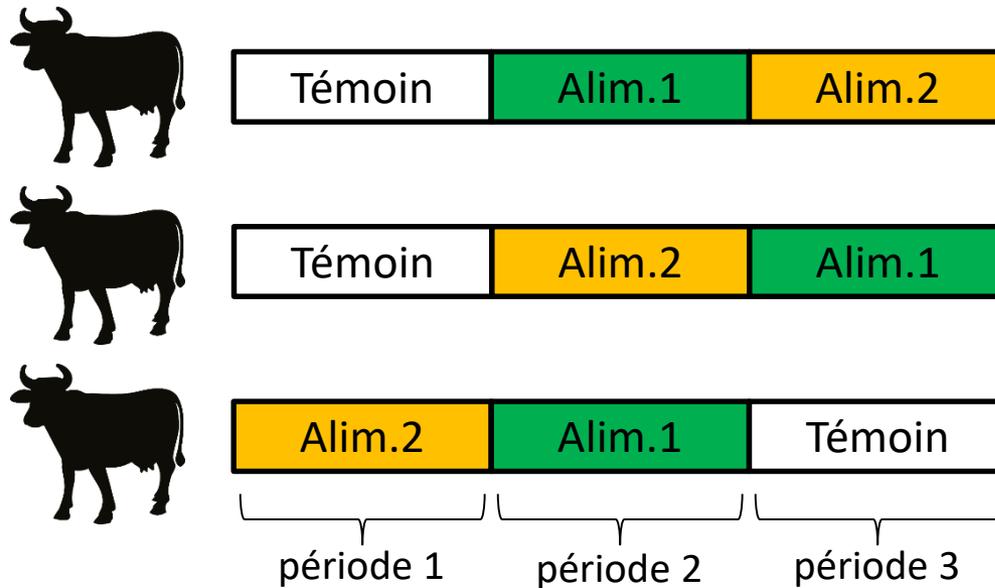
B – 7

C – 2

Le choix de l'unité expérimentale : exemples



Si je prends 3 vaches sur lesquelles je veux tester les effets de 2 aliments. J'utilise une allocation aléatoire de mes traitements sur 3 périodes. Quel est le nombre d'unités expérimentales ?

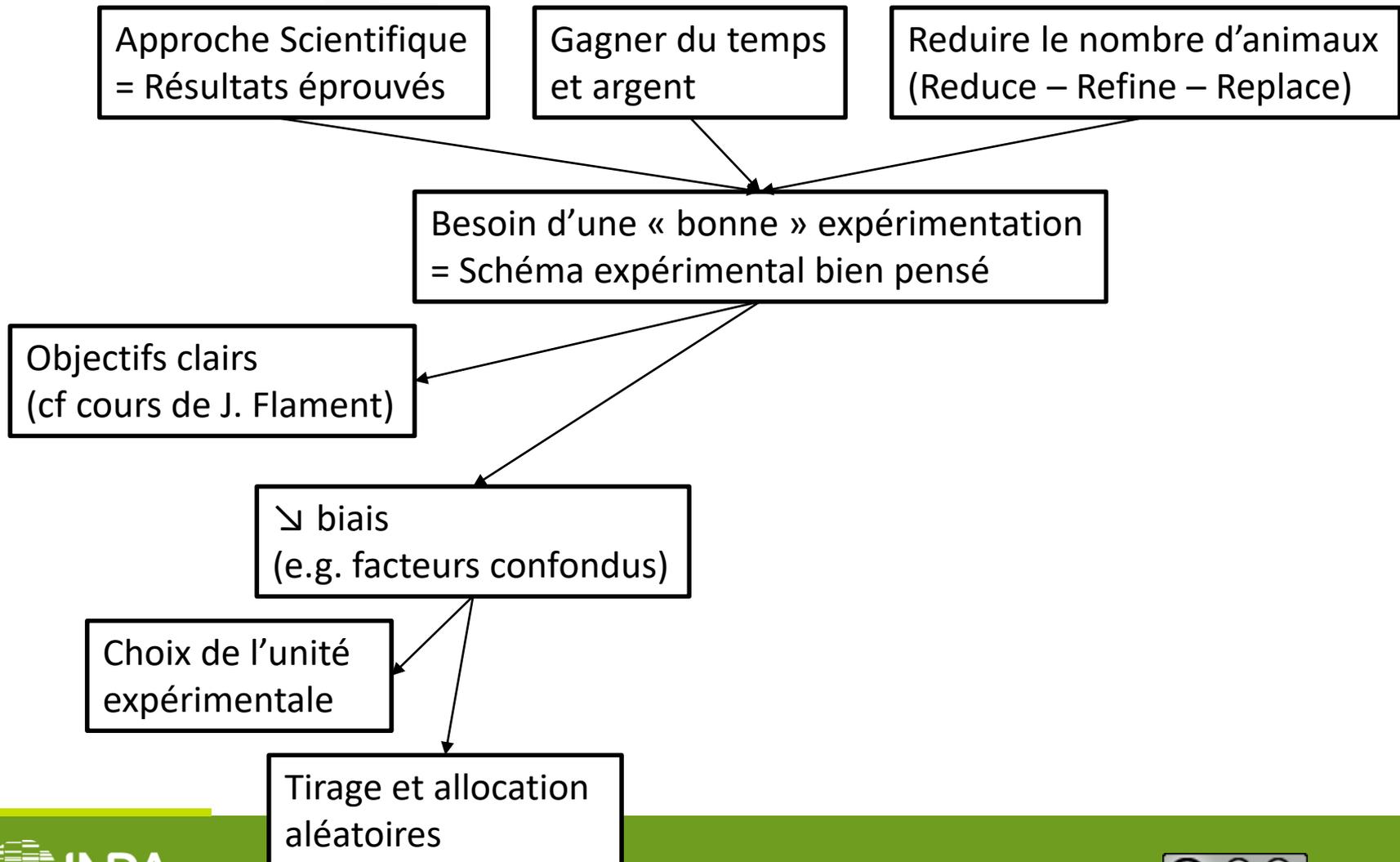


A – 3

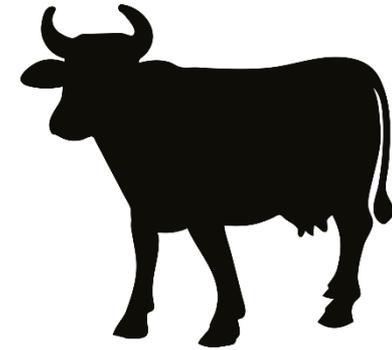
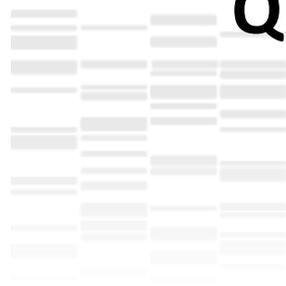
B – 6

C – 9

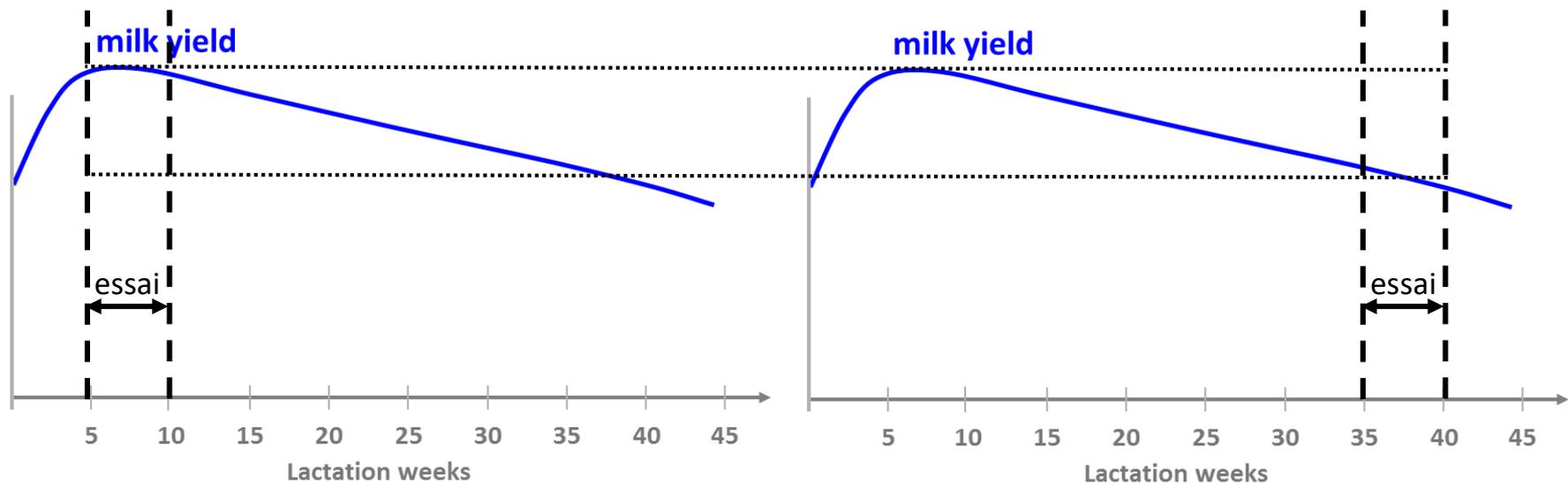
Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



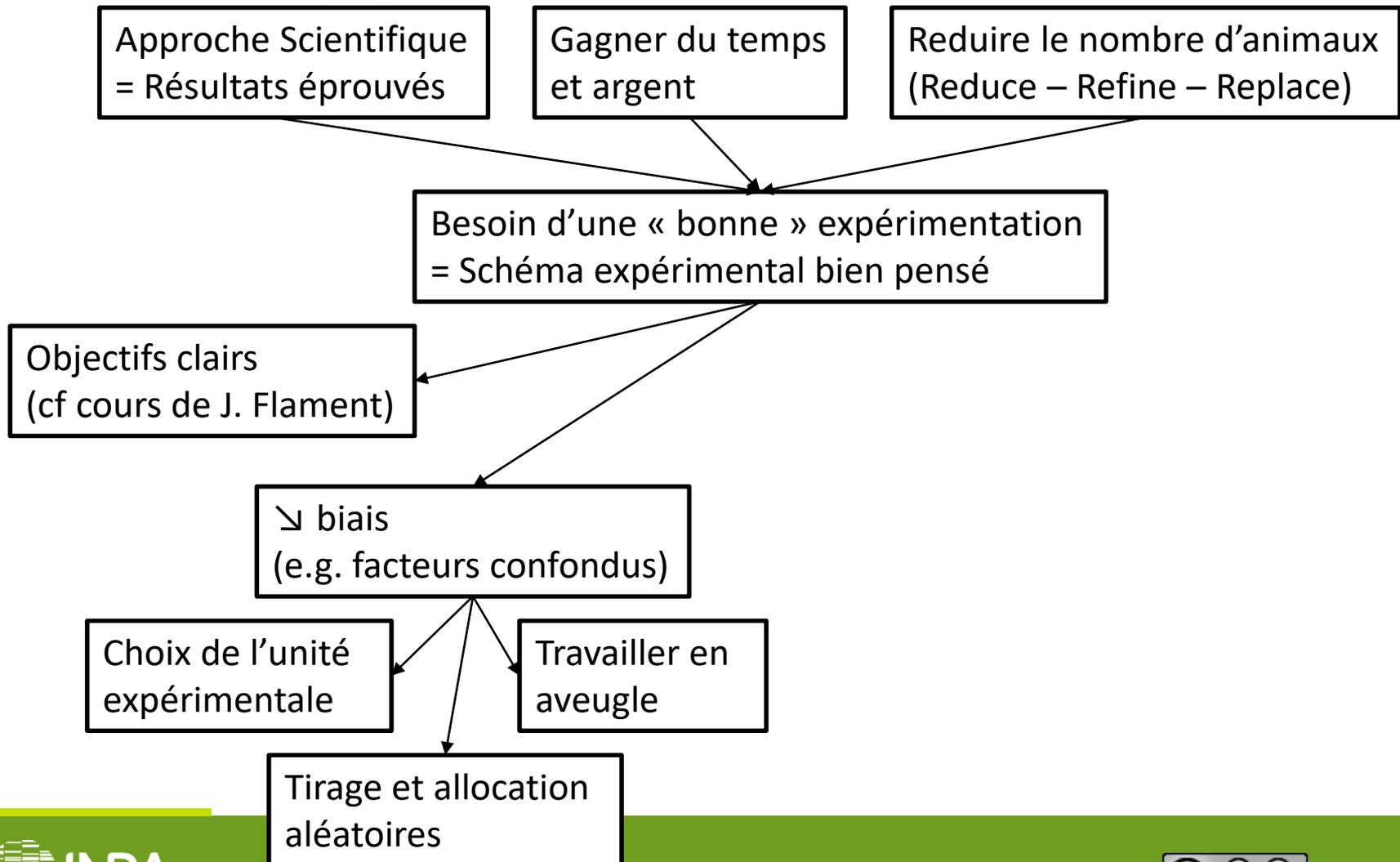
Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



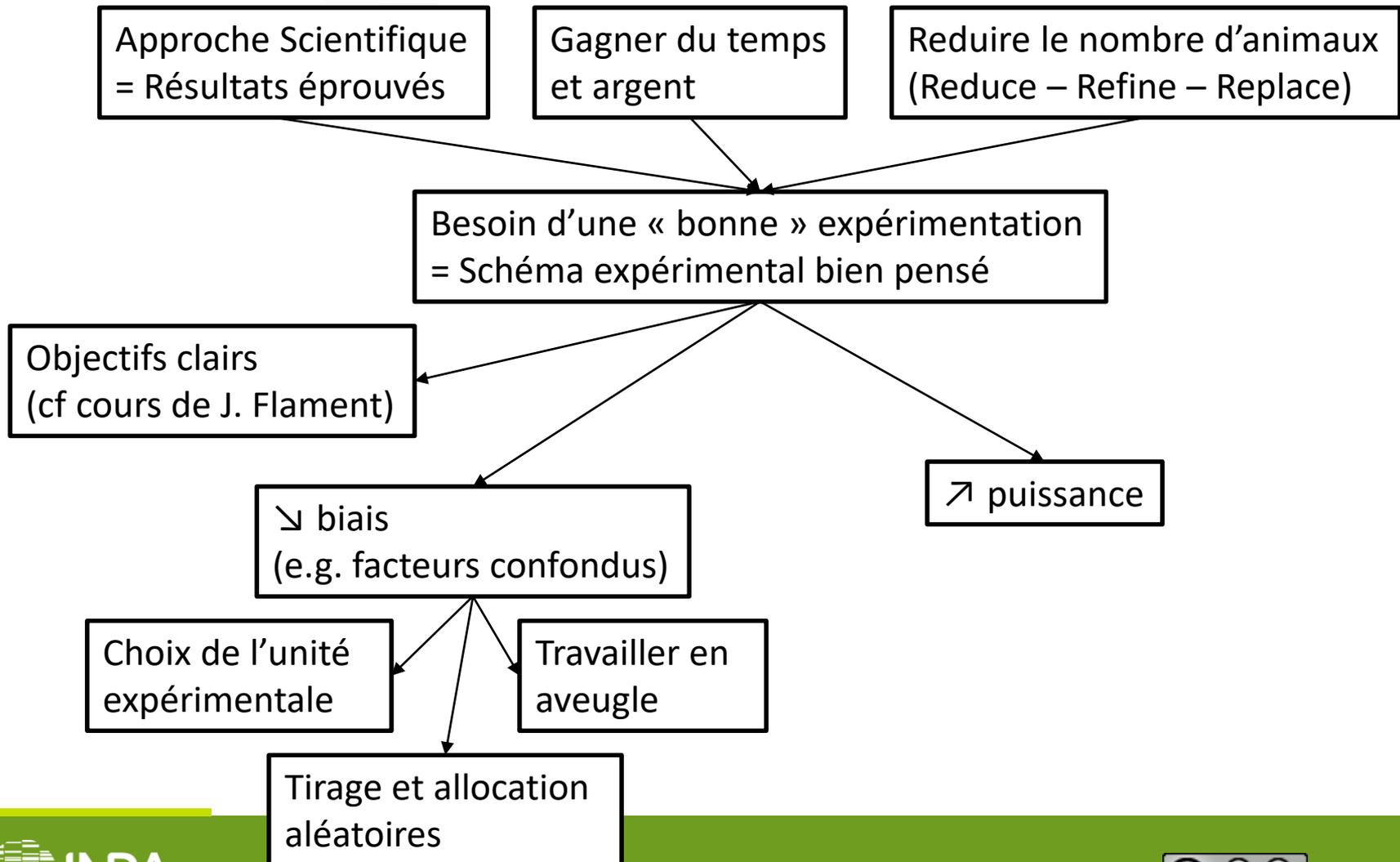
Exemple biais : le temps pour tirage aléatoire



Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?

La puissance: Késako ?

$$\begin{aligned} \text{Puissance} &= 1 - \beta \\ &= 1 - \text{risque d'accepter } H_0 \text{ a tort} \\ &= \text{Probabilité de détecter une} \\ &\quad \text{différence qui existe !} \end{aligned}$$

α : risque de 1^{ère} espèce
 β : risque de 2nd espèce



Le calcul de cette probabilité
intègre 4 paramètres

α : le risque
de 1^{ère} espèce

σ : la variabilité intra-groupe

n : nombre d'individus
par groupe

δ : l'amplitude de la différence
que l'on veut détecter

→ Cela suppose donc quelques *a priori* !

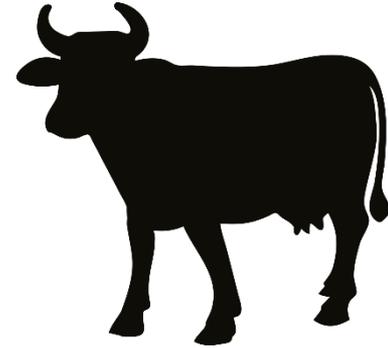
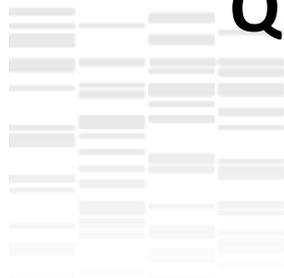
N. BEDERE (INRA, UMR PEGASE)



.015

24/09/2019

Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



Exemple en vaches laitières :

Je travaille en R&D dans l'entreprise SuperFirmeService, J'ai fait de la biblio, j'ai de bonnes raisons de croire qu'en ajoutant du miel dans les concentrés des VL je vais leur permettre de maximiser la production laitière par rapport à l'aliment concentré classique (~+3%).

Je sais que : Les 100 Holstein de ma ferme de référence produisent en moyenne 9000 ± 1200 kg/an

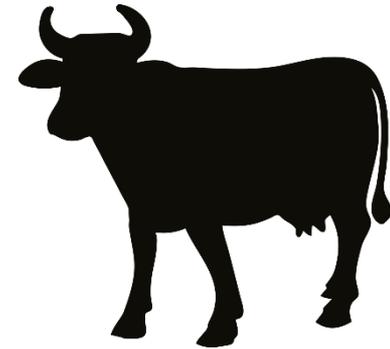
→ $\alpha = 5\%$

→ $sd = 1200$ kg

→ $\delta = 3\% = 270$ kg

→ $n = 100/2$

Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



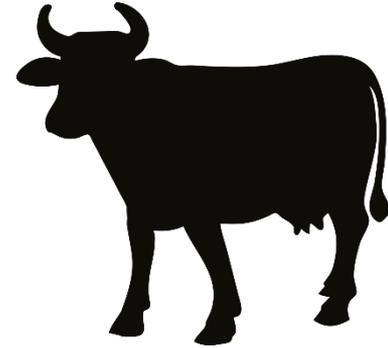
Je sais que : Les 100 Holstein de ma ferme de référence produisent en moyenne 9000 ± 1200 kg/an

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200$ kg
- $\delta = 3\% = 270$ kg
- $n = 100/2$

`power.t.test(n=50, delta=270, sd=1200, sig.level=0.05, power=NULL)`



Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



Je sais que : Les 100 Holstein de ma ferme de référence produisent en moyenne 9000 ± 1200 kg/an

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200$ kg
- $\delta = 3\% = 270$ kg
- $n = 100/2$

```
power.t.test(n=50,delta=270,sd=1200,sig.level=0.05,power=NULL)
```

Two-sample t test power calculation

$n = 50$

$\delta = 270$

$sd = 1200$

$\text{sig.level} = 0.05$

$\text{power} = 0.1987855$

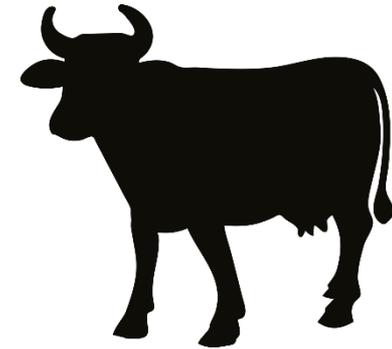
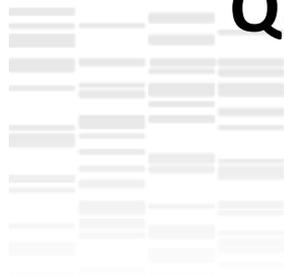
$\text{alternative} = \text{two.sided}$

NOTE: n is number in *each* group

20% de chance de montrer une différence de 3% !



Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



Donc, avec mes 100 vaches, quelle est la différence que je suis en mesure de tester ?

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $\delta = ?$
- $n = 100/2$

```
power.t.test(n=50, delta=NULL, sd=1200, sig.level=0.05, power=0.8)
```

Two-sample t test power calculation

n = 50

delta = 679.0595

sd = 1200

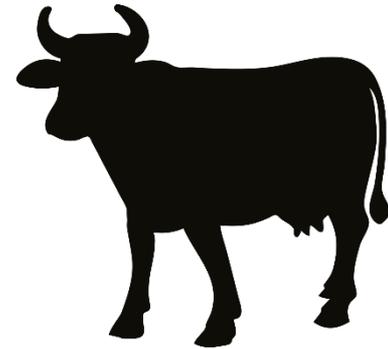
sig.level = 0.05

power = 0.8

alternative = two.sided

NOTE: n is number in *each* group

Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?



Donc, avec mes 100 vaches, quelle est la différence que je suis en mesure de tester ?

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $\delta = ?$
- $n = 100/2$

```
power.t.test(n=50, delta=NULL, sd=1200, sig.level=0.05, power=0.8)
```

Two-sample t test power calculation

$n = 50$

$\delta = 679.0595$

$sd = 1200$

Dans ma ferme pilote, je pourrai démontrer avec mes 100 vaches laitières une différence de production de 679 kg soient de 8% entre les groupes

NOTE: n is number in each group





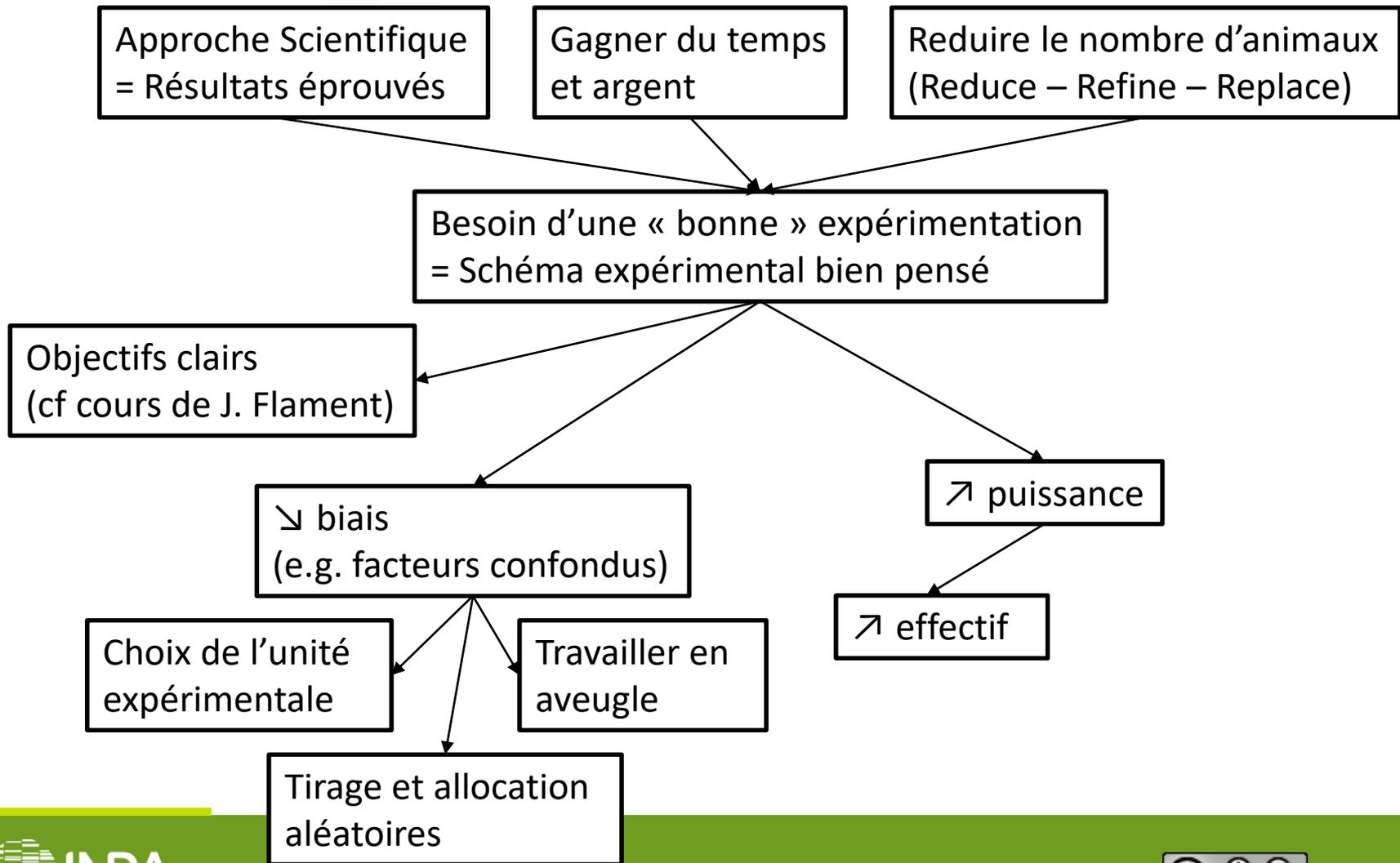
Plan de l'intervention

Introduction

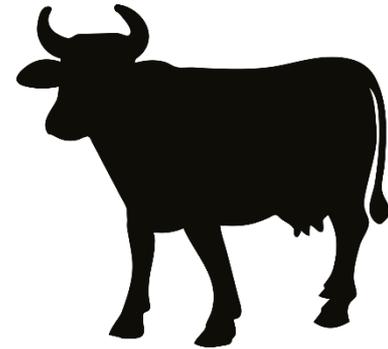
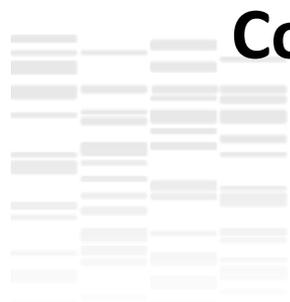
1. Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?
- ▶ 2. Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?
3. Dispositifs expérimentaux

Conclusion

Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Donc, avec combien d'animaux puis-je éprouver la ≠

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\delta = 3\% = 270\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $n = ?$

```
power.t.test(n=NULL,delta=270,sd=1200,sig.level=0.05,power=0.8)
```

Two-sample t test power calculation

```
n = 311.0425
```

```
delta = 270
```

```
sd = 1200
```

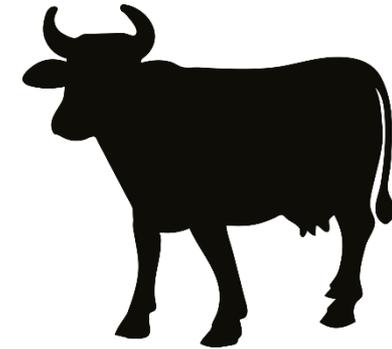
```
sig.level = 0.05
```

```
power = 0.8
```

```
alternative = two.sided
```

NOTE: n is number in *each* group

Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Donc, avec combien d'animaux puis-je éprouver la ≠

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\delta = 3\% = 270\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $n = ?$

```
power.t.test(n=NULL,delta=270,sd=1200,sig.level=0.05,power=0.8)
```

Two-sample t test power calculation

$n = 311.0425$

Il me faudra $311 \times 2 = 622$ lactations pour démontrer l'effet..
Est-ce réalisable ?

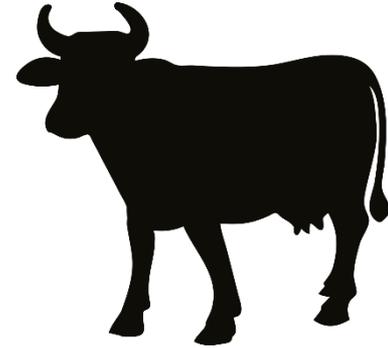
$power = 0.8$

alternative = two.sided

NOTE: n is number in *each* group



Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Donc, avec combien d'animaux puis-je éprouver la ≠

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\delta = 3\% = 270\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $n = ?$

`power.t.test(n=NULL, mu=11, sigma=120, sig.level=0.05, power=0.8)`

1 ferme de 622 vaches ?

7 fermes de 89 vaches ?

1 ferme de 89 vaches pendant 7 ans ?

etc.

Il me faudra $311 * 2 = 622$ lactations pour démontrer l'effet..
Est-ce réalisable ?

power = 0.8

alternative = two.sided

NOTE: n is number in *each* group



Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?

Commencez vous à voir la limite ?

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\delta = 0,01\% = 9\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $n = ?$



```
power.t.test(n=NULL,delta=9,sd=1200,sig.level=0.05,power=0.8)
```

Two-sample t test power calculation

```
n = 279072.2
```

```
delta = 9
```

```
sd = 1200
```

```
sig.level = 0.05
```

```
power = 0.8
```

```
alternative = two.sided
```

NOTE: n is number in *each* group

Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?

Commencez vous à voir la limite ?

- $\alpha = 5\%$
- $sd = 1200\text{kg}$
- $\delta = 0,01\% = 9\text{kg}$
- $\beta = 80\%$
- $n = ?$



```
power.t.test(n=NULL,delta=9,sd=1200,sig.level=0.05,power=0.8)
```

Two-sample t test power calculation

$n = 279072.2$

Avec 558 144 vaches, je peux affirmer qu'une augmentation de 9 kg entre le lot témoin et le lot expérimental est significative avec une puissance de 80%...

power = 0.8

alternative = two.sided

NOTE: n is number in *each* group



Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?

Commencez vous à voir la limite ?

→ $\alpha = 5\%$

→ $sd = 1200\text{kg}$

→ $\delta = 0,01\% = 9\text{kg}$

→ $\beta = 80\%$

→ $n = ?$



`power.t.test(n=NULL,delta=9,sd=1200,sig.level=0.05,power=0.8)`

Two-sample t test power calculation

$n = 279072.2$

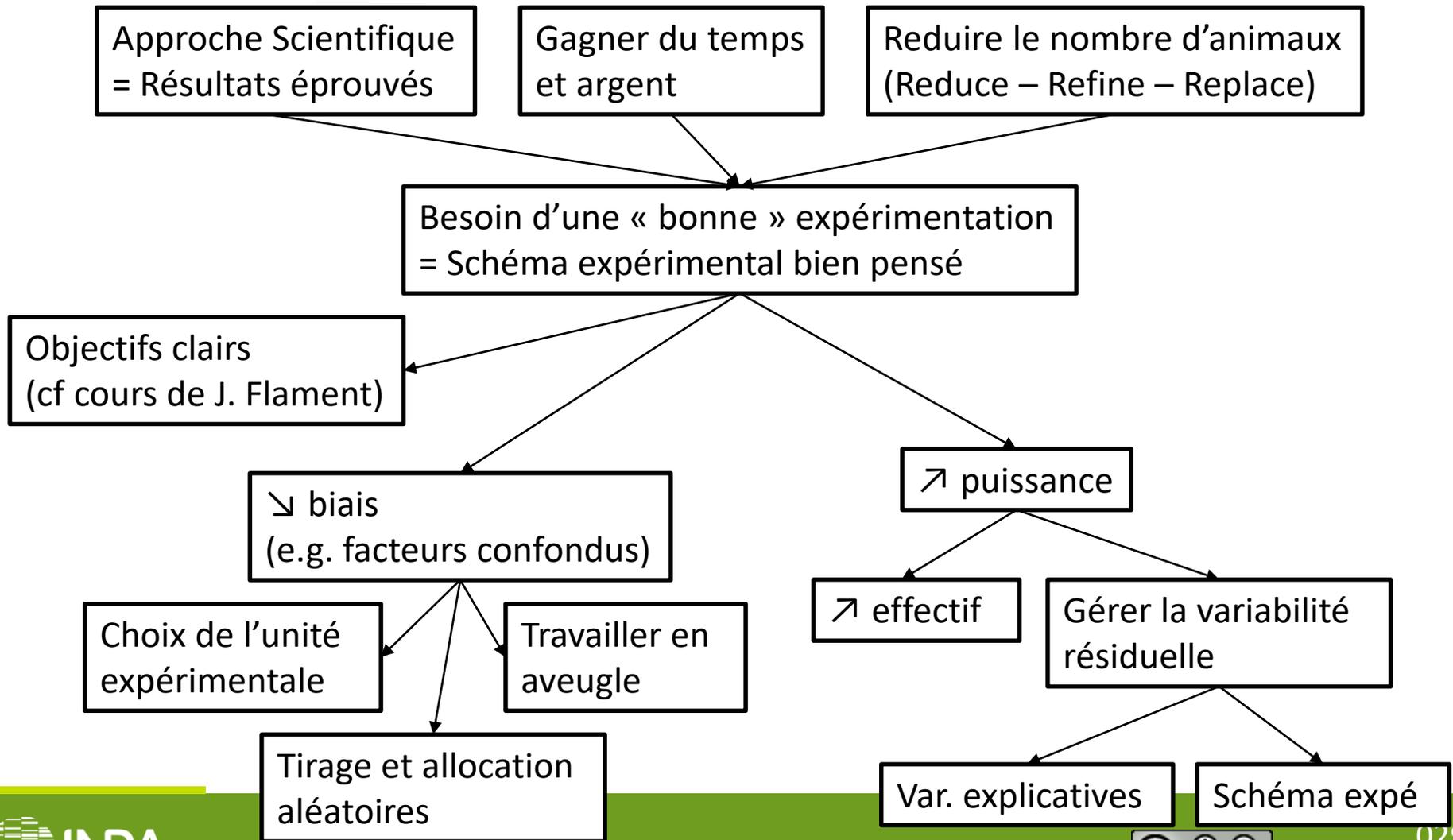
Avec 558 144 vaches, je peux affirmer qu'une augmentation de 9 kg entre le lot témoin et le lot expérimental est significative avec une puissance de 80%...

... et Alors ?

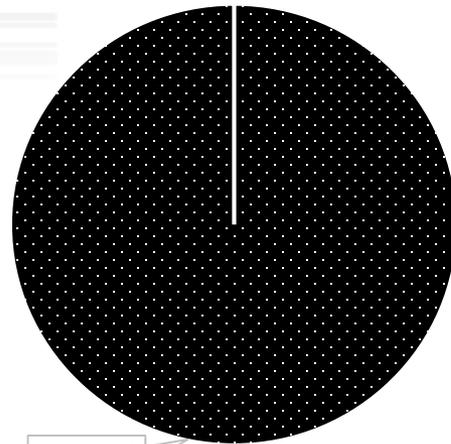
En 2016, les Organismes de Contrôle Laitier ont enregistrés 2 488 150 lactations de 43 040 exploitations. Ils font de la R&D, potentiellement tout est significatif pour eux !
→ Les stats ne font pas tout, c'est un outil. A vous de réfléchir!



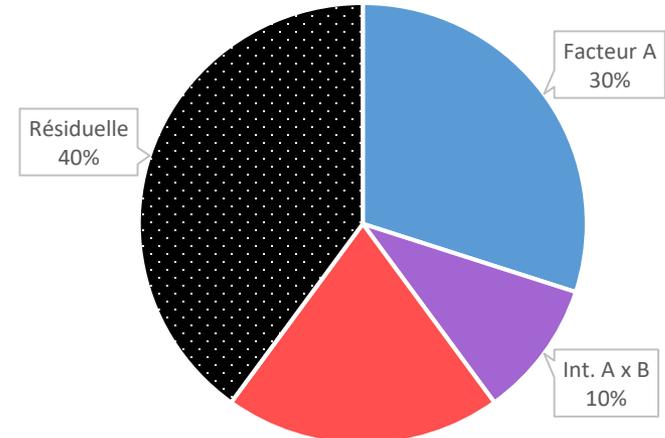
Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Variabilité
100%

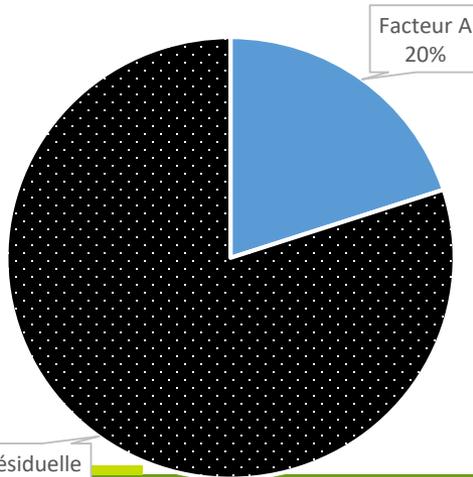


Résiduelle
40%

Facteur A
30%

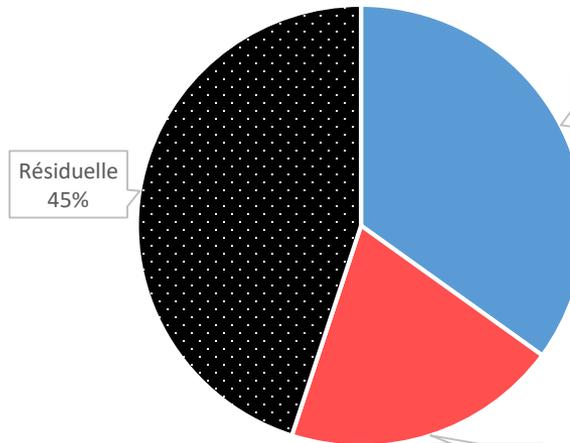
Int. A x B
10%

Facteur B
20%



Facteur A
20%

Résiduelle
80%

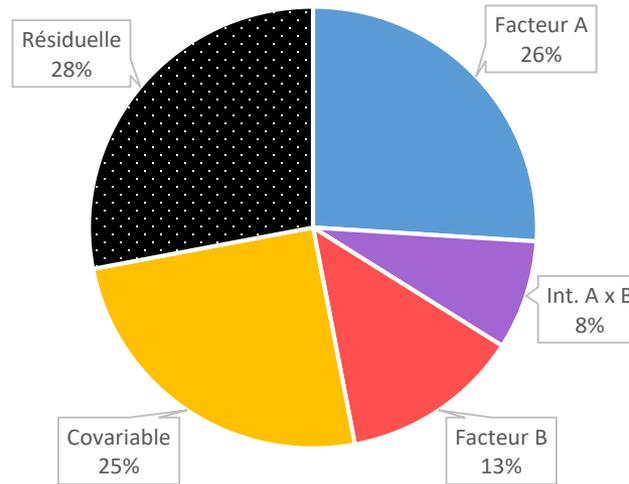


Résiduelle
45%

Facteur A
35%

Facteur B
20%

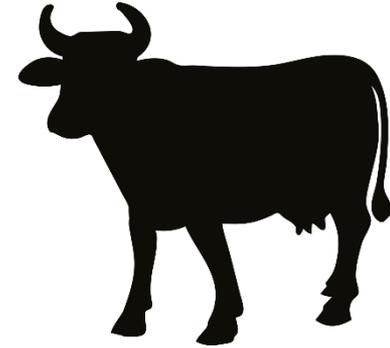
Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Des exemples de covariables ?

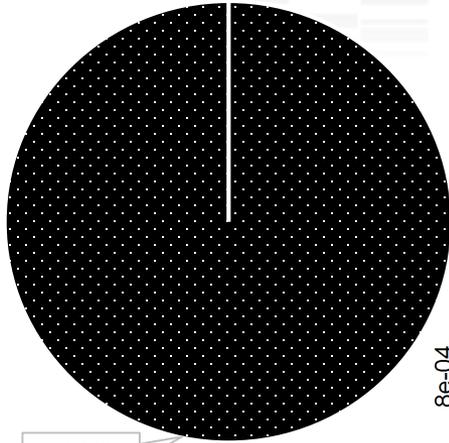
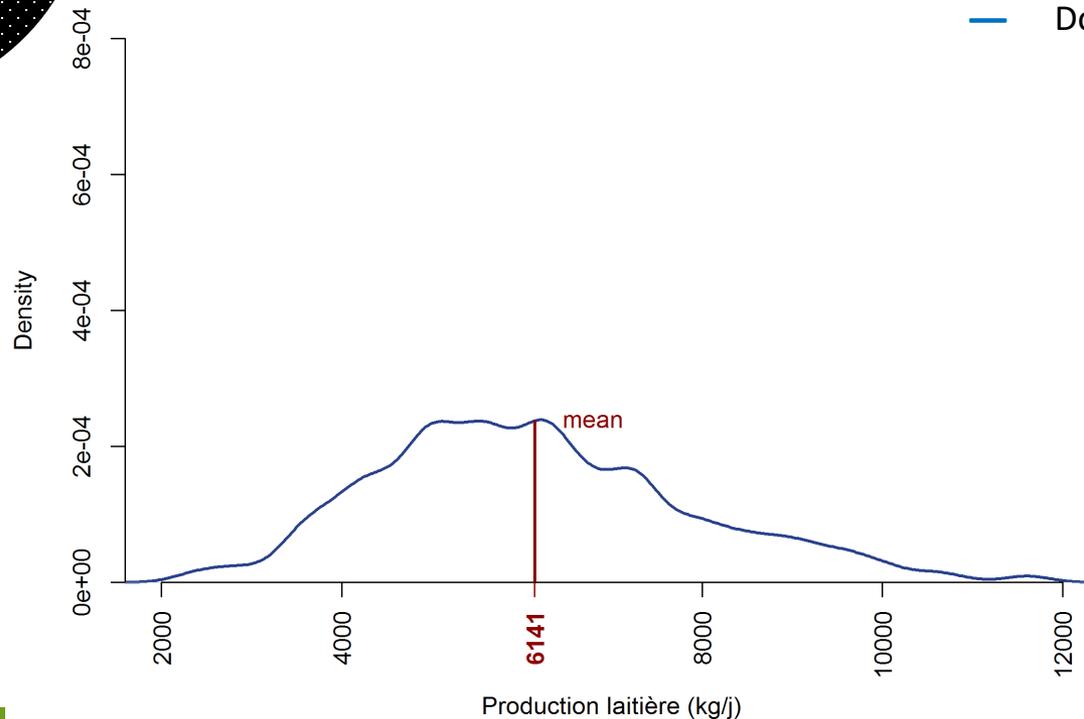


Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



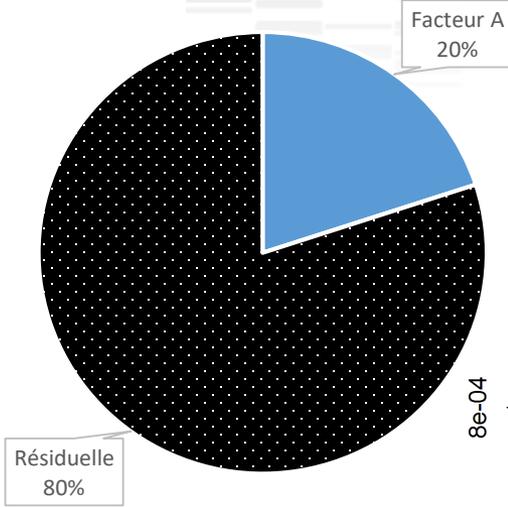
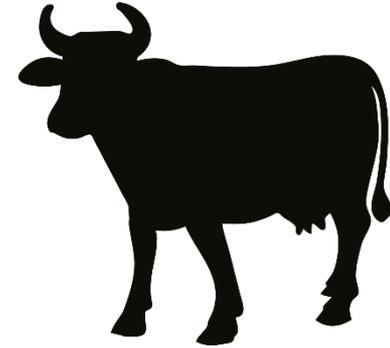
— Données brutes

Distribution de la production laitière de 500 vaches



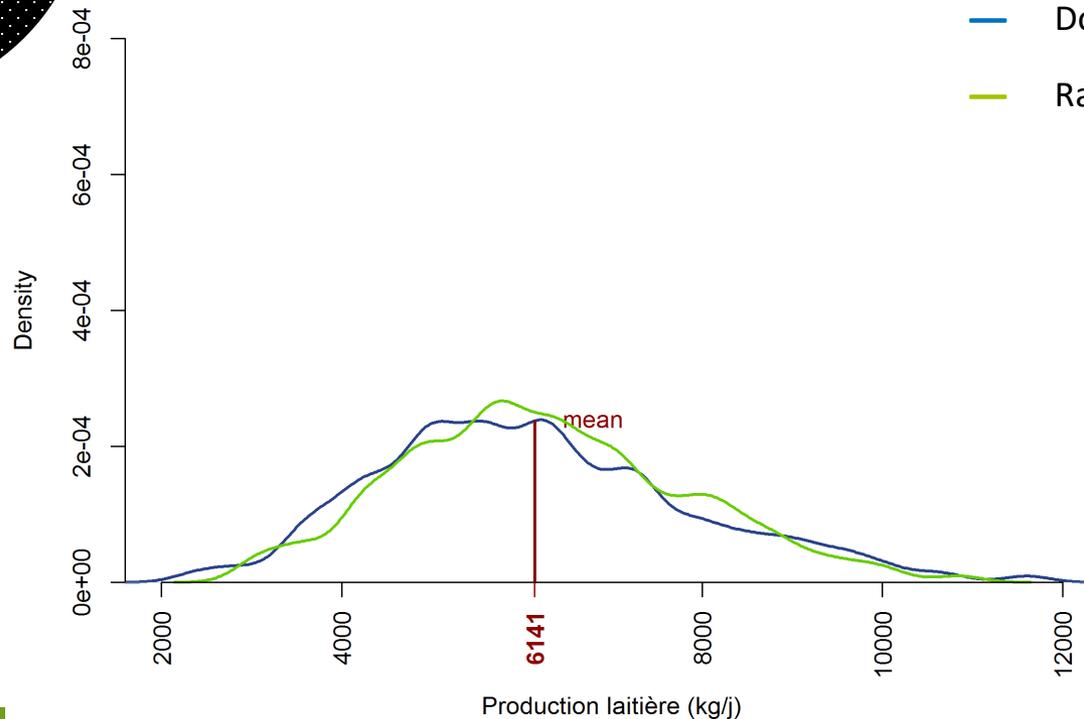
Variabilité
100%

Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



Distribution de la production laitière de 500 vaches

$R^2_{ajusté}=0.18$



- Données brutes
- Race

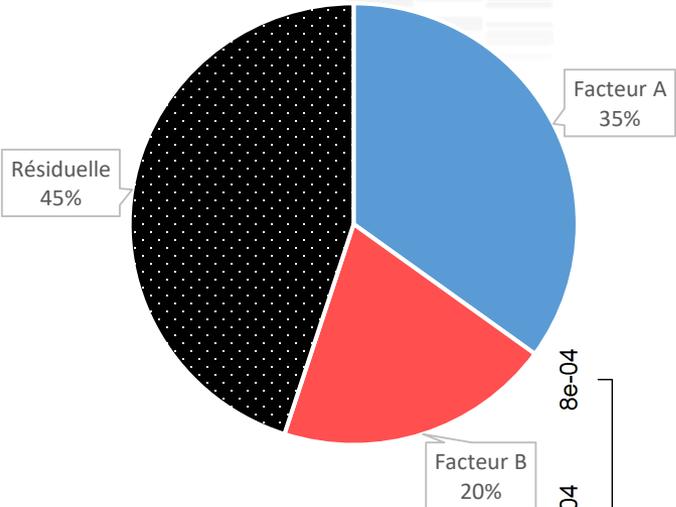
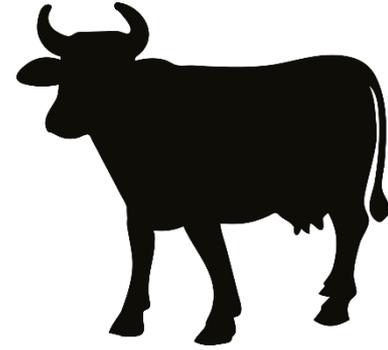
Données de l'expérimentation « Quelle vache laitière pour quel système? » coordonnée par Luc Delaby

(INRA, UMR PEGASE, Saint-Gilles) au domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras

N. BEDERE (INRA, UMR PEGASE)

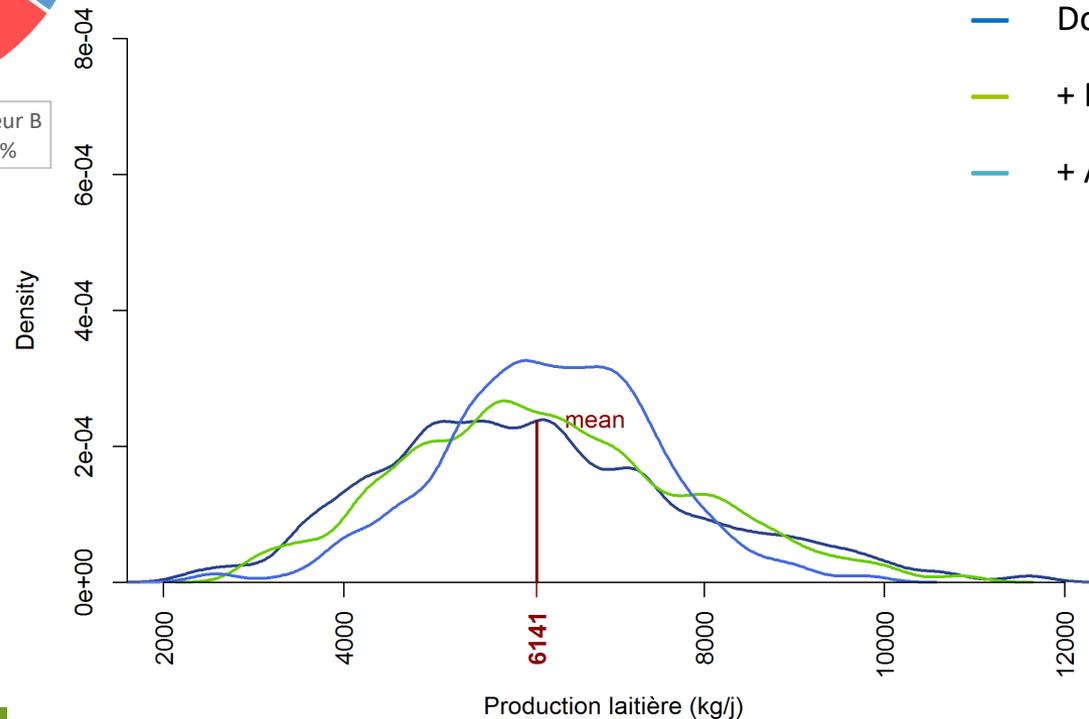


Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



$R^2_{ajusté}=0.53$

Distribution de la production laitière de 500 vaches



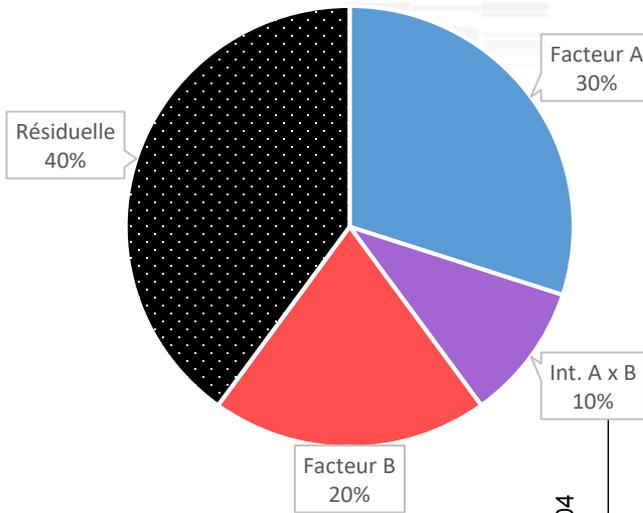
Données de l'expérimentation « Quelle vache laitière pour quel système? » coordonnée par Luc Delaby

(INRA, UMR PEGASE, Saint-Gilles) au domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras

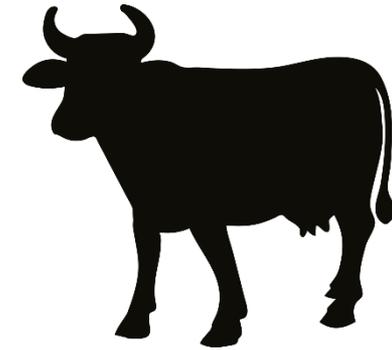
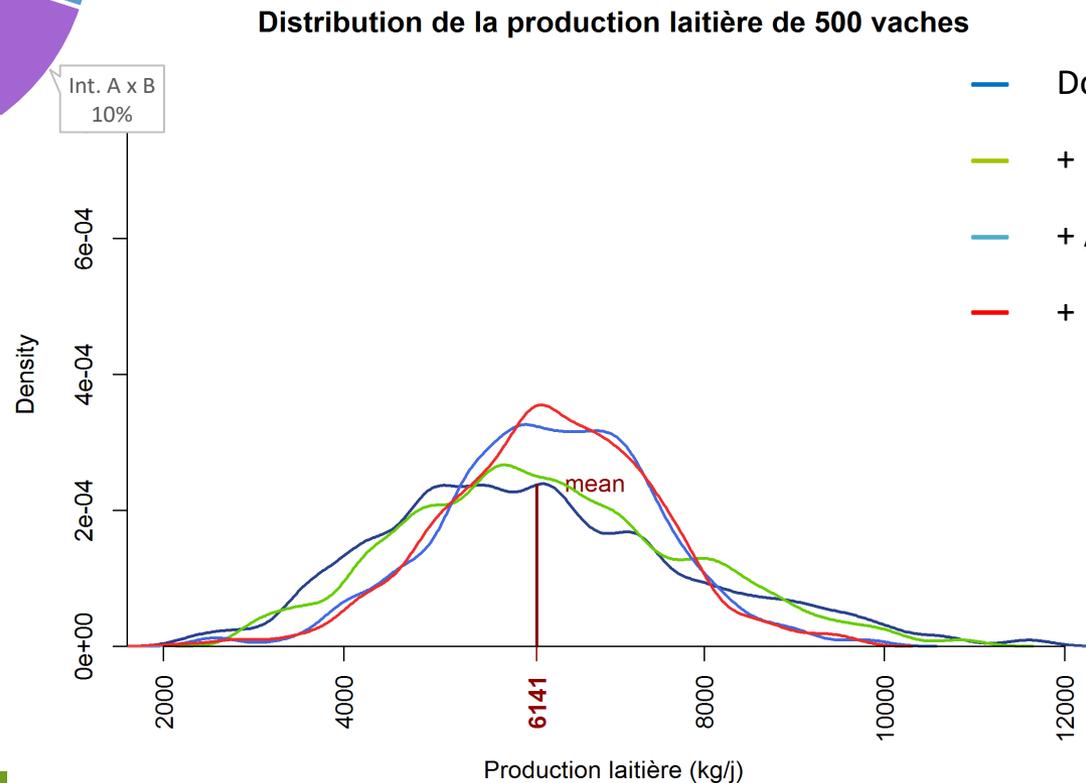
N. BÉDERE (INRA, UMR PEGASE)



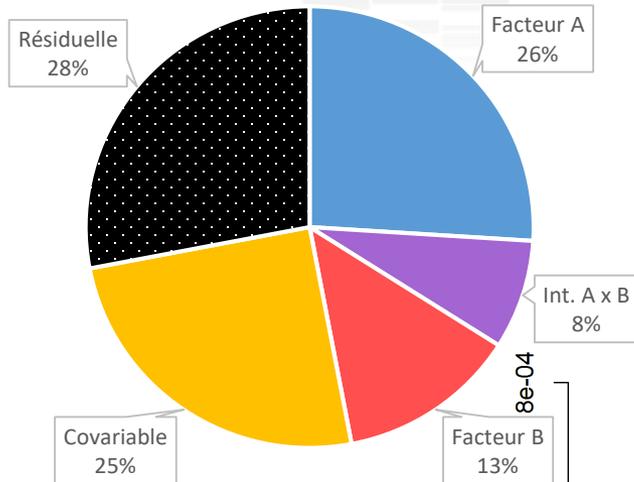
Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



$R^2_{\text{ajusté}}=0.55$

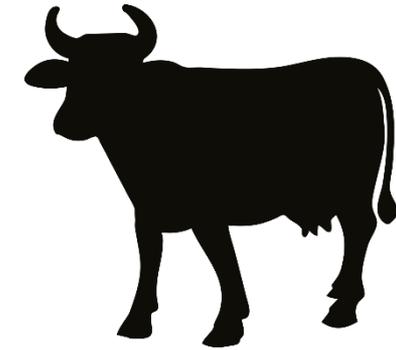
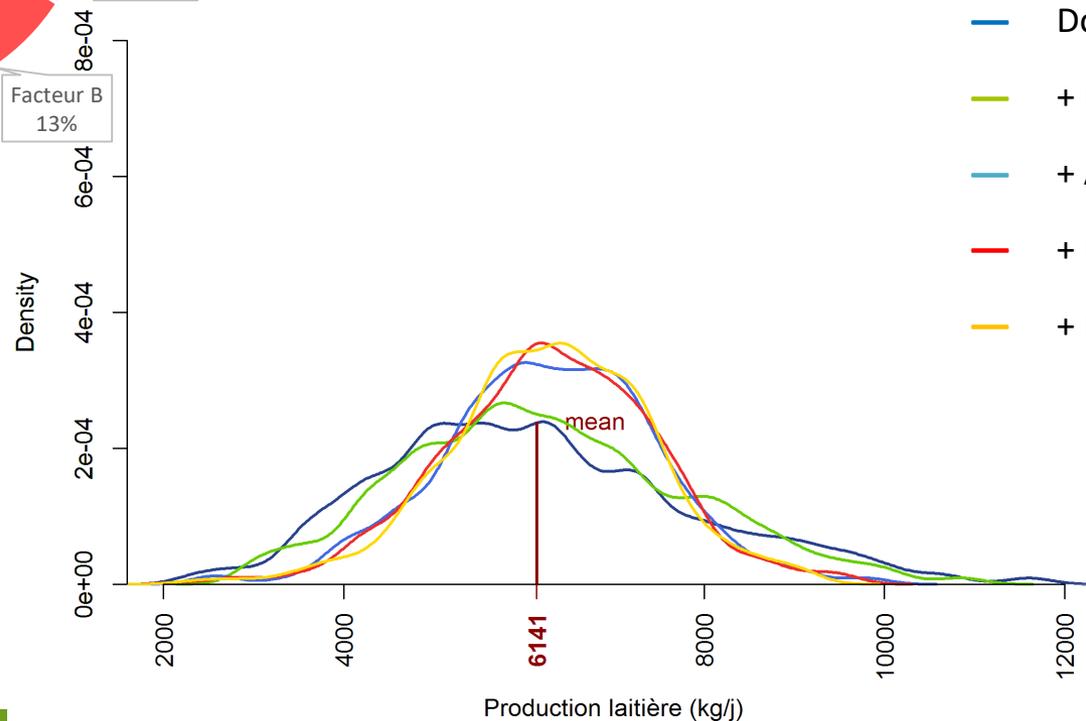


Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



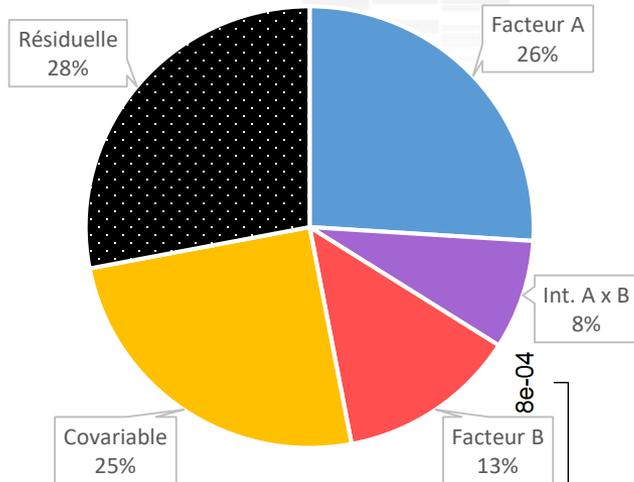
$R^2_{ajusté}=0.58$

Distribution de la production laitière de 500 vaches



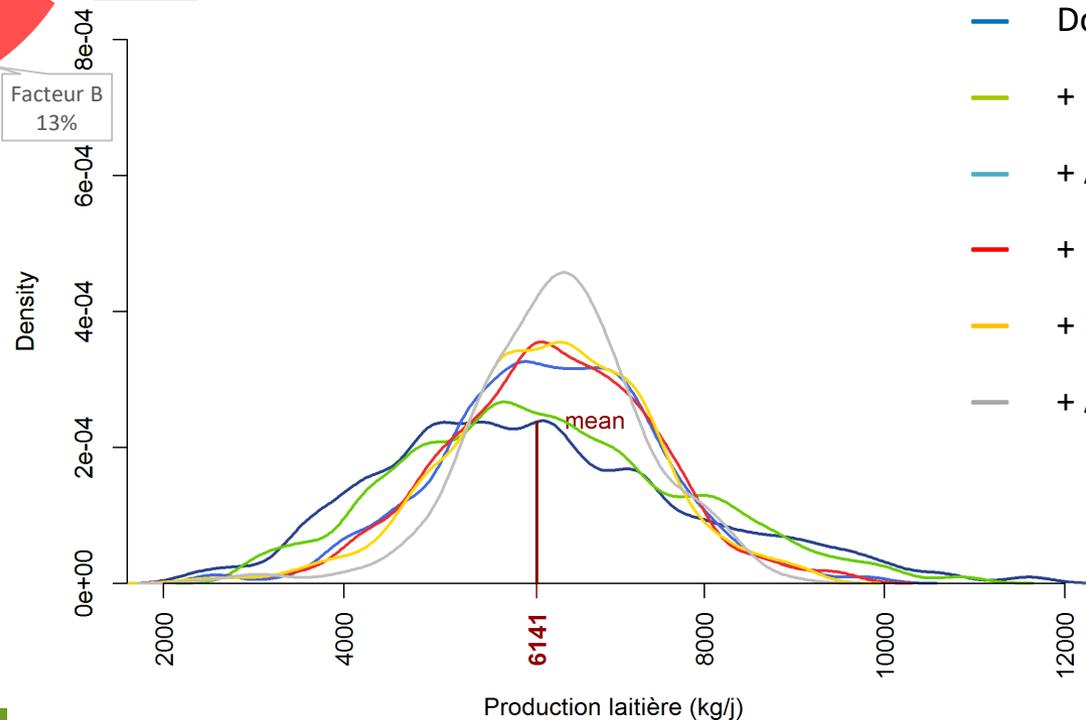
- Données brutes
- + Race
- + Alim
- + Race x Alim
- + Parité

Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?

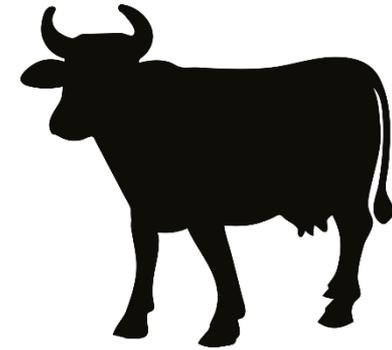


$R^2_{ajusté}=0.68$

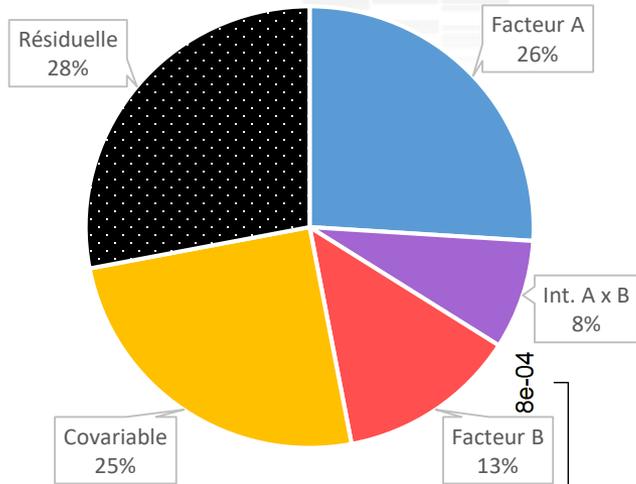
Distribution de la production laitière de 500 vaches



- Données brutes
- + Race
- + Alim
- + Race x Alim
- + Parité
- + Année

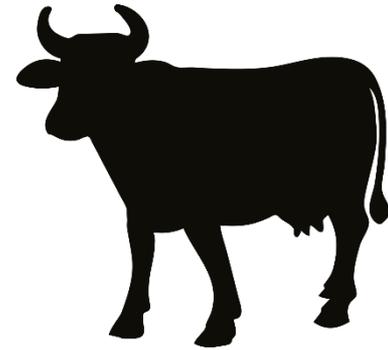
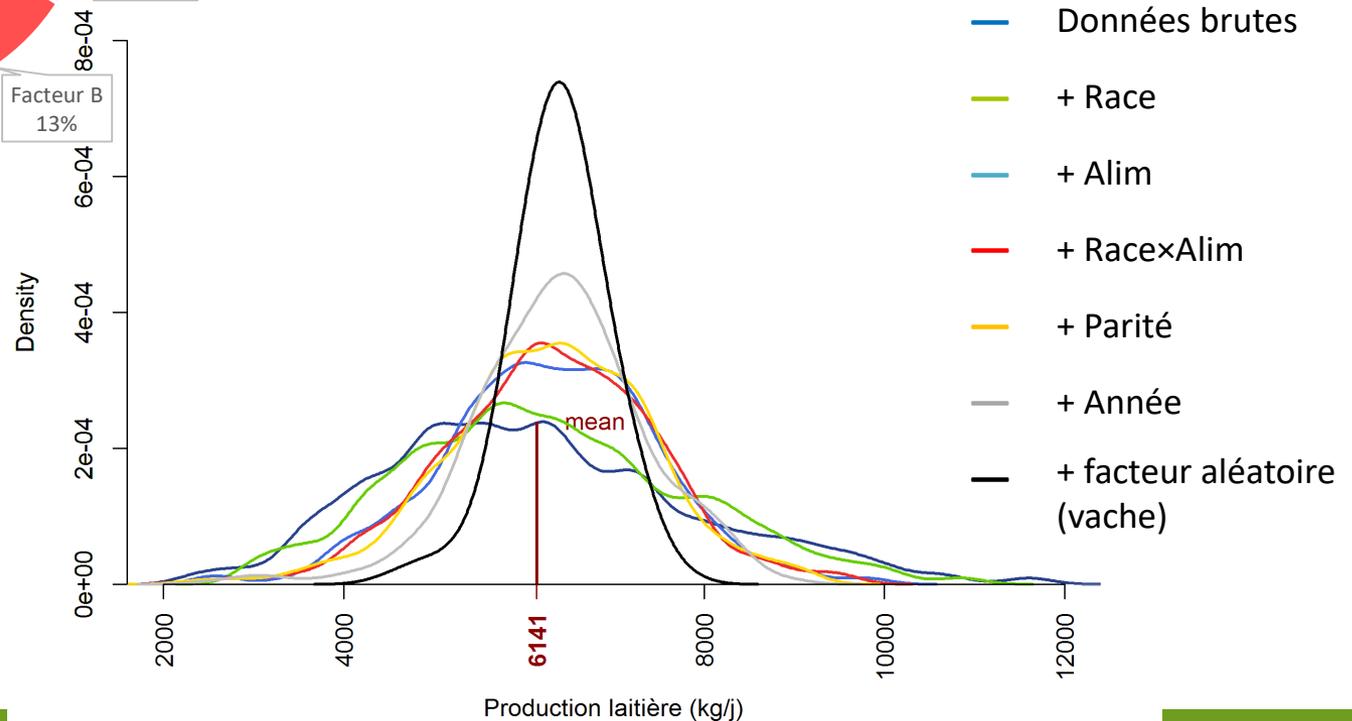


Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?



$R^2_{ajusté}=0.90$

Distribution de la production laitière de 500 vaches



Un modèle représente la réalité mais ne l'est pas. Il fait donc des erreurs.

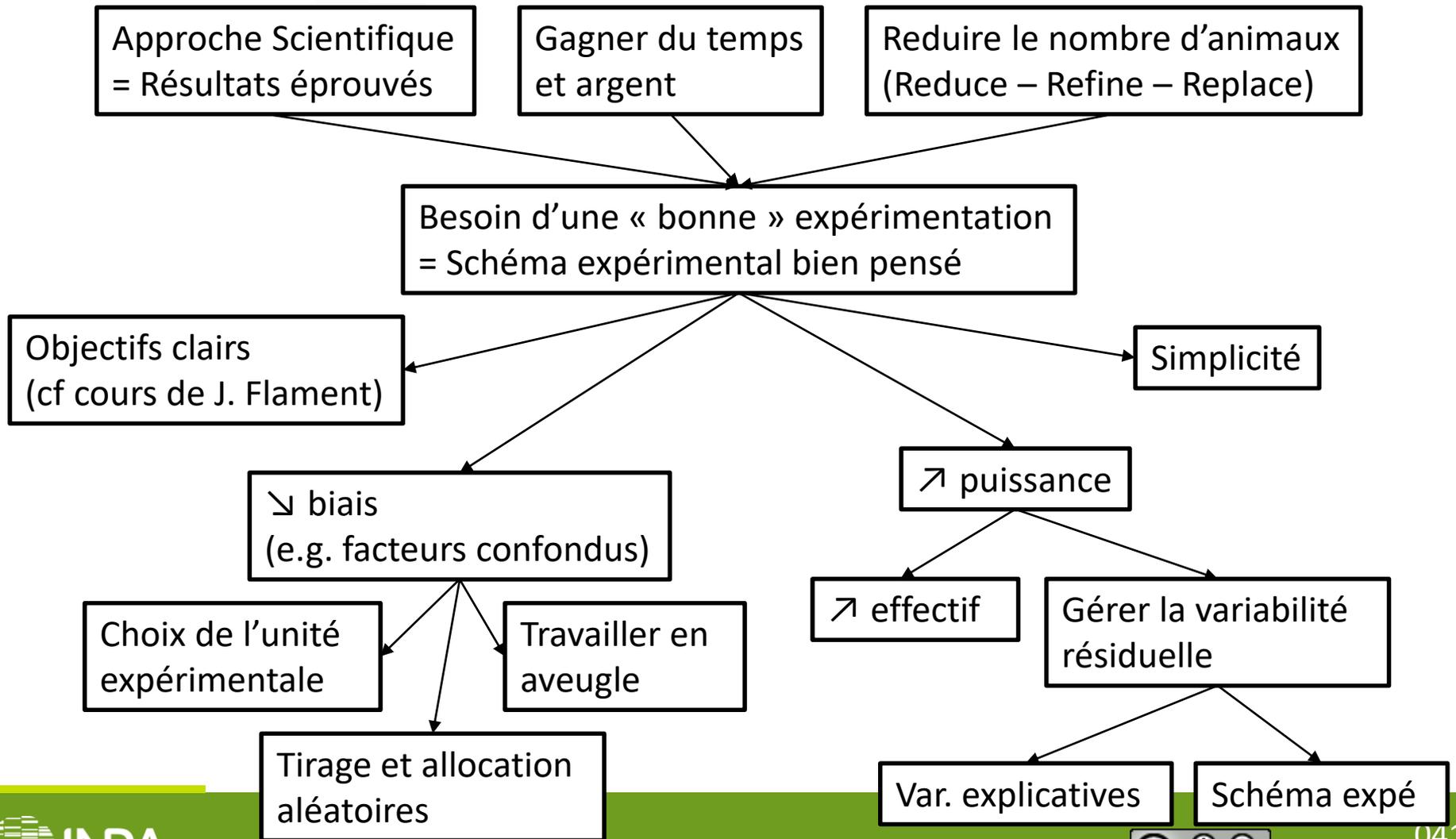


René Magritte



PAUSE !

Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?





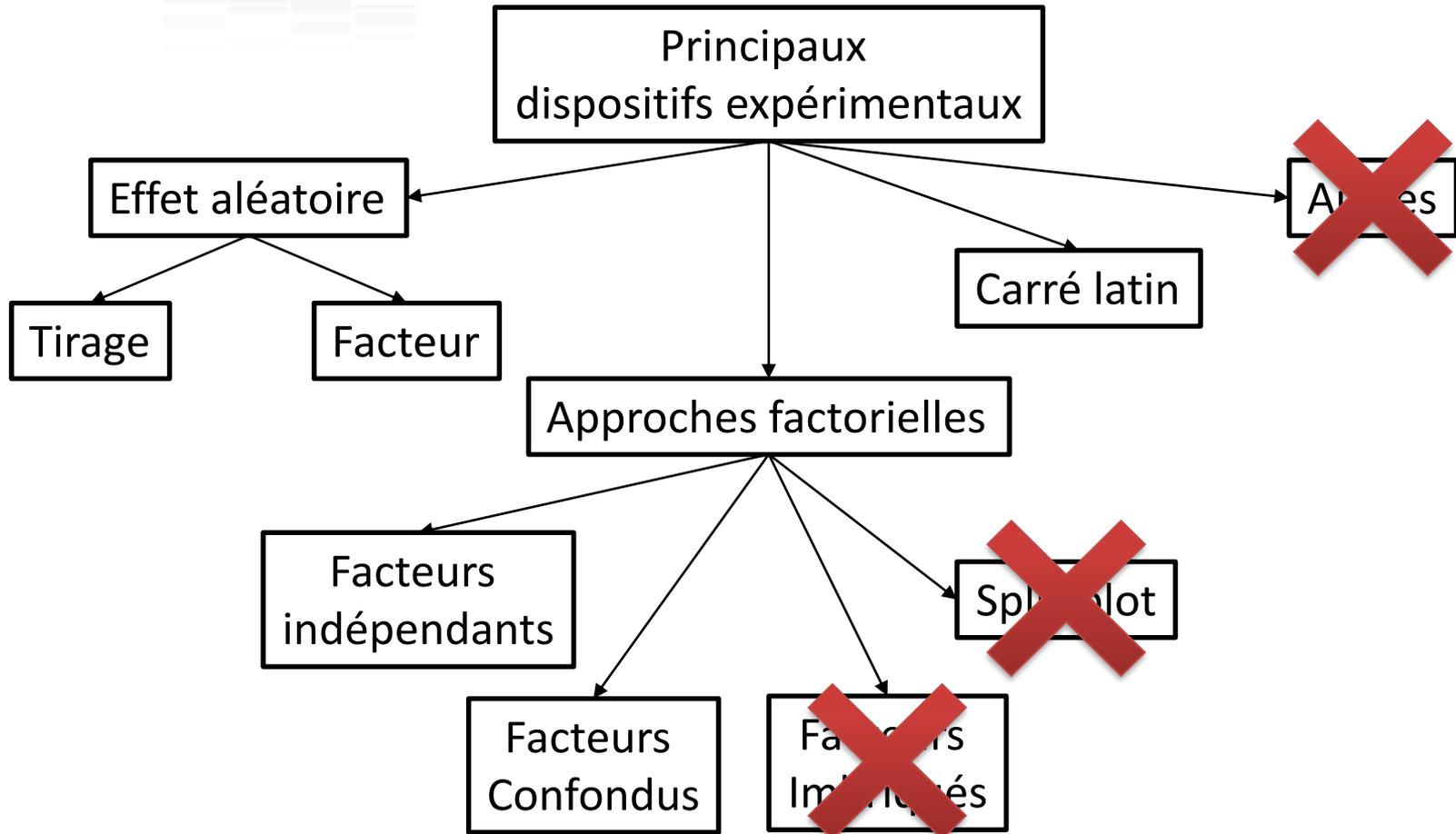
Plan de l'intervention

Introduction

1. Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?
2. Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?
- ▶ 3. Dispositifs expérimentaux

Conclusion

Dispositifs expérimentaux



Dispositifs expérimentaux



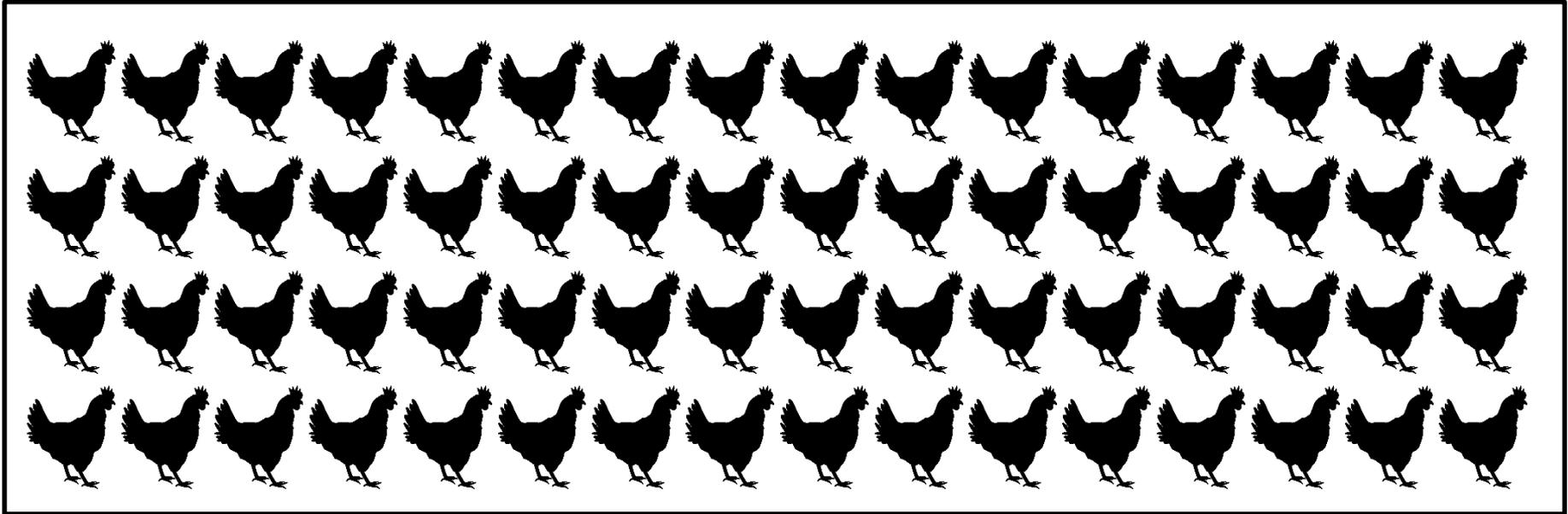
Principaux
dispositifs expérimentaux

Effet aléatoire

Tirage

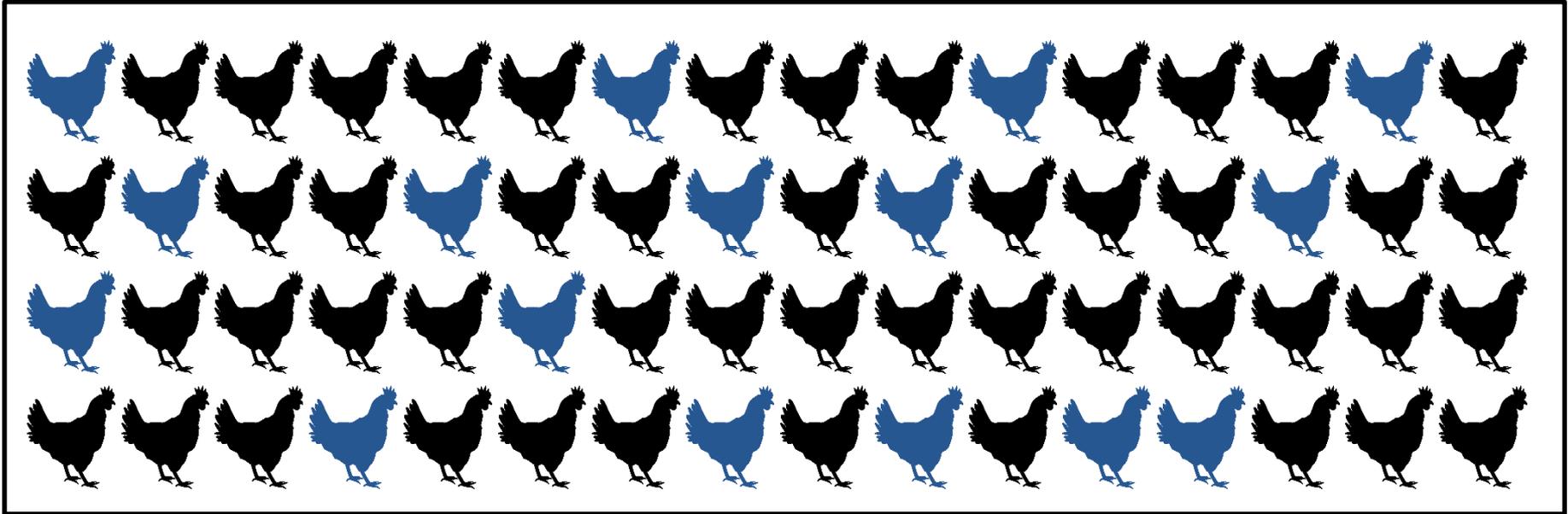


Tirage aléatoire



■ Aliment Std

Tirage aléatoire



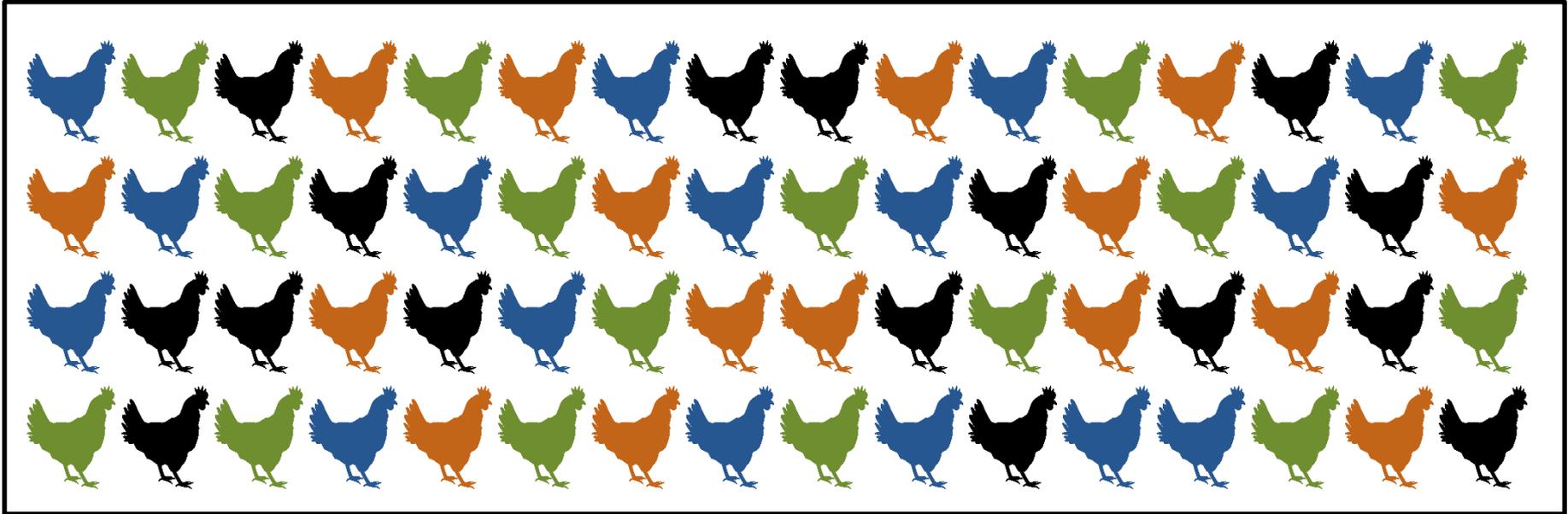
■ Aliment Std ■ Aliment $\omega 3$

Tirage aléatoire



■ Aliment Std ■ Aliment ω 3 ■ Aliment Antioxydants

Tirage aléatoire



■ Aliment Std ■ Aliment ω3 ■ Aliment Antioxydants ■ Aliment Fibres



Tirage aléatoire

Le dispositif le plus simple

- Traitement statistique = simple !

ANOVA, Regression Linéaire, Modèle Généralisé (e.g. Régression Logistique), ANCOVA...

Package de base `{stats}`

```
> modele<-lm(variable_a_expliquer~facteur,data=base)
> summary(modele)
```



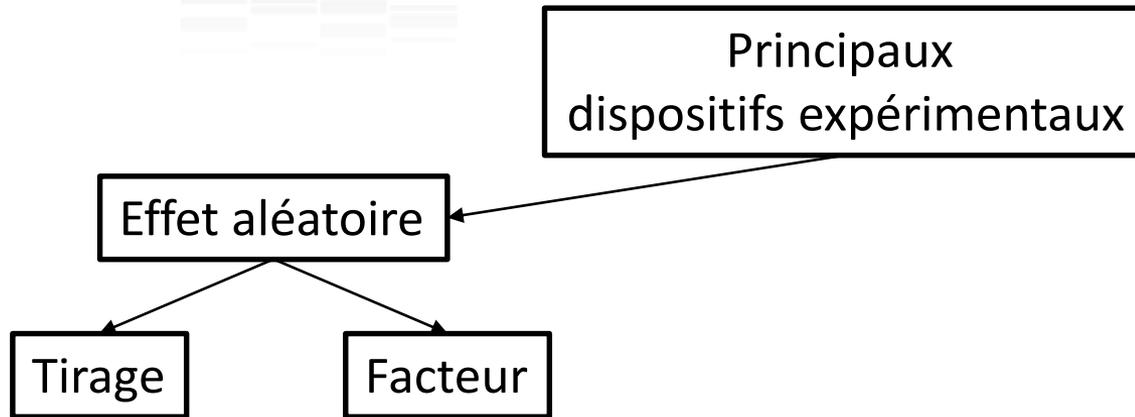
Tirage aléatoire



Le dispositif le plus simple

- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) – *traitement(s)* –
- Traitements attribués aléatoirement aux sujets
 - TRES FLEXIBLE
 - Nombre de traitements
 - Nombre d'individus (équilibre des individus / traitement, le cas échéant il faudra adapter le modèle statistique)
 - Flexibilité = pas de contrainte de schéma
 - = Ne tient pas compte des caractéristiques individuelles des sujets
 - = toute la variance liée aux caractéristiques individuelles se trouve dans la résiduelle !
- ➔ Adapté à des animaux dont la génétique et la conduite d'élevage est très homogène (e.g. volaille standard)

Dispositifs expérimentaux



Facteur Aléatoire

Cas particulier des mesures répétées
(sur le même individu à des moments différents)

- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt – *traitement(s)* –
- 1 facteur aléatoire =



Est-ce un facteur aléatoire ?

Quelques règles de décisions (pas écrites dans le marbre)

de Larry Schaeffer (Pr. émérite de statistiques et génétique animale de l'Université de Guelph)

Combien de classes y a-t-il pour ce facteur ?

- Peu (e.g. 5) → **effet fixe**
- Beaucoup (e.g. 30) → **effet aléatoire**

Est-ce que le nombre potentiel de classes dans la population peut-être si grand qu'on peut le considéré comme « infini » ?

- Oui → **effet aléatoire**

Est-ce que les mêmes classes seront de nouveau utilisées dans une prochaine expérience ?

- Oui → **effet fixe**

Devons-nous tirer des conclusions/faire des hypothèses sur des classes absentes de l'expérience ?

- Oui → **effet aléatoire**

Est-ce que les classes ont été choisie de façon « non-aléatoire » (déterminisme) ?

- Oui → **Effet fixe**

Facteur Aléatoire

Cas particulier des mesures répétées
(sur le même individu à des moments différents)

- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt – *traitement(s)* –
- 1 facteur aléatoire = individu – *correction de l'appariement des données et de la variance due aux caractéristiques individuelles* –

Package de traitement des modèles mixtes `{lme4}`

```
> modele<-lmer(variable_a_expliquer~facteur_fixe  
                +(1|animal),data=base)
```

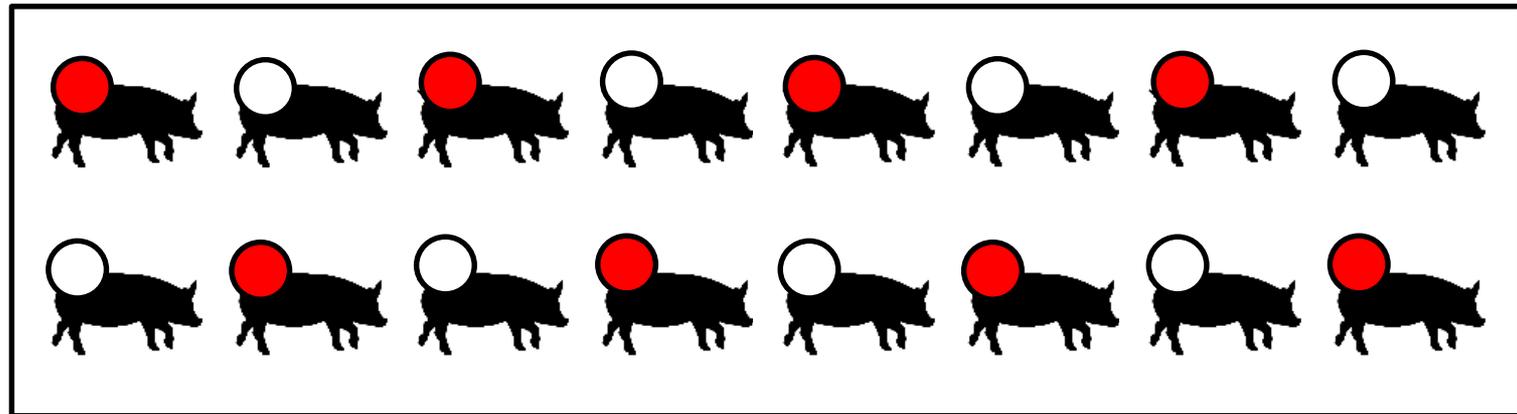
```
> summary(modele)
```

Des exemples de
facteurs aléatoires ?



Facteur Aléatoire

Aussi connu sous les noms « random block design » ou « crossover »

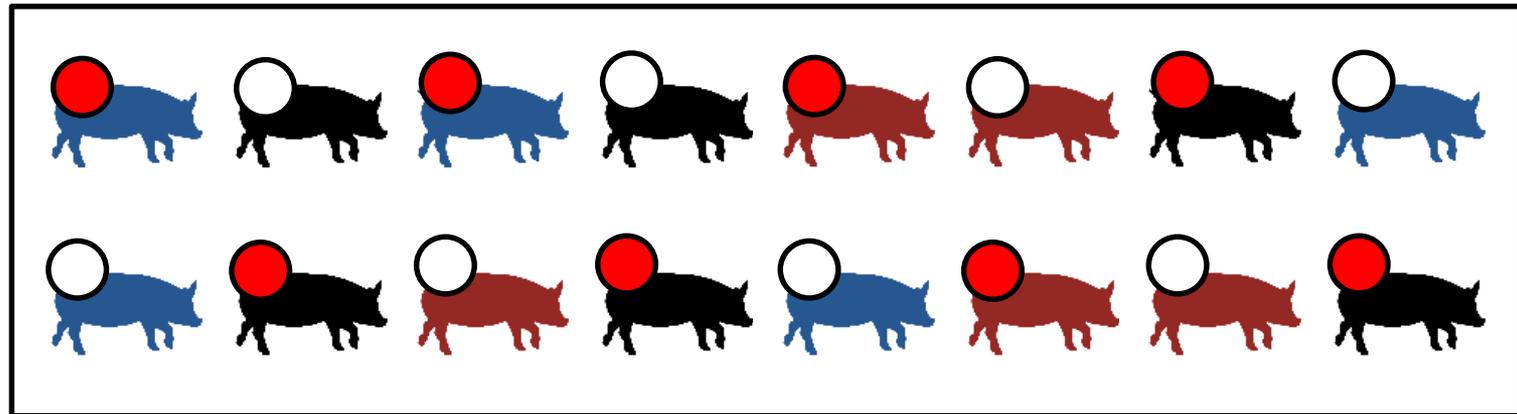


○ Aliment témoin

● Aliment+Prébiotiques

Facteur Aléatoire

Aussi connu sous les noms « random block design » ou « crossover »



○ Aliment témoin

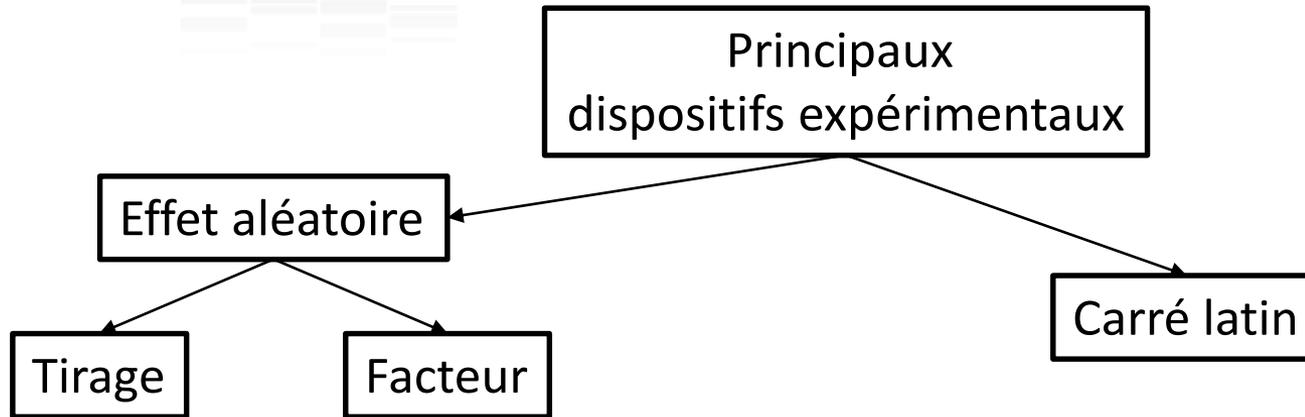
● Aliment+Prébiotiques

■ Portée 1

■ Portée 2

■ Portée 3

Dispositifs expérimentaux





Carré Latin

Tient simplement son nom de l'utilisation des lettres latines (A, B, C...) dans la présentation du concept par le mathématicien Leonhard Euler au XVIII^{ème} siècle...

- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt – *traitement(s)* –
- 2 facteurs aléatoires – *celui en Lignes + celui en Colonnes* –

Package de traitement des modèles mixtes `{lme4}`

```
> modele<-lmer(variable_a_expliquer~facteur_fixe  
               +(1|lignes)+(1|colonnes),data=base)  
> summary(modele)
```



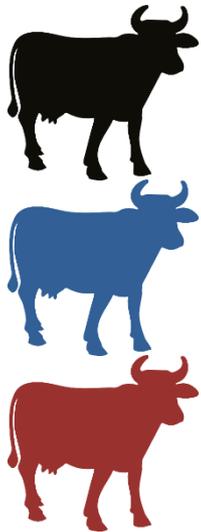
Carré Latin



Période 1

Période 2

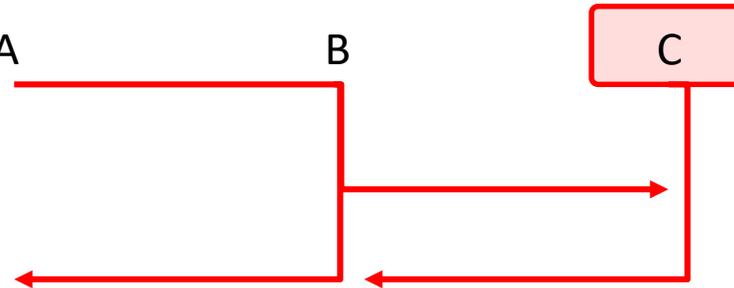
Période 3



A

B

C



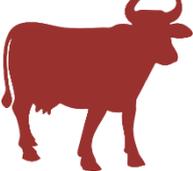
A : Aliment témoin

B : Aliment NRJ +

C : Aliment NRJ -

Carré Latin



	Période 1	Période 2	Période 3
	A	B	C
	B	C	A
	C	A	B

A : Aliment témoin
B : Aliment NRJ +
C : Aliment NRJ -

Carré Latin



	Période 1	Période 2	Période 3
	A	B	C
	B	C	A
	C	A	B

A : Aliment témoin
B : Aliment NRJ +
C : Aliment NRJ -

Carré Latin



A : Aliment témoin
B : Aliment NRJ +
C : Aliment NRJ -

c

Ca ne vous rappelle rien ?



Carré Latin



Autre arrangement possible : on fixe la 1^{ère} ligne et on alloue les traitements aléatoirement aux autres lignes

Attention, on pense Sudoku !

animaux \ période	1	2	3	4
VL1	A	B	C	D
VL2	C	A	D	B
VL3	D	C	B	A
VL4	B	D	A	C

animaux \ période	1	2	3	4
VL1	BExBN	HEXHN	HEXBN	BExHN
VL2	HEXBN	BExBN	BExHN	HEXHN
VL3	BExHN	HEXBN	HEXHN	BExBN
VL4	HEXHN	BExHN	BExBN	HEXBN

exemple J. Flament (Agrocampus Ouest, UMR PEGASE, Rennes)

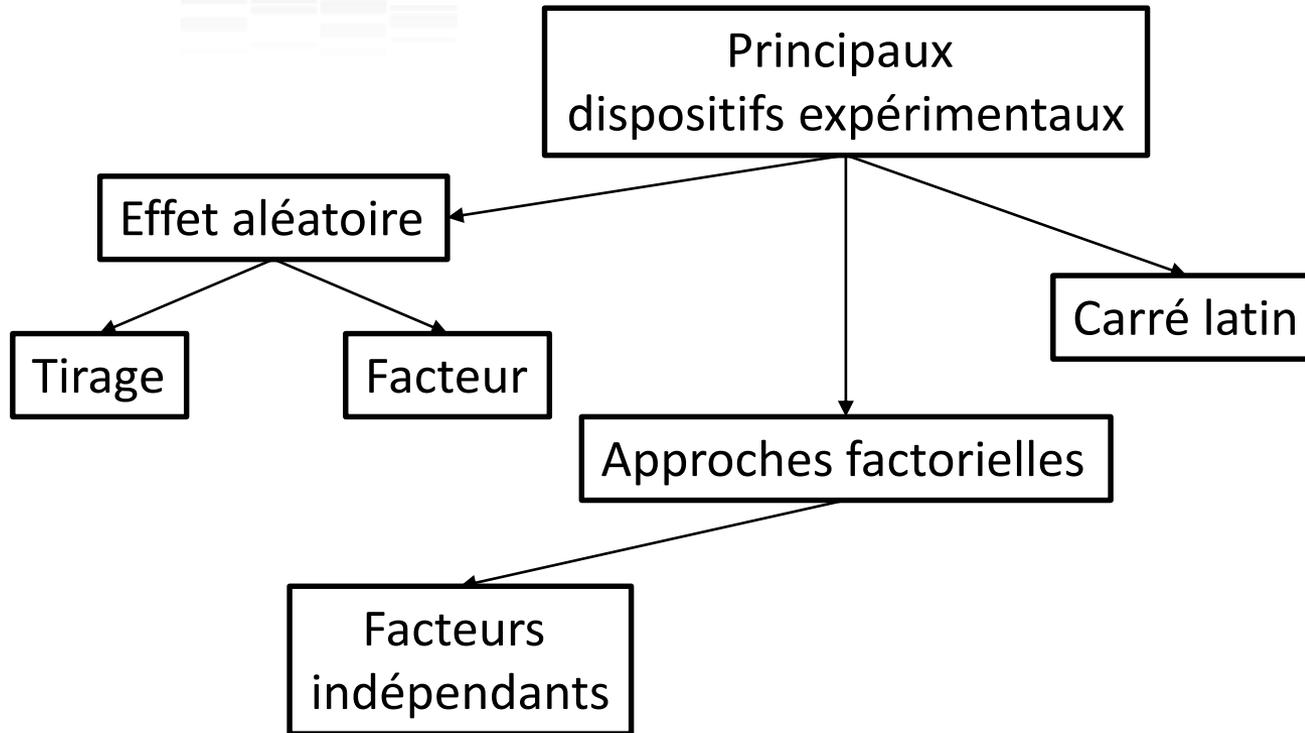


Carré Latin

Tient simplement son nom de l'utilisation des lettres latines (A, B, C...) dans la présentation du concept par le mathématicien Leonhard Euler au XVIII^{ème} siècle...

- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt – *traitement(s)* –
- 2 facteurs aléatoires – *celui en Lignes + celui en Colonnes* –
- Avantages :
 - Réduction de la variance résiduelle dans l'intégration des différences entre les niveaux des facteurs en lignes et en colonnes
 - Convient à l'utilisation de peu d'animaux (2x2, 3x3, 4x4 souvent utilisés)
- Inconvénients :
 - Schéma $N \times N$ équilibré : pas flexible sur les effectifs
 - Schéma $N \times N \Leftrightarrow N$ traitements
 - Peu de degrés de liberté pour estimer la résiduelle
 - Effets rémanents des traitements sur la période suivante

Dispositifs expérimentaux





Approche Factorielle

Pas vraiment des « schémas expérimentaux » mais plutôt une façon d'arranger les facteurs d'intérêt

- Potentiellement avec une structure en Tirage aléatoire, Facteur Aléatoire, Carré Latin... pour gérer la variabilité
- ≥ 2 facteurs fixes indépendants d'intérêt – *traitement(s)* –
On teste simultanément les effets de plusieurs traitements

→ Traitements = combinaisons des niveaux des facteurs

Comment s'assurer que les facteurs sont indépendants ?

- Biblio !
- Tester avec les erreurs de Type I



Approche Factorielle

Pas vraiment des « schémas expérimentaux » mais plutôt une façon d'arranger les facteurs d'intérêt

- Potentiellement avec une structure en Tirage aléatoire, Facteur Aléatoire, Carré Latin... pour gérer la variabilité
- ≥ 2 facteurs fixes indépendants d'intérêt – *traitement(s)* –
On teste simultanément les effets de plusieurs traitements

→ Traitements = combinaisons des niveaux des facteurs

Comment s'assurer que les facteurs sont indépendants ?

- Biblio !
- Tester avec les erreurs de Type I
- **Tester l'interaction**

Approche Factorielle : tester une interaction

```
> modele<-lm(p1~race+alim+race:alim,base)
> Anova(modele,type=3)
```

Anova Table (Type III tests)



Response: p1

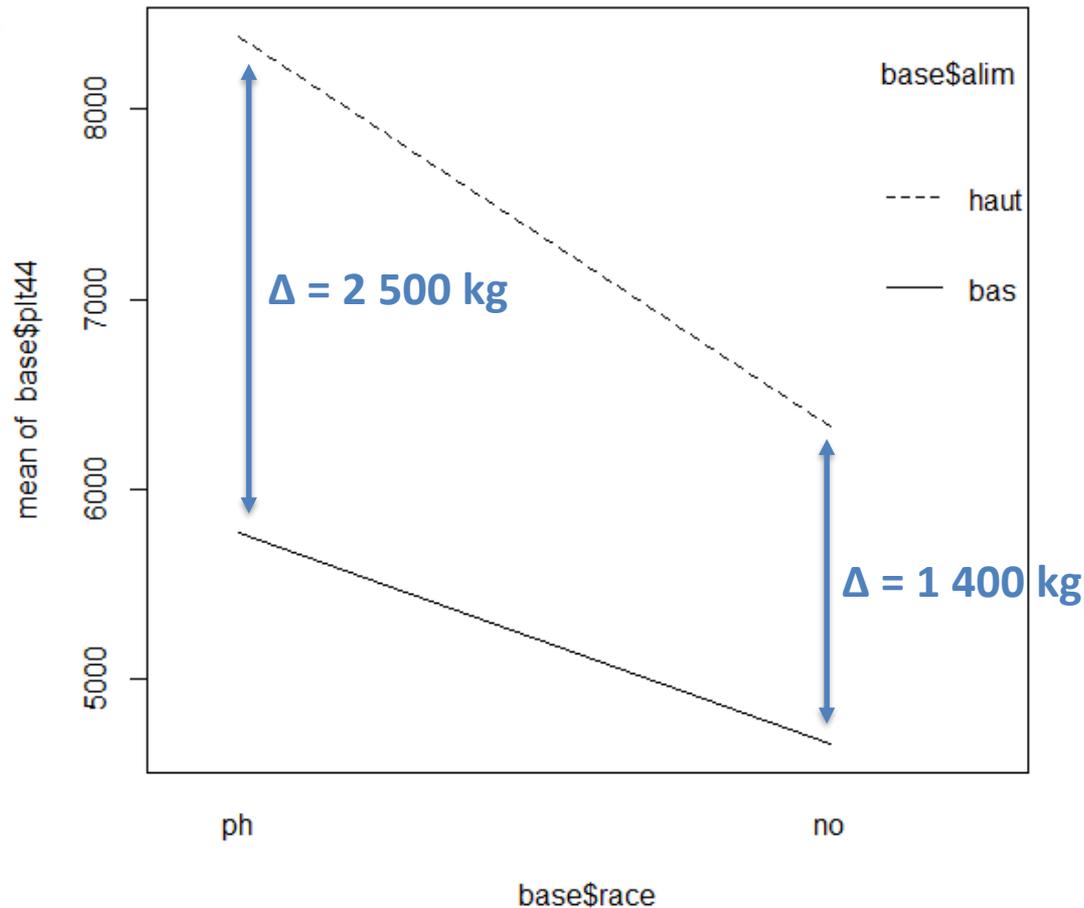
	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
(Intercept)	1.9381e+10	1	14172.364	< 2.2e-16	***
race	3.0690e+08	1	224.425	< 2.2e-16	***
alim	5.6079e+08	1	410.085	< 2.2e-16	***
race:alim	2.6869e+07	1	19.649	1.147e-05	***
Residuals	6.7828e+08	496			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Données de l'expérimentation « Quelle vache laitière pour quel système? » coordonnée par Luc Delaby
(INRA, UMR PEGASE, Saint-Gilles) au domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras

Approche Factorielle : tester une interaction

```
> interaction.plot(base$race, base$alim, base$pl)
```



Données de l'expérimentation « Quelle vache laitière pour quel système? » coordonnée par Luc Delaby (INRA, UMR PEGASE, Saint-Gilles) au domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras



Approche Factorielle

Pas vraiment des « schémas expérimentaux » mais plutôt une façon d'arranger les facteurs d'intérêt

- Avantages quand les facteurs sont réellement indépendants :
 - On obtient une image générale des effets de facteurs (e.g. quelle combinaison des facteurs type de fourrage et niveau de concentré maximise la production laitière ?)
 - Économie de temps et d'argent : on teste plusieurs facteurs sur les mêmes sujets
 - Pas de perte de précision sur l'estimation des effets des facteurs

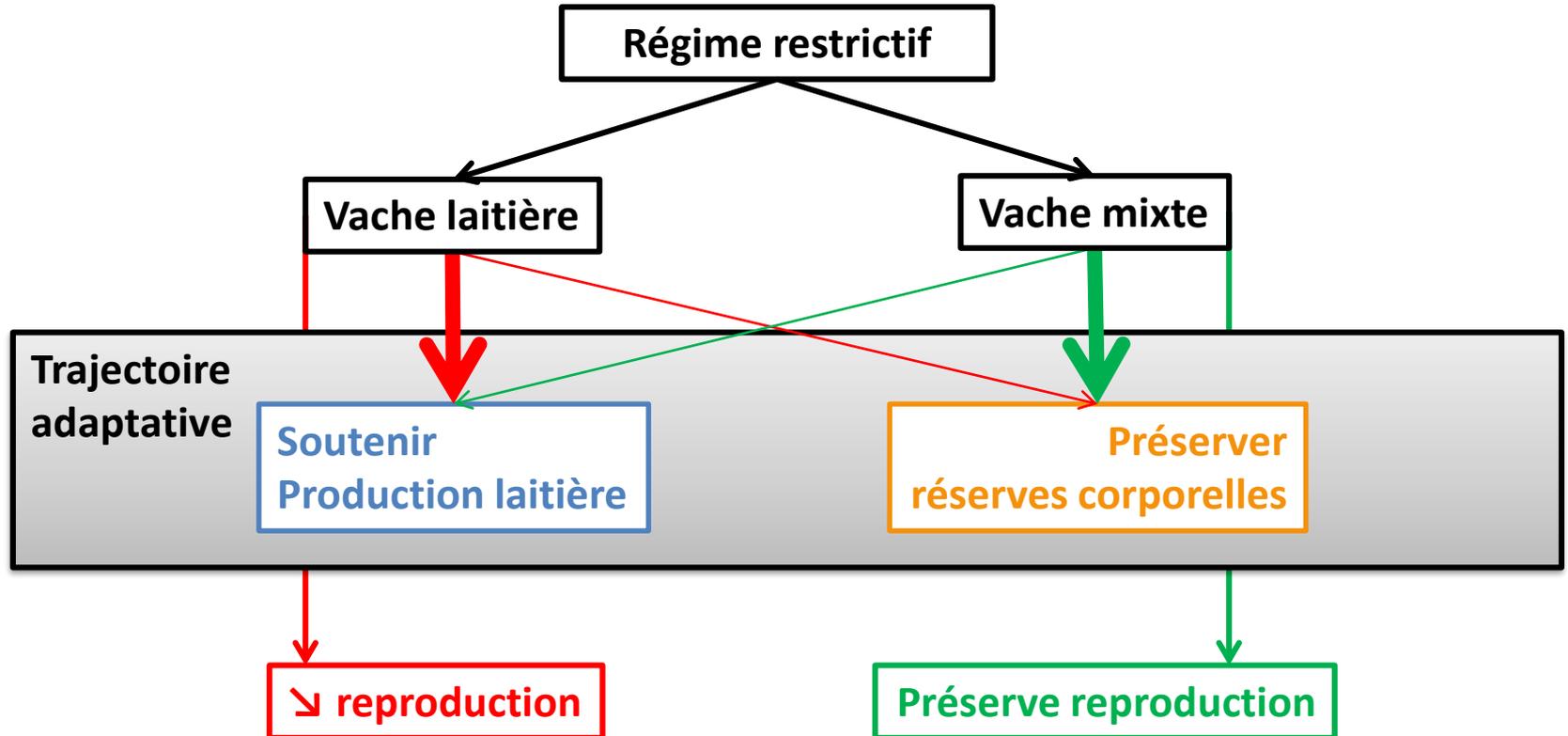


Approche Factorielle

Pas vraiment des « schémas expérimentaux » mais plutôt une façon d'arranger les facteurs d'intérêt

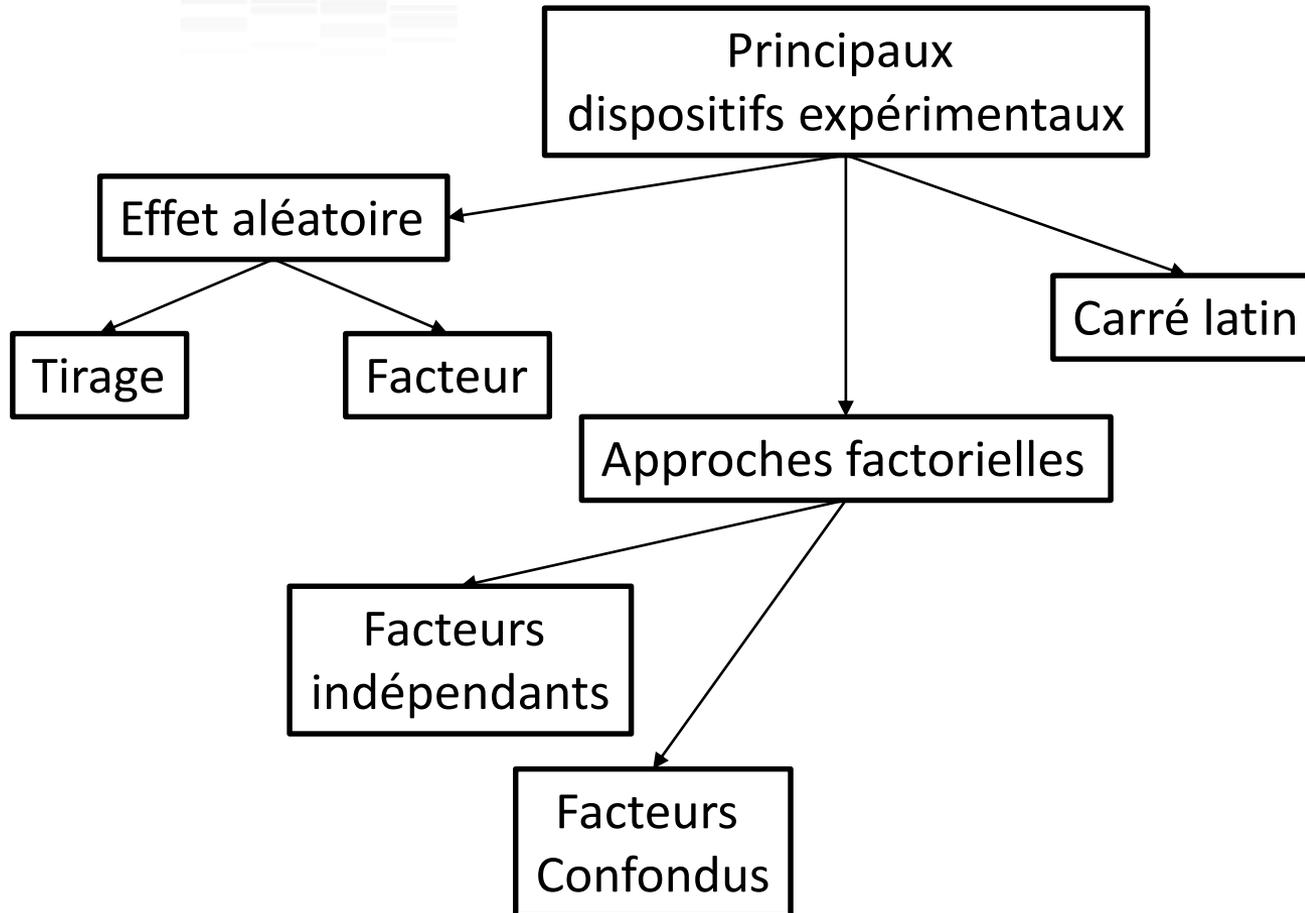
- Avantages quand les facteurs sont en fait dépendants (interaction):
 - Idem précédent
 - + Au final, un facteur est rarement utilisé seul (e.g. race, on place très souvent les animaux dans une conduite d'élevage) et la connaissance de ces interactions permet de faire les choix pertinents

Approche Factorielle



(Delaby et al., 2009; Bedere et al., 2017)

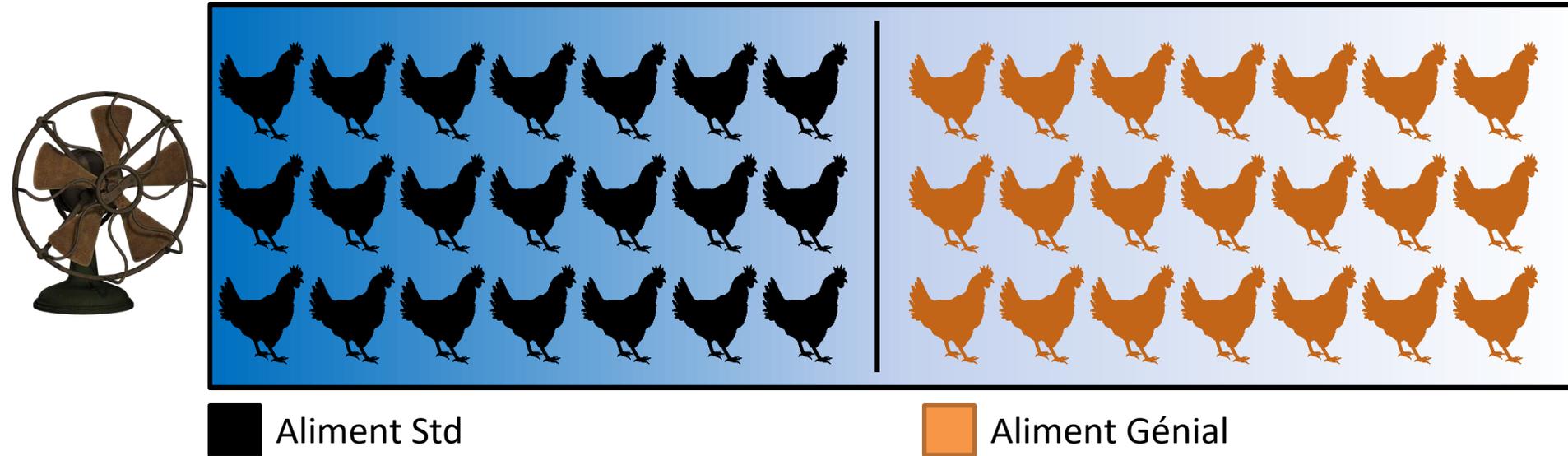
Dispositifs expérimentaux



Facteurs Confondus

Un facteur confondu est un facteur qui peut influencer la variable à expliquer ET la variable explicative

→ Comment prouver qu'un effet observé est lié au facteur expérimental s'il peut tout aussi bien être la conséquence du facteur confondu ?



Facteurs Confondus

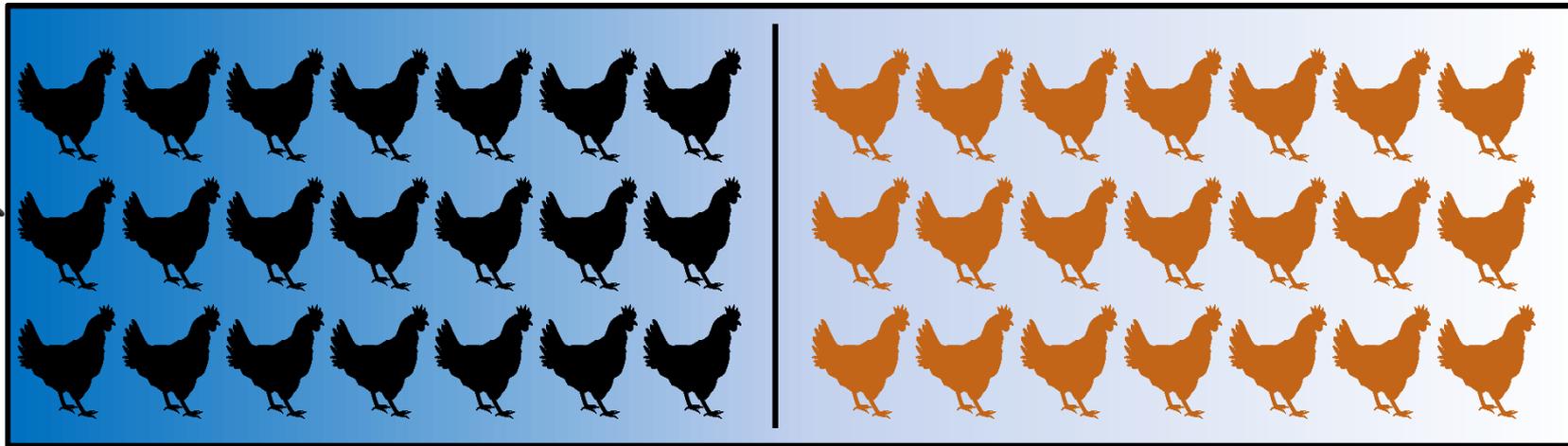
Un facteur confondu est un facteur qui peut influencer la variable à expliquer.

Alors ?
Effet alim ou ventilation ?

→ Comment prouver qu'un effet observé expérimental s'il peut tout aussi bien être dû à un facteur confondu ?



Le facteur confondu est la conséquence du facteur expérimental.



Aliment Std

Aliment Génial



Facteurs Confondus

Un facteur confondu est un facteur qui peut influencer la variable à expliquer ET la variable explicative

Au final assez simple à gérer

- En amont
 - Elimination (on supprime le ventilateur ou on évite la partie du bâtiment ou il y a le ventilateur)
 - « Randomization » : on se débrouille pour que les poules nourries avec les 2 aliments soient aléatoirement réparties dans le bâtiment



Facteurs Confondus

Un facteur confondu est un facteur qui peut influencer la variable à expliquer ET la variable explicative

Au final assez simple à gérer

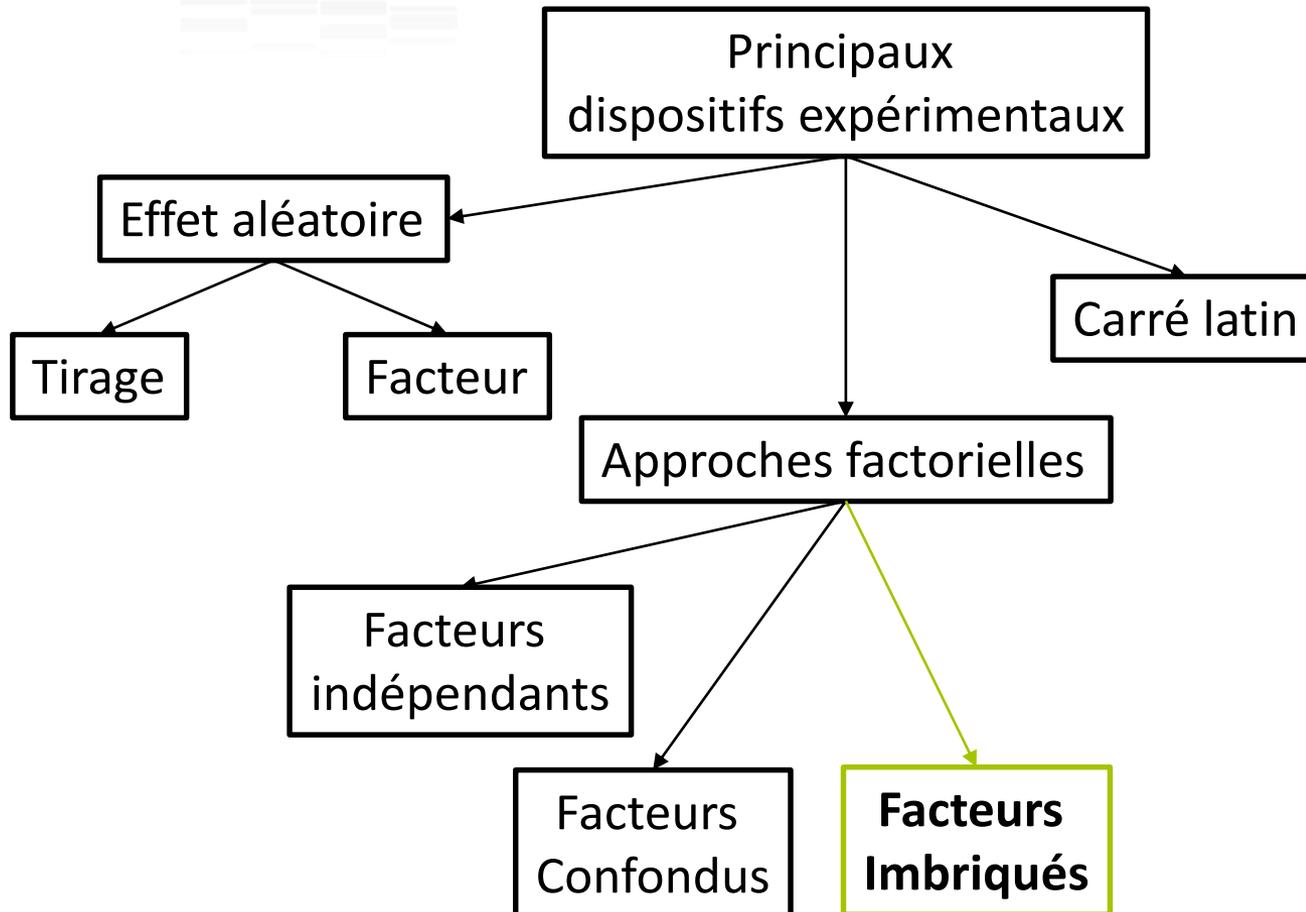
- En aval (les stats)

Package de base *{stats}*

```
> modele<-lm(variable_a_expliquer~facteur_expe+facteur_confondu,  
             data=base)  
  
> summary(modele)
```



Dispositifs expérimentaux



Facteurs Imbriqués

- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt – *e.g. Race*
- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt imbriqué dans un autre facteur d'intérêt – *e.g. Lignée* –

Ca fonctionne presque comme une interaction

Interaction

Race+Alim+Race×Alim

Race (Holstein, Normande)

ddl = 2-1

Alim (Haut, Bas)

ddl = 2-1

Race×Alim (Holstein Haut, Holstein Bas,
Normande Haut, Normande Bas)

ddl=4-1

ddl = 2+2+4-1-1-1=5

Facteur imbriqué

Race+Race:Lignée

Race (Holstein, Normande)

ddl = 2-1

Race:Lignée (Holstein Lait, Holstein Taux,
Normande Lait, Normande Taux)

ddl= 2-1 + 2-1

ddl = 2+2+2-1-1-1 = 3

Données de l'expérimentation « Quelle vache laitière pour quel système? » coordonnée par Luc Delaby
(INRA, UMR PEGASE, Saint-Gilles) au domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras



Facteurs Imbriqués

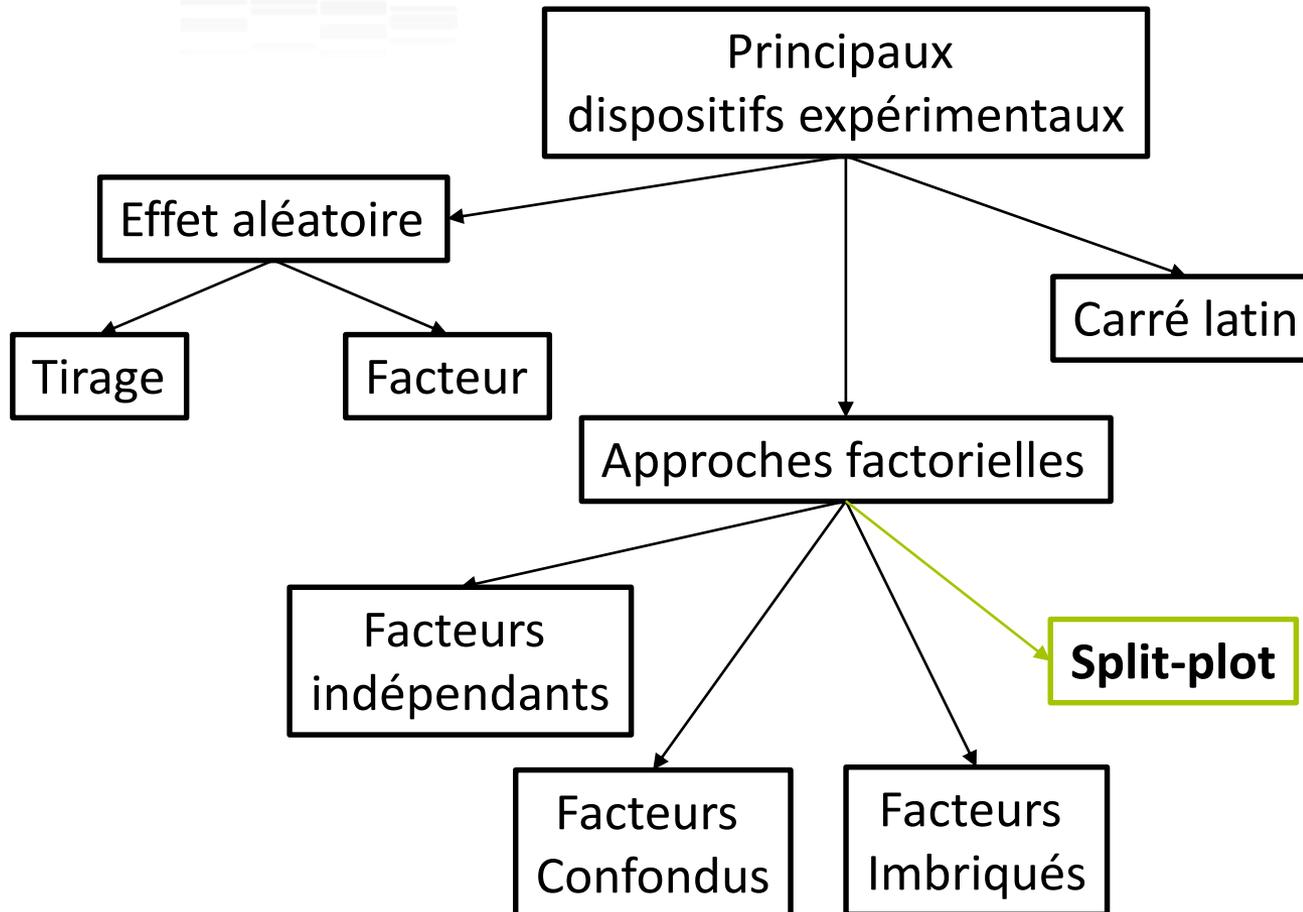
- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt – *e.g. Race*
- ≥ 1 facteur(s) fixe(s) d'intérêt imbriqué dans un autre facteur d'intérêt – *e.g. Lignée* –

Package de base `{stats}`

```
> modele<-lm(variable_a_expliquer~facteur_parent  
              +facteur_parent:facteur_imbriqué, data=base)  
> summary(modele)
```



Dispositifs expérimentaux

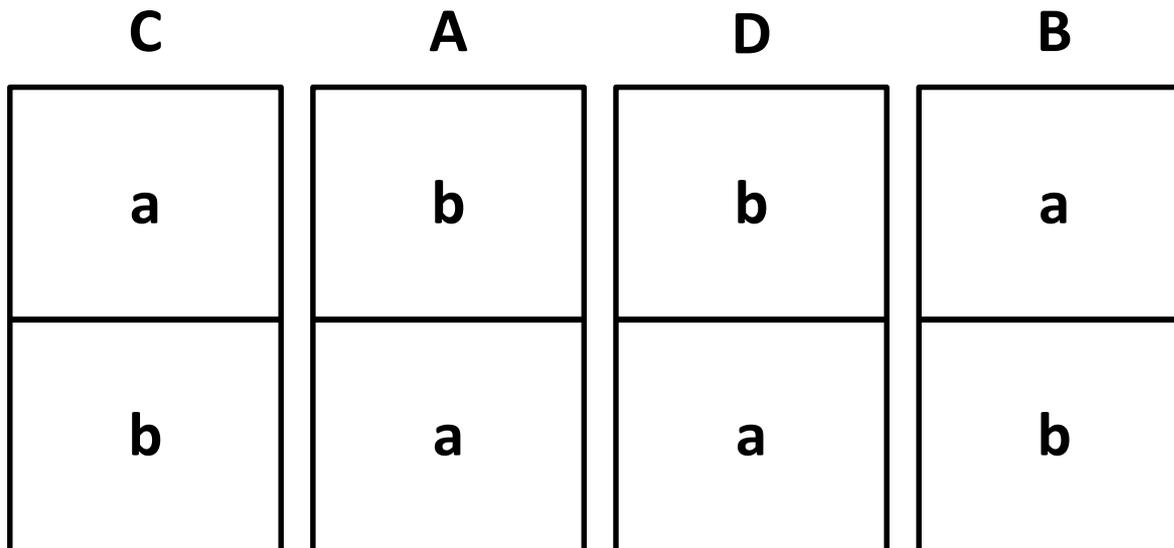




Split-Plot

2 types de facteurs

- Difficiles à changer = *Whole-Plot aléatoire (A-D)*
- Faciles à changer = *Sub-plot aléatoire (a,b)*

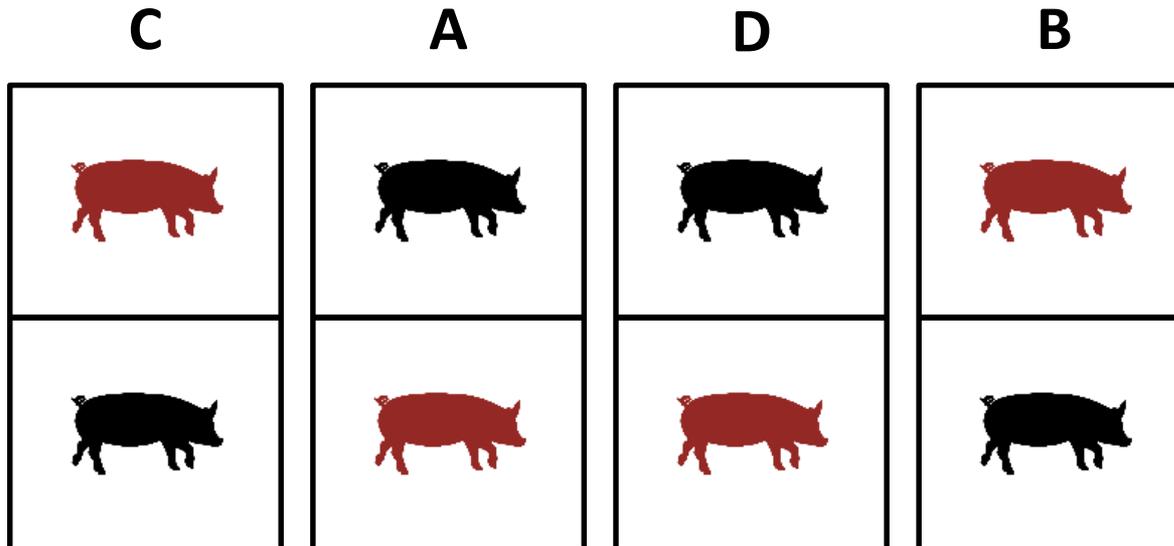




Split-Plot

2 types de facteurs

- Difficiles à changer = *Whole-Plot* e.g. portée (A-D)
 - Faciles à changer = *Sub-plot* e.g. alimentation
-  Aliment Génial
 Aliment Std



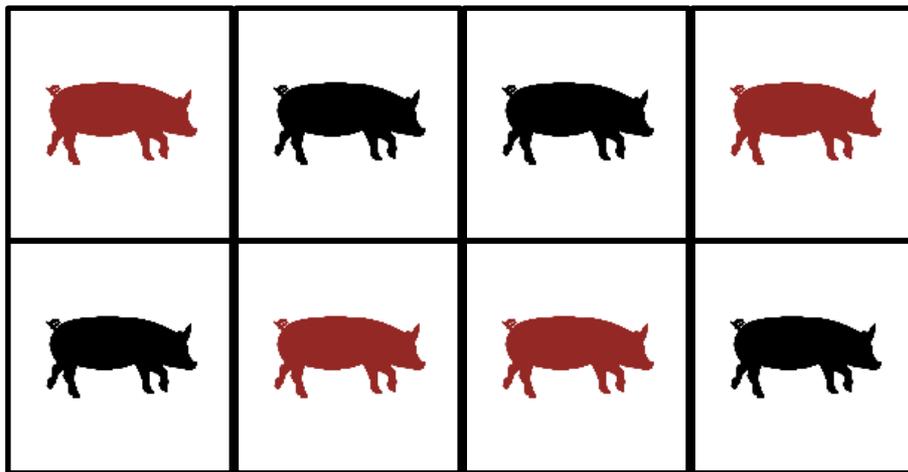
Split-Plot

2 types de facteurs

- Difficiles à changer = *Whole-Plot* e.g. portée (A-D)
- Faciles à changer = *Sub-plot*

 Aliment Génial
 Aliment Std

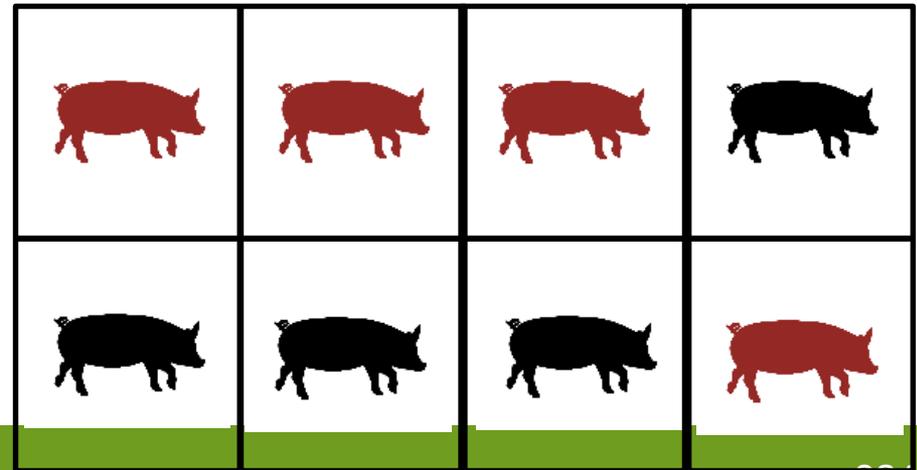
C A D B



Répétition I

Répétition II

D A B C





Split-Plot

2 types de facteurs

- Difficiles à changer = *Whole-Plot* e.g. portée (A-D)
- Faciles à changer = *Sub-plot* e.g. alimentation

+ Répétitions

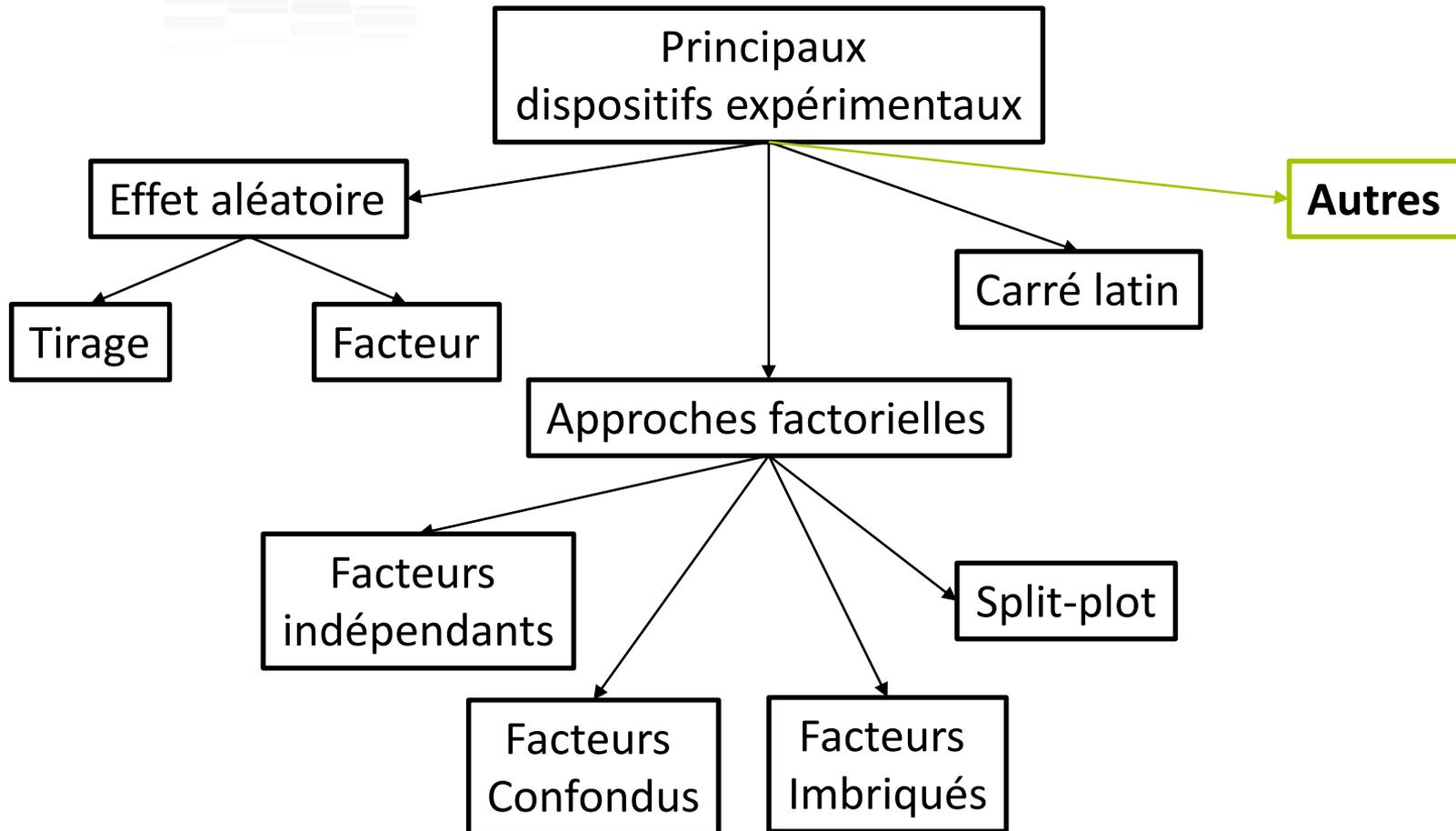
Package de traitement des modèles mixtes `{lme4}`

```
> modele<-lmer(variable_a_expliquer~subplot+  
                +(1|wholeplot)+(1|répétition),data=base)
```

```
> summary(modele)
```



Dispositifs expérimentaux





Plan de l'intervention

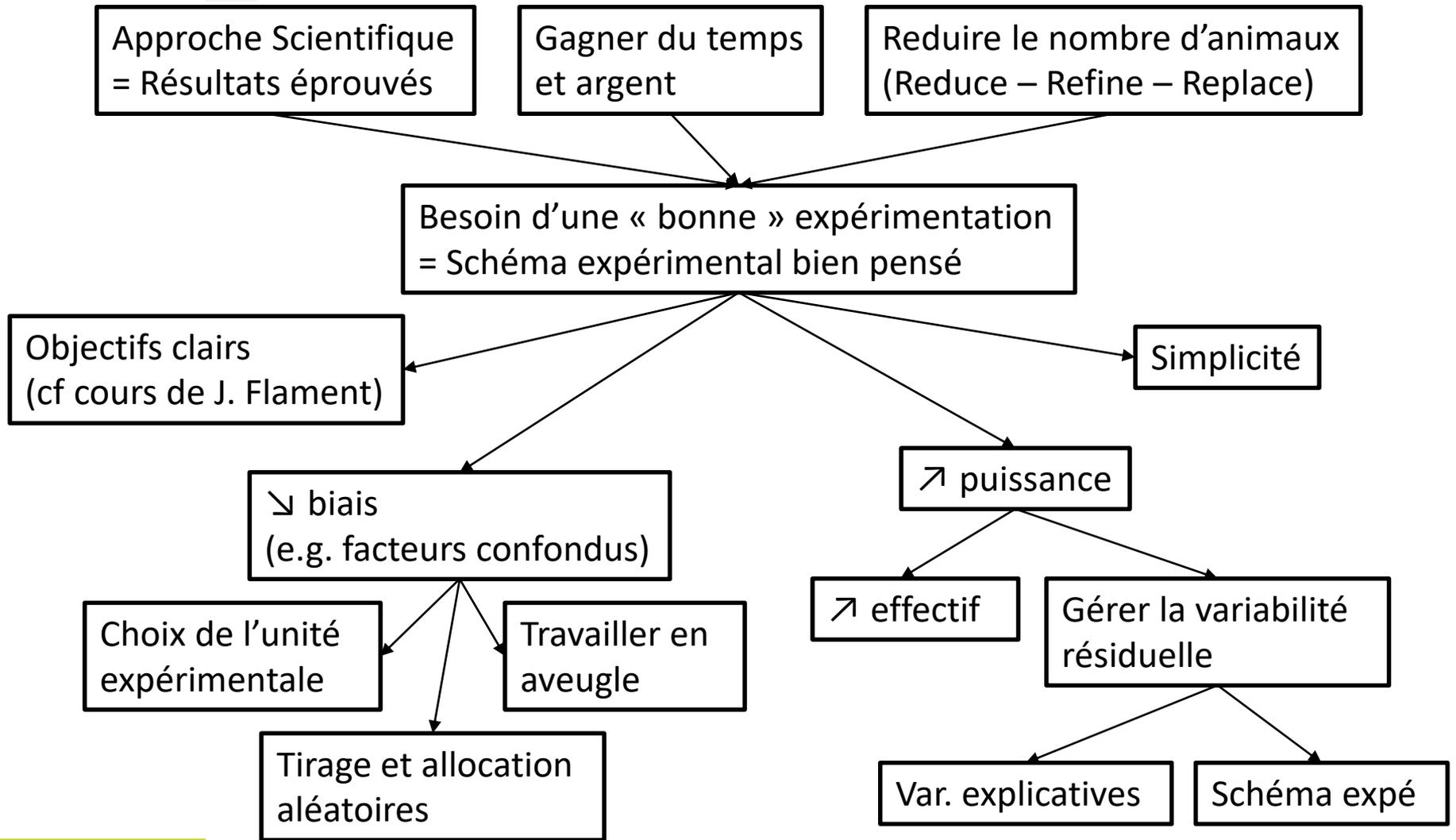
Introduction

1. Quelle est ma capacité à détecter une différence qui existe ?
2. Comment améliorer la puissance et la précision de l'expérimentation ?
3. Dispositifs expérimentaux



Conclusion

Conclusion



Références

- Cochran, W., and G. Cox. 1992. Experimental Designs. Second Edition. Wiley Classics Library, New York, USA.
- Delaby, L., 1998. Statistiques par l'Exemple. Formation continue INRA, Rennes, France.
- Festing, M.F. 2004. Short Course on Experimental Design for Research Scientists Working with Laboratory Animals - 3Rs. Accessed September 5, 2017. <http://www.3rs-reduction.co.uk/index.html>
- Gill, J.L. 1978. Design and Analysis of Experiments in the Animal and Medical Sciences. volume 1, volume 2, volume 3. The Iowa State University Press, Ames, USA.
- Montgomery, D.C. 2017. Design and Analysis of Experiments. 9th Edition. Wiley Online Library.
- Santiago Duran, E. 2017. STAT 503 - Design of Experiments. Accessed September 5, 2017. <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat503/>