

Code couleur du fond des diapos

-  • Blanc – diapos finies et présentées en cours
-  • Vert – diapos finies et **NON** présentées en cours
-  • Violet – diapos à **retravailler** et présentées en cours
-  • Orange – diapos **NON** finies et **NON** présentées en cours
-  • Bleu – diapos finies et **NON** présentées en cours, mais à **reprendre** en cours

DESSINE MOI UNE EXPÉRIENCE

Approche intuitive de la méthode
expérimentale



Objectifs des 5 cours

- Cours 1 : Méthode expérimentale rappel
- Cours 2 : plan expérimentaux et variables, conséquences de vos choix + exercices
- Cours 3 : $p < \alpha$, « the earth is round »
- Cours 4 : contraintes matériels – vérification
- Cours 5 : Introduction à la modélisation statistique bayésienne par Ladislav Nalborczyk + exercices
 - Zoom Meeting
 - <https://univ-amu-fr.zoom.us/j/96939675763?pwd=eWtWSDhtRjFoemJwVU1VU2U1YXR3UT09>
 - Meeting ID: 969 3967 5763
 - Passcode: 955287

Objectifs du cours et Examen

- Hypothèses
 - théoriques
 - Opérationnelles
 - Statistiques
- Plan d'expérience ou d'observation
- Variables
 - Dépendantes,
 - Indépendantes (Facteur),
 - Contrôles
- Plan
 - inter-sujets (mesures indépendantes)
 - Intra-sujets (mesures répétées)
- Hypothèses
 - Nulles
 - Alternatives
- P valeur
- Seuil de décision
- Erreur de type I et Erreur de type II
- Estimation
 - De l'effet
 - De l'erreur
- Effet principaux, d'interactions et contrastes

Connaître, reconnaître et savoir expliquer ces termes

Objectifs du cours et Examen

- Quelle est la conséquence sur la décision statistique de changer d'hypothèses au vu des données ?
- Quels sont les avantages et inconvénient d'un plan inter vs intra ?
- Savoir calculer un contraste pour tester une hypothèse d'intérêt
- Identifier un problème de comparaison multiple

Savoir lire et déchiffrer les résultats statistiques d'une expérience

+ Bayésien

La Méthode Expérimentale - Résumé

1. VI : variable d'intérêt pour le chercheur "cause" du comportement étudié
2. VD : "mesure" du comportement étudié
3. Facteur "sujet" : facteur dit aléatoire (sujets tirés au hasard) dont la répétition (plusieurs sujets) permet de neutraliser les effets propres à chaque sujet.
4. VC : permettent de contrôler les sources potentielles d'influence sur la VD (en dehors de la VI) pour respecter le principe

"toute chose égale par ailleurs"

Les Variables indépendantes

- Variables indépendantes (VI)
- Variables dont on cherche à vérifier l'influence sur le comportement, la performance.
 - sources de variation
 - possèdent plusieurs modalités

- Questions :

- Combien de VI ?
- Combien de modalités ?
- Quelle sera la nature des VI ?
 - Provoquée = plan expérimental
 - Invoquée = plan quasi-expérimental (facteur confondus)
- Choix des modalités
 - Fixes vs aléatoire

Le moins possible

Le moins possible

Echantillonnage
exhaustif

Provoquée

Aléatoire

Variables Contrôles

- Conditions
 - une source d'influence potentielle de la VD
 - qui n'est pas étudiée pour elle-même
 - dont l'influence sur la VD doit être contrôlée et dissociée de celle de la VI
- Sélection
 - Provoquée : donc pas de généralisation
 - Invoquée : propriété intrinsèque des sujets
 - Aléatoire : MIEUX.
- Relation entre VI et VC
 - Croisement systématique : la VI est forcément entrée dans le plan d'expérience et d'analyse
 - Croisement aléatoire nécessite suffisamment d'essai et permet de confondre la variable avec le facteur sujet (exemple de l'âge).
Vérifier l'absence de biais d'échantillonnage



EXERCICE SUR LES VARIABLES

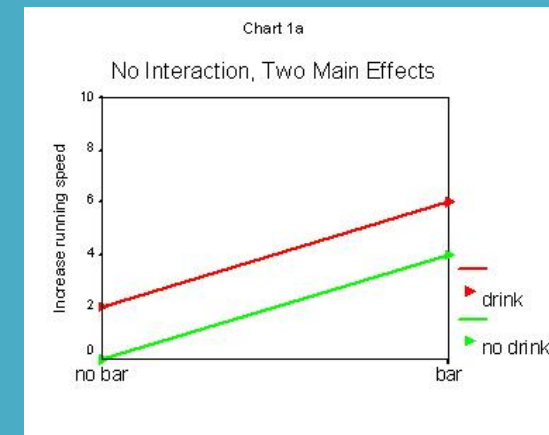
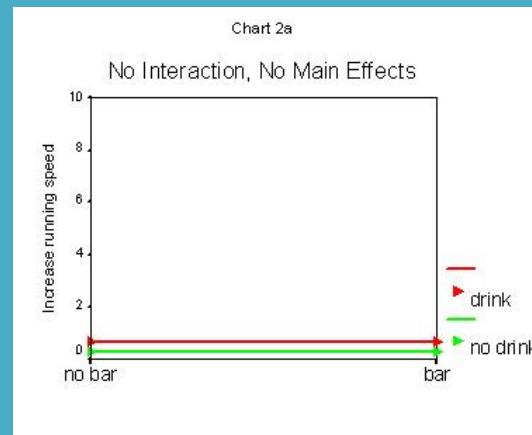
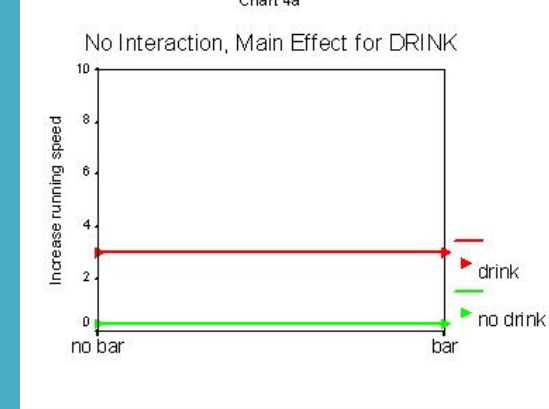
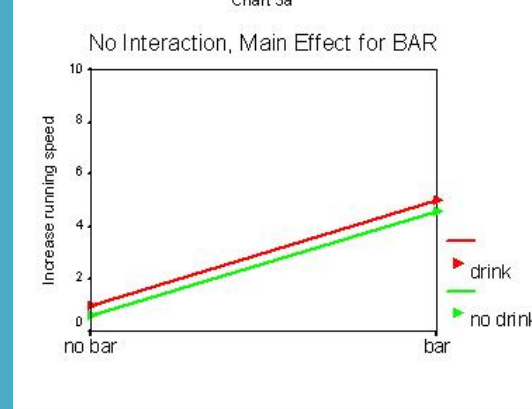
La Méthode Expérimentale - Interaction

- Exemple
 - Imagine a study about the effect of energy bars and energy drinks on time to run the 1500 meters. The quantity of energy bars and energy drinks represent two variables. The dependent variable is the time taken to run 1500 meters.
- Dessiner le graphique
 - Effet principal seul des barres de céréales
 - Effet principal seul des boissons énergétiques
 - Aucun Effet
 - Effet principal des deux variables sans interactions

La Méthode

- Exemple

- Imagine a student who runs 1500 meters. The student is given a choice of energy drinks and cereal bars. The student is then asked to run 1500 meters again. The student is then asked to run 1500 meters again.



- Dessiner le graphique

- Effet principal seul des barres de céréales
- Effet principal seul des boissons énergétiques
- Aucun Effet
- Effet principal des deux variables sans interactions

La Méthode Expérimentale - Interaction

- Exemple
 - Imagine a study about the effect of energy bars and energy drinks on time to run the 1500 meters. The quantity of energy bars and energy drinks represent two variables. The dependent variable is the time taken to run 1500 meters.
- Dessiner le graphique
 - Effet principal barres de céréales et interaction
 - Effet principal des boissons énergétiques et interaction
 - Aucun effets principaux mais interactions
 - Effet principal des deux variables et interactions

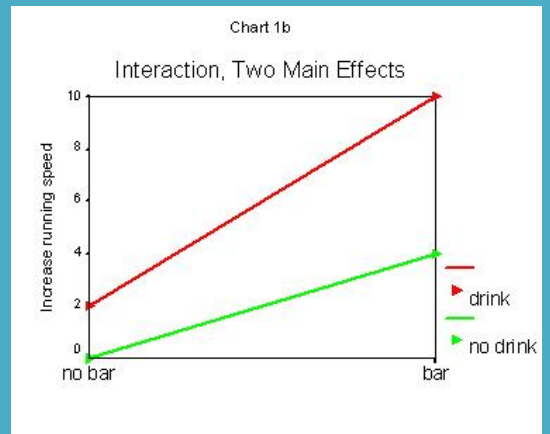
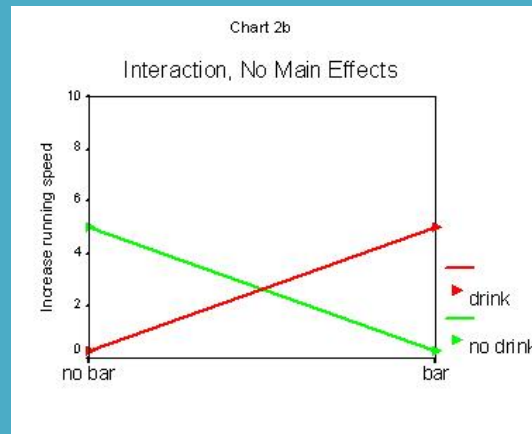
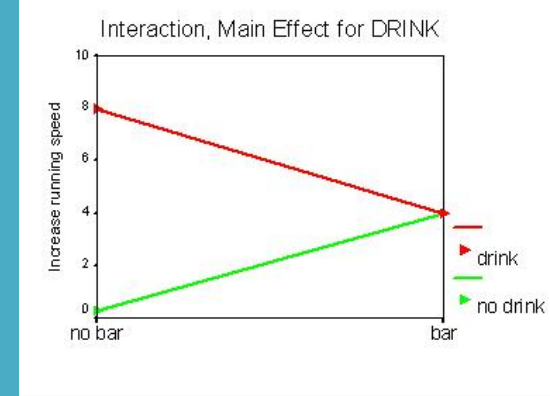
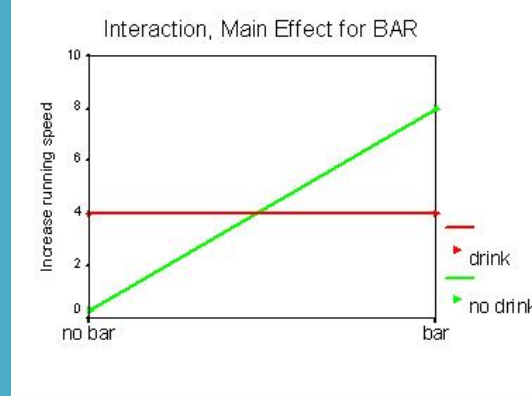
La Méthode

- Exemple

- Imagine a student who runs 1500 meters with and without energy drinks and cereal bars. The dependent variable is the increase in running speed.

- Dessiner le graphique

- Effet principal barres de céréales et interaction
- Effet principal des boissons énergétiques et interaction
- Aucun effets principaux mais interactions
- Effet principal des deux variables et interactions





RAPPEL : LES VARIABLES

La Méthode Expérimentale - Résumé

1. VI : variable d'intérêt pour le chercheur "cause" du comportement étudié
2. VD : "mesure" du comportement étudié
3. Facteur "sujet" : facteur dit aléatoire (sujets tirés au hasard) dont la répétition (plusieurs sujets) permet de neutraliser les effets propres à chaque sujet.
4. VC : permettent de contrôler les sources potentielles d'influence sur la VD (en dehors de la VI) pour respecter le principe

"toute chose égale par ailleurs"

Les Variables indépendantes

- Variables indépendantes (VI)
- Variables dont on cherche à vérifier l'influence sur le comportement, la performance.
 - sources de variation
 - possèdent plusieurs modalités

- Questions :

- Combien de VI ?
- Combien de modalités ?
- Quelle sera la nature des VI ?
 - Provoquée = plan expérimental
 - Invoquée = plan quasi-expérimental (facteur confondus)
- Choix des modalités
 - Fixes vs aléatoire

Le moins possible

Le moins possible

Echantillonnage
exhaustif

Provoquée

Aléatoire

Variables Contrôles

- Conditions
 - une source d'influence potentielle de la VD
 - qui n'est pas étudiée pour elle-même
 - dont l'influence sur la VD doit être contrôlée et dissociée de celle de la VI
- Sélection
 - Provoquée : donc pas de généralisation
 - Invoquée : propriété intrinsèque des sujets
 - Aléatoire : MIEUX.
- Relation entre VI et VC
 - Croisement systématique : la VI est forcément entrée dans le plan d'expérience et d'analyse
 - Croisement aléatoire nécessite suffisamment d'essai et permet de confondre la variable avec le facteur sujet (exemple de l'âge).
Vérifier l'absence de biais d'échantillonnage

Effet pharmacologique et effet d'attente de l'alcool sur l'agression

- Procédure
 - Un appel à participation rémunéré a été publié dans un journal régional, afin de participer à un séance de « dégustation » de nourriture énergétique organisé par le ministère de la santé dans le but « d'identifier les habitudes alimentaires et les profils de consommations ».
 - 117 hommes entre 18 et 44 ans ($M=28,31$, $s= 6,6$)



A message in a bottle: Extrapharmacological effects of alcohol on aggression

Laurent Bègue^{a,*}, Baptiste Subra^b, Philippe Arvers^c, Dominique Muller^b,
Véronique Bricout^d, Michel Zorman^e

Effet pharmacologique et effet d'attente de l'alcool sur l'agression

- Après avoir passé différents entretiens, les participants devaient saler et épicer le plat d'une personne qui avait été particulièrement antipathique et agressive à leur égard.
- Les expérimentateurs mesuraient la quantité de sel et de Tabasco utilisée.
 - quantité de sel (80 max)
 - Sel : 1 dose = salé; 6 doses et plus = sensation de brûlure excessive (
 - quantité de Tabasco (50 max)
 - Tabasco : 1 dose = épicé; 6 doses = risque de perte temporaire du goût, risques de vomissement)

A message in a bottle: Extrapharmacological effects of alcohol on aggression

Laurent Bègue^{a,*}, Baptiste Subra^b, Philippe Arvers^c, Dominique Muller^b,
Véronique Bricout^d, Michel Zorman^e



Méthode

- Participants: 117 hommes (pop. générale)

Alcool consommé		Alcool attendu		
		Non	Faible dose	Forte dose
	Non	Contrôle 1	Placebo 1	Placebo 2
	Faible dose	Anti placebo 1	Contrôle 2	Placebo 3
	Forte dose	Anti placebo 2	Anti placebo 3	Contrôle 3

Données brutes

- Hypothèses
 - Quelle est la VI ?
 - Quelle est la VD ?
 - Quelle sont les hypothèses ?
 - Effet principaux
 - interactions
- Ouvrez Jamovi avec les données

Des chercheurs de l'UGA (LIP2S), ont voulu évaluer les effets différentiels de la consommation d'alcool et de la croyance en l'absorption d'alcool sur l'agressivité.



RAPPEL : L'ANALYSE (NHST)

Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- Préambule
- Preuve expérimentale
- La démarche
 - Démarche hypothético-déductive
 - Hypothèses opérationnelles
- L'analyse de données et le test de l'hypothèse nulle.

Synthèse

• Analyse

- VD = Quantité de d'épices (QE)
- VI₁ = Quantité d'alcool bue (QAB)
- VI₂ = Quantité d'alcool espérée (QAE)

ANOVA - QE

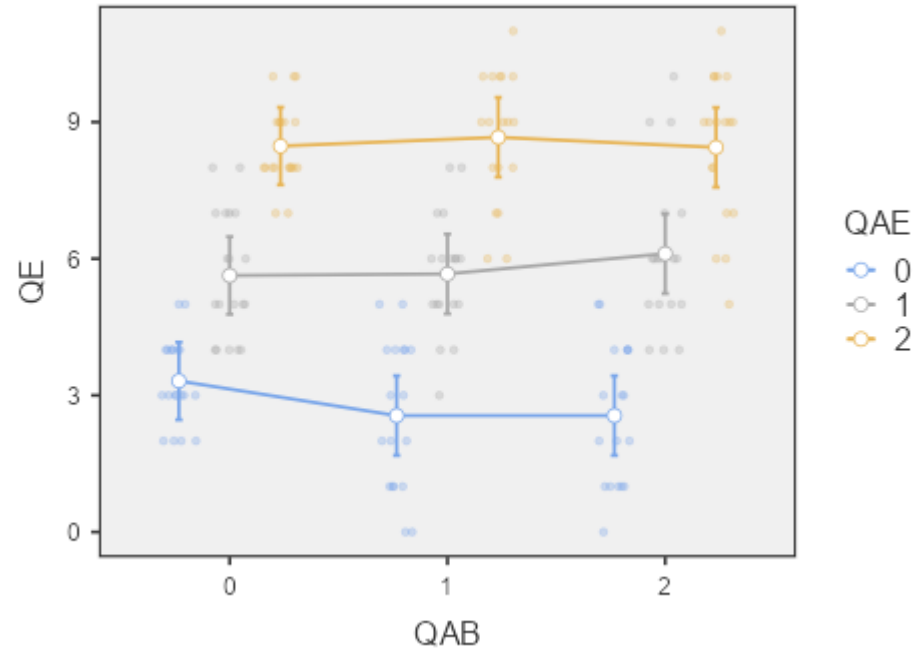
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
QAB	0.883	2	0.442	0.218	0.805
QAE	899.614	2	449.807	221.794	< .001
QAB * QAE	9.434	4	2.358	1.163	0.329
Residuals	316.374	156	2.028		

• Hypothèses

- QAB $H0_1 : \mu_{QE}^A = \mu_{QE}^F = \mu_{QE}^I$
- QAE $H0_2 : \mu_{QE}^A = \mu_{QE}^F = \mu_{QE}^I$
- QAB x QAE $H0_3 : a_{QE}^{QAB=A} = a_{QE}^{QAB=I} = a_{QE}^{QAB=F}$
 - Avec a le coefficient des pentes

• Interprétation

- F, df
- P et α



Synthèse

- Analyse

- VD = Quantité de d'épices (QE)
- VI₁ = Quantité d'alcool bue (QAB)
- VI₂ = Quantité d'alcool espérée (QAE)

ANOVA - QE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
QAB	0.883	2	0.442	0.218	0.805
QAE	899.614	2	449.807	221.794	< .001
QAB * QAE	9.434	4	2.358	1.163	0.329
Residuals	316.374	156	2.028		

- Hy

Plan

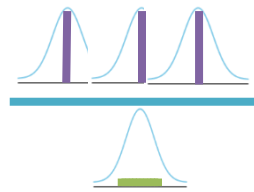
Formules : effet vs erreur (ou signal et bruit)

Hypothèses

Décision

- In

ANOVA – la vraie formule

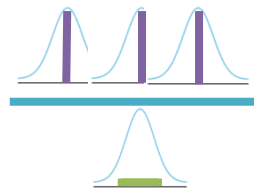


- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

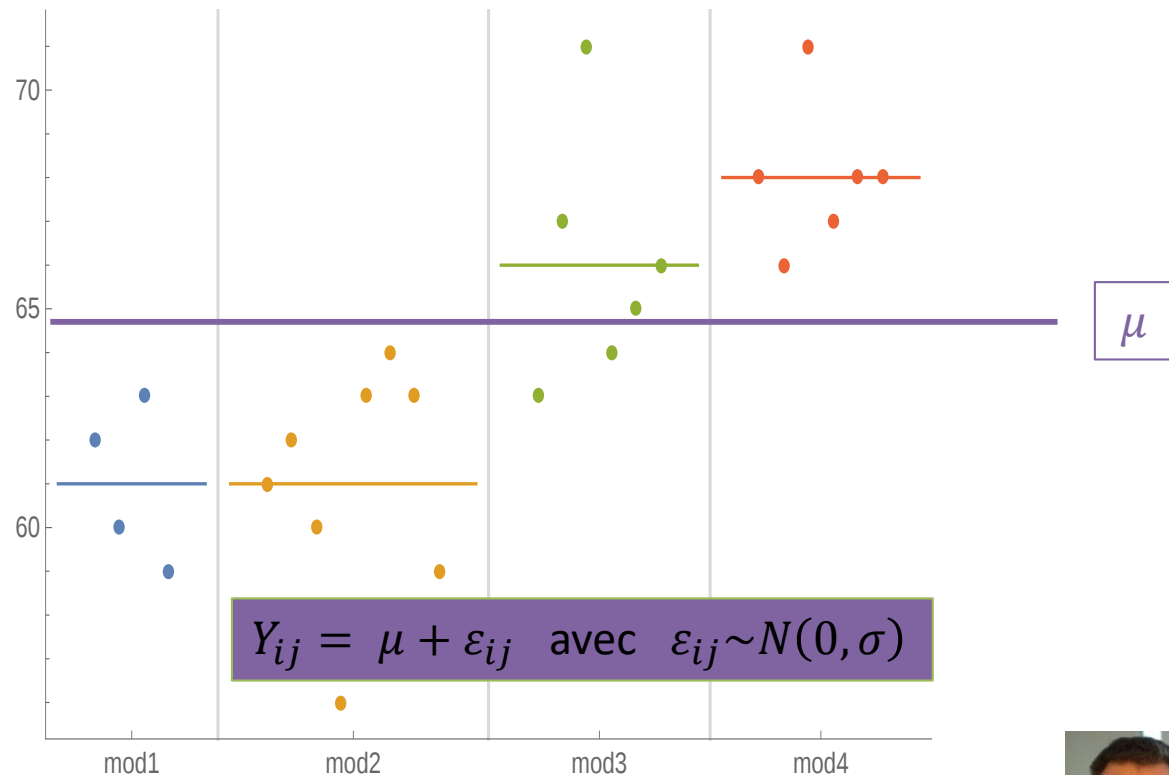
ANOVA - un modèle



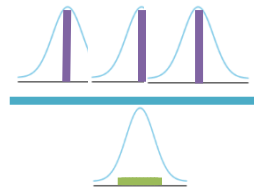
Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets

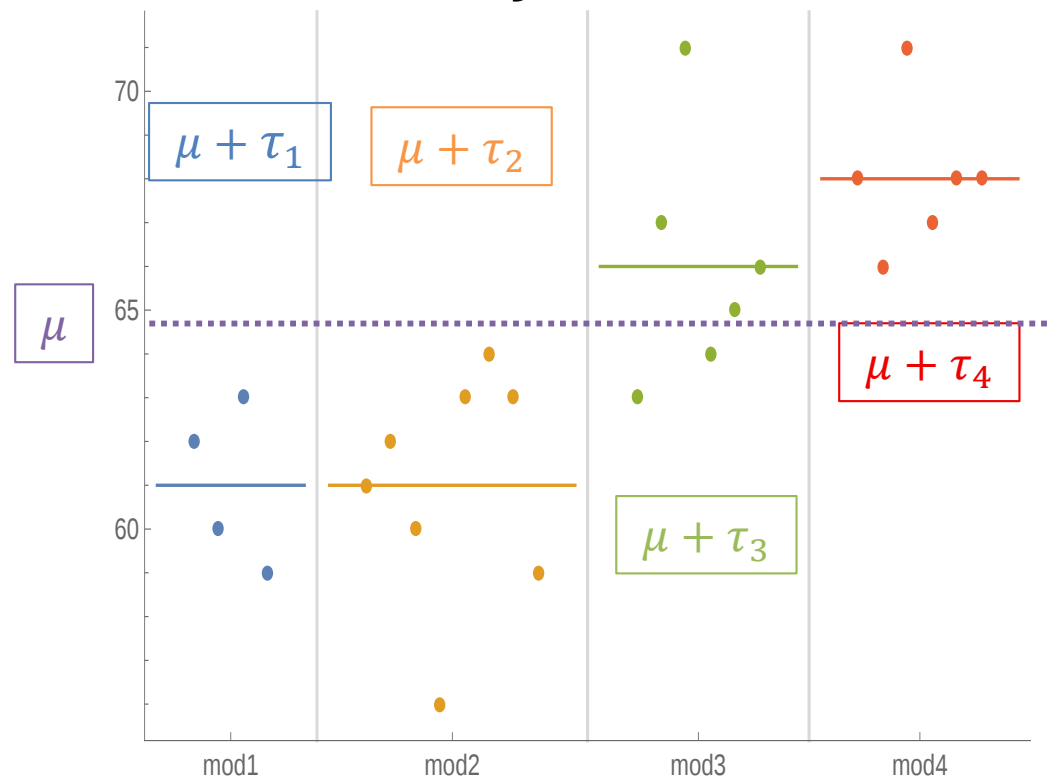


ANOVA - un modèle

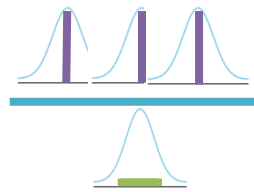


$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- Si maintenant je rajoute la VI
- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j

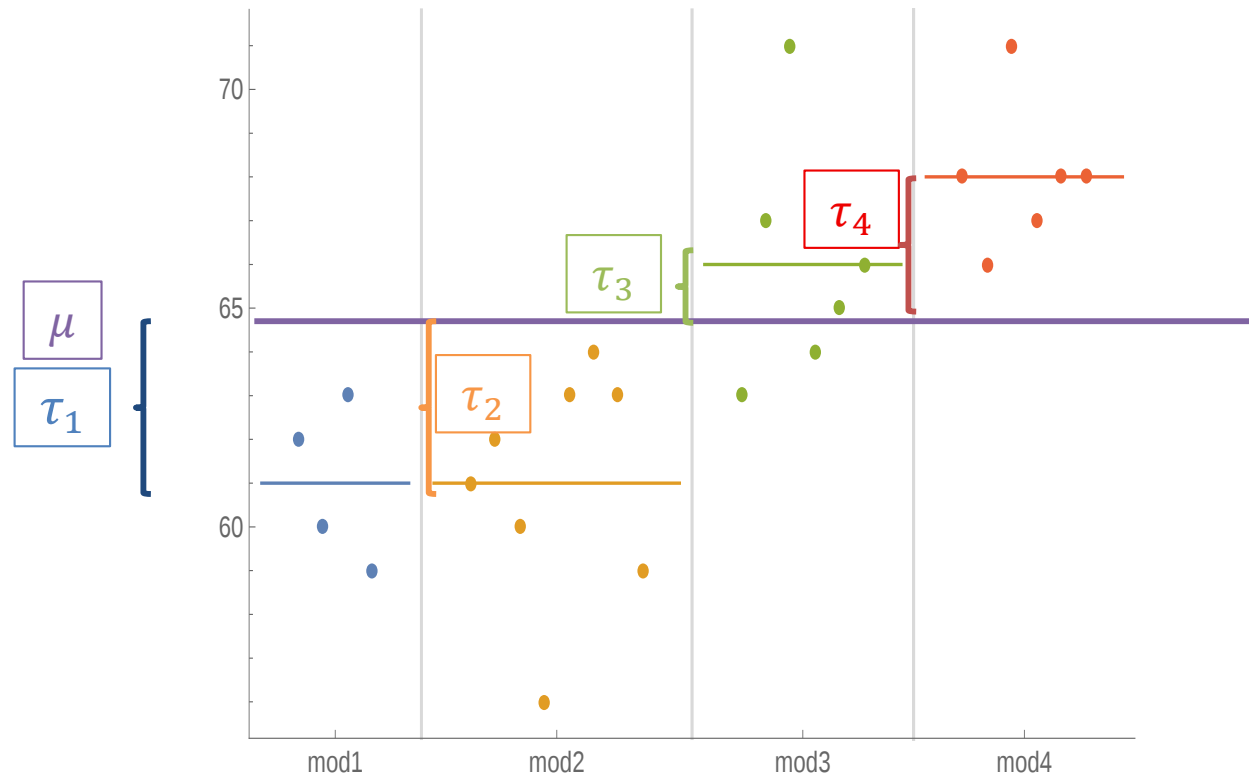


ANOVA - un modèle

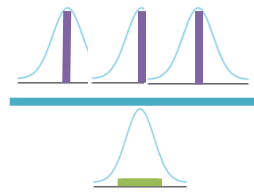


$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j
 - τ_j est la variation autour de la moyenne induite par la modalité j de la variable indépendante

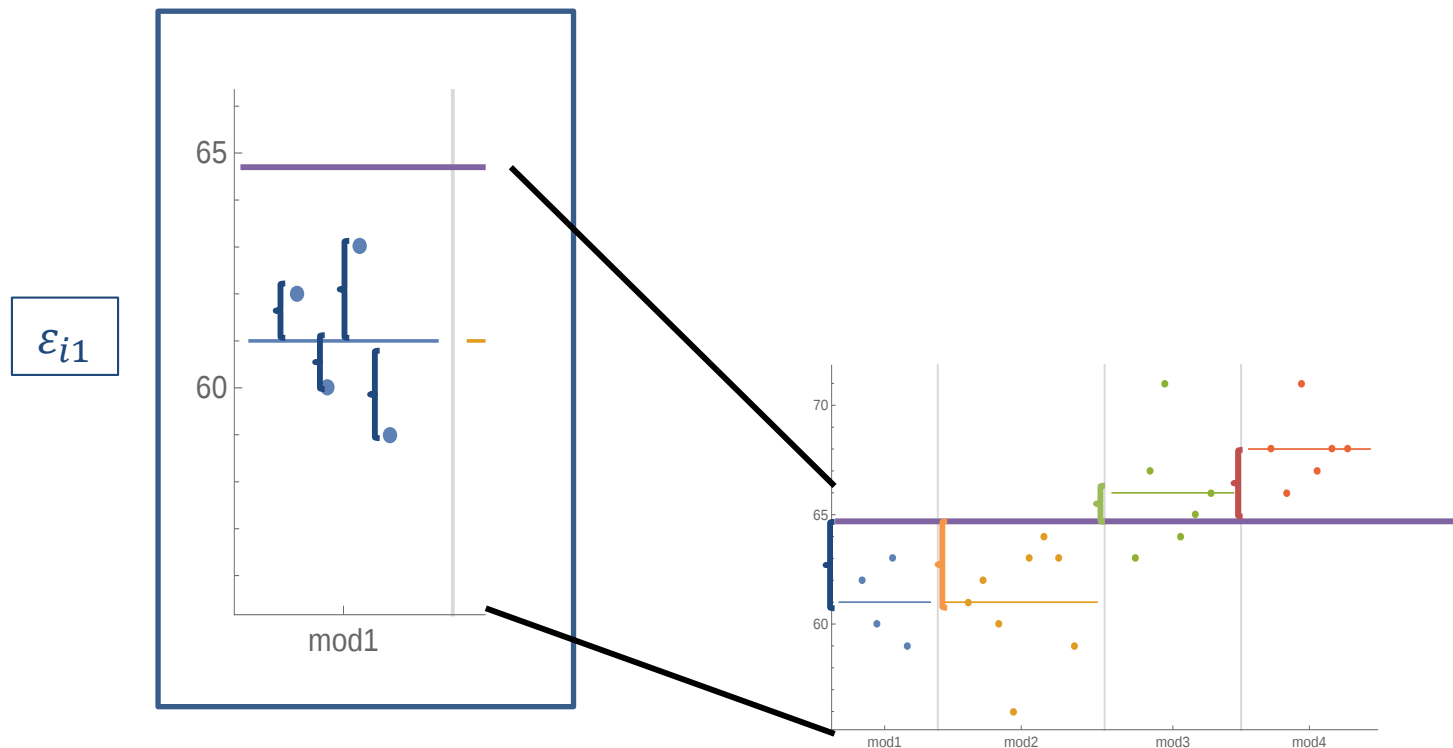


ANOVA - un modèle

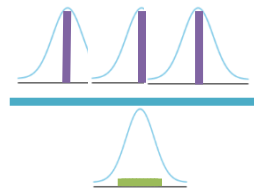


$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation **intra-groupe** non expliquée par la ou les VI (l'erreur).



ANOVA – la vraie formule

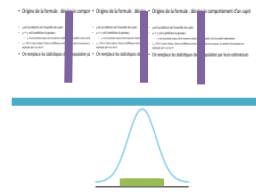


- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j
 - τ_j est la variation autour de la moyenne induite par la modalité j de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

ANOVA – la vraie formule



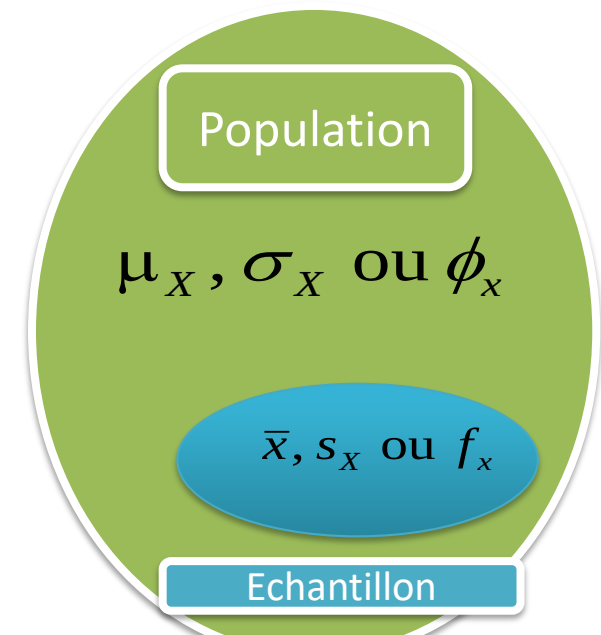
- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

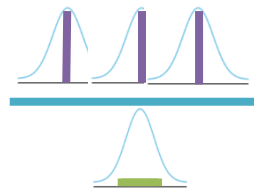
- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j
 - τ_j est la variation autour de la moyenne induite par la modalité j de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$



ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

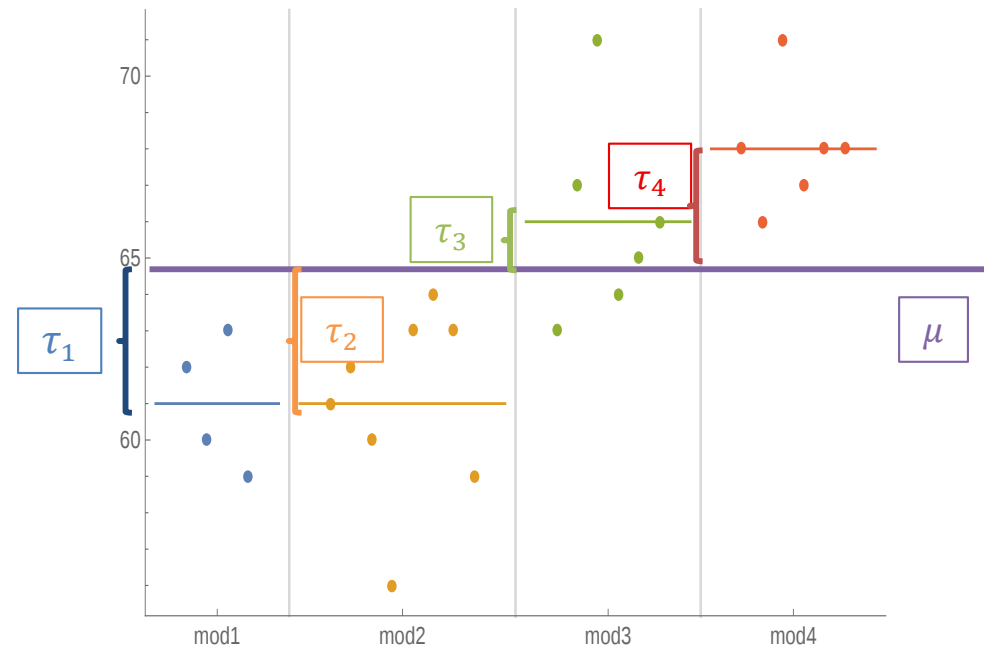
$$\mu = \bar{Y}$$

$$\tau_1 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}$$

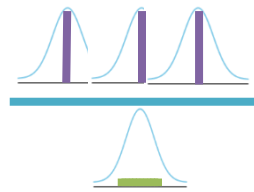
$$\tau_2 = \bar{Y}_2 - \bar{Y}$$

$$\tau_3 = \bar{Y}_3 - \bar{Y}$$

$$\tau_4 = \bar{Y}_4 - \bar{Y}$$



ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

$$\mu = \bar{Y}$$

$$\tau_1 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}$$

$$\tau_2 = \bar{Y}_2 - \bar{Y}$$

$$\tau_3 = \bar{Y}_3 - \bar{Y}$$

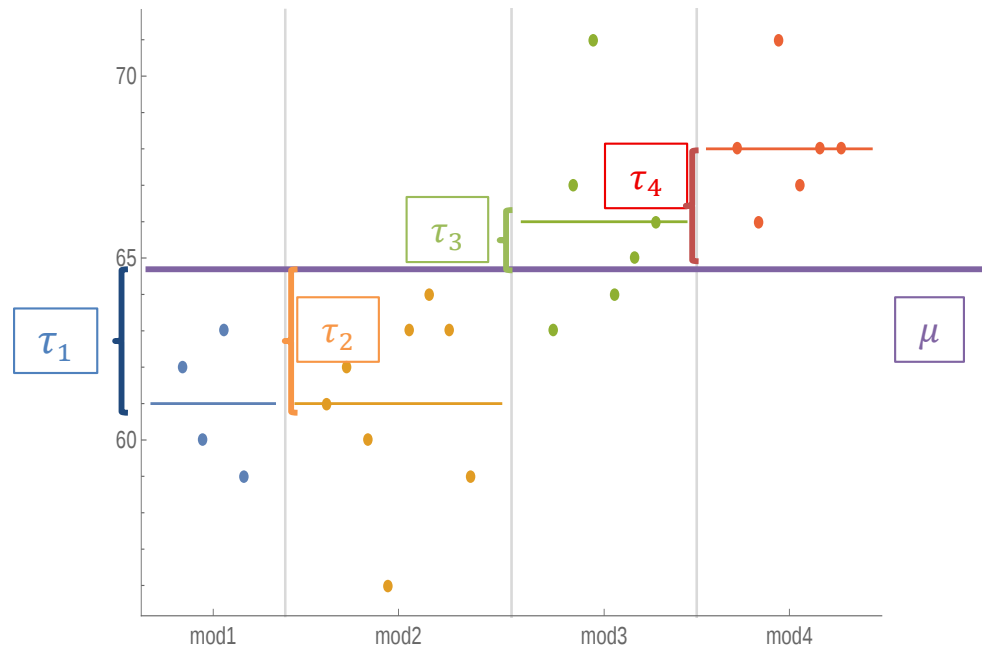
$$\tau_4 = \bar{Y}_4 - \bar{Y}$$

$$\epsilon_{11} = Y_{11} - \bar{Y}_1$$

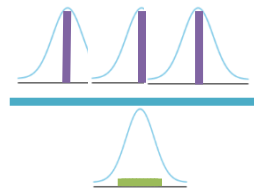
$$\epsilon_{21} = Y_{21} - \bar{Y}_1$$

$$\epsilon_{31} = Y_{31} - \bar{Y}_1$$

$$\epsilon_{41} = Y_{41} - \bar{Y}_1$$



ANOVA – la vraie formule

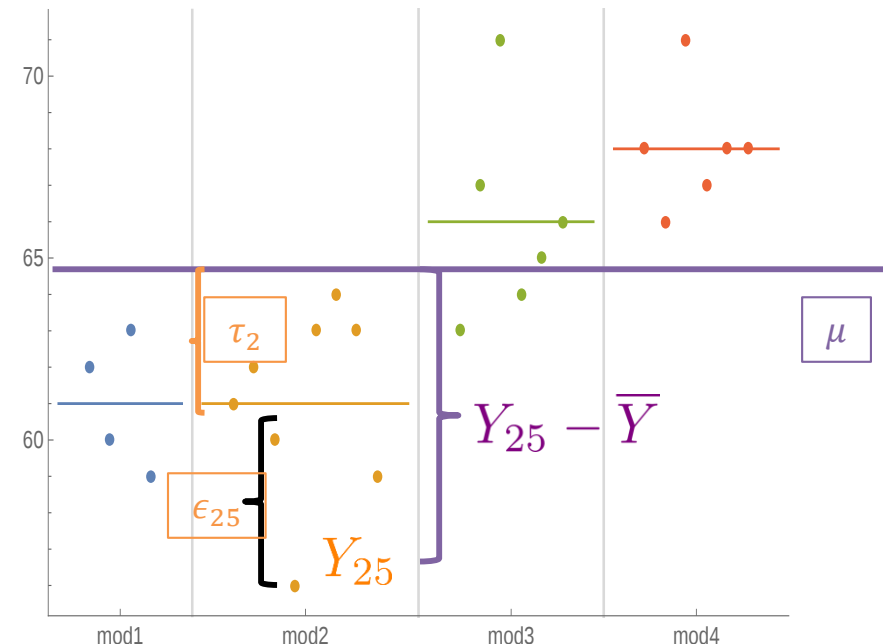


- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

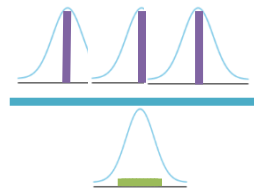
$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.
- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{25} - \bar{Y} = (\bar{Y}_2 - \bar{Y}) + (Y_{25} - \bar{Y}_2)$$



ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

- On arrange

$$Y_{ij} - \bar{Y} = Y_{ij} - \bar{Y}_j + \bar{Y}_j - \bar{Y}$$

- On somme sur les sujets et les groupes et on met on carré

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + \sum_i^n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

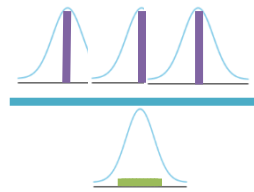
- (le terme croisé s'annule)

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

- On arrange

$$Y_{ij} - \bar{Y} = Y_{ij} - \bar{Y}_j + \bar{Y}_j - \bar{Y}$$

- On somme sur les sujets et les groupes et on met on carré

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + \sum_i^n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

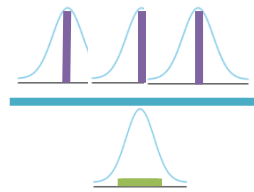
$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{Total} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n_j (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

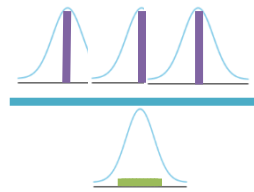
Si les tailles des groupes sont
différentes

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{Total} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$df_{Total} = N - 1 = (N - k) + (k - 1)$$

$$df_{inter} = k - 1$$

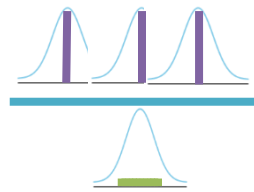
$$df_{intra} = k \times (n - 1) = N - k$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{Total} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$df_{Total} = N - 1 = (N - k) + (k - 1)$$

$$df_{inter} = k - 1$$

$$df_{intra} = k \times (n - 1) = N - k$$

$$CM_{intra} = \frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$$

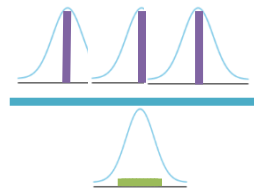
$$CM_{inter} = \frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

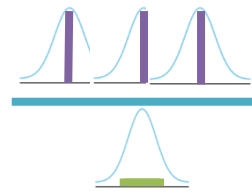
	Somme des carrés	Ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	$\sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$	$k - 1$	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$	$N - k$	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$	$N - 1$			

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

	Somme des carrés	Ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	$\sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$	$k - 1$	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$	$N - k$	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$	$N - 1$			

- Un exemple : Smith (1979)

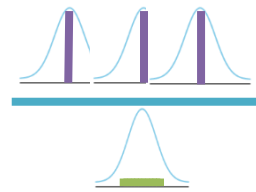
Smith, S.M. (1979). "Remembering in and out of context". Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory. **4** (5): 460–471

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Estimer l'effet c'est estimer la variance inter groupe et la variance intra groupes

$$F = \frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$$

$$Y_{ij} = \bar{Y} + \tau_i + \epsilon_{ij} ,$$

$$\tau_i = \bar{Y} - \bar{Y}_j ,$$

$$CM_{inter} = \frac{CM_{inter}}{df_{inter}})$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(Y_{.j} - \bar{Y})^2$$

$$df_{inter} = k - 1$$

$$CM_{intra} = \frac{CM_{intra}}{df_{intra}})$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$df_{intra} = n - k$$

Méthode hypothético-déductive

Automatique

Modèles / Théories

Hypothèses
théoriques

Principes psychologique
explicatifs

Attentes

Hypothèses
comportementales

Effet des facteurs sur le
comportement

Plan d'observation

Provoquées ou
invoquées

Déterminer l'ensemble des
variables ayant un effet sur le
comportement

Observation

Sujets
appareils de mesures

Analyse Statistique

Hypothèses
statistiques

Décision

Modèle Gaussien

NHST

Démarche hypothético-déductive

- Ordre important
 - Hypothèses a priori !
 - Modèle à priori
 - Théorie a priori

A PRIORI ?

Primauté de l'hypothèse

A PRIORI ?

- Pourquoi ai-je besoin d'une hypothèse ?
- Pourquoi l'analyse ne porte que sur les hypothèses ?
- Pourquoi dois-je poser une hypothèse avant de commencer le recueil des données ?
- Pourquoi est-ce que je m'interdit de tester un effet non prévu mais qui est présent ?
- Si une différence est observée, pourquoi ne pas la tester ?

Primauté de l'hypothèse

- Ces cinq questions n'en sont qu'une

Pourquoi ai-je besoin d'une hypothèse ?

Pourquoi l'analyse ne porte que sur les hypothèses ?

Pourquoi dois-je poser une hypothèse avant de commencer le recueil des données ?

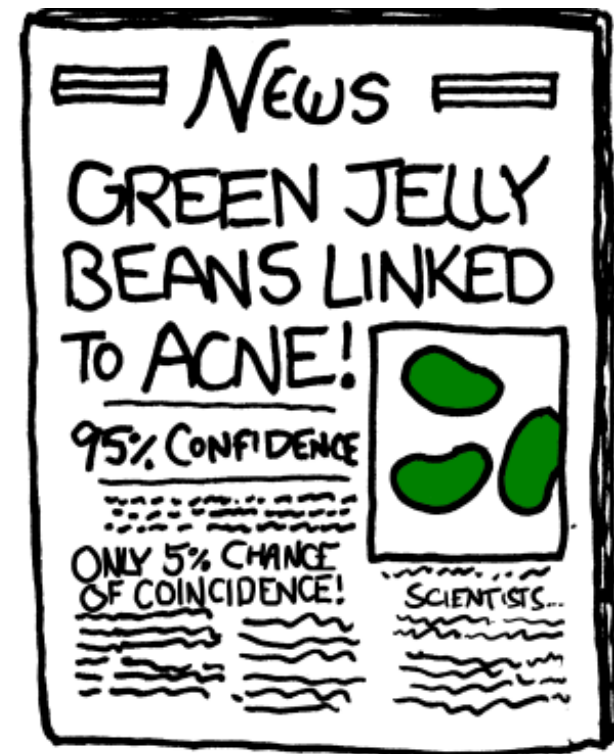
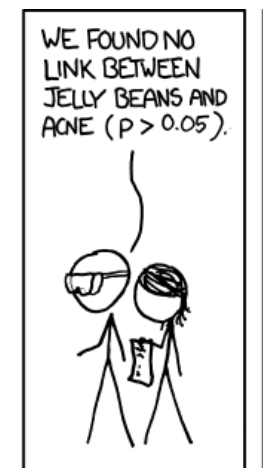
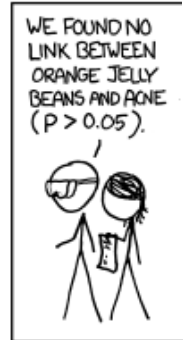
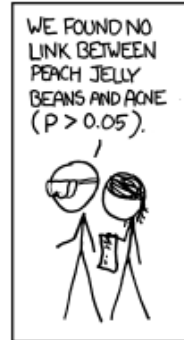
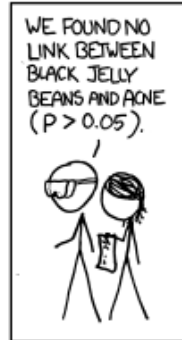
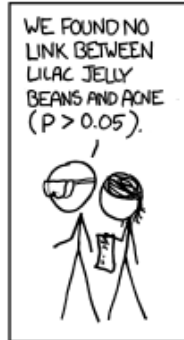
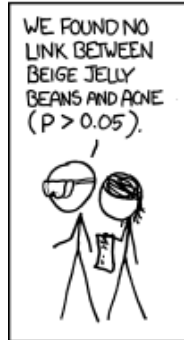
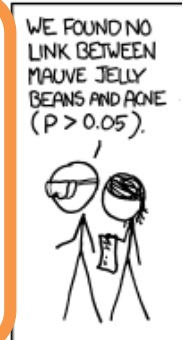
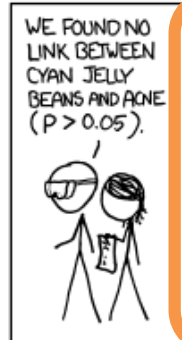
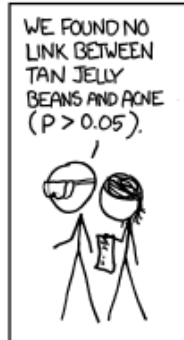
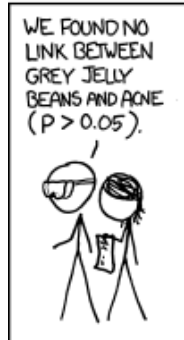
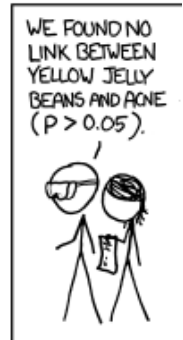
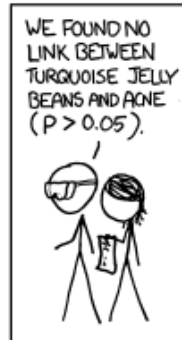
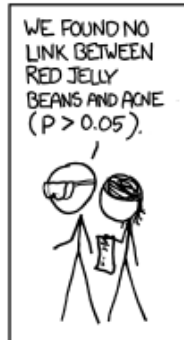
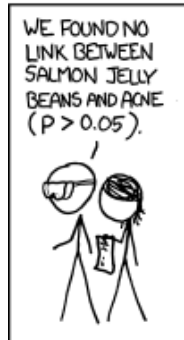
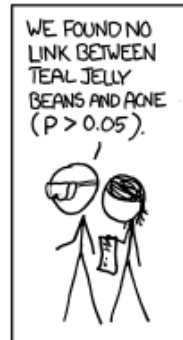
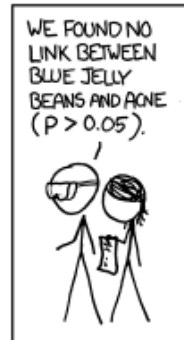
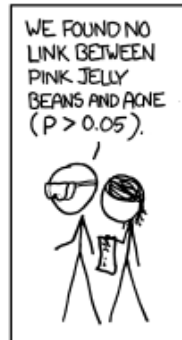
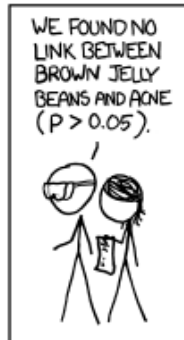
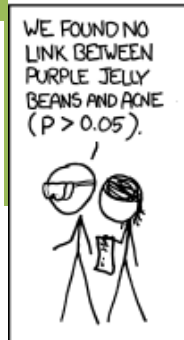
Pourquoi est-ce que je m'interdis de tester un effet non prévu mais qui est présent ?

Si une différence est observée, pourquoi ne pas la tester ?

- Réponses :

- Une analyse non prévue est une analyse exploratoire

- La question devient donc « ou est l'effet ? »



JELLY BEANS CAUSE ACNE!

SCIENTISTS! INVESTIGATE!

BUT WE'RE PLAYING MINECRAFT! ...FINE.

Hypothèse

Analyse exploratoire

WE FOUND NO LINK BETWEEN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



THAT SETTLES THAT.

I HEAR IT'S ONLY A CERTAIN COLOR THAT CAUSES IT.

SCIENTISTS!

BUT MINECRAFT!



WE FOUND NO LINK BETWEEN PURPLE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN BROWN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN PINK JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN BLUE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN TEAL JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN SALMON JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



RED JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



TURQUOISE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



MAGENTA JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



YELLOW JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN GREY JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN TAIN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN CYAN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND A LINK BETWEEN GREEN JELLY BEANS AND ACNE ($P < 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN MAUVE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN BEIGE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN LILAC JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



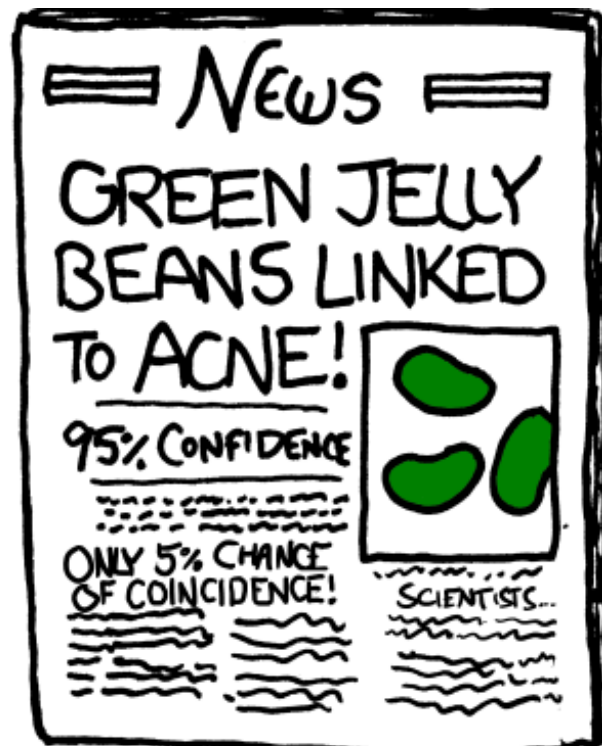
WE FOUND NO LINK BETWEEN BLACK JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN PEACH JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



WE FOUND NO LINK BETWEEN ORANGE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).



Probabilité d'obtenir un résultat significatif si H_0 est vraie

$$1 - (1 - \alpha)^{21} = 0,66$$

<https://www.xkcd.com/882/>

Méthode



Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- Préambule
- Preuve expérimentale
- La démarche
 - Démarche hypothético-déductive
 - Hypothèses opérationnelles
- L'analyse de données et le test de l'hypothèse nulle.

Analyse et NHST ?

- La décision statistique, telle que vous l'avez apprise, oppose deux hypothèses complémentaires :
 - L'hypothèse d'intérêt - l'effet des VI sur les VD.
 - L'hypothèse nulle - l'absence d'effet.
- Nous décidons en comparant la probabilité d'observer des données aussi extrêmes étant données l'hypothèse nulle à un seuil.

NHST

Test de l'hypothèse nulle (NHST)

- Définir une hypothèse nulle
- Définir une hypothèse complémentaire/alternative (F=Fischer)
 - Ou définir une ensemble d'hypothèses alternatives (Neyman-Pearson)
- Evaluer la probabilité d'obtenir des données aussi extrêmes au vu de l'hypothèse nulle
- A partir d'un seuil prédéfini (NP)
 - Seuil prédéfini pour des expériences nouvelles uniquement (F)
 - Seuil à 0,005 lors de la découverte de nouveaux effets (Benjamin et al, 2017) mais voir également (Lakens et al, en prep)
- Prendre la décision de rejeter l'hypothèse nulle ou de ne pas la rejeter
 - Résultats significatifs ou non (F)
 - Estimation de l'effet accompagné de l'estimation de la taille de l'effet. (NP)

Test de l'hypothèse nulle (NHST)

Définir un modèle de l'hypothèse nulle : une statistique et sa distribution d'échantillonnage

- Définir une hypothèse nulle

Définir une hypothèse complémentaire/alternative (F)

- Ou définir une ensemble d'hypothèses alternatives (NP)

- Evaluer la probabilité d'obtenir des résultats aussi extrêmes au vu de l'hypothèse nulle

- A partir d'un seuil

Attention débat !

Pour NP, le seuil doit être fixé à priori par les auteurs, mais fixé à priori par les nouvelles uniquement (F)
l'erreur de première espèce, l'erreur de deuxième espèce, l'erreur de troisième espèce (Benjamin)

- Prendre la décision de rejeter l'hypothèse nulle ou non (F)
la rejeter

- Résultats significatifs ou non (F)

- Si p est faible alors, nos données seraient explicable par le bruit expérimental

Pour NP, le seuil est la probabilité de faire une erreur sur le long terme. Sur un grand nombre d'expérience il correspond à la fréquence des conclusions erronées de rejet de H_0 .

né de l'estimation de la taille de

$$\text{Test} = f\left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right) \times ES$$

Décision et erreurs

- Cadre de NHST

Types d'erreur		Monde réel	
		H_0	H_1
Décision	Rejet de H_0 (RH_0)	Type I : α $P(RH_0 H_0)$	Rejet Correct $P(RH_0 H_1)$
	Non Rejet de H_0 (RH_0)	Non rejet Correct $P(NRH_0 H_0)$	Type II : β $P(NRH_0 H_1)$

$1 - \beta$ correspond à la puissance du test

C'est la probabilité de décider qu'un effet est présent lorsqu'il est effectivement présent.

Test de l'hypothèse nulle (NHST)

- Définir une hypothèse nulle
- Définir une hypothèse complémentaire/alternative (H)
 - Ou définir une ensemble d'hypothèses alternatives (NP)
- Evaluer la probabilité d'obtenir des données aussi extrêmes au vu de l'hypothèse nulle
- A partir d'un seuil prédéfini (NP)
 - Seuil prédéfini pour des expériences nouvelles uniquement (F)
 - Seuil à 0,005 lors de la découverte de nouveaux effets (Benjamin et al, 2017) mais voir également (Lakens et al, en prep)
- Prendre la décision de rejeter l'hypothèse nulle ou de ne pas la rejeter
 - Résultats significatifs ou non (F)
 - Estimation de l'effet accompagné de l'estimation de la taille de l'effet. (NP)

F = Fisher
H = Hybride
NP = Neyman Pearson

Questions

- Pourquoi avoir plusieurs hypothèses ?
- Pourquoi le test porte t'il uniquement sur l'hypothèse nulle ?
- Quelle est la signification de α ?
- Quelle information nous est donnée par la « p value » ?
- Pourquoi on rejette H_0 mais on ne l'accepte pas ?
- Quel est le problème avec l'erreur de type 1 ?

Fisher, R (1955). ["Statistical Methods and Scientific Induction"](#). Journal of the Royal Statistical Society, Series B. 17 (1): 69–78.

Fisher, R (1925) STATISTICAL METHODS FOR RESEARCH WORKERS? Originally published in Edinburgh by Oliver and Boyd.

<http://psychclassics.yorku.ca/Fisher/Methods/index.htm>

[Lehmann, E. L.](#) (December 1993). "The Fisher, Neyman–Pearson Theories of Testing Hypotheses: One Theory or Two?". Journal of the American Statistical Association. 88 (424): 1242–1249. doi:[10.1080/01621459.1993.10476404](#).

Neyman, Jerzy (1956). "Note on an Article by Sir Ronald Fisher". [Journal of the Royal Statistical Society, Series B](#). 18 (2): 288–294

Perezgonzalez, J. D. (2015). "Fisher, Neyman-Pearson or NHST? A tutorial for teaching data testing." [Frontiers in Psychology 6\(223\)](#).

Test de l'hypothèse nulle (NHST)

- Questions
 - Pourquoi avoir plusieurs hypothèses ?
 - On ne peut prouver expérimentalement une hypothèse
 - Pourquoi le test porte t'il uniquement sur l'hypothèse nulle ?
 - C'est actuellement le seul modèle clairement défini
 - C'est une mesure de la variabilité expérimentale, l'erreur de mesure
 - Quelle est la signification de α ?
 - C'est la probabilité de rejeter à tort H_0 . $P(RH_0|H_0)$
 - Quelle information nous est donnée par la « p value » ?
 - C'est la probabilité d'obtenir des données aussi extrême si l'hypothèse nulle est « vraie » $P(D|H_0)$
 - Pourquoi on rejette H_0 mais on ne l'accepte pas ?
 - Voir la réponse à la première question
 - Quel est le problème avec l'erreur de type 1 ?

JELLY BEANS CAUSE ACNE!

SCIENTISTS! INVESTIGATE!

BUT WE'RE PLAYING MINECRAFT!
... FINE.

Hypothèse

Analyse exploratoire

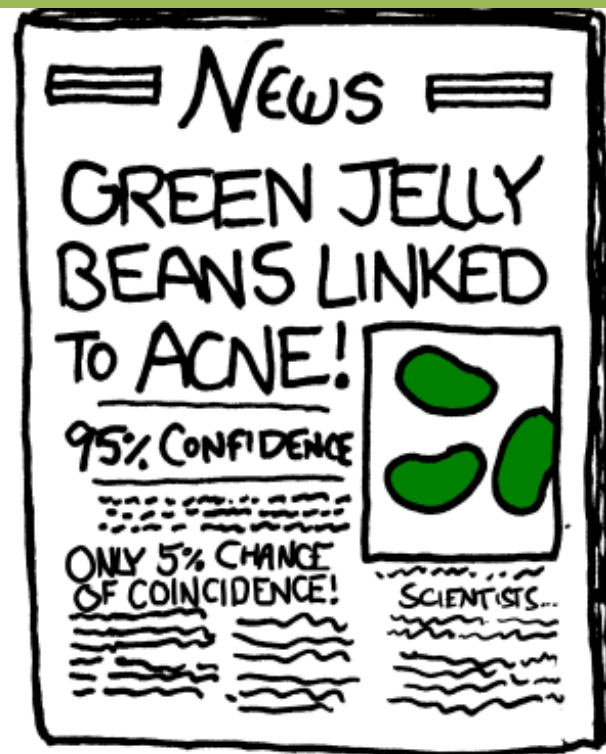
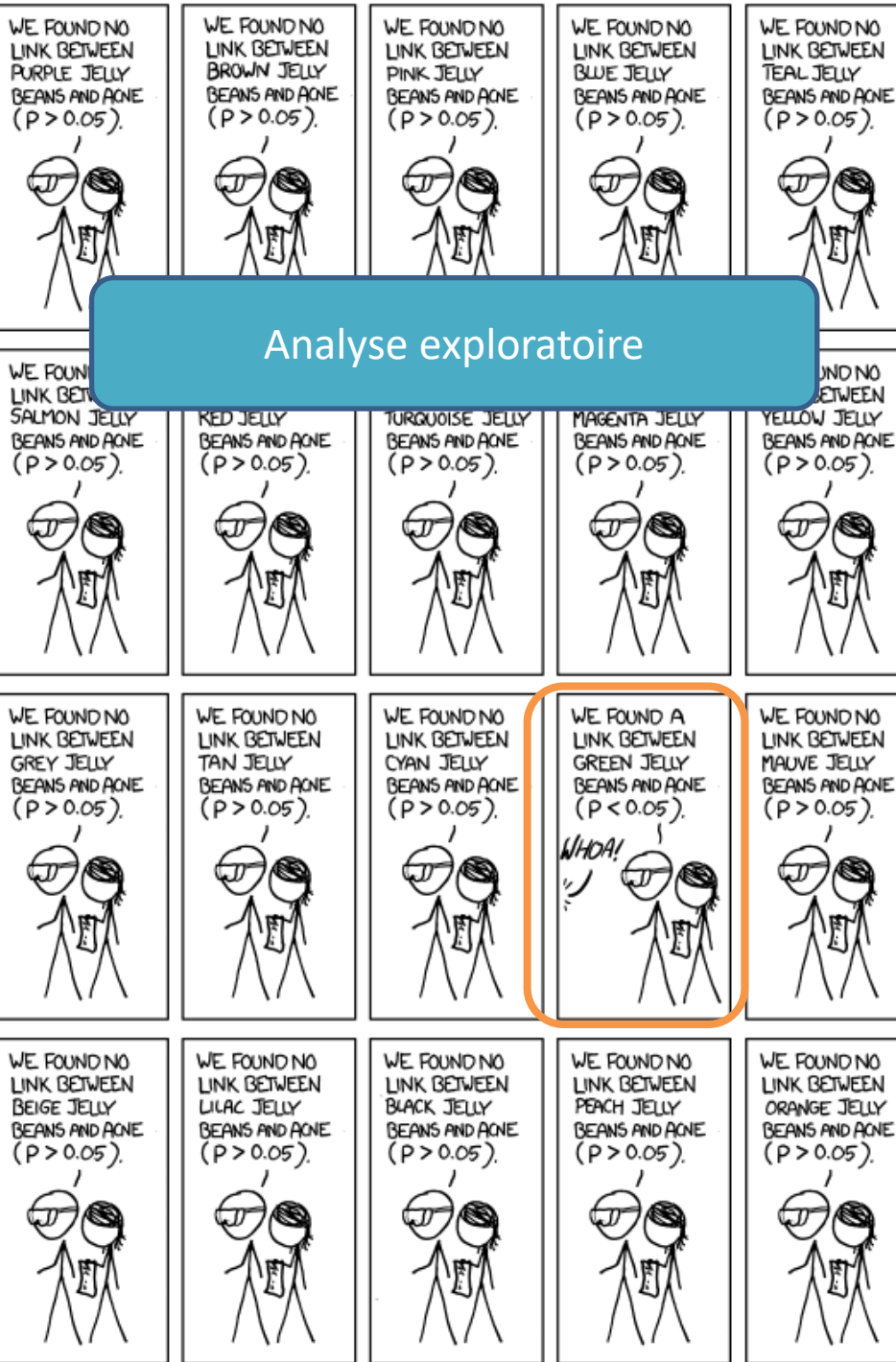
WE FOUND NO LINK BETWEEN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

THAT SETTLES THAT.

I HEAR IT'S ONLY A CERTAIN COLOR THAT CAUSES IT.

SCIENTISTS!

BUT MINECRAFT!



$$1 - (1 - \alpha)^{21} = 0,66$$

<https://www.xkcd.com/882/>

NHST

- On compare une probabilité à une autre

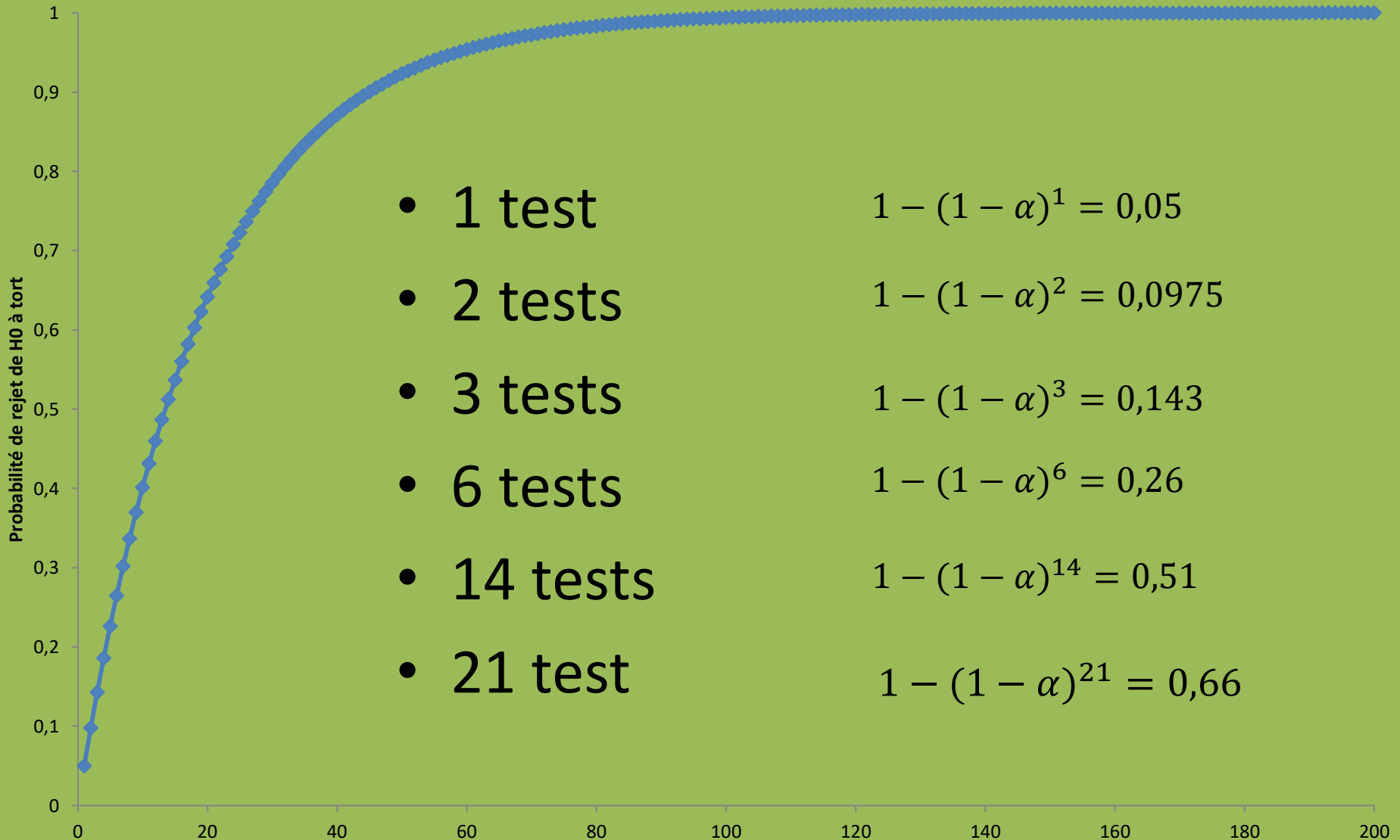
$$p = P(Data|H_0) \geq \alpha$$

- Le seuil correspond au risque que l'on accepte de prendre lors de la prise de décision, plus ce risque est petit moins nous avons de chance de conclure à une effet alors qu'il n'existe pas.
- L'objectif est donc de choisir α le plus petit possible.

NHST

- Le complémentaire de α correspond au « risque » de ne pas se tromper en rejetant H_0 . C'est la probabilité de ne pas faire d'erreur de type I.
- $(1 - \alpha)^c$ est la probabilité de ne pas faire d'erreur lors de c tests sur les mêmes données et le risque d'erreur est alors de $\alpha_{EW} = 1 - (1 - \alpha)^c$

Tests multiples



Primauté de l'hypothèse ou NHST pour l'analyse exploratoire

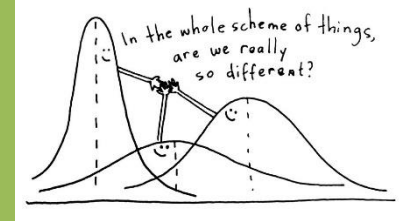
- Cadre de NHST

Types d'erreur		Monde réel	
		Vraie	Fausse
Décision	Rejet de H_0 (RH_0)	Type I : α $P(RH_0 H_0)$	Rejet Correct $P(RH_0 H_1)$
	Non Rejet de H_0 (NRH_0)	Non rejet Correct $P(NRH_0 H_0)$	Type II : β $P(NRH_0 H_1)$

- L'erreur de type I est fixée pour une expérience. Si vous faites plusieurs tests, que se passe t'il ?

Vous êtes presque certains d'observer une erreur de type I, donc un effet qui n'existe pas

ANOVA – Exemple ?



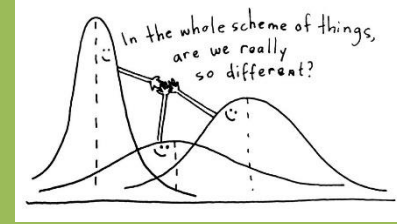
- Lien entre le contexte d'apprentissage et de rappel (Smith, 1979)
 - Apprentissage d'une liste de 80 mots dans un pièce peint en orange décorée de poster, de tableaux et d'équipements expérimentaux (*paraphernalia*)
 - Test immédiat
 - Puis test imprévu le lendemain selon l'une des 5 conditions
 - Contexte identique
 - Contexte différent
 - Contexte imaginaire
 - Contexte photographique
 - Contexte placebo

In Neil Salkind (Ed.), *Encyclopedia of Research Design*.
Thousand Oaks, CA: Sage. 2010

Contrast Analysis

Hervé Abdi · Lynne J. Williams

ANOVA – Exemple ?



- Lien entre le contexte d'apprentissage et de rappel (Smith, 1979)

- Apprentissage d'une liste de 80 mots dans un pièce peint en orange décorée de poster, de tableaux et d'équipements expérimentaux (*paraphernalia*)
- Test immédiat
- Puis test imprévu le lendemain selon l'une des 5 conditions
 1. Contexte identique
 2. Contexte différent
 3. Contexte imaginaire
 4. Contexte photographique
 5. Contexte placebo

1. Contexte identique

2. Contexte différent

- Pièce expérimentale différente : autre lieux, peinture grise et décoration austère

3. Contexte imaginaire

- Groupe 2 + les sujets devaient se rappeler la pièce de l'apprentissage à travers une série de question

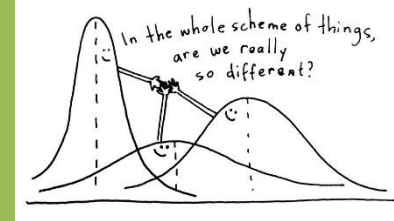
4. Contexte photographique

- Condition du groupe 3 + des photos de la pièce sont présentées.

5. Contexte placebo

- Groupe 2 + rappel d'une pièce qui leur soit familière (salon)

ANOVA – Exemple ?



- Lien entre le contexte d'apprentissage et de rappel (Smith, 1979)

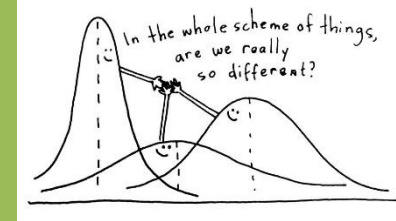
- Apprentissage d'une liste de 80 mots dans un pièce peint en orange décorée de poster, de tableaux et d'équipements expérimentaux (*paraphernalia*)
- Test immédiat
- Puis test imprévu le lendemain selon l'une des 5 conditions
 1. Contexte identique
 2. Contexte différent
 3. Contexte imaginaire
 4. Contexte photographique
 5. Contexte placebo

- Résultats

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
25	11	14	25	8
26	21	15	15	20
17	9	29	23	10
15	6	10	21	7
14	7	12	18	15
17	14	22	24	7
14	12	14	14	1
20	4	20	27	17
11	7	22	12	11
21	19	12	11	4



ANOVA – Exemple ?



- Lien entre le contexte d'apprentissage et de rappel (Smith, 1979)

- Apprentissage d'une liste de 80 mots dans un pièce peint en orange décorée de poster, de tableaux et d'équipements expérimentaux (*paraphernalia*)
- Test immédiat
- Puis test imprévu le lendemain selon l'une des 5 conditions
 1. Contexte identique
 2. Contexte différent
 3. Contexte imaginaire
 4. Contexte photographique
 5. Contexte placebo

- Résultats

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
25	11	14	25	8
26	21	15	15	20
17	9	29	23	10
15	6	10	21	7
14	7	12	18	15
17	14	22	24	7
14	12	14	14	1
20	4	20	27	17
11	7	22	12	11
21	19	12	11	4

Y_{ij} individu i groupe j

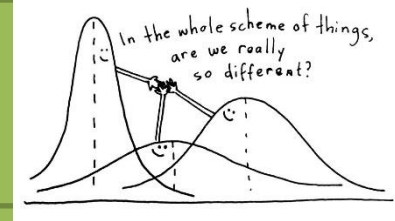
18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\bar{Y}_j$

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale = 15

ANOVA – Exemple ?



Y_{ij}

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
25	11	14	25	8
26	21	15	15	20
17	9	29	23	10
15	6	10	21	7
14	7	12	18	15
17	14	22	24	7
14	12	14	14	1
20	4	20	27	17
11	7	22	12	11
21	19	12	11	4

18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\overline{Y}_j$

$\overline{Y}$ Moyenne Totale = 15

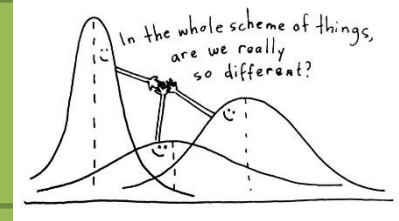
$$\begin{aligned}
 SS_{inter} &= \sum_j^k n(\overline{Y}_j - \overline{Y})^2 = \sum_j^k 10 \times (\overline{Y}_j - 15)^2 \\
 &= 10 \times [(18 - 15)^2 + (11 - 15)^2 + (17 - 15)^2 + (19 - 15)^2 + (10 - 15)^2] \\
 &= 700
 \end{aligned}$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \overline{Y}_j)^2$$

effet

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\overline{Y}_j - \overline{Y})^2$$

ANOVA – Exemple ?



Y_{ij}

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
25	11	14	25	8
26	21	15	15	20
17	9	29	23	10
15	6	10	21	7
14	7	12	18	15
17	14	22	24	7
14	12	14	14	1
20	4	20	27	17
11	7	22	12	11
21	19	12	11	4

18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\bar{Y}_j$

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
49	0	9	36	4
64	100	4	16	100
1	4	144	16	0
9	25	49	4	9
16	16	25	1	25
1	9	25	25	9
16	1	9	25	81
4	49	9	64	49
49	16	25	49	1
9	64	25	64	36

18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\bar{Y}_j$

$$(Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

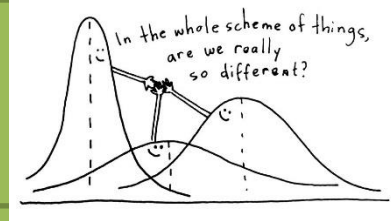
$$SS_{inter} = 700$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

erreur

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

ANOVA – Exemple ?



Y_{ij}

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
25	11	14	25	8
26	21	15	15	20
17	9	29	23	10
15	6	10	21	7
14	7	12	18	15
17	14	22	24	7
14	12	14	14	1
20	4	20	27	17
11	7	22	12	11
21	19	12	11	4

$$(Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
49	0	9	36	4
64	100	4	16	100
1	4	144	16	0
9	25	49	4	9
16	16	25	1	25
1	9	25	25	9
16	1	9	25	81
4	49	9	64	49
49	16	25	49	1
9	64	25	64	36

18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\bar{Y}_j$

218	284	324	300	314
-----	-----	-----	-----	-----

$$SS_{inter} = 700$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

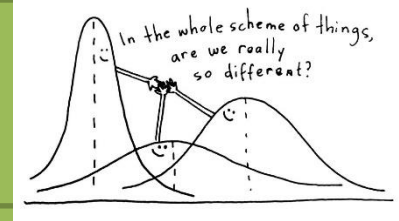
$$= 1440$$

$$\sum_i^{10} (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

erreur

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

ANOVA – Exemple ?



Y_{ij}

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
25	11	14	25	8
26	21	15	15	20
17	9	29	23	10
15	6	10	21	7
14	7	12	18	15
17	14	22	24	7
14	12	14	14	1
20	4	20	27	17
11	7	22	12	11
21	19	12	11	4

18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\bar{Y}_j$

SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
49	0	9	36	4
64	100	4	16	100
1	4	144	16	0
9	25	49	4	9
16	16	25	1	25
1	9	25	25	9
16	1	9	25	81
4	49	9	64	49
49	16	25	49	1
9	64	25	64	36

18	11	17	19	10
----	----	----	----	----

$\bar{Y}_j$

$$(Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$SS_{inter} = 700$$

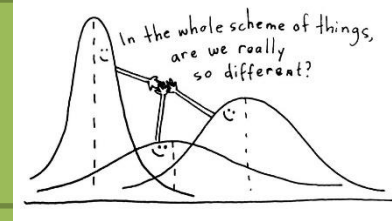
$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$= 1440$$

$$SS_{Total} = SS_{Inter} + SS_{Intra}$$

$$= 2140$$

ANOVA – Exemple ?



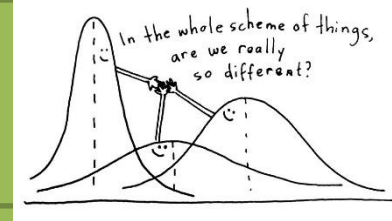
	Somme des carrés	Ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	$\sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$	$k - 1$	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$	$N - k$	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$	$N - 1$			

$$SS_{inter} = 700$$

$$\begin{aligned}
 SS_{intra} &= \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 \\
 &= 1440
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{Total} &= SS_{Inter} + SS_{Intra} \\
 &= 2140
 \end{aligned}$$

ANOVA – Exemple ?



	SS	ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	700	$k - 1$	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	1440	$N - k$	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	2140	$N - 1$			

$$SS_{inter} = 700$$

$$df_{inter} = k - 1 = 4$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$= 1440$$

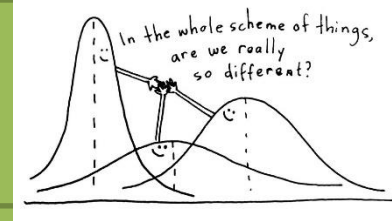
$$df_{intra} = N - k = 45$$

$$SS_{Total} = SS_{Inter} + SS_{Intra}$$

$$= 2140$$

$$df_{Total} = N - 1 = 49$$

ANOVA – Exemple ?



	SS	ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	700	4	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k-1, N-k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	1440	45	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	2140	49			

effet

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = 700$$

erreur

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$= 1440$$

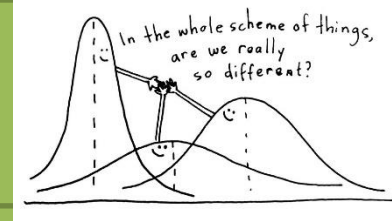
$$SS_{Total} = SS_{Inter} + SS_{Intra}$$

$$= 2140$$

$$CM_{inter} = \frac{SS_{inter}}{df_{inter}} = \frac{700}{4} = 175$$

$$CM_{intra} = \frac{SS_{intra}}{df_{intra}} = \frac{1440}{45} = 32$$

ANOVA – Exemple ?



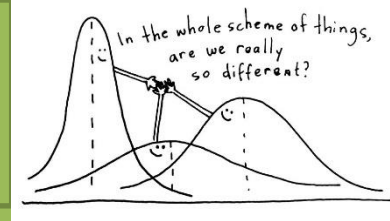
	SS	ddl (df)	CM	F	p
Inter	700	4	175	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k-1, N-k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	1440	45	32		
Total	2140	49			

$$CM_{inter} = \frac{SS_{inter}}{df_{inter}} = \frac{700}{4} = 175$$

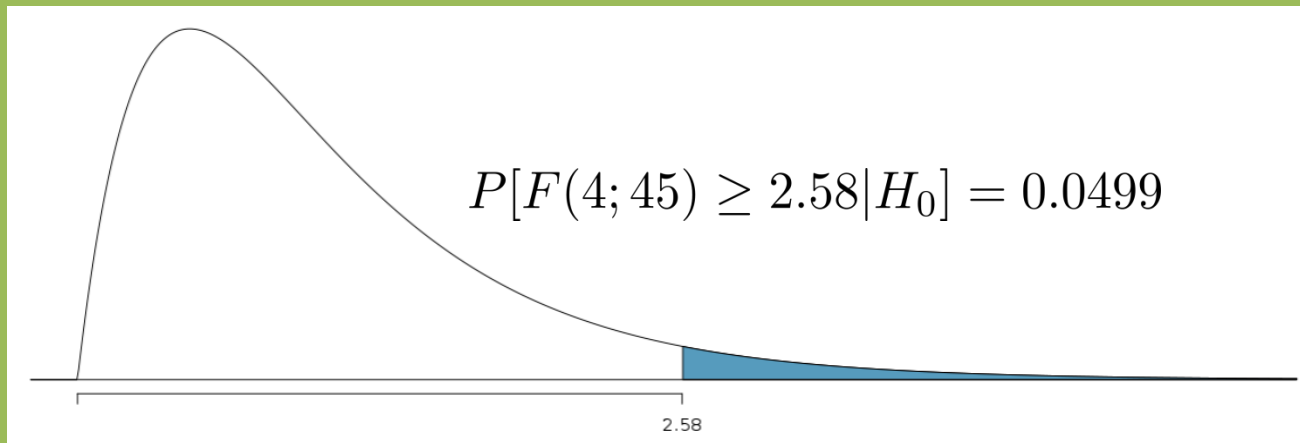
$$CM_{intra} = \frac{SS_{intra}}{df_{intra}} = \frac{1440}{45} = 32$$

$$F = \frac{176}{32} = 5.46875$$

ANOVA – Exemple ?



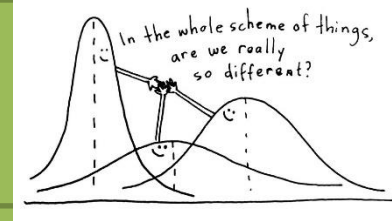
	SS	ddl (df)	CM	F	p
Inter	700	4	175	5.46875	$P[F(k-1, N-k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	1440	45	32		
Total	2140	49			



résultat

$$P[F(4; 45) \geq 5.46875 | H_0] = 0.0011$$

ANOVA – Exemple ?



- Tableau de l'ANOVA

	SS	ddl	CM	F	p
Inter	700	4	175	5.46875	0.0011
Intra	1440	45	32		
Total	2140	49			

- Conclusion ?

- Ca marche $p \leq 0,05$



$$p \leq 0,05$$



Conditions d'applications

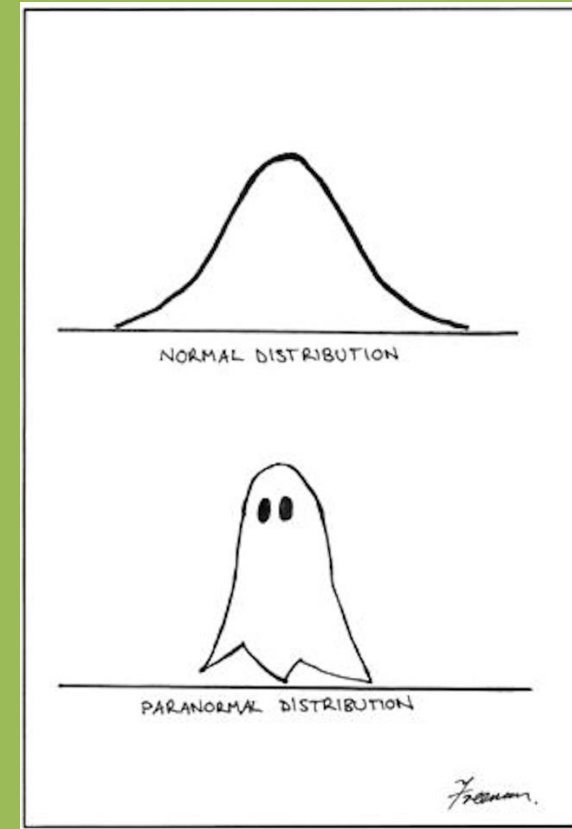
- *Le rapport de variance suit une loi de Fisher si*

$$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} | H_0]$$

- l'échantillon est a. i. i. d. : les individus sont sélectionnés de manière aléatoire indépendante et identiquement distribuée.
- L'hypothèse nulle est vraie
- Les résidus suivent une loi normale $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$
 - Tester la normalité : Levenne / KS / qqplot ?
- Les variances sont homogènes
- Les résidus sont indépendants

Conditions d'applications

- Les résidus suivent une loi normale
 $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$
 - Quels tests ? Shapiro-Wilk, Kolmogorov-smirnov
 - Quels limites à ces tests : taille de l'échantillon
 - Autres méthode : qqplot ?
 - Quelles sont les implications d'une violation de l'hypothèse de normalité ?



Condisitons d'applications

- *Le rapport de variance suit une loi de Fisher si*

$$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} | H_0]$$

- l'échantillon est a. i. i. d. : les individus sont sélectionnés de manière aléatoire indépendante et identiquement distribuée.
- L'hypothèse nulle est vraie
- Les résidus suivent une loi normale $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$

– Les variances sont homogènes

- Tester l'homogénéité des variances : Levenne
- Les résidus sont indépendants

Condisitons d'applications

- Les variances sont homogènes
 - Tester l'homogénéité des variances : Levenne
 - Quels limites à ces tests : taille de l'échantillon
 - Autres méthode : au doigt mouillée x 4
 - Quelles sont les implications d'une violation de l'hypothèse d'homogénéité ?
 - Pour plan intra : conseil toujours prendre correction Greenhouse Geilser ou plus oncservatuer borne max
 - Les conditions d'applications du test de variance/covariance sont trop difficile à remplir de manière générale

Conditions d'applications

- *Le rapport de variance suit une loi de Fisher si*

$$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} | H_0]$$

- l'échantillon est a. i. i. d. : les individus sont sélectionnés de manière aléatoire indépendante et identiquement distribuée.
- L'hypothèse nulle est vraie
- Les résidus suivent une loi normale $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$
- Les variances sont homogènes
- Les résidus sont indépendants
 - Test ? – distributions des résidus en fonction de ???

Conditions d'applications

- Les résidus sont indépendants
 - Test ? – distributions des résidus en fonction de ???

Conditions d'application - les transformations

Logarithmique

$$Y = \log(X)$$

- Utile si la moyenne est proportionnelle à l'écart-type (la plupart des temps de réaction).
 - Voir article de Wagenmakers, mais aussi Madelain
- Attention le log n'est pas défini pour les valeurs nulles et négatives

Racine carrée

$$Y = \sqrt{X}$$

- Utile si la moyenne est proportionnelle à l'écart-type à la variance
 - Nombre d'occurrences d'un phénomène (loi de poisson sous-jacente)
- Non défini pour les valeurs strictement négative
- Variantes : $Y = \sqrt{X + 0.5}$
 $Y = \sqrt{X} + \sqrt{X + 1}$

Réciproque

$$Y = \frac{1}{X}$$

- Distribution asymétrique avec beaucoup de valeurs dans la partie supérieure de la distribution

Arc sinus

$$Y = \arcsin(X)$$

- Principalement lorsque la variable est une proportion dont la loi sous-jacente serait une binomiale. (la variance est une fonction de la moyenne – relation analytique)

Echantillons tronqués - échantillons winsorisés

– Tronqués :

- suppression d'un pourcentage de données extrêmes.
- suppression selon un critère type note Z (2 ou 3 écart-types). Si données normales, 2 écart-type correspond à environ 5%.

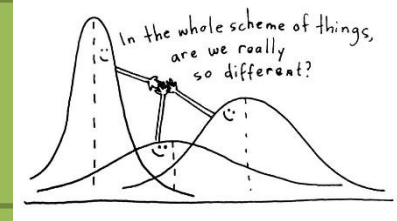
– Winsorisés

- On remplace les données supprimées par la dernière valeur non supprimées

Conditions d'application - les transformations

- Quelle transformation choisir ?
 - Tout  essayer jusqu'  obtenir un résultat  significatif.
 - Hypothèses à postériori !
 - Regarder
 - les valeurs extrêmes,
 - la relation entre moyenne et écart-type ou variance,
 - La distribution théorique sous-jacente

ANOVA – Exemple ?



- Tableau de l'ANOVA

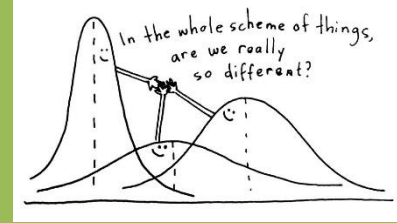
	SS	ddl	CM	F	p
Inter	700	4	175	5.46875	0.0011
Intra	1440	45	32		
Total	2140	49			

- Conclusion ?

- Ça marche $p \leq 0,05$
- $H_1 : \exists i, j \in \{1; 2; 3; 4; 5\} | \mu_i \neq \mu_j$
- Le contexte de rappel affecte les performances de rappel

Est-ce intéressant ?

ANOVA – Quelle est la question ?



- Quelle est l'hypothèse nulle ?

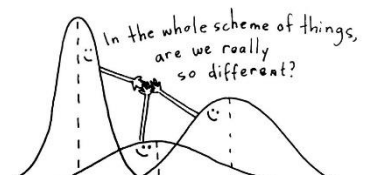
$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

- Quelle est l'hypothèse alternative ?

$$\exists i, j \in \{1; 2; 3\} | \mu_i \neq \mu_j$$

- Est-ce intéressant ?

ANOVA – Quelle est la question ?



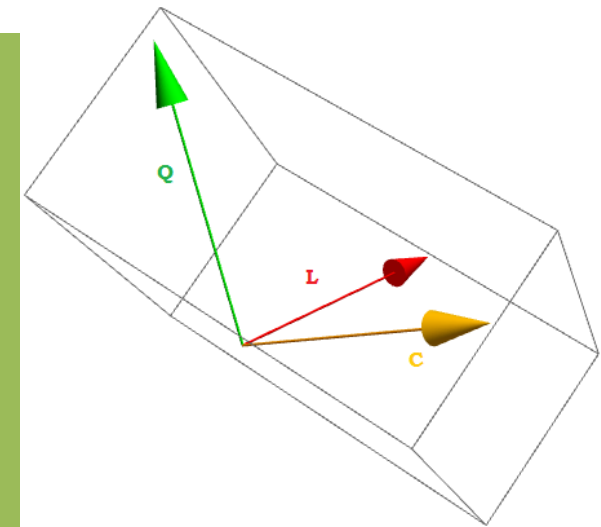
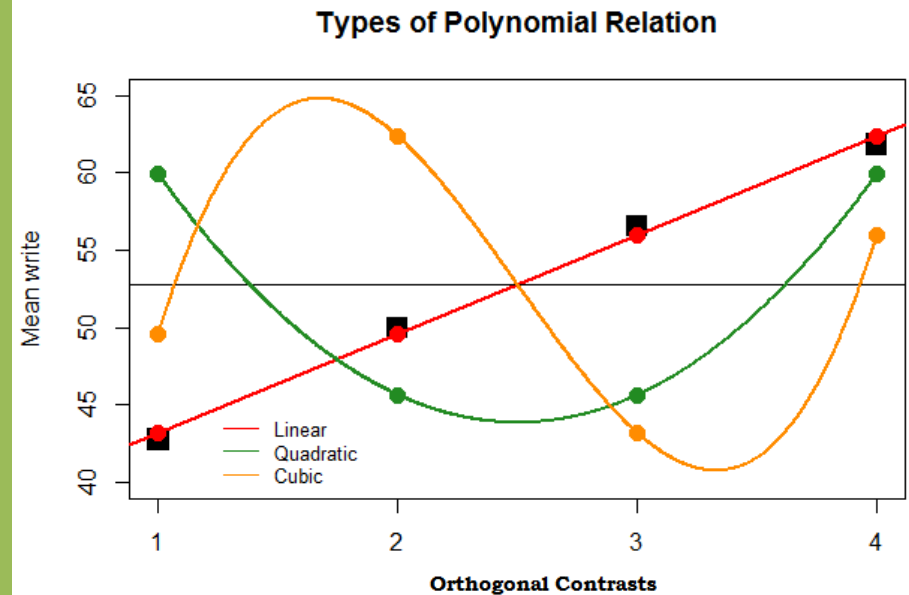
- Est-ce intéressant ?

In Neil Salkind (Ed.), *Encyclopedia of Research Design*.
Thousand Oaks, CA: Sage. 2010

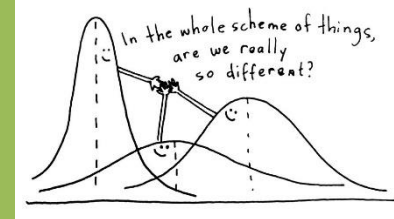
<http://www.utdallas.edu/~herve/abdi-contrasts2010-pretty.pdf>

Contrast Analysis

Hervé Abdi • Lynne J. Williams



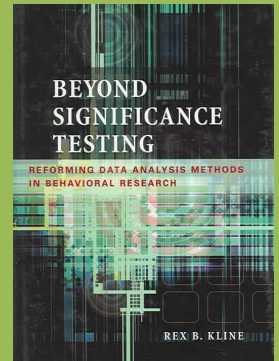
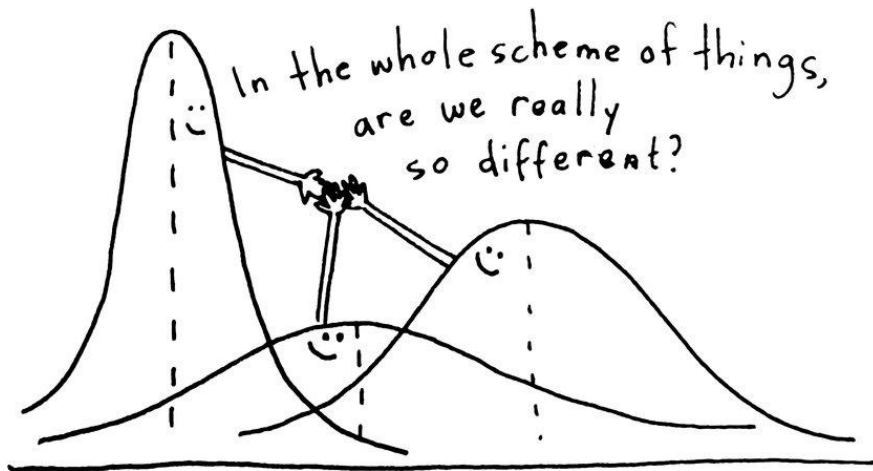
ANOVA – quelle est la vraie question ?



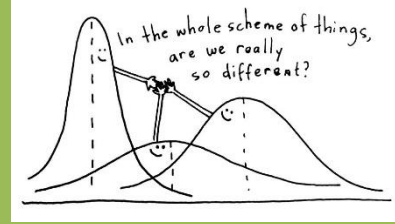
- Lien entre le contexte d'apprentissage et de rappel (Smith, 1979)
 - Apprentissage d'une liste de 80 mots dans un pièce peint en orange décorée de poster, de tableaux et d'équipements expérimentaux (*paraphernalia*)
 - Test immédiat
 - Puis test imprévu le lendemain selon l'une des 5 conditions
 1. Contexte identique
 2. Contexte différent
 3. Contexte imaginaire
 4. Contexte photographique
 5. Contexte placebo
1. *Hypothesis 1* : Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the same or is simulated by imaging or photography) will perform better than groups with a different or placebo contexts.
 2. *Hypothesis 2* : The group with the same context will differ from the group with imaginary or photographed contexts.
 3. *Hypothesis 3* : The imaginary context group differs from the photographed context group.
 4. *Hypothesis 4* : The different context group differs from the placebo group.

Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- L'anova en dessin
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations intra
- Une hypothèse c'est un contraste
 - Les contrastes



ANOVA –la question est un contraste ?

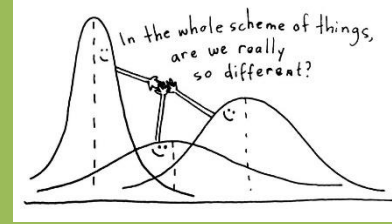


Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3

1. Hypothesis 1 :

1. Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

ANOVA – la question est un contraste ?



Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3

1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

Pourquoi ces valeurs ?

C'est simplement la différence entre 2 moyennes !

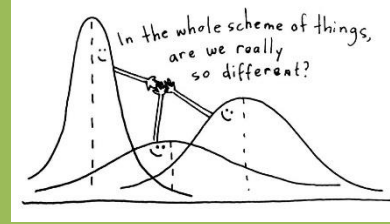
$$H_0 : \frac{Diff + Pla}{2} = \frac{Same + Imag + Pho}{3}$$

$$H_0 : 3 \times (Diff + Pla) = 2 \times (Same + Imag + Pho)$$

$$H_0 : 2 \times Same + 2 \times Imag + 2 \times Pho - 3 \times Diff - 3 \times Pla = 0$$

$$H_0 = \sum_j^k C_j \bar{Y}_j = L = 0$$

ANOVA – la question est un contraste ?



Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3

1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

Pourquoi cette formule ?

$$L = \sum_j^k C_j \bar{Y}_j$$

C'est simplement la différence entre 2 moyennes !

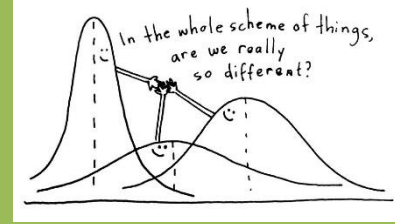
$$H_0 : \frac{Diff + Pla}{2} = \frac{Same + Imag + Pho}{3}$$

$$H_0 : 3 \times (Diff + Pla) = 2 \times (Same + Imag + Pho)$$

$$H_0 : 2 \times Same + 2 \times Imag + 2 \times Pho - 3 \times Diff - 3 \times Pla = 0$$

$$H_0 = \sum_j^k C_j \bar{Y}_j = L = 0$$

ANOVA – la question est un contraste ?



Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3

1. Hypothesis 1 :

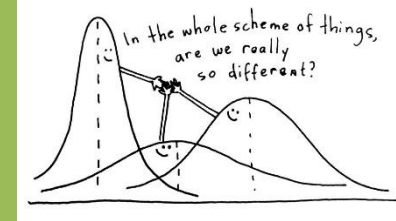
- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

$$SS_{\psi} = \frac{nL^2}{\sum_j^k C_j^2} \quad L = \sum_j^k C_j \bar{Y}_j$$

$$CM_{\psi} = \frac{SS_{\psi}}{df_{\psi}} = SS_{\psi} \quad df_{\psi} = 1$$

$$SS_{\psi} = \frac{L^2}{\sum_j^k (C_j^2 / n_j)} \quad \text{Tailles inégales}$$

ANOVA –la question est un contraste ?



1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imagery** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

$$L = \sum_j^k C_j \bar{Y}_j = 2 \times 18 - 3 \times 11 + 2 \times 17 + 2 \times 19 - 3 \times 10$$

$$SS_\psi = \frac{nL^2}{\sum_j^k C_j^2} = \frac{10 \times 45^2}{30} = 675$$

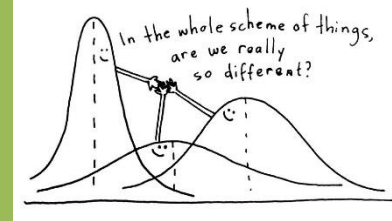
	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
C_j	2	-3	2	2	-3
$\bar{Y}_j$	18	11	17	19	10
$C_j \bar{Y}_j$	36	-33	34	38	-30
C_j^2	4	9	4	4	9

Σ

45

30

ANOVA –la question est un contraste ?



Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3

1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

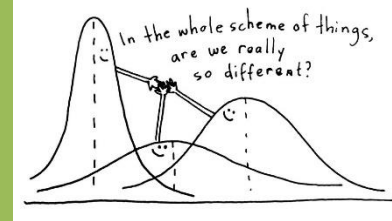
Source	df	SS	CM	F	p
inter	4	700	175	5,46875	0,0011
C1	1	675	675	21,09375	0,000
intra	45	1440	32		
Total	49	2140			

$$CM_{\psi} = 675$$

$$F = \frac{CM_{\psi}}{CM_{intra}} = \frac{675}{32} = 21.093$$

$$CM_{intra} = \frac{SS_{intra}}{df_{intra}} = 32$$

ANOVA –la question est un contraste ?



Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3

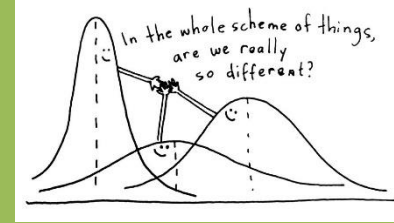
1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

Source	df	SS	CM	F	p
inter	4	700	175	5,46875	0,0011
C1	1	675	675	21,09375	<0,0001
intra	45	1440	32		
Total	49	2140			

$$F = \frac{CM_{\psi}}{CM_{intra}} = \frac{675}{32} = 21.093 \quad P[F(1; 45) \geq 21.1 | H_0] = 0,000035$$

ANOVA – la question est un contraste ?



Donnez les contrastes

1. Hypothesis 1 :

1. Group with the **same** context during learning will differ from the group with the **different** or **placebo** contexts.

2. Hypothesis 2 :

1. The group with the **same** context will differ from the group with the **imaginary** or **photographed** contexts.

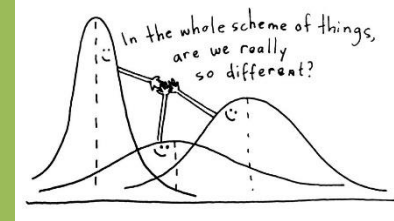
3. Hypothesis 3 :

1. The **imaginary** context group differs from the **photographed** context group.

4. Hypothesis 4 :

1. The **different** context group differs from the **placebo** group.

ANOVA –la question est un contraste ?



1. Hypothesis 1 :

1. Groups for which the context at test matches the context during learning (i.e., is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
C_u 1	2	-3	2	2	-3
2	2	0	-1	-1	0
3	0	0	1	-1	0
4	0	1	0	0	-1

2. Hypothesis 2 :

1. The group with the **same** context will differ from the group with **imaginary** or **photographed** contexts.

contrasts	$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj}$
1 x 2	0
1 x 3	0
1 x 4	0
2 x 3	0
2 x 4	0
3 x 4	0

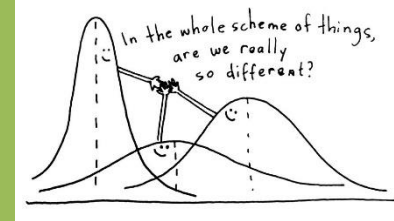
3. Hypothesis 3 :

1. The **imaginary** context group differs from the **photographed** context group.

4. Hypothesis 4 :

1. The **different** context group differs from the **placebo** group.

ANOVA –la question est un contraste ?



1. Hypothesis 1 :

1. Groups for which the context at test matches the context during learning (i.e., is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
C_u 1	2	-3	2	2	-3
2	2	0	-1	-1	0
3	0	0	1	-1	0
4	0	1	0	0	-1

2. Hypothesis 2 :

1. The group with the **same** context will differ from the group with **imaginary** or **photographed** contexts.

contrasts	$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj}$
1 x 2	0
1 x 3	0
1 x 4	0
2 x 3	0
2 x 4	0
3 x 4	0

3. Hypothesis 3 :

1. The **imaginary** context group differs from the **photographed** context group.

4. Hypothesis 4 :

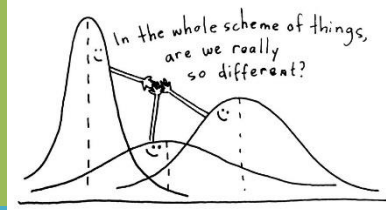
1. The **different** context group differs from the **placebo** group.

Contrastes encore

- 2×2

- 2×3

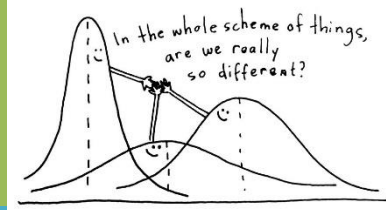
ANOVA – la question est un contraste ?



1. *Hypothesis 1:* Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.
2. *Hypothesis 2:* The group with the **same** context will differ from the group with **imaginary** or **photographed** contexts.
3. *Hypothesis 3:* The **imaginary** context group differs from the **photographed** context group.
4. *Hypothesis 4:* The **different** context group differs from the **placebo** group.

Source	df	SS	CM	F	p
inter	4	700	175	5,46875	0,0011
C1	1	675	675	21,09375	0,0000
C2	1	0	0	0	1,000
C3	1	20	20	0,625	0,433
C4	1	5	5	0,15625	0,695
intra	45	1440	32		
Total	49	2140			

ANOVA –la question est un contraste ?



1. *Hypothesis 1:* Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.
2. *Hypothesis 2:* The group with the **same** context will differ from the group with **imaginary** or **photographed** contexts.
3. *Hypothesis 3:* The **imaginary** context group differs from the **photographed** context group.
4. *Hypothesis 4:* The **different** context group differs from the **placebo** group.

Source	df	SS	CM	F	p
inter	4	700	175	5,46875	0,0011
C1	1	675	675	21,09375	0,0000
C2	1	0	0	0	1,000
C3	1	20	20	0,625	0,433
C4	1	5	5	0,15625	0,695
intra	45	1440	32		
Total	49	2140			

ANOVA – je peux poser autant de question que je veux ?

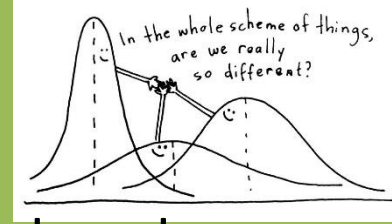
- Une question = 1 contraste

Source	df	SS
inter	4	700
C1	1	675
C2	1	0
C3	1	20
C4	1	5
intra	45	1440
Total	49	2140



- Je peux poser autant de questions qu'il me reste de degré de liberté sur mon effet.
 - Comme je décompose, la SC_{Totale} , je décompose l'effet (SC_{Inter}) en SC_{Ci} orthogonales.
 - Tous les contrastes doivent être orthogonaux entre eux (pour éviter les problèmes de redondance (variance partagée) entre les effets testés.

ANOVA – la question est un contraste ?

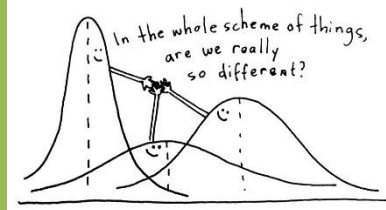


1. *Hypothesis 1:* Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.
2. *Hypothesis 2:* The group with the **same** context will differ from the group with **imaginary** or **photographed** contexts.
3. *Hypothesis 3:* The **imaginary** context group differs from the **photographed** context group.
4. *Hypothesis 4:* The **different** context group differs from the **placebo** group.

Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3
2	2	0	-1	-1	0
3	0	0	1	-1	0
4	0	1	0	0	-1

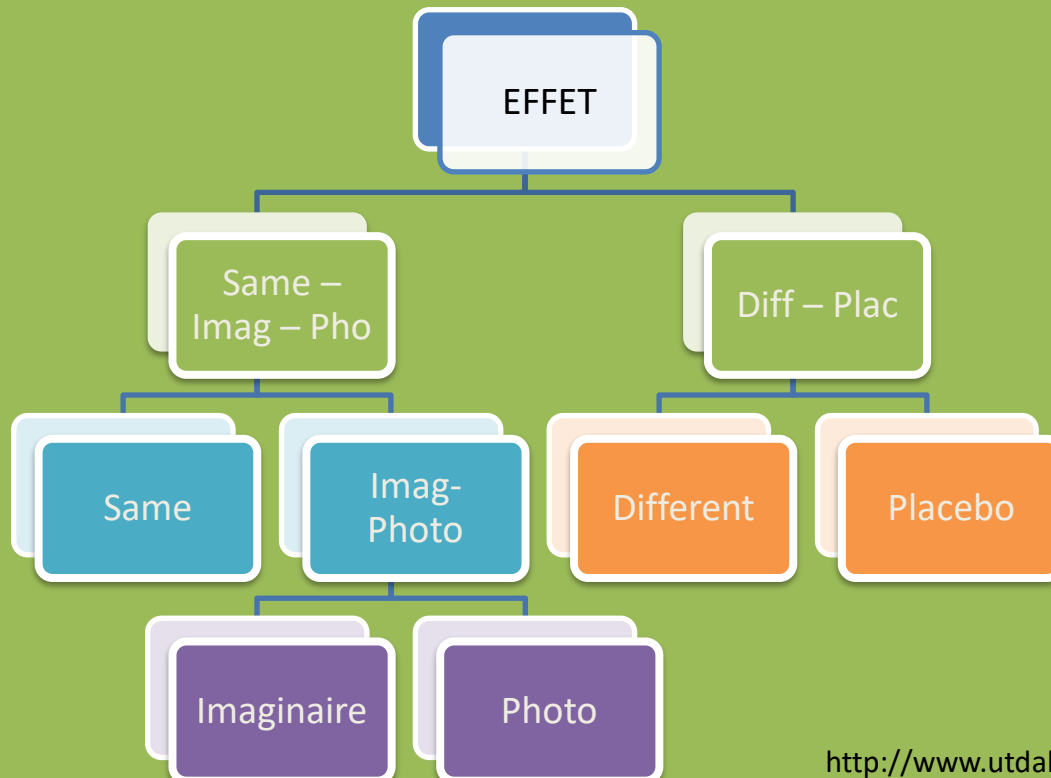
contrasts	$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj}$
1 x 2	0
1 x 3	0
1 x 4	0
2 x 3	0
2 x 4	0
3 x 4	0

ANOVA – la question est un contraste ?



Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3
2	2	0	-1	-1	0
3	0	0	1	-1	0
4	0	1	0	0	-1

contrasts	$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj}$
1 x 2	0
1 x 3	0
1 x 4	0
2 x 3	0
2 x 4	0
3 x 4	0



Je teste
l'orthogonalité 2 à
2 des contrastes
ou je vérifie avec
un arbre

ANOVA – je peux poser autant de question que je veux ?

- Une question = 1 contraste
 - Si mes questions ne sont pas orthogonales, mes contrastes ne sont pas orthogonaux.
 - Exemple : comparaisons de plusieurs groupes « expérimentaux » à un groupe témoin.

1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

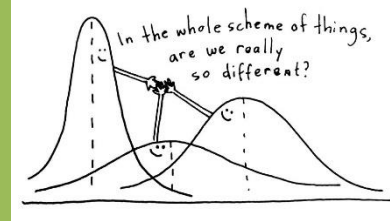
2. Hypothesis 2 :

- The group with real context perform better than group with imagined context

3. Hypothesis 3 :

- Group with any context will perform better than group with no context.

ANOVA – la question est un contraste ?



1. Hypothesis 1 :

Les degrés de liberté s'ajoutent

ing (i.e.,
better

2. Hypothesis 2 :

context

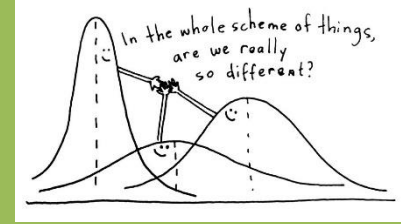
3. Hypothesis 3 :

xt.

Les somme des carrés ne s'ajoutent pas !

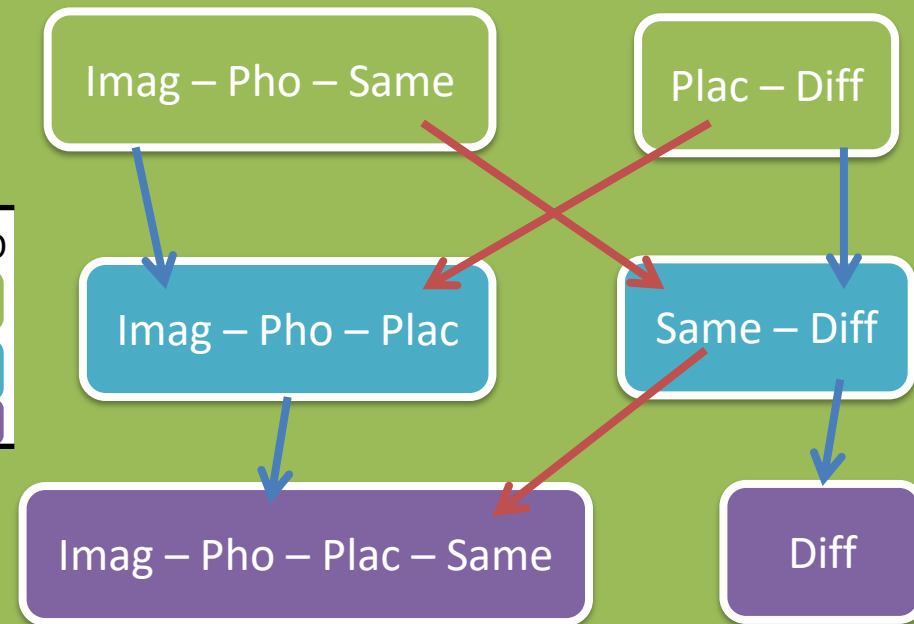
Source	df	SS	CM	F	p	η^2
inter	4	700	175	5,46875	0,0011	0,081633
C1	1	675	675	21,09375	0,000	
C2	1	8,33	8,33	0,260417	0,612	
C3	1	200	200	6,25	0,016	
intra	0	0	0			
Total	4	700				

ANOVA –la question est un contraste ?

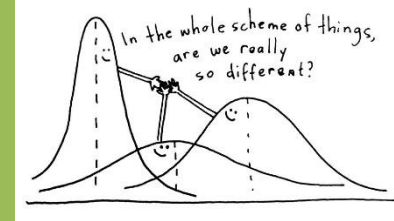


- Les degrés de liberté s'ajoutent : je n'ai pas posé trop de questions
- Les somme des carrés ne s'ajoutent pas : les contrastes ne sont pas orthogonaux. J'ai plus de variances dans mes questions que dans mon expériences !

Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3
2	3	3	-2	-2	-2
3	1	-4	1	1	1



ANOVA – la question est un contraste ?



1. Hypothesis 1 :

- Groups for which the context at test matches the context during learning (*i.e.*, is the **same** or is simulated by **imaging** or **photography**) will perform better than groups with a **different** or **placebo** contexts.

2. Hypothesis 2 :

- The group with real context perform better than group with imagined context

3. Hypothesis 3 :

- Group with any context will perform better than group with no context.

Hyp	SAME	DIFFERENT	IMAGERY	PHOTO	PLACEBO
1	2	-3	2	2	-3
2	3	3	-2	-2	-2
3	1	-4	1	1	1

contrasts	$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj}$
1 x 2	-5
1 x 3	15
2 x 3	-15

Pb des comparaisons multiples !

ANOVA - Synthèse

- Toute analyse est un ensemble de contrastes
 - Les tests omnibus ou ceux portant sur des effets simples avec + de 2 VI, ne sont pas intéressants et ne répondent en général pas à des questions que l'on se pose.
 - Ils utilisent un degré de liberté !
- Méthode
 - Poser chaque hypothèse sous forme de contraste (comparaison de modèle aussi)
 - Contrôler pour le nombre de questions
 - Contrôle pour l'orthogonalité des questions
 - Sinon, contrôler le seuil alpha – Comparaisons multiples



Plan

- Démarche expérimentale
 - Vocabulaire et méthode expérimentale
 - Approche intuitive de l'ANOVA
 - Le problème des comparaisons multiples
- Les problèmes
 - Trop de variables
 - Trop de modalités
 - Trop (ou pas) de questions
 - Les solutions
 - « Soft control »
 - Imagerie : Permutation, RFT et FDR
 - Comparaisons planifiées (à priori)
 - Comparaisons non planifiées (à posteriori)

JELLY BEANS CAUSE ACNE!

SCIENTISTS! INVESTIGATE!

BUT WE'RE PLAYING MINECRAFT! ... FINE.

WE FOUND NO LINK BETWEEN PURPLE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN BROWN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN PINK JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN BLUE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN TEAL JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN SALMON JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

RED JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

TURQUOISE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

MAGENTA JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

YELLOW JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN GREY JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN TAIN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN CYAN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND A LINK BETWEEN GREEN JELLY BEANS AND ACNE ($P < 0.05$).

WHOA!

WE FOUND NO LINK BETWEEN MAUVE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN BEIGE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN LILAC JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN BLACK JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN PEACH JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN ORANGE JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

WE FOUND NO LINK BETWEEN JELLY BEANS AND ACNE ($P > 0.05$).

THAT SETTLES THAT.

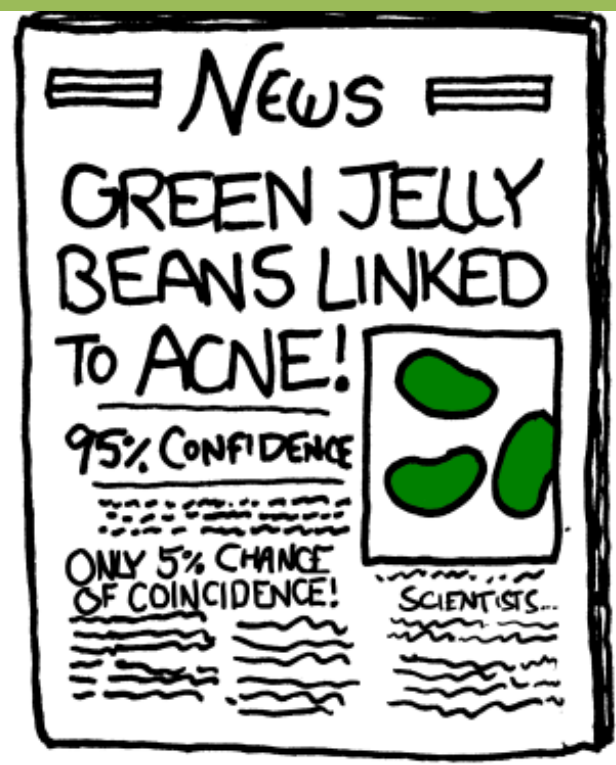
I HEAR IT'S ONLY A CERTAIN COLOR THAT CAUSES IT.

SCIENTISTS!

BUT MINECRAFT!

Hypothèse

Analyse exploratoire

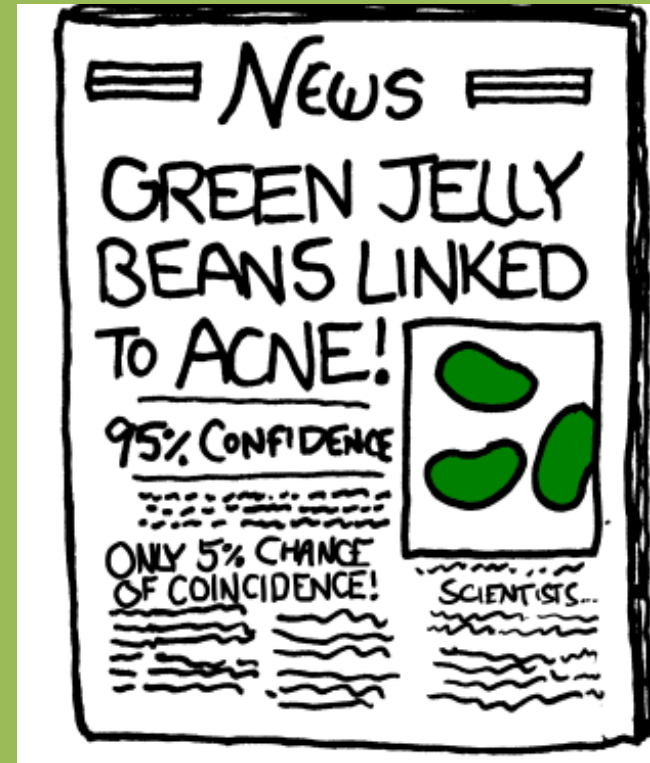


$$1 - (1 - \alpha)^{21} = 0,66$$

Comparaisons multiples

- Quel est le problème ?
- Pas d'hypothèses
- Test l'ensemble des possibles

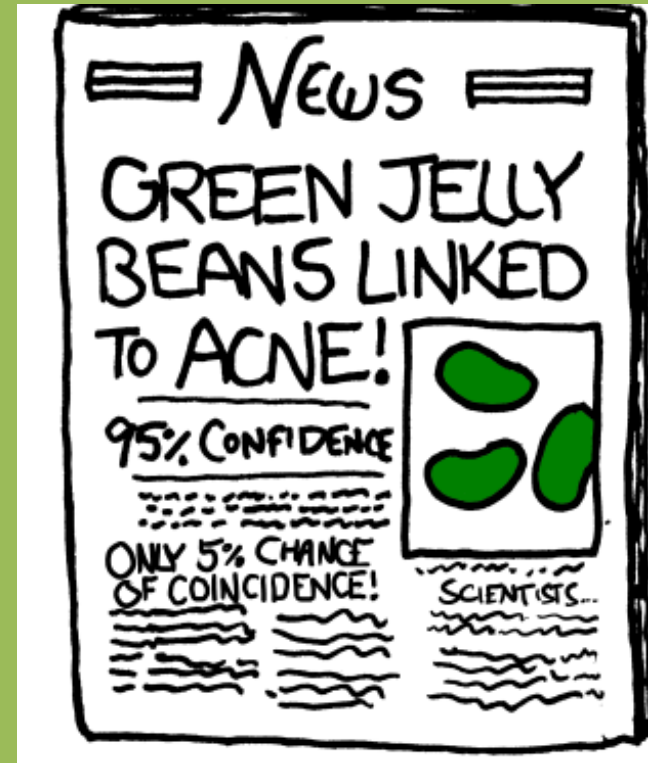
Quelle est la probabilité de trouver un effet ?



Comparaisons multiples

- Quel est le problème ?
- Pas d'hypothèses
- Test l'ensemble des possibles

Quelle est la probabilité de trouver un effet ?

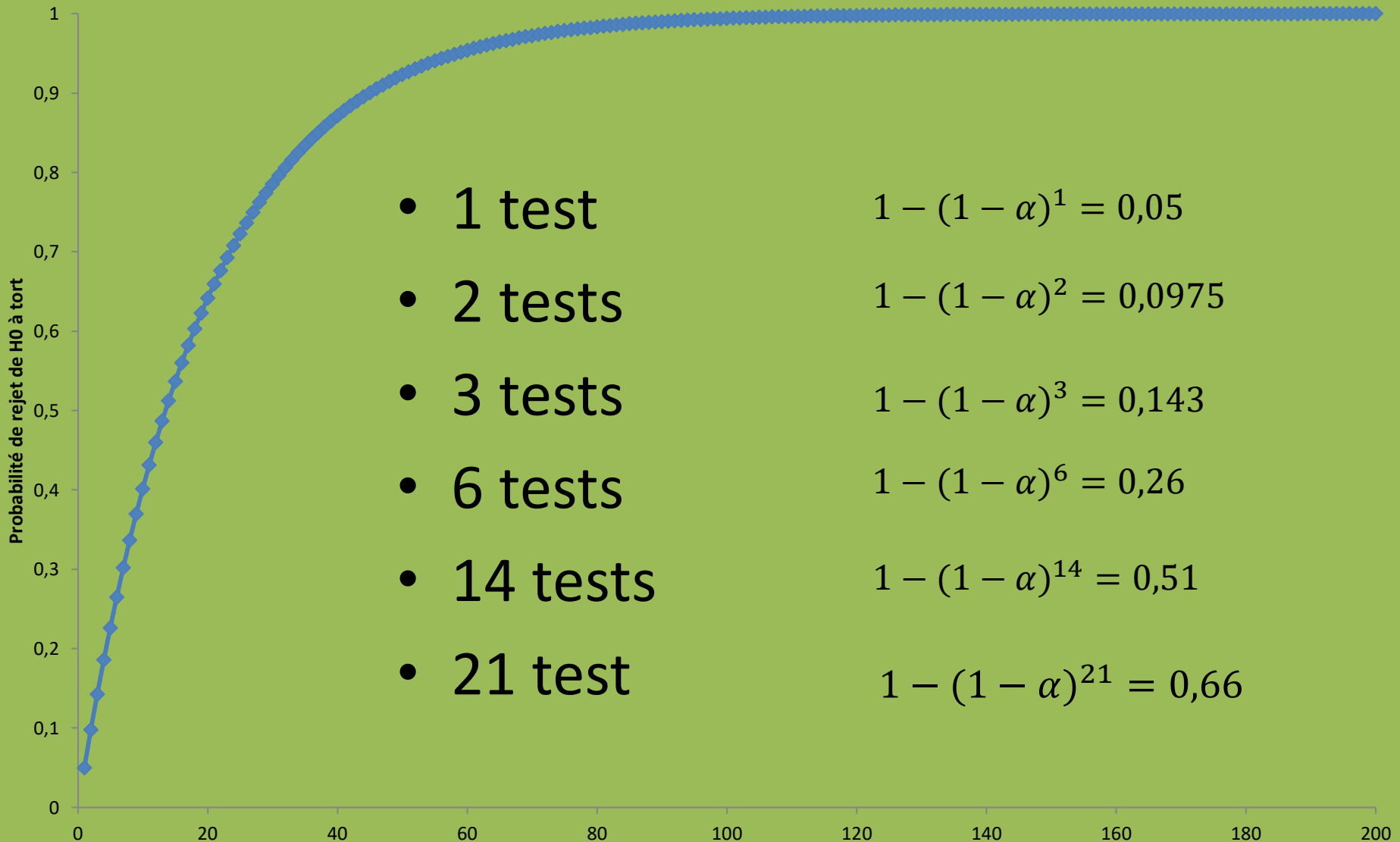


NHST

- Le complémentaire de α correspond au « risque » de ne pas se tromper en rejetant H_0 . C'est la probabilité de ne pas faire d'erreur de type I.
- $(1 - \alpha)^c$ est la probabilité de ne pas faire d'erreur lors de c tests sur les mêmes données et le risque d'erreur est alors de $\alpha_{EW} = 1 - (1 - \alpha)^c$

A la main !

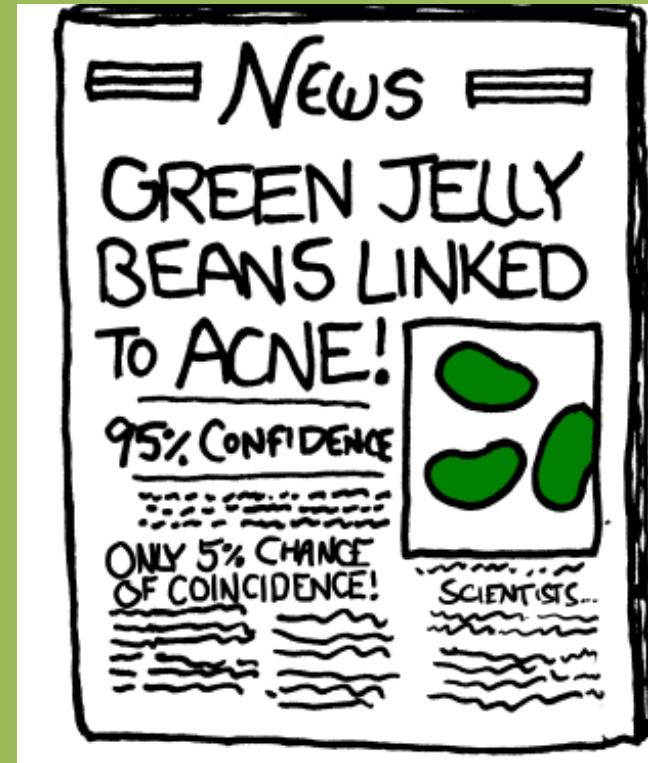
Tests multiples



Comparaisons multiples

- Quel est le problème ?
- Pas d'hypothèses
- Test l'ensemble des possibles

$$1 - (1 - \alpha)^{21} = 0,66$$

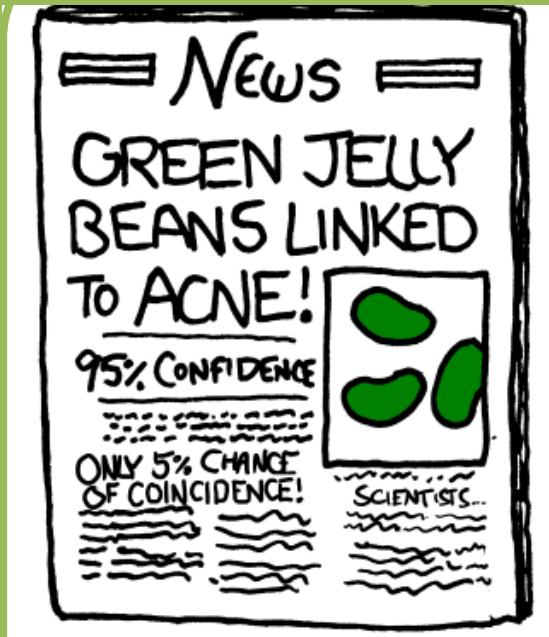


Plan

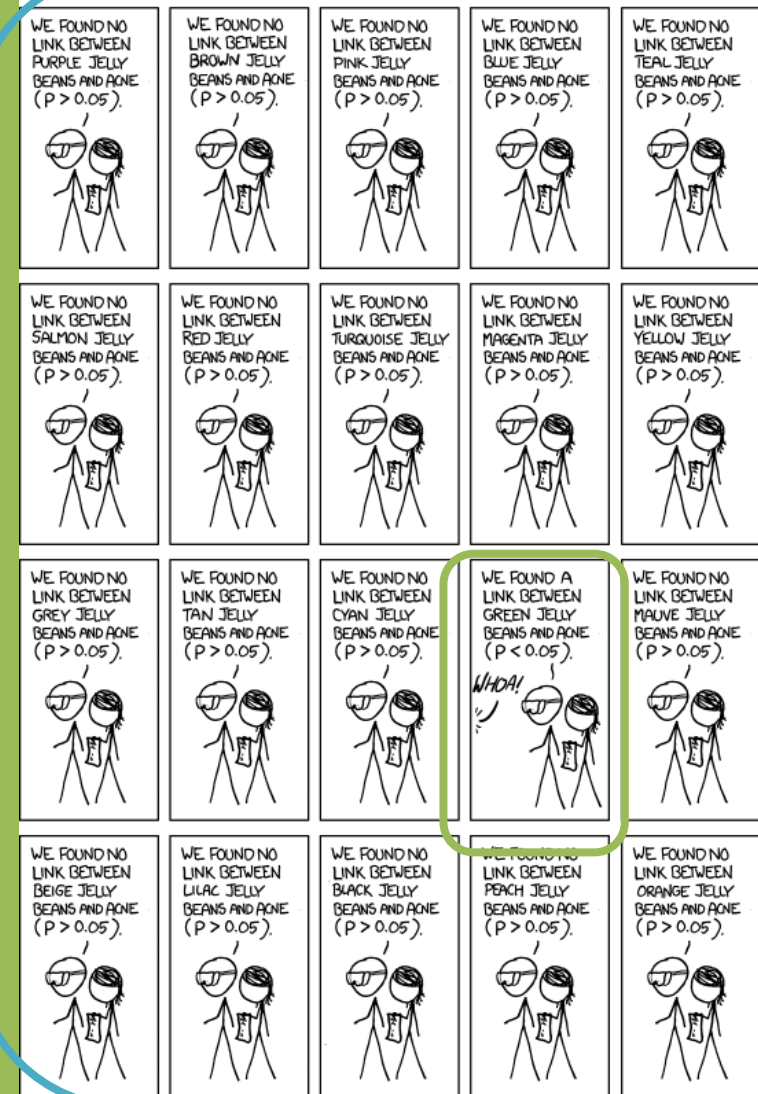
- Démarche expérimentale
 - Vocabulaire et méthode expérimentale
 - Approche intuitive de l'ANOVA
 - Le problème des comparaisons multiples
 - Les problèmes
 - Trop de variables
 - Trop de modalités
 - Trop (ou pas) de questions
 - Les solutions
 - Soft control
 - Imagerie : Permutation, RFT et FDR
- Comparaisons planifiées
 - (à priori)
 - Comparaisons non planifiées
 - (à posteriori)

Comparaisons multiples - Solutions

- Pourquoi une différence entre comparaison planifiée et non planifiée ?



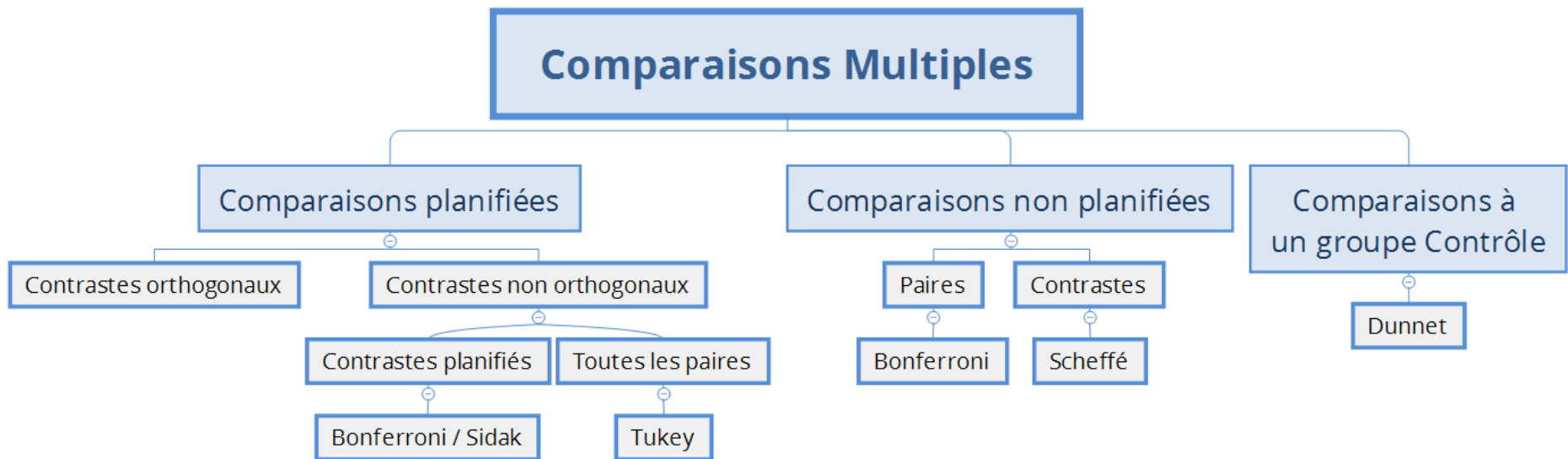
Planifiée (ok)



Non planifiée (pas ok)

Méthode

- Comparaisons planifiées vs non planifiées ?
 - Pour des comparaisons non planifiées, on suppose que toutes les différences ont été « observées » et seules les comparaisons pertinentes sont conservées.



Comparaisons multiples - Solutions

- Pourquoi une différence entre comparaison orthogonales et non orthogonales ?

Planifiée (ok)

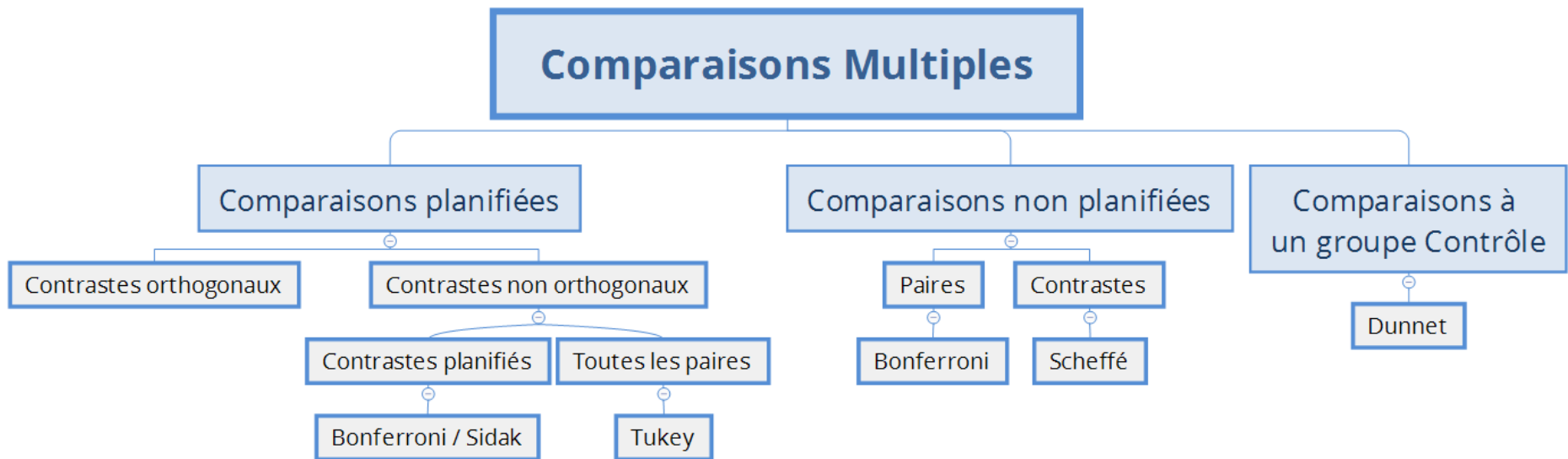
Source	df	SS	CM	F	p
inter	4	700	175	5,46875	0,0011
C1	1	675	675	21,09375	0,0000
C2	1	0	0	0	1,000
C3	1	20	20	0,625	0,433
C4	1	5	5	0,15625	0,695
intra	45	1440	32		
Total	49	2140			

Source	df	SS	CM	F	p
inter	4	700	175	5,46875	0,0011
C1	1	675	675	21,09375	0,000
C2	1	8,33	8,33	0,260417	0,612
C3	1	200	200	6,25	0,016
intra	0	0	0		
Total	4	700			

Non planifiée (pas ok)

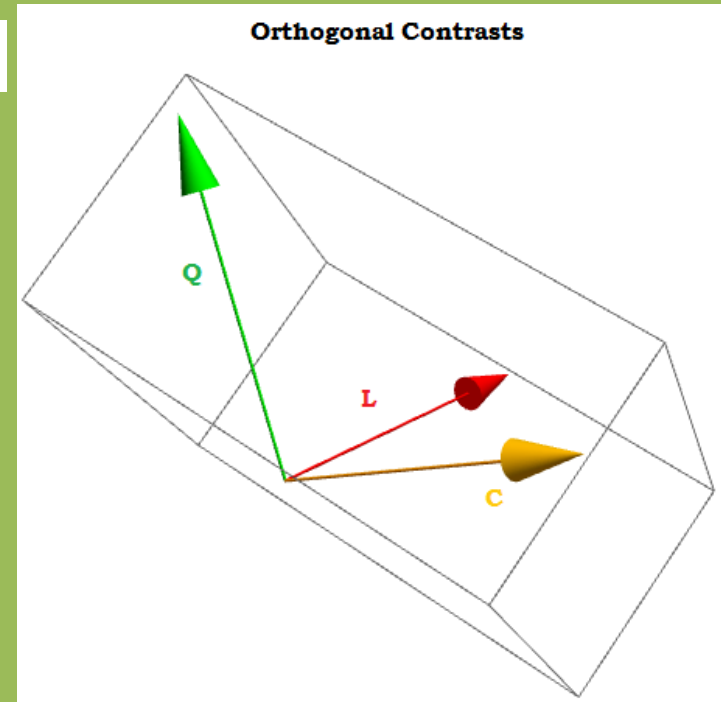
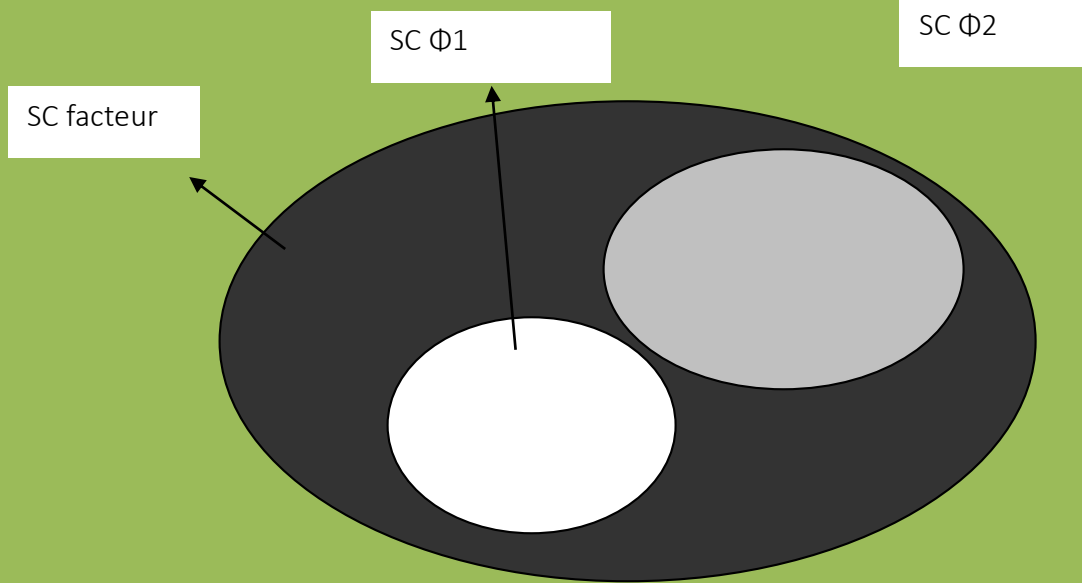
Méthode

- Comparaisons planifiées vs non planifiées ?
 - Pour des comparaisons non planifiées, on suppose que toutes les différences ont été « observées » et seules les comparaisons pertinentes sont conservées.



Comparaisons multiples – orthogonaux ?

- Orthogonalité des contrastes ?
 - Deux contrastes sont dits orthogonaux s'ils expliquent des parts différentes de la variabilité du facteur



$$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj} = 0$$

Pour un facteur à k modalités on peut trouver au maximum (k-1) contrastes orthogonaux.

Méthode - contrastes orthogonaux

- Correction pour des comparaisons planifiées par contrastes orthogonaux
 - Probabilité d'une erreur de type I : $\alpha = P(RH_0 | H_0 \text{ vraie})$
- Si les contrastes sont orthogonaux et les comparaisons planifiées alors la variance totale est décomposée par les contrastes.
 - Pas besoin de correction
 - Attention, les interactions, les effets simples et les effets principaux (Cours de D. Muller) sont aussi des contrastes !

ANOVA – je peux poser autant de question que je veux ?

- Une question = 1 contraste

Source	df	SS
inter	4	700
C1	1	675
C2	1	0
C3	1	20
C4	1	5
intra	45	1440
Total	49	2140



- Je peux poser autant de questions qu'il me reste de degré de liberté sur mon effet.
 - Comme je décompose, la SC_{Totale} , je décompose l'effet (SC_{Inter}) en SC_{Ci} orthogonales.
 - Tous les contrastes doivent être orthogonaux entre eux (pour éviter les problèmes de redondance (variance partagée) entre les effets testés).

Méthode - contrastes non orthogonaux

- Correction pour des comparaisons planifiées par contrastes non orthogonaux $\alpha = P(RH_0 | H_0 \text{ vraie})$

$$\alpha[PF] = 1(1 - \alpha[PC])^C$$

$$\sum_j^k C_{uj} \times C_{vj} \neq 0$$

- Correction

- Sidak $\alpha[PC] = 1(1 - \alpha[PF])^{1/C}$

- Bonferroni : $\alpha[PC] \approx \frac{\alpha[PF]}{C}$

$$\alpha[PC] = 1(1 - \alpha[PF])^{1/C} \geq \frac{\alpha[PF]}{C}$$

Méthode - contrastes non orthogonaux

- A posteriori

–

Attention perte de puissance ! Erreur de type II !

- Correction

– Sidak $\alpha[PC] = 1(1 - \alpha[PF])^{1/C}$

– Bonferroni : $\alpha[PC] \approx \frac{\alpha[PF]}{C}$

$$\alpha[PC] = 1(1 - \alpha[PF])^{1/C} \geq \frac{\alpha[PF]}{C}$$

Méthode - contrastes non orthogonaux

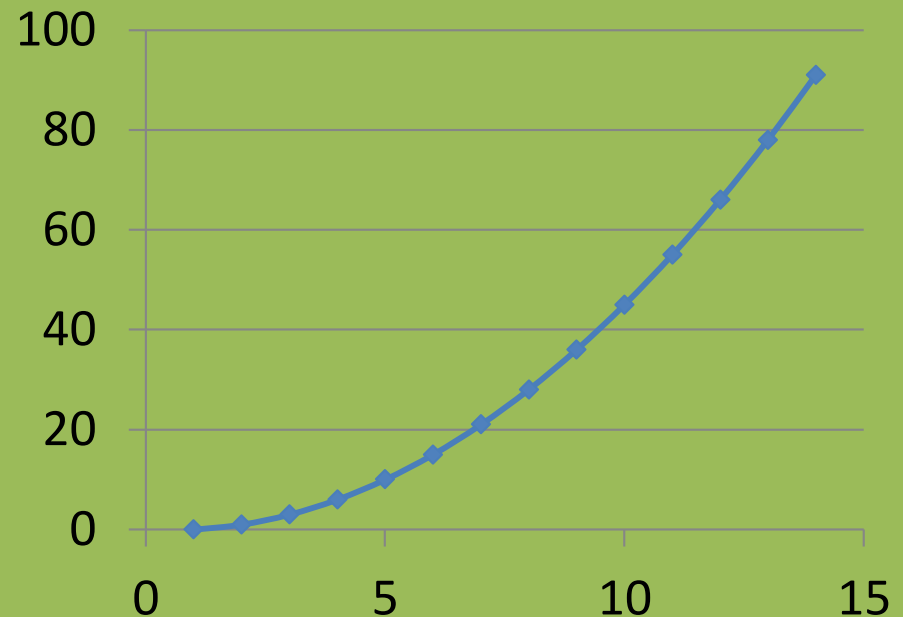
- Correction pour des comparaisons planifiées par contrastes non orthogonaux
 - Pour comparer toutes les moyennes 2 à 2
 - Tukey --> Attention les groupes doivent être équilibrés, sinon le test de Tukey n'est pas adéquat.
 - Le t de Tukey se calcule comme suit
- Et le t observé se compare à la valeur critique obtenue dans la table du Q de Tukey
 - Avec k le nombre de groupes et N la taille totale des échantillons

Orthogonaux = planifiées !

- Combien de comparaisons par paires ?
 - avec k moyennes, il est possibles de construire
 $c = 0.5k(k - 1)$ paires !

Un plan 3x3x3 -> 36 comparaisons

36 comparaisons = 84% de chances
d'avoir un test significatif.



Méthode - contrastes non orthogonaux

- Correction pour des comparaisons planifiées par contrastes non orthogonaux
 - Pour comparer toutes les moyennes 2 à 2
 - Tukey --> Attention les groupes doivent être équilibrés, sinon le test de Tukey n'est pas adéquat.
 - Le t de Tukey se calcule comme suit

$$t = \frac{|\bar{Y}_u - \bar{Y}_v|}{\sqrt{CM_{erreur} \left(\frac{1}{n_u} + \frac{1}{n_v} \right)}}$$

Procédure conservatrice

- Et le t observé se compare à la valeur critique obtenue dans la table du Q de Tukey $q_\alpha(k, N - k)$
 - Avec k le nombre de groupes et N la taille totale des échantillons

Méthode - contrastes non orthogonaux

- Correction pour des comparaisons planifiées par

TABLE: Q SCORES FOR TUKEY'S METHOD

$\alpha = 0.05$										$\alpha = 0.01$									
k df	2	3	4	5	6	7	8	9	10	k df	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18.0	27.0	32.8	37.1	40.4	43.1	45.4	47.4	49.1	1	90.0	135	164	186	202	216	227	237	246
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	2	13.90	19.02	22.56	25.37	27.76	29.86	31.73	33.41	34.93
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	3	8.26	10.62	12.17	13.32	14.24	15.00	15.65	16.21	16.71
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	4	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.54	11.92	12.26
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	5	5.70	6.98	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	7	4.95	5.92	6.54	7.00	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	8	4.75	5.64	6.20	6.62	6.96	7.24	7.47	7.68	7.86
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	9	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.33	7.49
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	10	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	11	4.39	5.15	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	12	4.32	5.05	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	13	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	14	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	15	4.17	4.84	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	16	4.13	4.79	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	17	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	18	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.08	6.20
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	19	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	20	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	24	3.96	4.55	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	30	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.54	5.65	5.76
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73	40	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.26	5.39	5.50	5.60
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	60	3.76	4.28	4.59	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45
120	2.80	3.36	3.68	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56	120	3.70	4.20	4.50	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.30
∞	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	∞	3.64	4.12	4.40	4.60	4.76	4.88	4.99	5.08	5.16

Méthode - contrastes non orthogonaux

- Correction pour des comparaisons planifiées par contrastes non orthogonaux
 - Pour comparer toutes les moyennes 2 à 2
 - Tukey --> Attention les groupes doivent être équilibrés, sinon le test de Tukey n'est pas adéquat.
 - Bonferroni --> aucune condition d'application pour utiliser une correction de Bonferroni, mais si les tests ne sont pas indépendants, la correction est trop forte et la puissance est trop faible.

$$\alpha[PC] = \frac{\alpha[PF]}{C} \text{ avec } C \text{ le nombre de comparaisons}$$

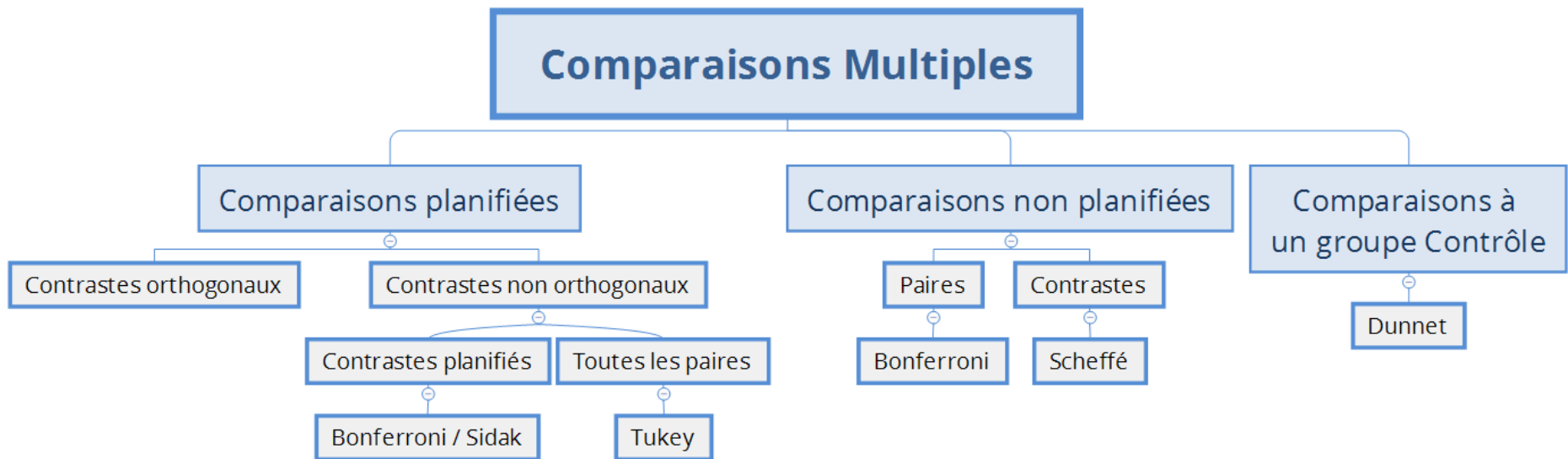
- Les améliorations du Bonferroni sont le test de Sidak (ou GT2).

Méthode - contrastes non orthogonaux

- Correction pour des comparaisons planifiées par contrastes non orthogonaux
 - Pour comparer toutes les moyennes 2 à 2
 - **Tukey** --> Attention les groupes doivent être équilibrés, sinon le test de Tukey n'est pas adéquat.
 - Bonferroni → aucune condition pour utiliser une correction de Bonferroni, mais si les tests ne sont pas indépendants la corrélation est trop forte et la puissance est trop faible.

Méthode

- Comparaisons planifiées vs non planifiées ?
 - Pour des comparaisons non planifiées, on suppose que toutes les différences ont été « observées » et seules les comparaisons pertinentes sont conservées.



Comparaisons multiples non planifiées

- Correction à *posteriori*
 - Test de Scheffé $F_{crit}(\text{Scheffé}) = (k - 1)F_{crit}$
 - Avec F_{crit} , le F critique du test omnibus et k le nombre de modalités
 - Ou $F_{\psi} \approx F(k - 1; \nu)$, le F calculé pour le contraste ψ est comparé à un F avec $k-1$ et ν ddl. ν étant le nombre de ddl de l'erreur.

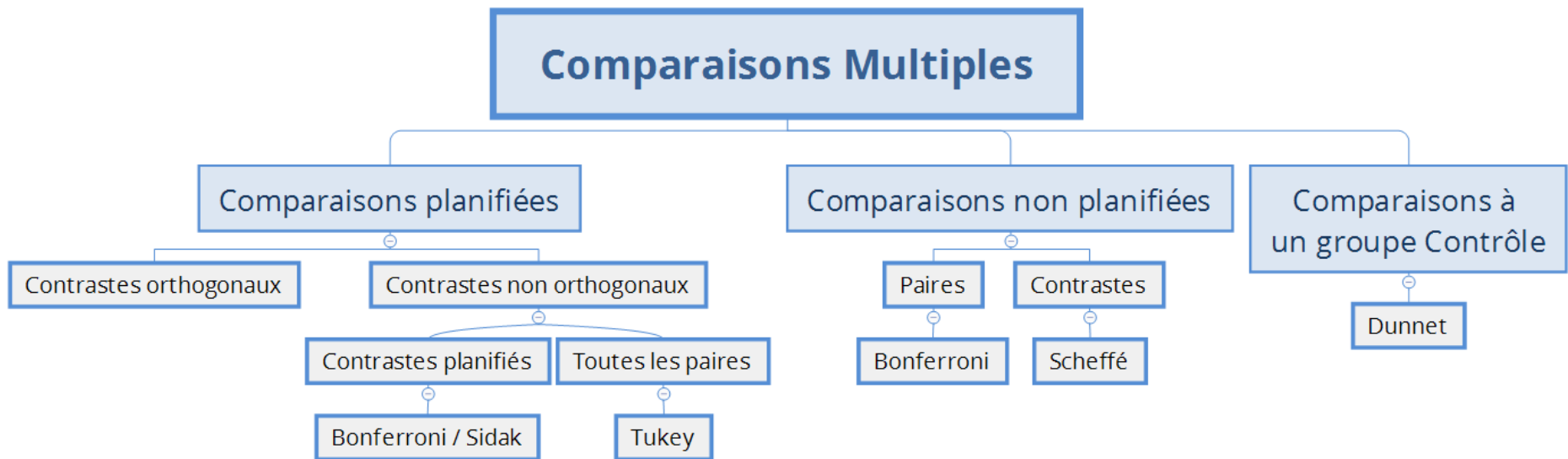
L'analyse de comparaisons non planifiées suppose que nous devons corriger pour toutes les comparaisons possibles.

Car nous n'analysons que les données qui ont l'air intéressantes.

Donc, toutes ont été « implicitement » observées.

Méthode

- Comparaisons planifiées vs non planifiées ?
 - Pour des comparaisons non planifiées, on suppose que toutes les différences ont été « observées » et seules les comparaisons pertinentes sont conservées.



Comparaisons multiples non planifiées

- Pour comparer les moyennes à un contrôle
 - Test de Dunnet
 - Test similaire au Tukey, mais
 - Un terme d'erreur adapté à la comparaison à un groupe contrôle
 - Une distribution sous H_0 spécifique

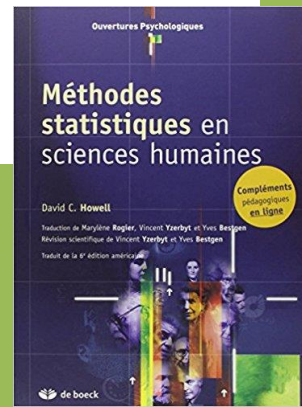
Concrètement

Test	Error Rate	Comparison	Type	A Priori/ Post Hoc
1. Individual t tests	PC	Pairwise	t	A priori
2. Linear contrasts	PC	Any contrasts	F	A priori
3. Bonferroni t	FW	Any contrasts	$t^{\dagger}$	
4.				
5.				
6.				
7.				
8. Tukey HSD	FW	Pairwise [§]	Range [†]	
9. Sheffé's test	FW	Any contrasts	$F^{\dagger}$	
10. Dunnett's test	FW	With control	$F^{\dagger}$	

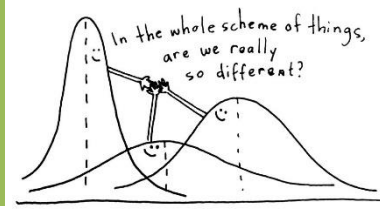
Procédures classiques

[†] Against complete null hypothesis

[‡] Modified



ANOVA – Effet/erreur

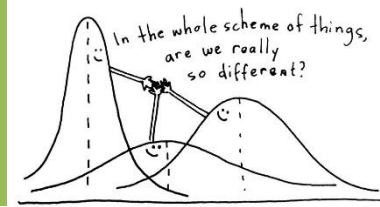


- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
- Quand vous comparez les moyennes vous comparez à la fois les différences de moyennes et les différences de variances

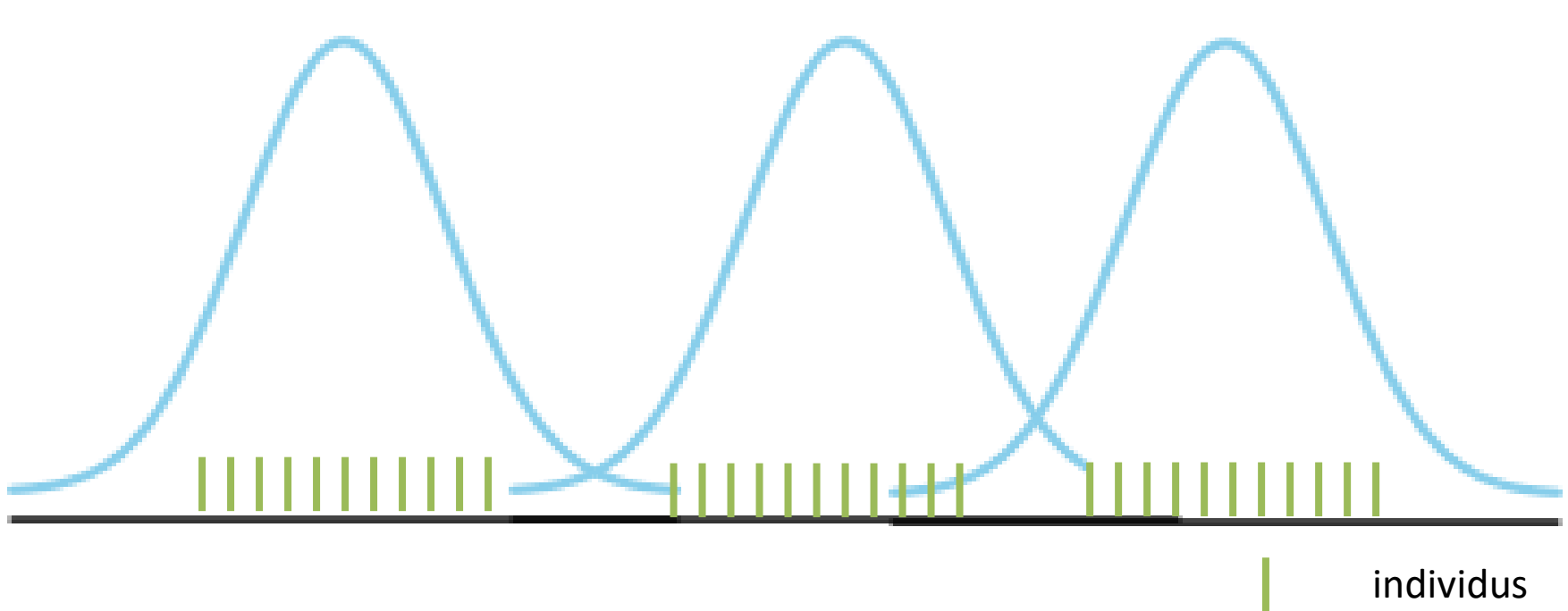
Comment estimer l'effet ?

Comment estimer l'erreur ?

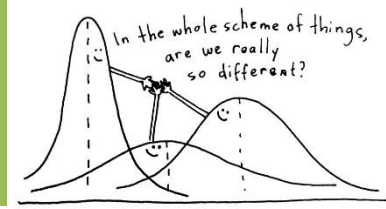
ANOVA – Effet/erreur



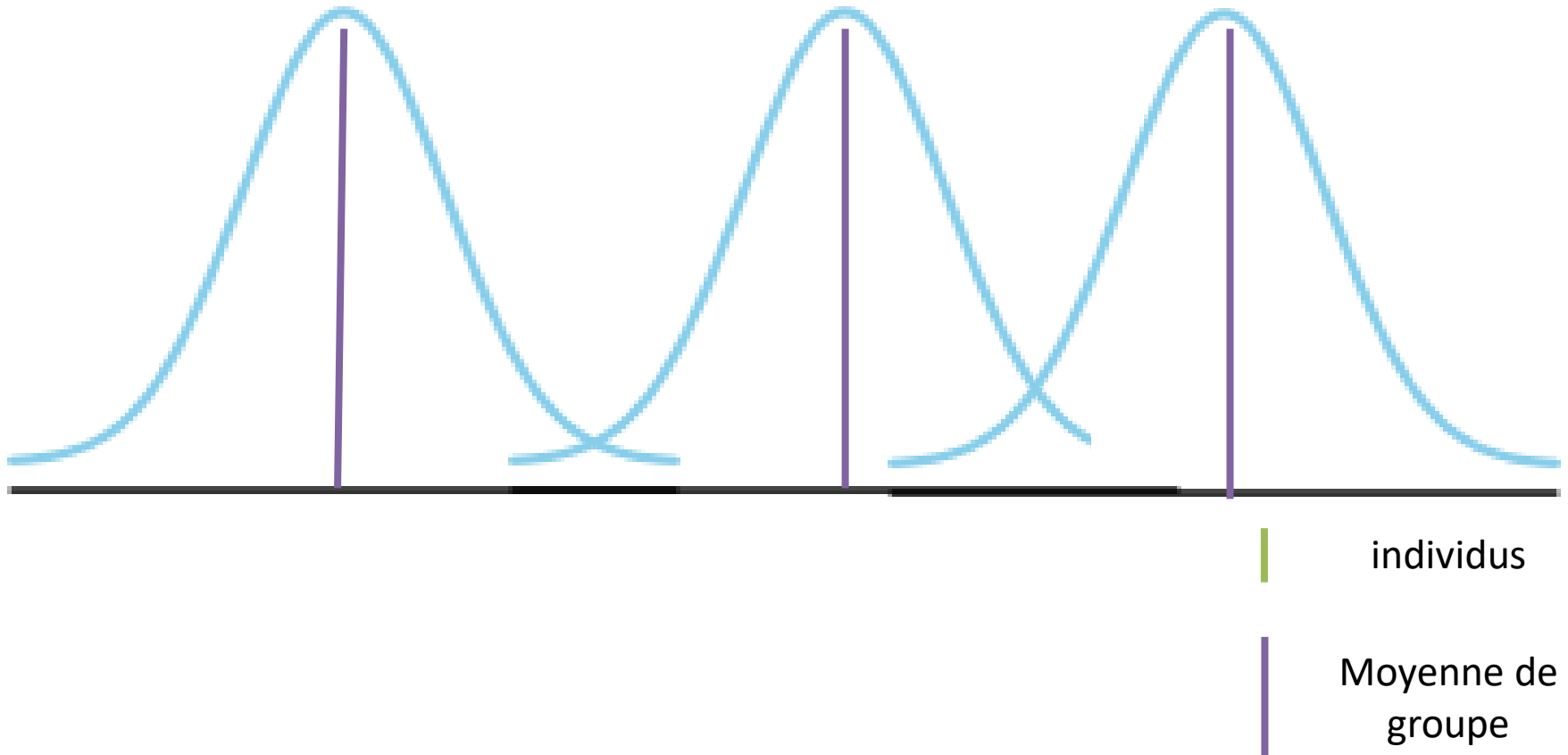
- Estimer l'erreur



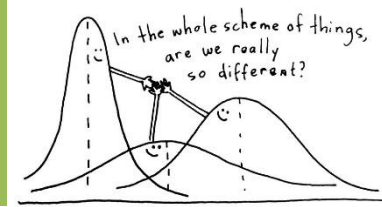
ANOVA – Effet/erreur



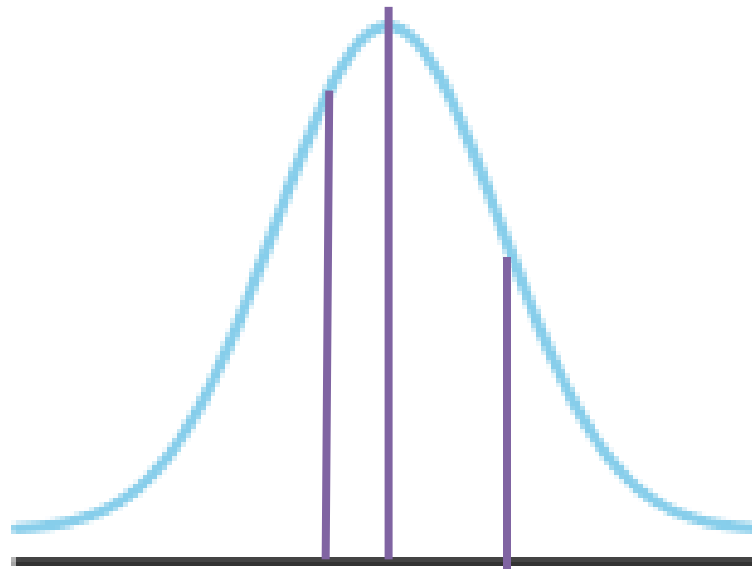
- Estimer l'effet



ANOVA – Effet/erreur



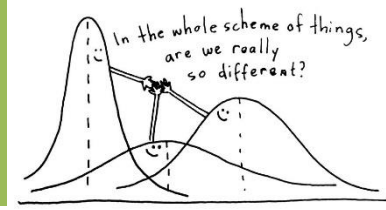
- Estimer l'effet ou pas
 - L'absence !



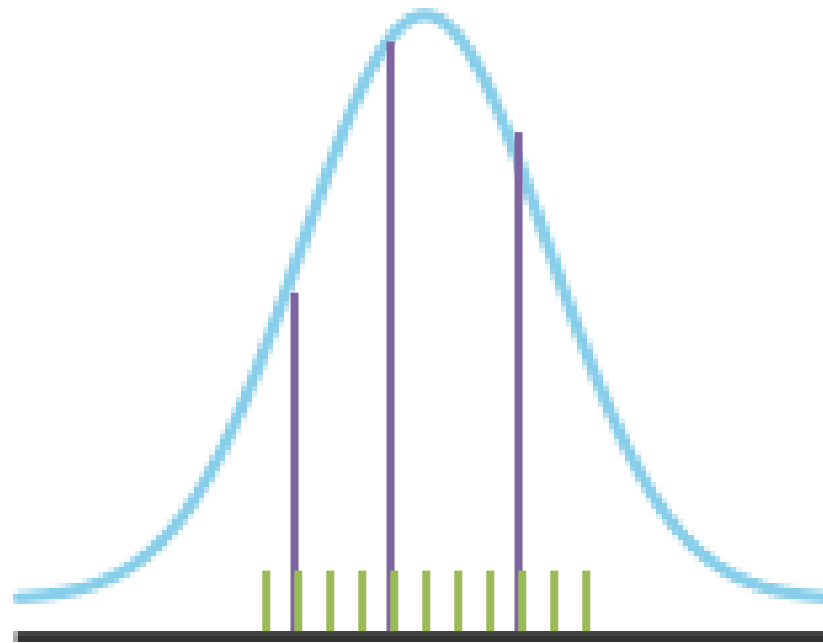
individus

Moyenne de
groupe

ANOVA – Effet/erreur



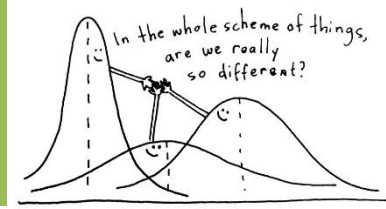
- Si pas d'effet, deux manières d'estimer l'erreur !



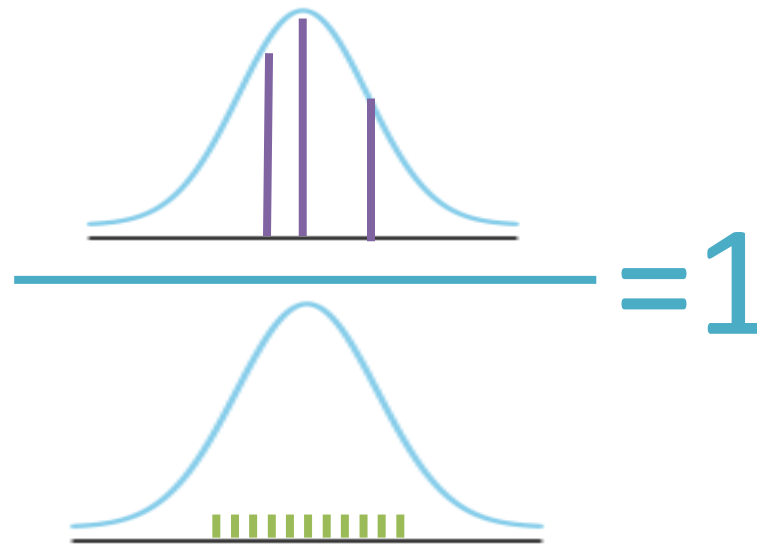
| individus

| Moyenne de
groupe

ANOVA – Effet/erreur



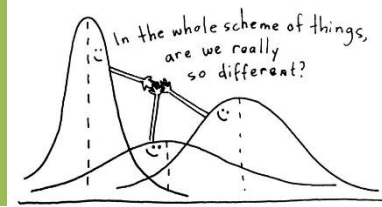
- Si pas d'effet, on peut les comparer



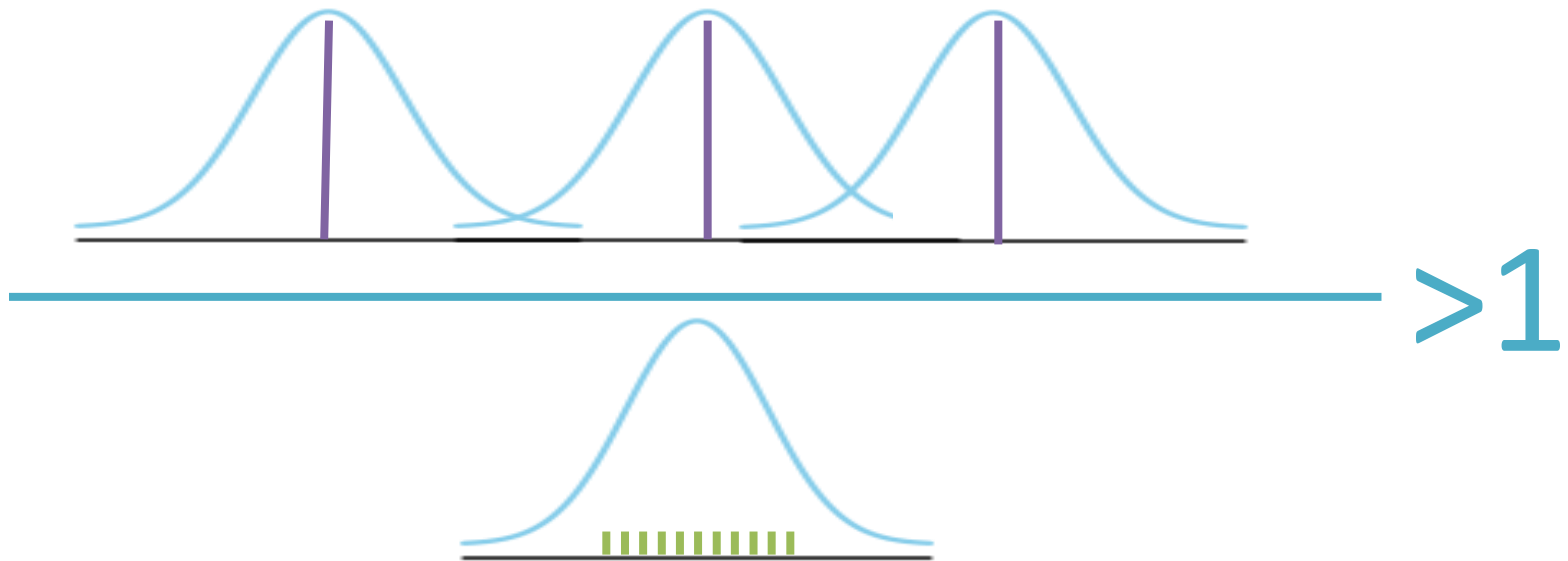
| individus

| Moyenne de
groupe

ANOVA – Effet/erreur



- Si un effet, on peut aussi les comparer



| individus

| Moyenne de
groupe

ANOVA – F

ANOVA: Analysis of Variance is

Variance Between + Variance Within

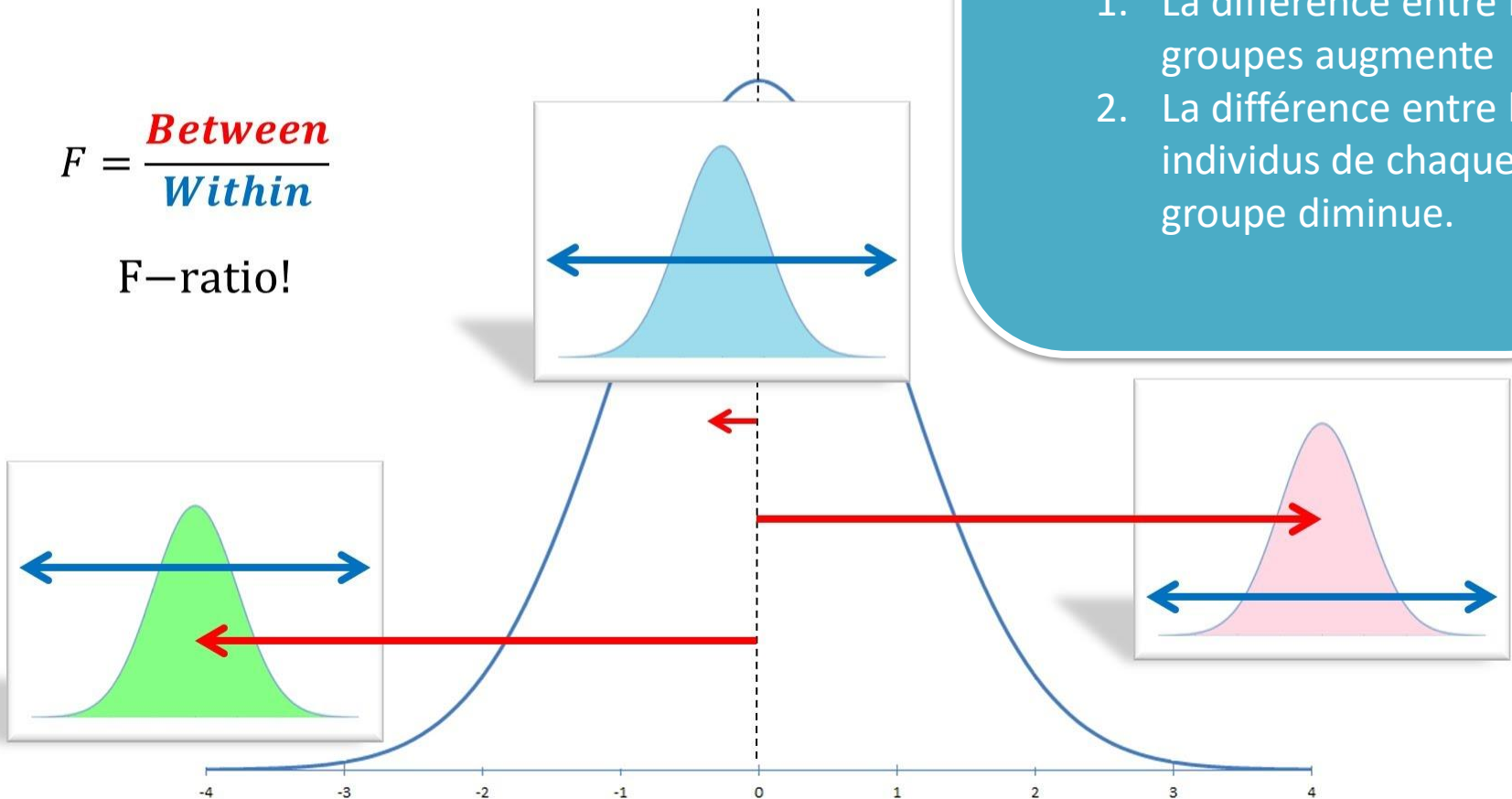
$$F = \frac{\text{Between}}{\text{Within}}$$

F-ratio!

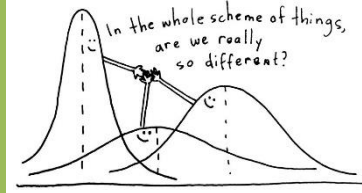
Le F est une statistique qui mesure la quantité de recouvrement entre les distributions.

F augmente si

1. La différence entre les groupes augmente
2. La différence entre les individus de chaque groupe diminue.



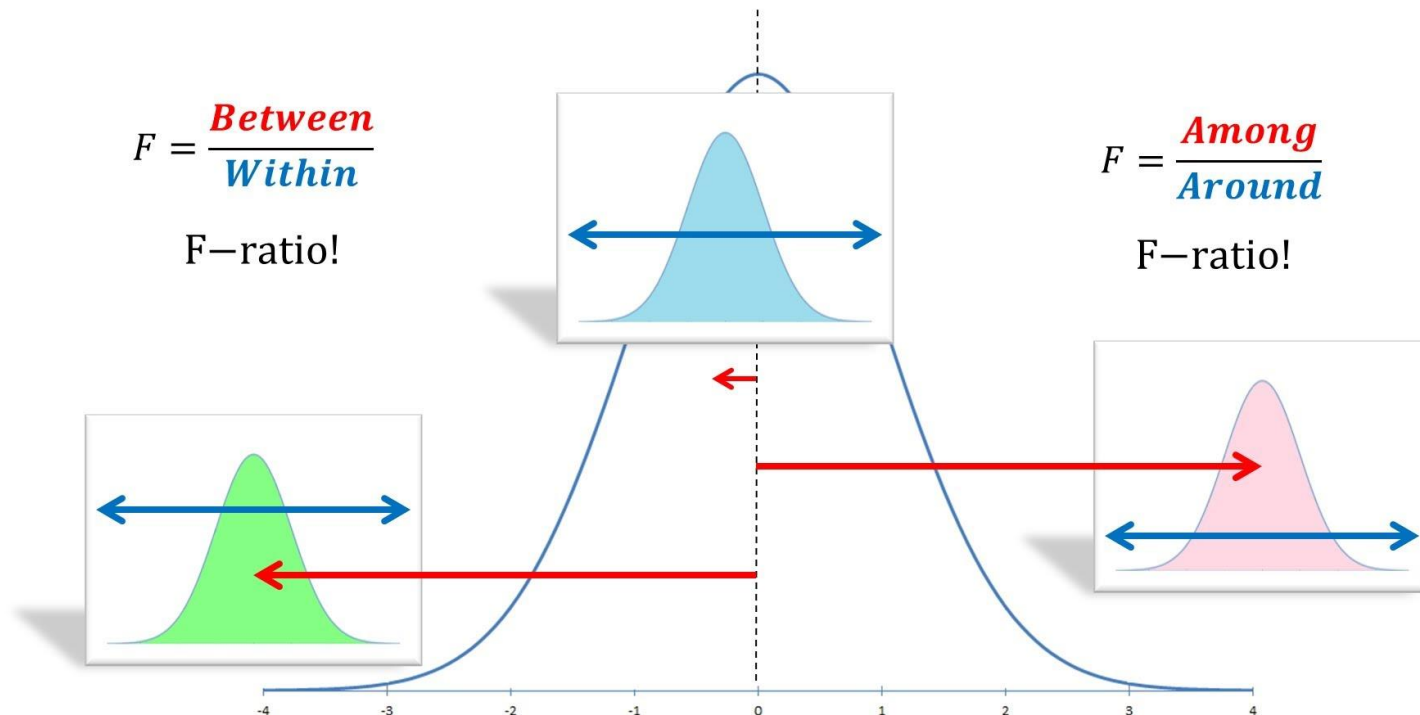
ANOVA



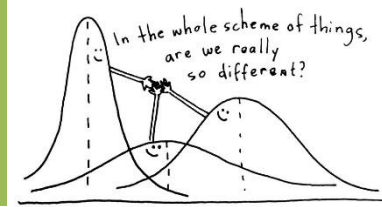
- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale (erreur de mesure, erreur d'échantillonnage, variabilité intra-individuelle, etc.)

ANOVA: Analysis of Variance is a *variability ratio*

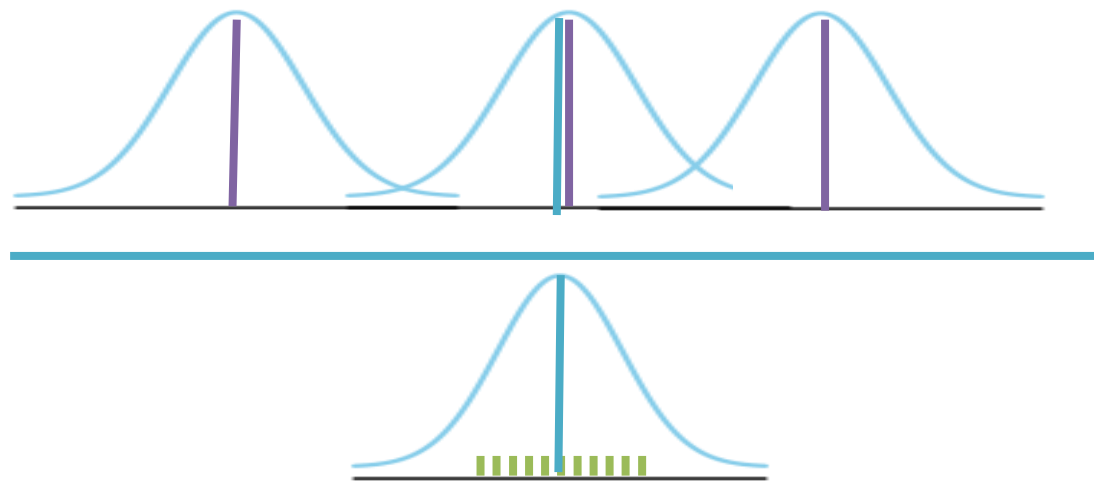
Variance Between + Variance Within = Total Variance



ANOVA – F, Effet et erreur



- Estimer l'effet c'est estimer la variance inter groupe et la variance intra groupes



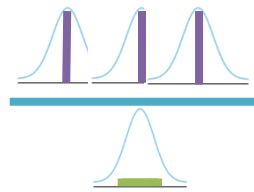
Y_{ij} individu i groupe s

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

$$\frac{\text{VAR}_{inter} \propto \sum_j^k (Y_{.j} - \bar{Y})^2}{\text{VAR}_{intra} \propto \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2} = F$$

ANOVA – la vraie formule



- Estimer l'effet c'est estimer la variance inter groupe et la variance intra groupes

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$df_{inter} = k - 1$$

$$CM_{inter} = \frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$$

$$F = \frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$$

$$CM_{intra} = \frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

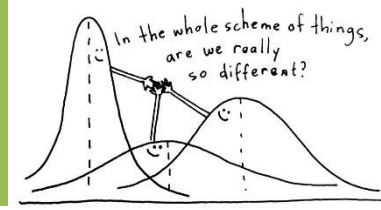
$$df_{intra} = k \times (n - 1) = N - k$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – Grand F



- $F > 1$!

- 1 c'est suffisant ?

- 2

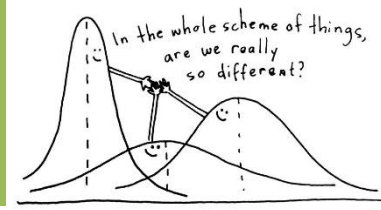
- 3

- 10

- 100

Un dessin : toutes les valeurs
possibles sous H_0

ANOVA – Grand F



- $F > 1$!

- 1 c'est suffisant ?

- 2

- 3

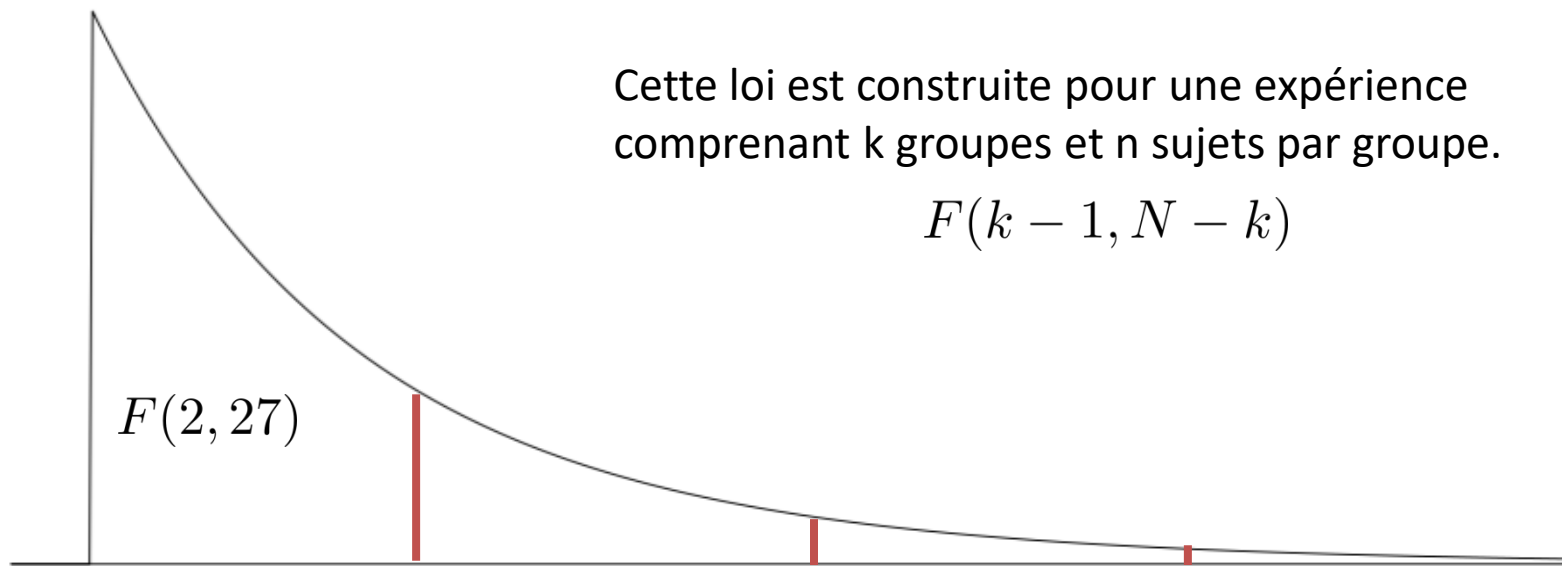
- 10

- 100

F est une variable aléatoire qui suit une loi de Fisher

Cette loi est construite pour une expérience comprenant k groupes et n sujets par groupe.

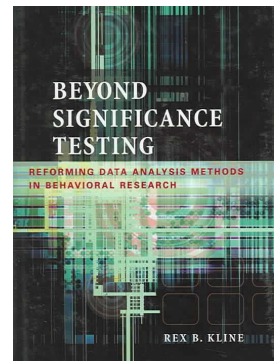
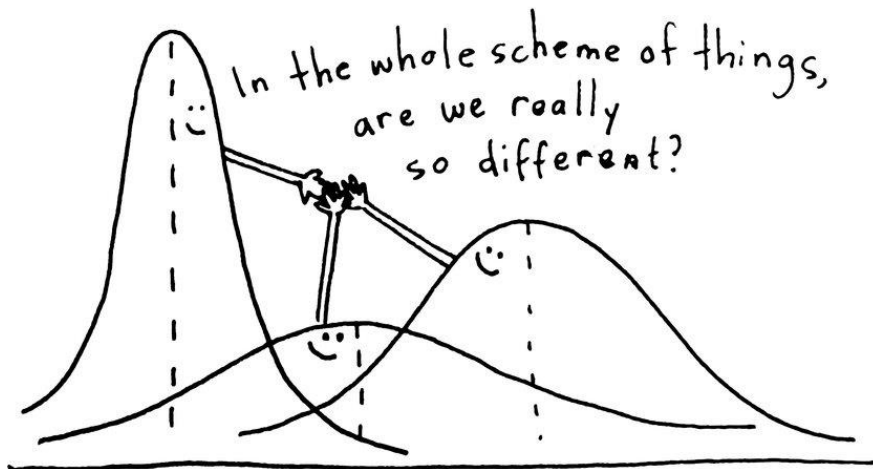
$$F(k - 1, N - k)$$



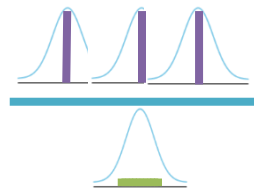
$F(2, 27)$

Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- L'anova en dessin
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations intra
- L'anova en formule
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations intra
- Une hypothèse c'est un contraste
 - Les contrastes



ANOVA – la vraie formule

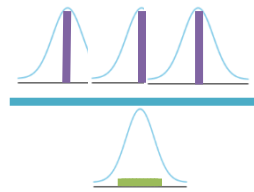


- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

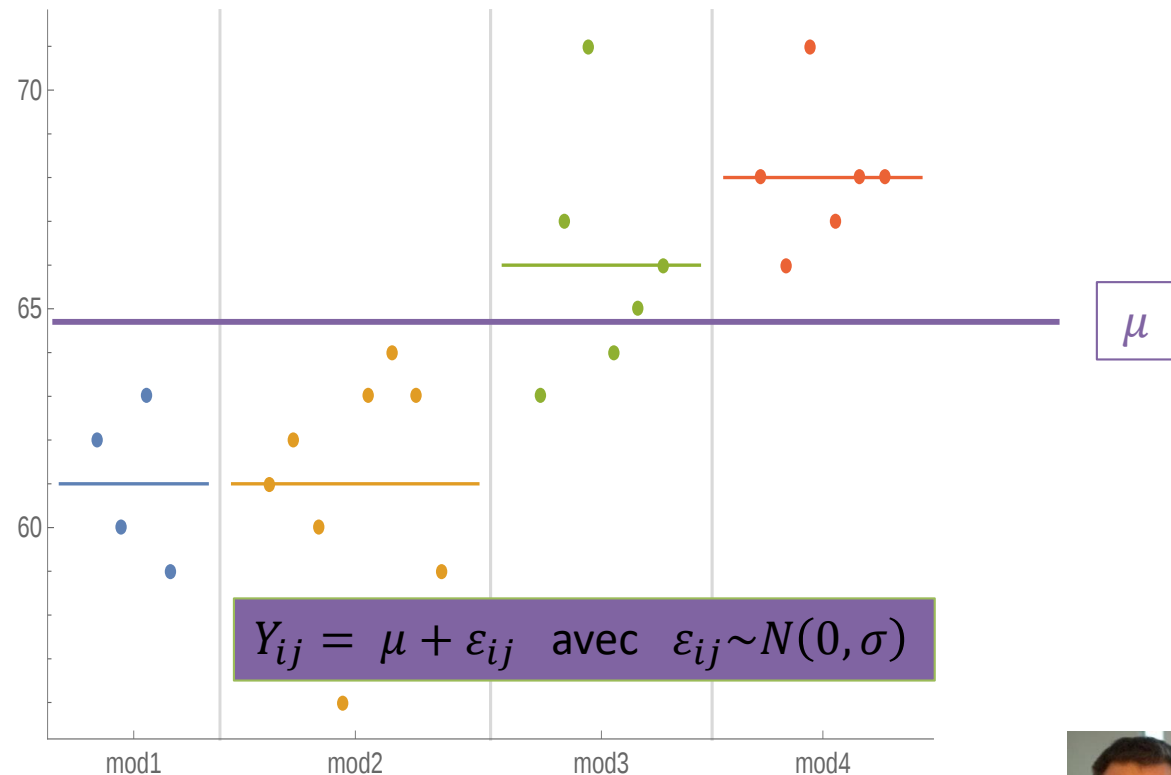
ANOVA - un modèle



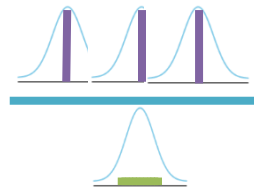
Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets

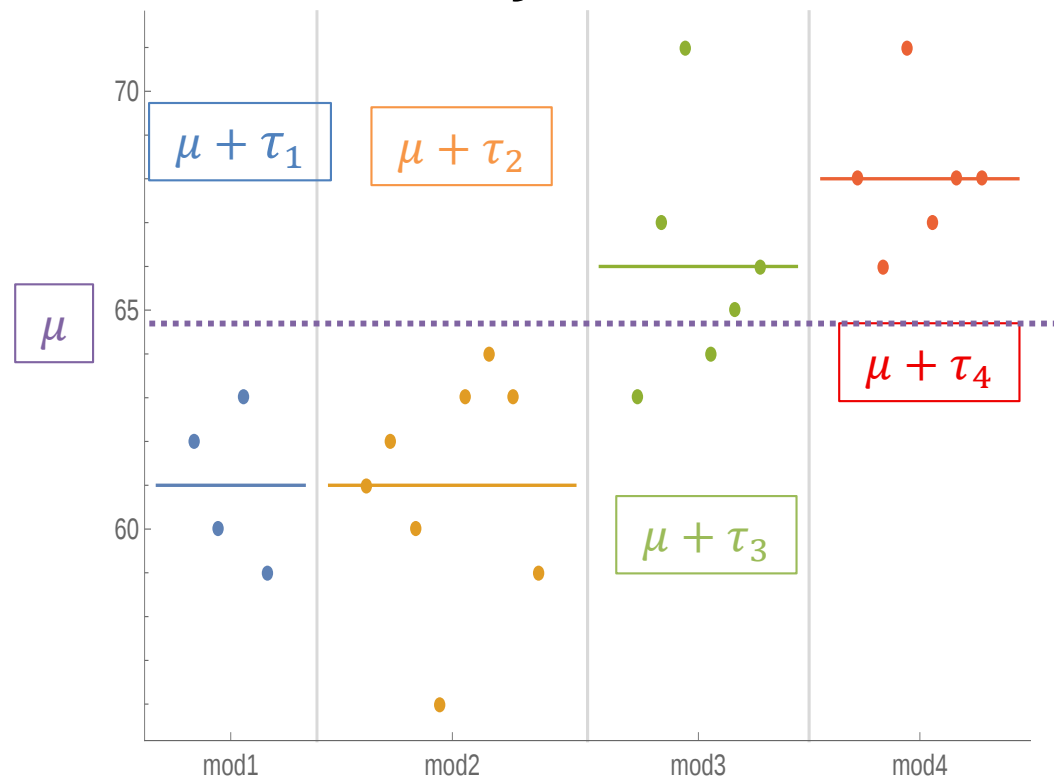


ANOVA - un modèle

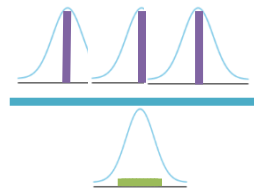


$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- Si maintenant je rajoute la VI
- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j

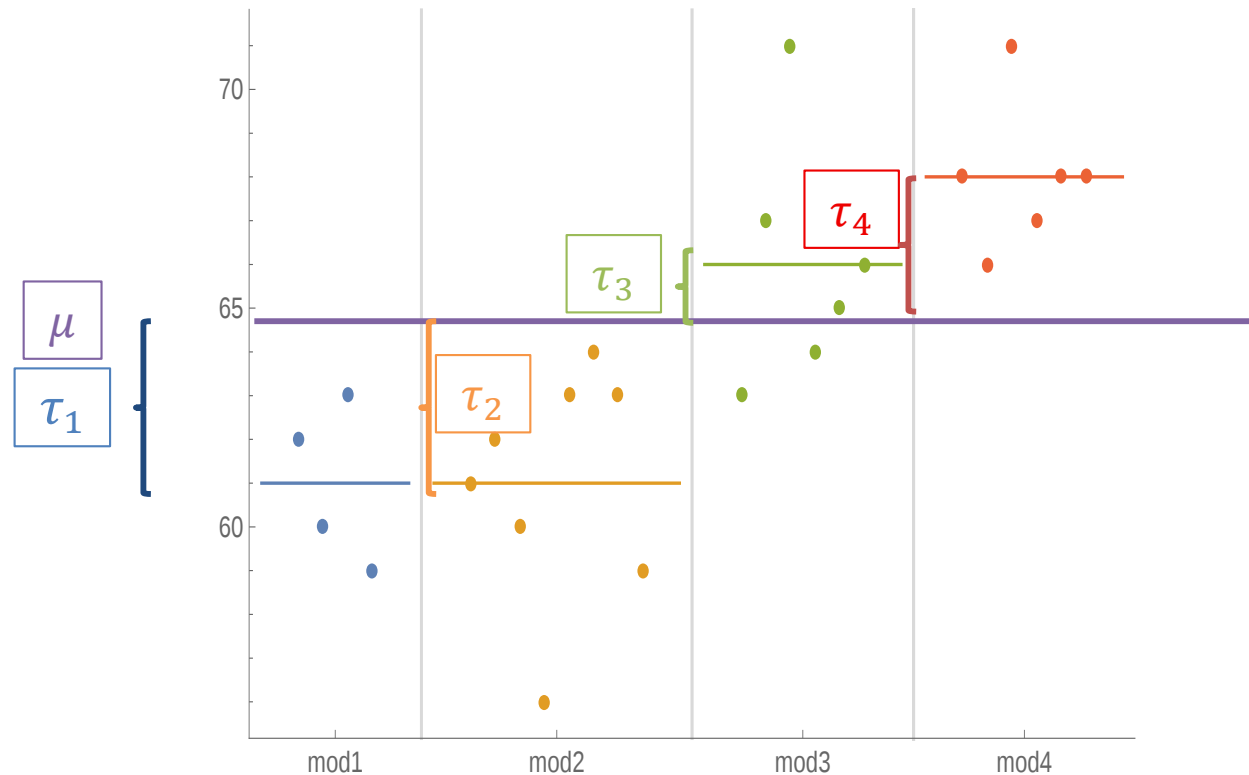


ANOVA - un modèle

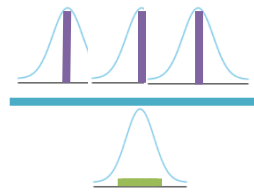


$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j
 - τ_j est la variation autour de la moyenne induite par la modalité j de la variable indépendante

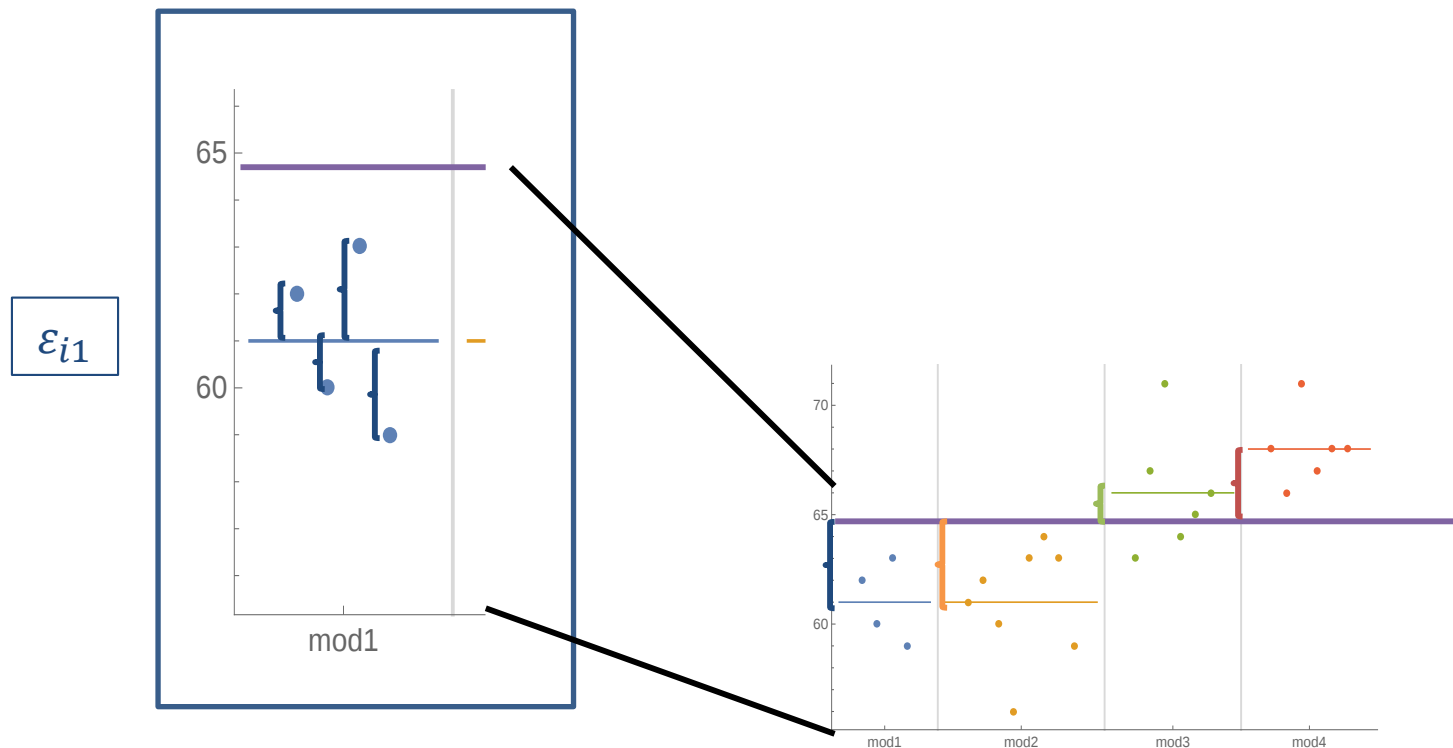


ANOVA - un modèle

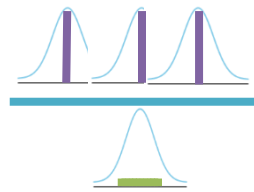


$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \text{ avec } \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

- $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation **intra-groupe** non expliquée par la ou les VI (l'erreur).



ANOVA – la vraie formule

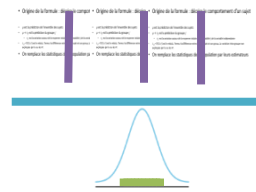


- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j
 - τ_j est la variation autour de la moyenne induite par la modalité j de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

ANOVA – la vraie formule



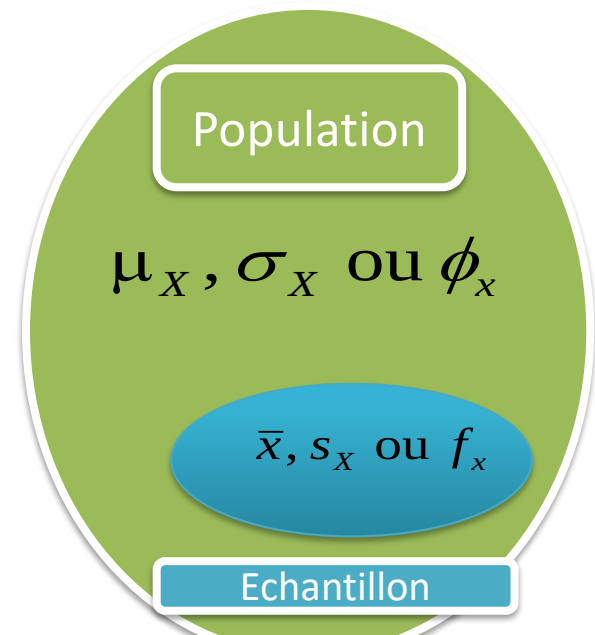
- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

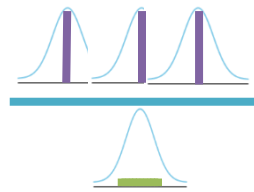
- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_j$ est la prédiction du groupe j
 - τ_j est la variation autour de la moyenne induite par la modalité j de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$



ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

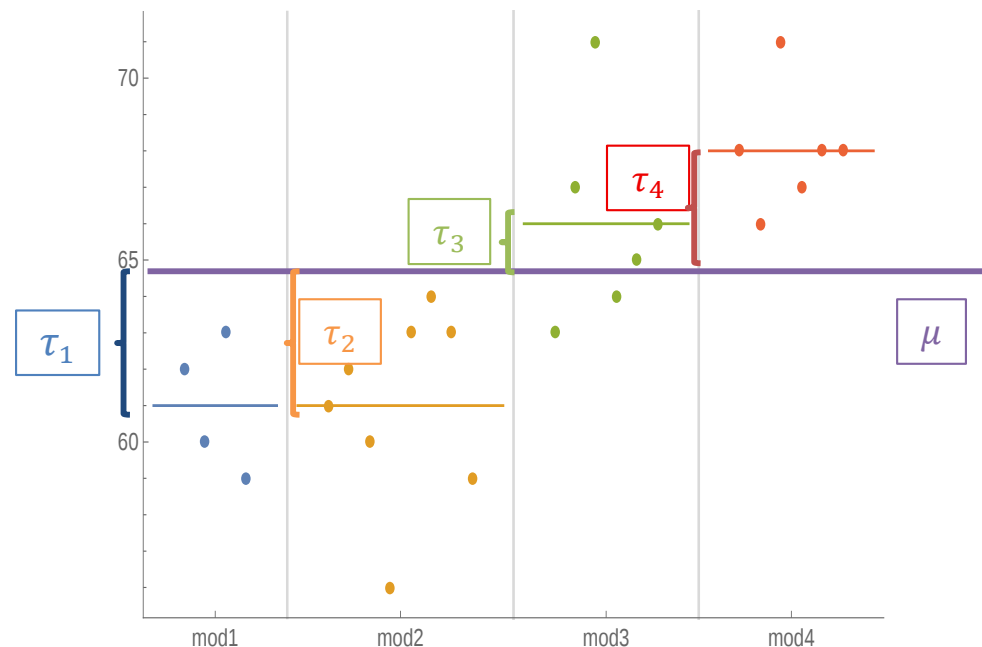
$$\mu = \bar{Y}$$

$$\tau_1 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}$$

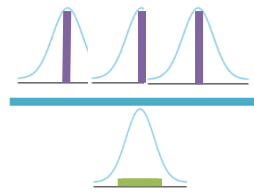
$$\tau_2 = \bar{Y}_2 - \bar{Y}$$

$$\tau_3 = \bar{Y}_3 - \bar{Y}$$

$$\tau_4 = \bar{Y}_4 - \bar{Y}$$



ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

$$\mu = \bar{Y}$$

$$\tau_1 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}$$

$$\tau_2 = \bar{Y}_2 - \bar{Y}$$

$$\tau_3 = \bar{Y}_3 - \bar{Y}$$

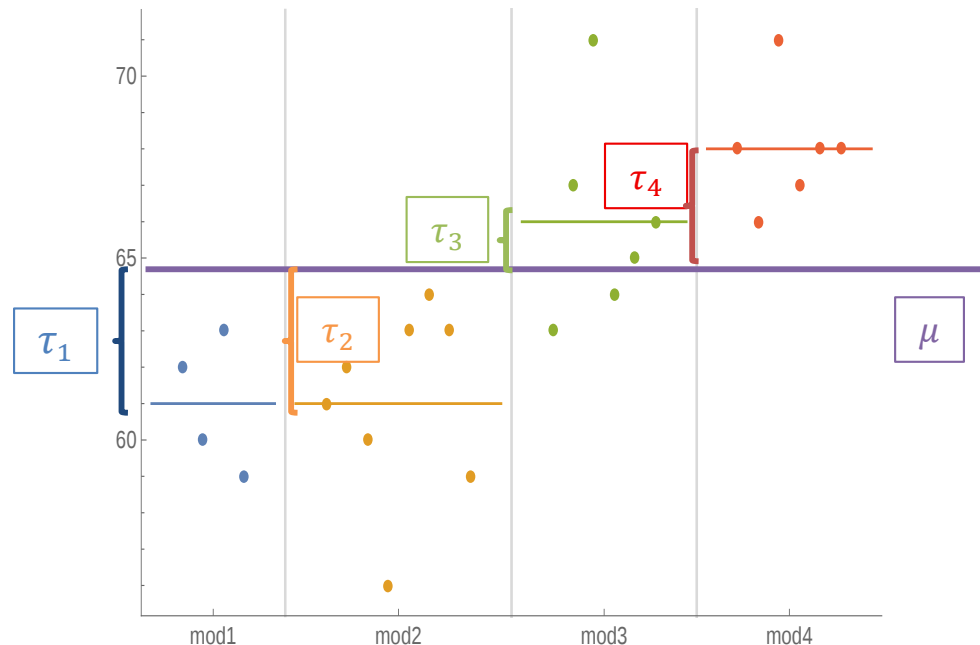
$$\tau_4 = \bar{Y}_4 - \bar{Y}$$

$$\epsilon_{11} = Y_{11} - \bar{Y}_1$$

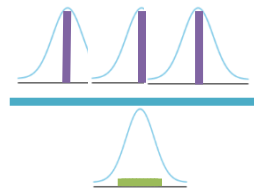
$$\epsilon_{21} = Y_{21} - \bar{Y}_1$$

$$\epsilon_{31} = Y_{31} - \bar{Y}_1$$

$$\epsilon_{41} = Y_{41} - \bar{Y}_1$$



ANOVA – la vraie formule

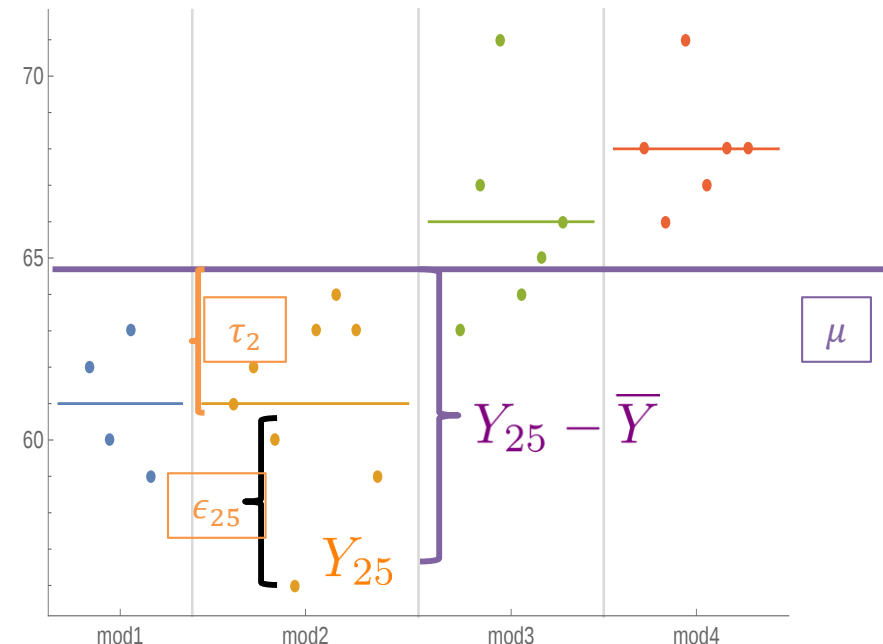


- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

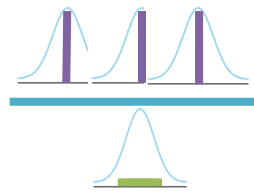
$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- μ est la prédiction de l'ensemble des sujets
- $\mu + \tau_i$ est la prédiction du groupe i
 - τ_i est la variation autour de la moyenne induite par la modalité i de la variable indépendante
- $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ est le résidu, l'erreur la différence entre chaque sujet et son group. La variation intra-groupe non expliquée par la ou les VI.
- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{25} - \bar{Y} = (\bar{Y}_2 - \bar{Y}) + (Y_{25} - \bar{Y}_2)$$



ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

- On arrange

$$Y_{ij} - \bar{Y} = Y_{ij} - \bar{Y}_j + \bar{Y}_j - \bar{Y}$$

- On somme sur les sujets et les groupes et on met on carré

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + \sum_i^n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

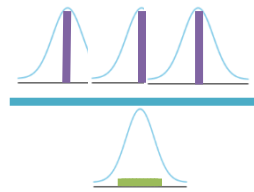
- (le terme croisé s'annule)

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Origine de la formule : décrire le comportement d'un sujet

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

- On remplace les statistiques de la population par leurs estimateurs

$$Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_j)$$

- On arrange

$$Y_{ij} - \bar{Y} = Y_{ij} - \bar{Y}_j + \bar{Y}_j - \bar{Y}$$

- On somme sur les sujets et les groupes et on met on carré

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + \sum_i^n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

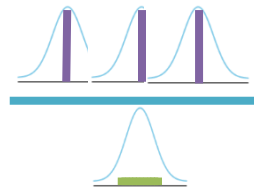
$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{Total} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n_j (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

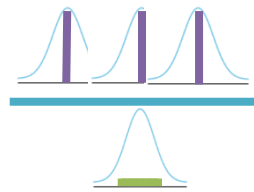
Si les tailles des groupes sont différentes

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{Total} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$df_{Total} = N - 1 = (N - k) + (k - 1)$$

$$df_{inter} = k - 1$$

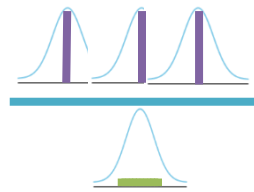
$$df_{intra} = k \times (n - 1) = N - k$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{Total} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$df_{Total} = N - 1 = (N - k) + (k - 1)$$

$$df_{inter} = k - 1$$

$$df_{intra} = k \times (n - 1) = N - k$$

$$CM_{intra} = \frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$$

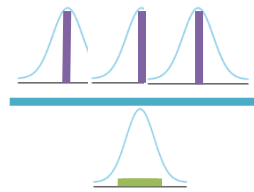
$$CM_{inter} = \frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$$

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

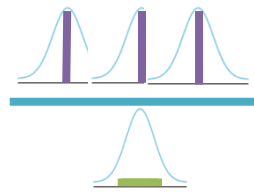
	Somme des carrés	Ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	$\sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$	$k - 1$	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$	$N - k$	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$	$N - 1$			

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Décomposition de la variance

$$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2 + n \sum_j^k (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$$

	Somme des carrés	Ddl (df)	Carré Moyen	F	p
Inter	$\sum_j^k n(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2$	$k - 1$	$\frac{SS_{inter}}{df_{inter}}$	$\frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$	$P[F(k - 1, N - k) \geq f_{obs} H_0]$
Intra	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$	$N - k$	$\frac{SS_{intra}}{df_{intra}}$		
Total	$\sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y})^2$	$N - 1$			

- Un exemple : Smith (1979)

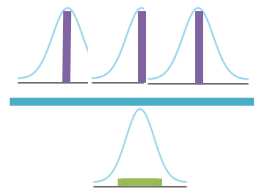
Smith, S.M. (1979). "Remembering in and out of context". Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory. **4** (5): 460–471

Y_{ij} individu i groupe j

$\bar{Y}_j$ Moyenne du groupe j

$\bar{Y}$ Moyenne Totale

ANOVA – la vraie formule



- Estimer l'effet c'est estimer la variance inter groupe et la variance intra groupes

$$F = \frac{CM_{inter}}{CM_{intra}}$$

$$Y_{ij} = \bar{Y} + \tau_i + \epsilon_{ij} ,$$

$$\tau_i = \bar{Y} - \bar{Y}_j ,$$

$$CM_{inter} = \frac{CM_{inter}}{df_{inter}})$$

$$SS_{inter} = \sum_j^k n(Y_{.j} - \bar{Y})^2$$

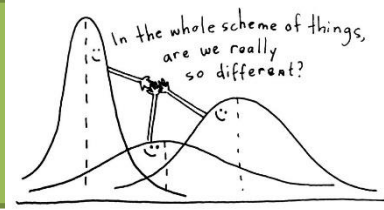
$$df_{inter} = k - 1$$

$$CM_{intra} = \frac{CM_{intra}}{df_{intra}})$$

$$SS_{intra} = \sum_i^n \sum_j^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2$$

$$df_{intra} = n - k$$

ANOVA – Exemple ?



- Tableau de l'ANOVA

	SS	ddl	CM	F	p
Inter	700	4	175	5.46875	0.0011
Intra	1440	45	32		
Total	2140	49			

- Conclusion ?

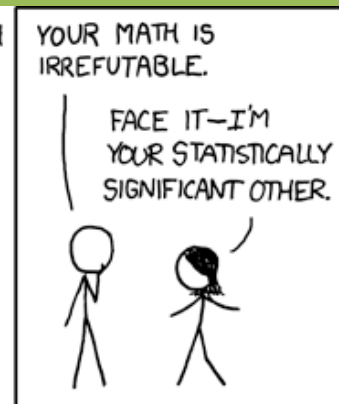
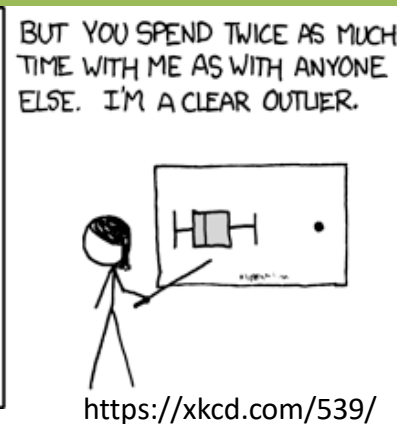
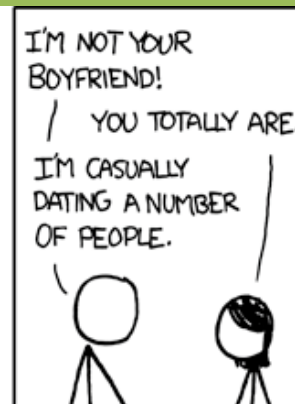
- Ca marche $p \leq 0,05$

- Quels sont les facteurs qui permettent d'avoir un effet significatif ?

Quelques questions de compréhension

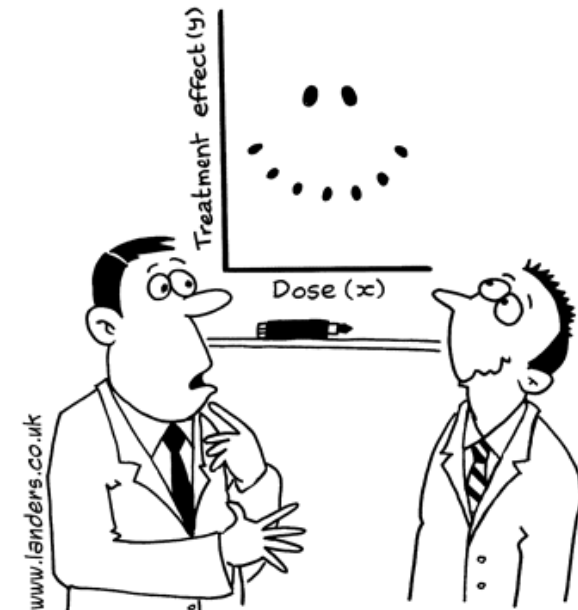
- Faut-il préférer un facteur aléatoire ou fixe ?
- Pourquoi ne doit-on pas discrétiser un facteur continu ?
- Quelle est la conséquence de supprimer des variables du plan d'analyse selon la significativité de leur effet ?
- Quel est l'effet de réaliser plusieurs tests pendant l'acquisition de données ? Sequential testing.
- Pourquoi ne pas mettre beaucoup de variables dans le plan d'expérience afin de contrôler de le maximum d'effet confondus ?

P-VALUE	INTERPRETATION
0.001	HIGHLY SIGNIFICANT
0.01	
0.02	
0.03	
0.04	SIGNIFICANT
0.049	
0.050	
0.051	
0.06	ON THE EDGE OF SIGNIFICANCE
0.07	HIGHLY SUGGESTIVE, SIGNIFICANT AT THE $P < 0.10$ LEVEL
0.08	
0.09	
0.099	HEY, LOOK AT THIS INTERESTING SUBGROUP ANALYSIS
≥ 0.1	



FINI

<https://www.xkcd.com/1478/>



"It's a non-linear pattern with outliers.....but for some reason I'm very happy with the data."

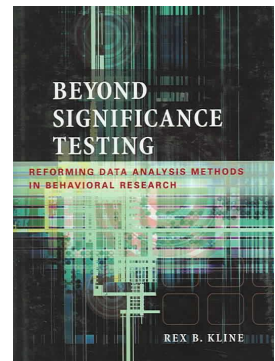
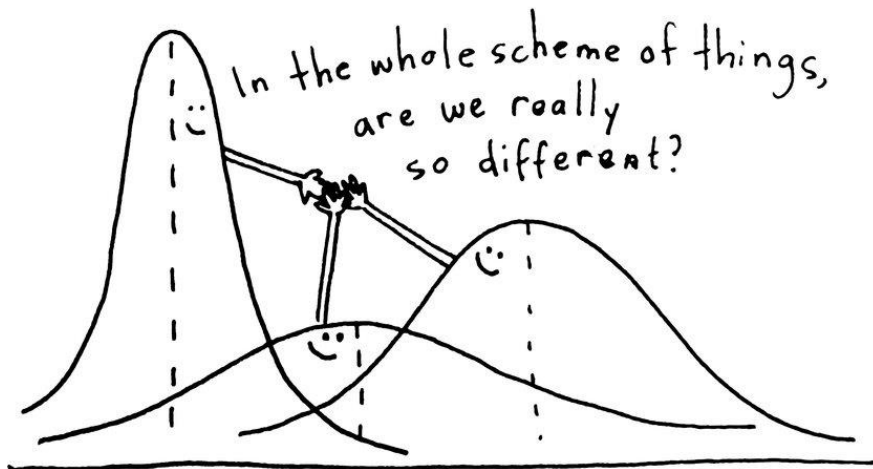
<http://analyticstraining.com/2014/popular-applications-of-linear-regression-for-businesses/>

<http://dilbert.com/strip/2001-10-25>



Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- L'anova en dessin
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations inter
- L'anova en formule
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations inter
- Une hypothèse c'est un contraste
 - Les contrastes



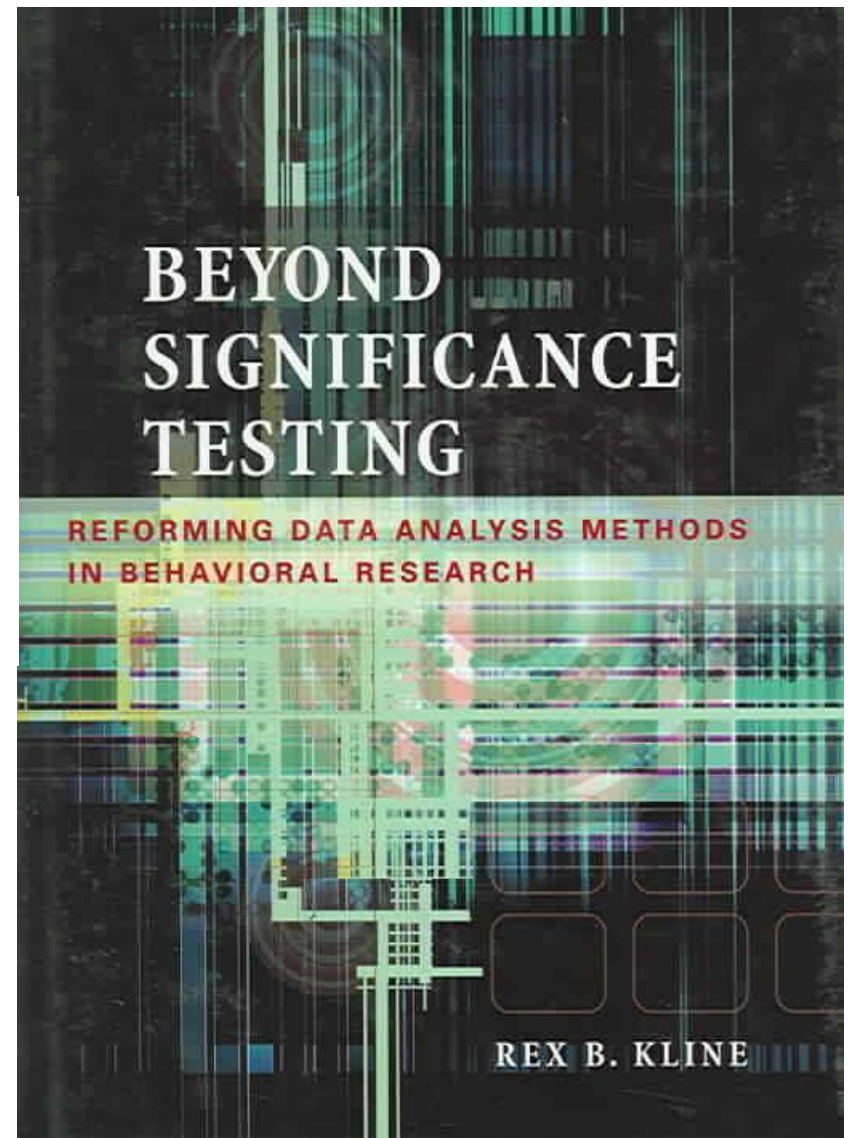
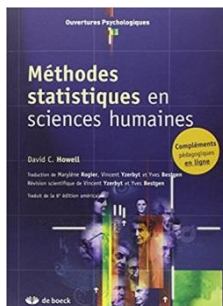
Lecture

- Chapitre 2 du livre de Rex B. Kline

2

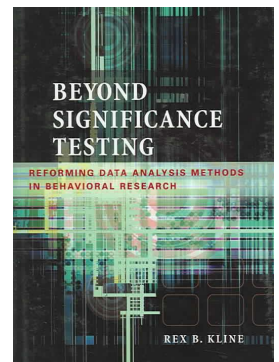
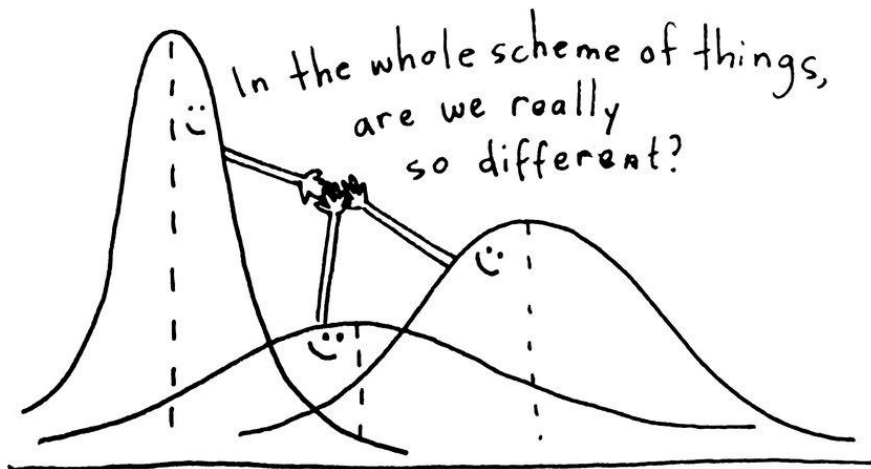
FUNDAMENTAL CONCEPTS

Howell, ch 11 à 14



Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- L'anova en dessin
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Une hypothèse c'est un contraste
 - Distribution sous H_0
 - Plus de 2 variables
 - Equations intra
- L'anova en formule



ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Exemples avec 1 moyenne ?

$$Effet = (\bar{X} - m_0)$$

$$\bar{X}_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$$\bar{X}_n \xrightarrow{L} \mathcal{N}\left(\mu_X, \frac{\sigma_X}{\sqrt{N}}\right)$$

ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Exemples avec 1 moyenne ?

$$Effet = (\bar{X} - m_0)$$

$$Erreur = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Exemples avec 1 moyenne ?

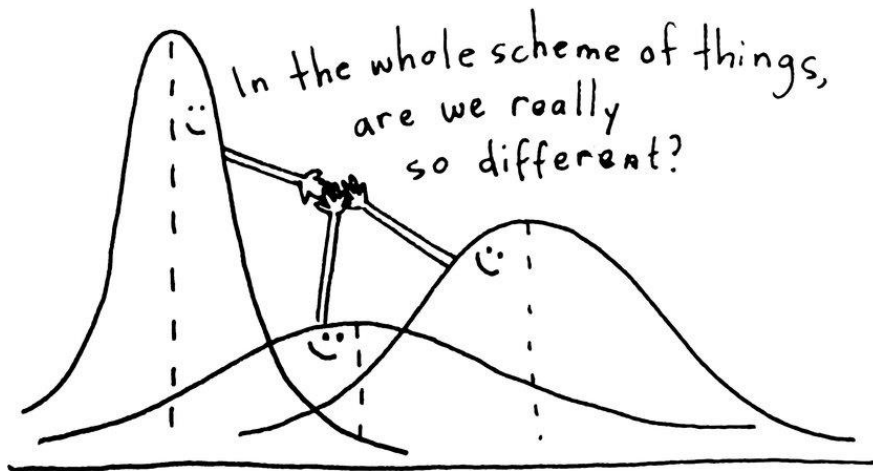
$$Effet = (\bar{X} - m_0)$$

$$T = \frac{(\bar{X} - m_0)}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$Erreur = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Exemples avec 1 moyenne ?



$$T = \frac{(\bar{X} - m_0)}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Pour comparer 2 moyennes ?

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\frac{S^2}{\sqrt{n}}} \rightsquigarrow t_{n-1}$$

$$IC_{1-\alpha}(\mu_1 - \mu_2) = [(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - t_{n_1+n_2-2;1-\frac{\alpha}{2}} \times S_p \sqrt{(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})};$$
$$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) + t_{n_1+n_2-2;1-\frac{\alpha}{2}} \times S_p \sqrt{(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})}]$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

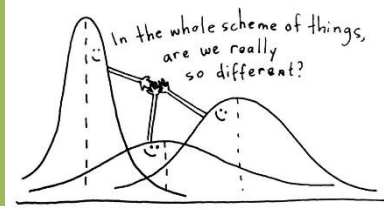
ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Pour comparer 2 moyennes ?

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

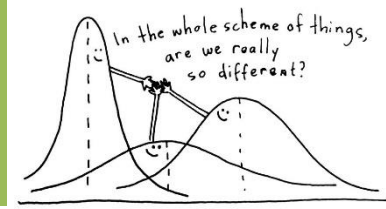
- avec
$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

ANOVA

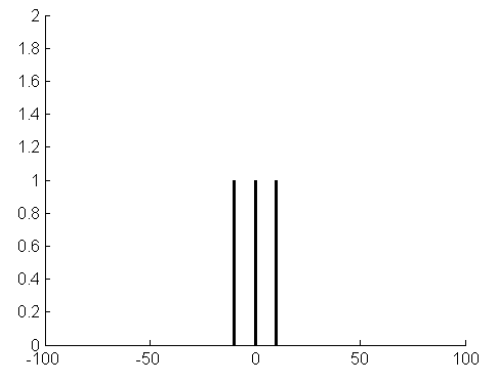
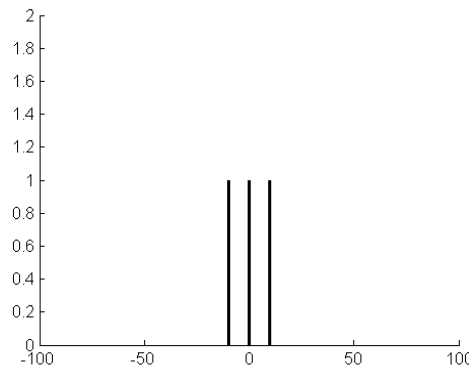
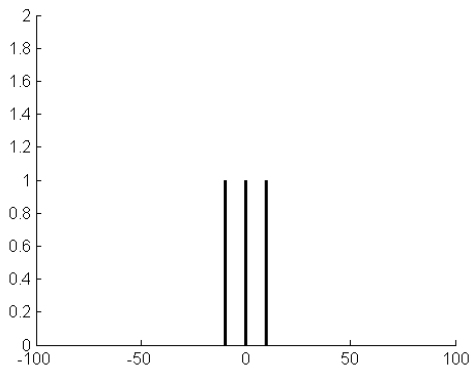
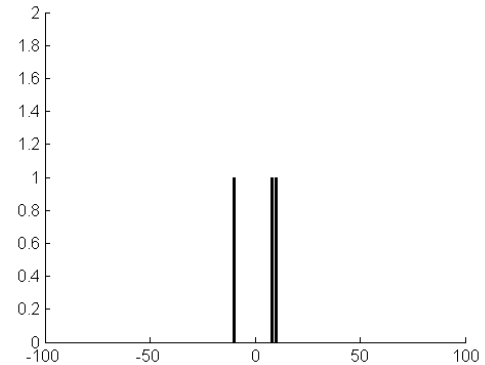
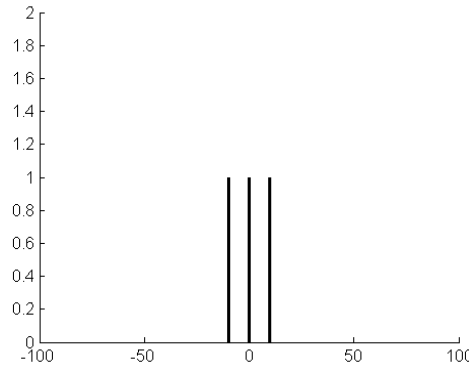
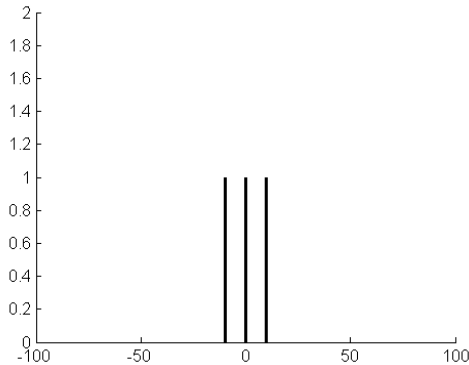


- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Comment comparer trois moyennes simultanément ?
 - On les compare toutes entre elles.

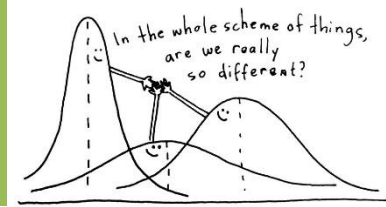
ANOVA



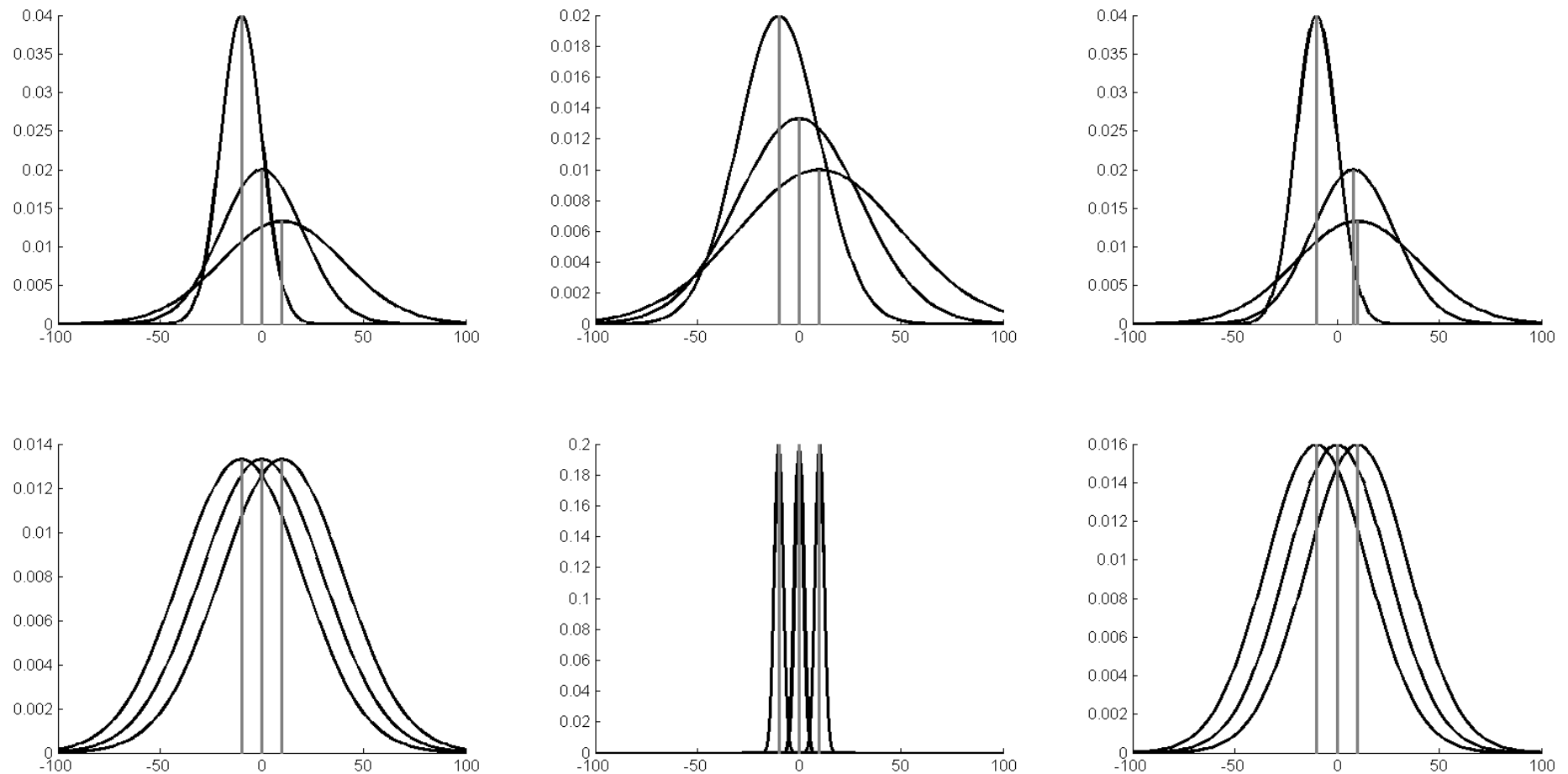
- Comparer 3 groupes
 - Quelles sont les images pour lesquelles $p \leq 0,05$



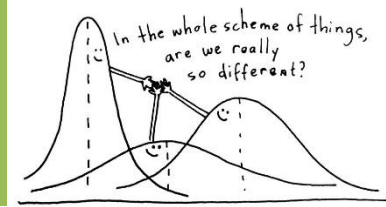
ANOVA



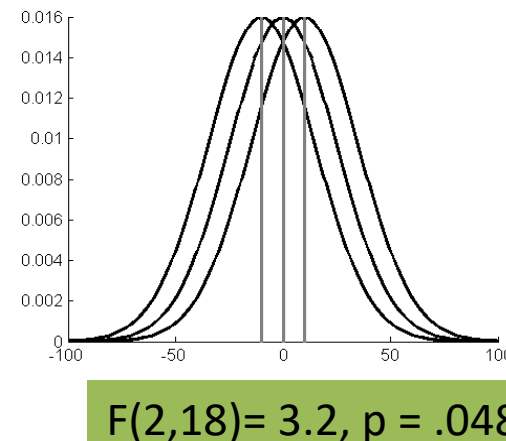
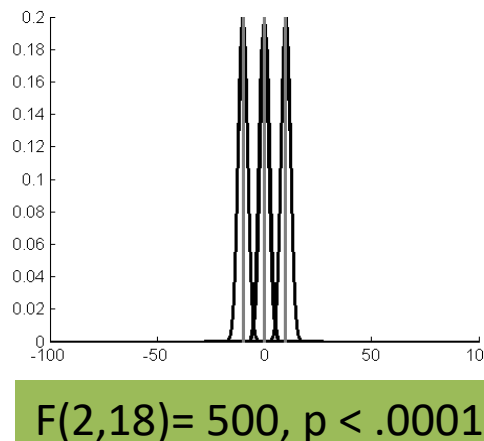
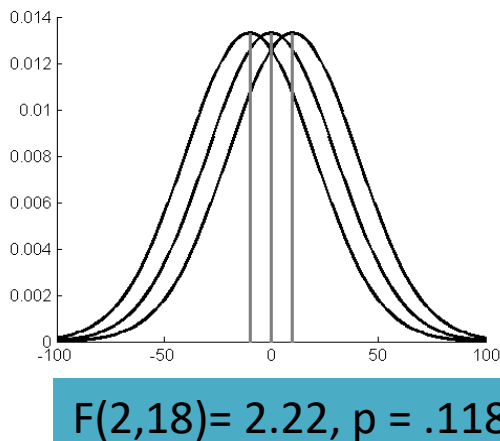
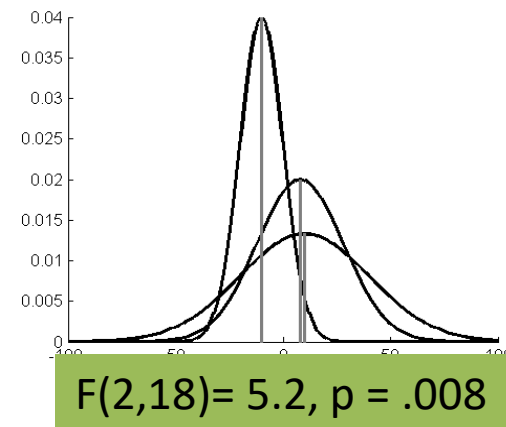
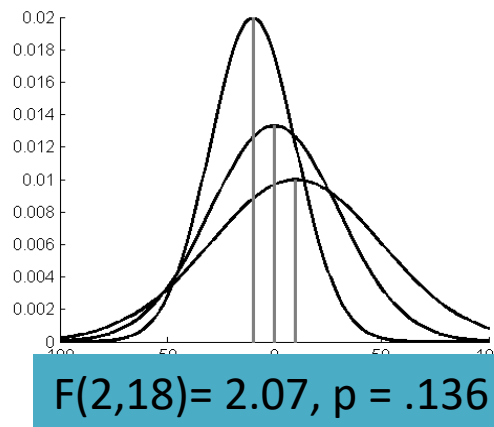
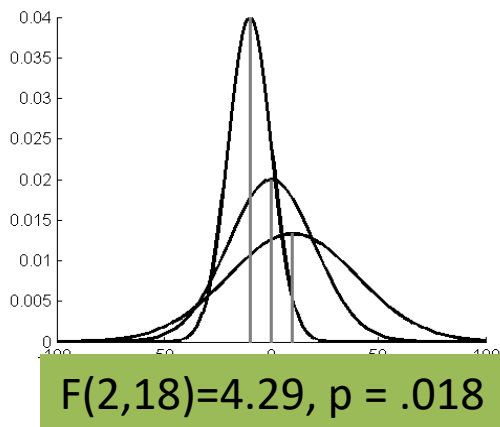
- Comparer 3 groupes
 - Quelles sont les images pour lesquelles $p \leq 0,05$



ANOVA

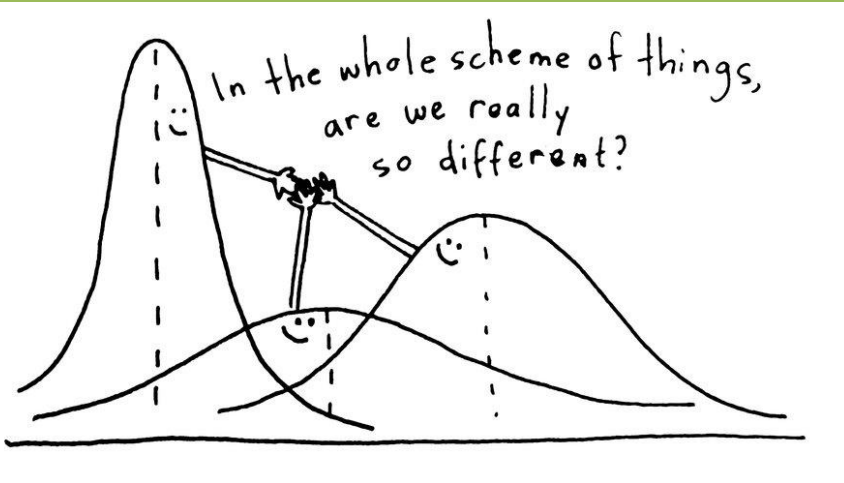


- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale
 - Comment comparer trois moyennes simultanément ?



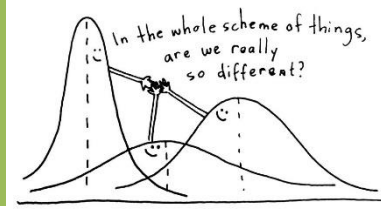
ANOVA

- Comparer des groupes c'est comparer un effet à l'erreur expérimentale

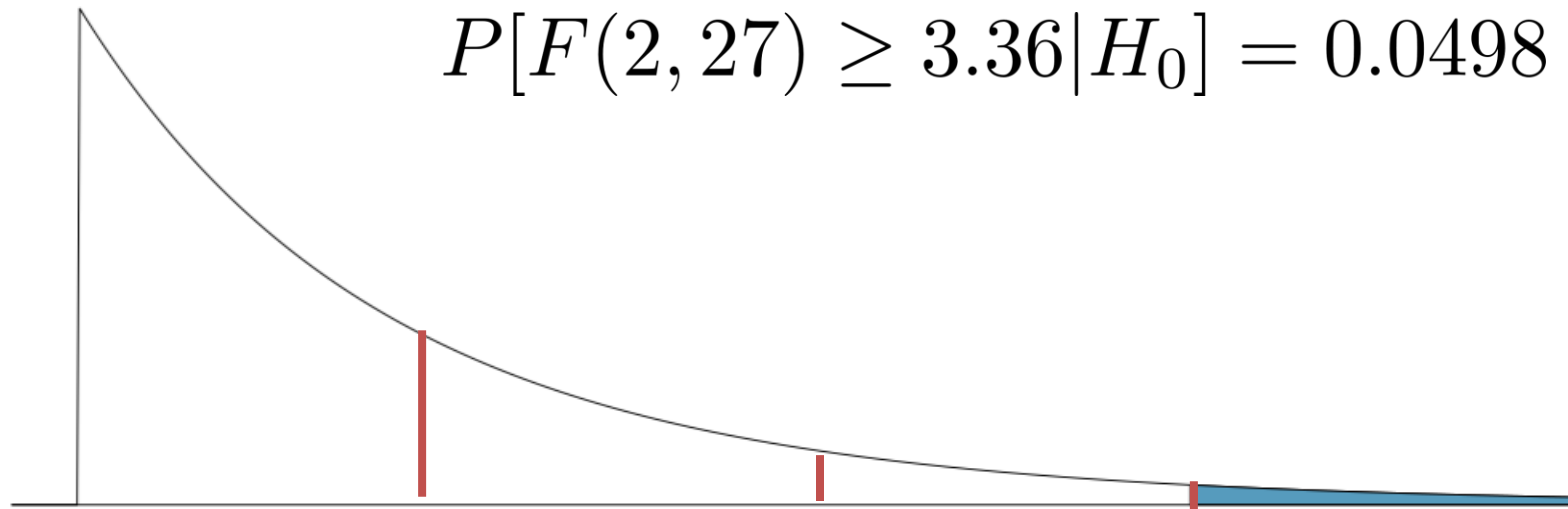


- Pourquoi ANOVA ?
- Pourquoi indépendance des résidus ?
- Pourquoi normalité des résidus ?
- Pourquoi homogénéité des variances ?

ANOVA – Grand F

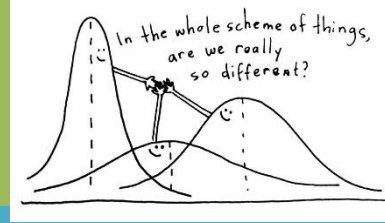


- $F > 1$!
 - F est grand quand il est improbable.
 - F est improbable quand $P[F(2, 27) \geq f_{obs} | H_0] \leq 0.05$

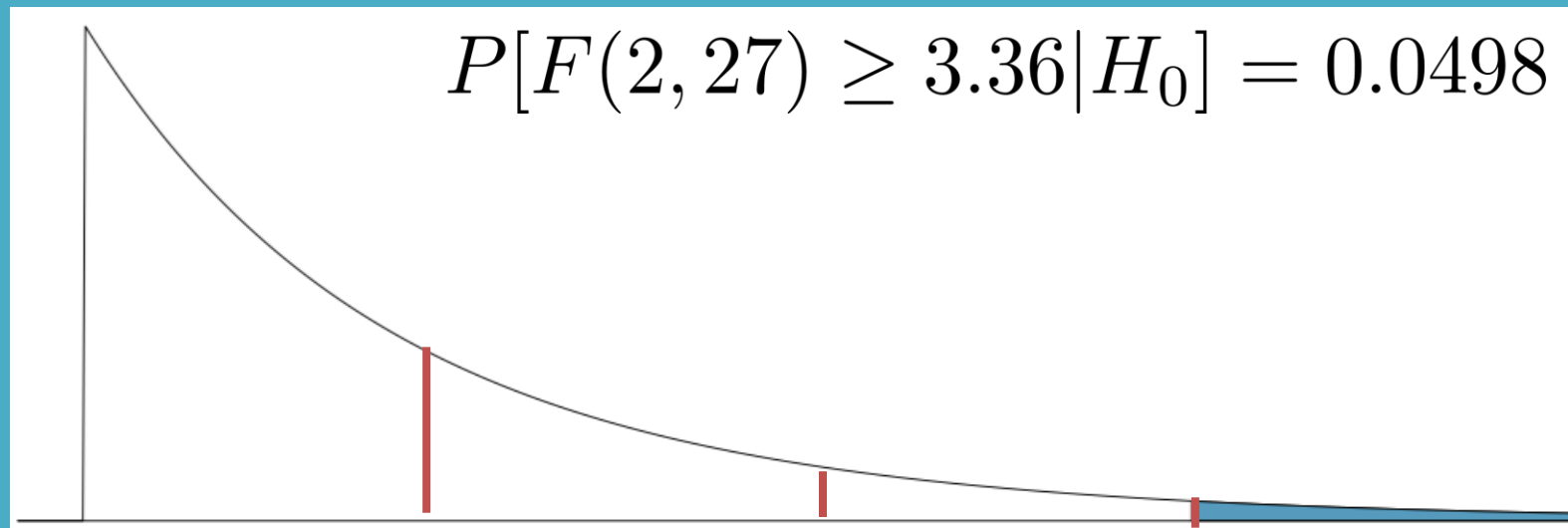


$$P[F(2, 27) \geq 3.36 | H_0] = 0.0498$$

ANOVA – Grand F

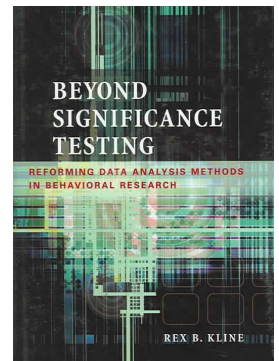
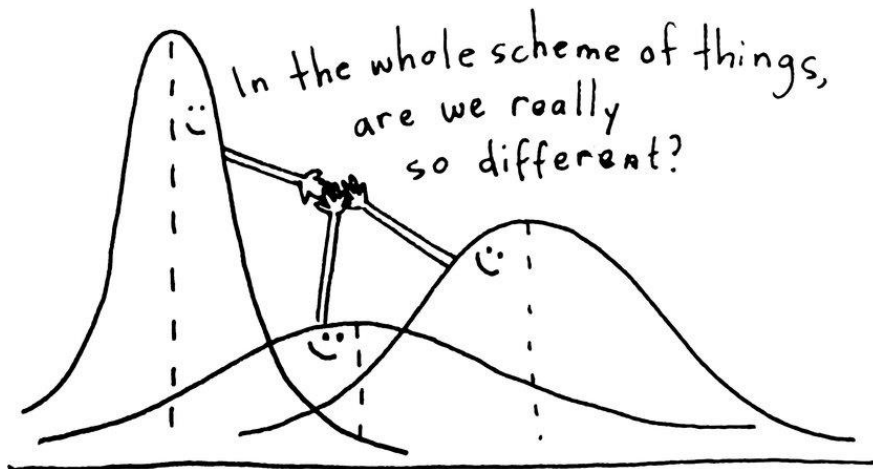


- $F > 1$!
 - F est grand quand il est improbable.
 - F est improbable quand $P[F(2, 27) \geq f_{obs} | H_0] \leq 0.05$



Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- L'anova en dessin
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations intra
- L'anova en formule
 - Estimer l'erreur c'est estimer l'effet
 - Equations inter
 - Distribution sous H_0
 - Equations intra
- Une hypothèse c'est un contraste
 - Les contrastes



ANOVA – F

ANOVA: Analysis of Variance is

Variance Between + Variance Within

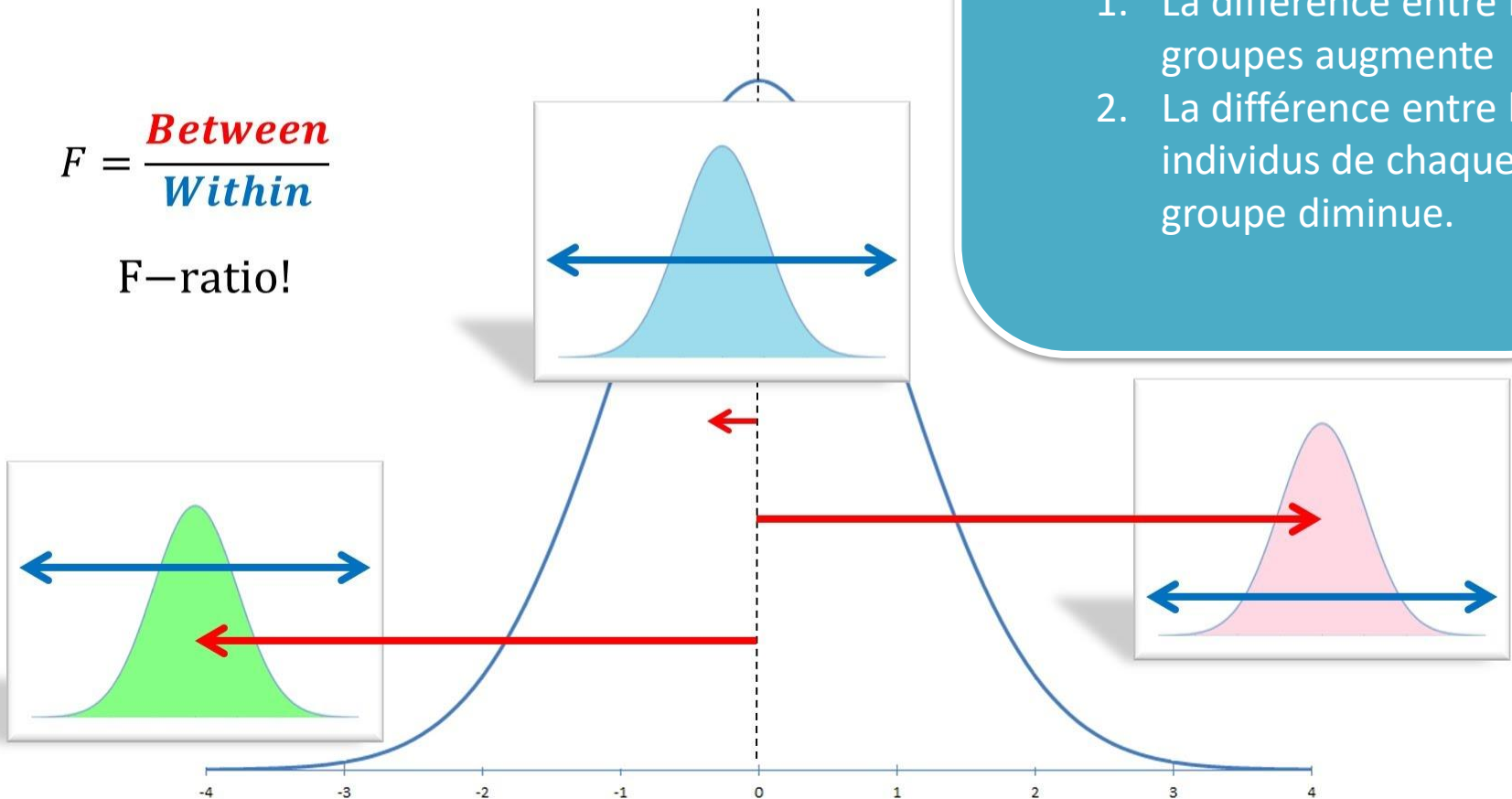
$$F = \frac{\text{Between}}{\text{Within}}$$

F-ratio!

Le F est une statistique qui mesure la quantité de recouvrement entre les distributions.

F augmente si

1. La différence entre les groupes augmente
2. La différence entre les individus de chaque groupe diminue.



Exemple 2 – Comment avoir un effet significatif ?

		Groupe			
		1	2	3	
$\hat{Y}_j$		13	11	12	12
s_j^2		7,5	5	4	

Source	SS	df	MS	F	p
Inter (A)	10	2	5	0,91	0,429
Intra (Erreur)	66	12	5,5		
Total	76	14			

		Groupe			
		1	2	3	
		13	11	12	12,12
		5	2	3	

Source	SS	df	MS	F	p
Inter (A)	10	2	5	1,50	0,003
Intra (Erreur)	40	12	3,3		
Total	50	14			

		Groupe			
		1	2	3	
		15	10	12	12,33333
		7,5	5	4	

Source	SS	df	MS	F	p
Inter (A)	65	2	33	5,91	0,016
Intra (Erreur)	66	12	5,5		
Total	131	14			

Le F est une statistique qui mesure la quantité de recouvrement entre les distributions.

F augmente si

1. La différence entre les groupes augmente
2. La différence entre les individus de chaque groupe diminue.

Exemple 2 – Comment avoir un effet significatif ?

	Groupe			
	1	2	3	
$\widehat{Y}_j$	13	11	12	12
s_j^2	7,5	5	4	

	Groupe			
	1	2	3	
$\widehat{Y}_j$	15	10	12	12,33
s_j^2	7,5	5	4	

Source	SS	df	MS	F	p
Inter (A)	10	2	5	0,91	0,429
Intra (Erreur)	66	12	5,5		
Total	76	14			

Inter (A)	30	2	15	2,73	0,077
Intra (Erreur)	231	42	5,5		
Total	261	44			

Inter (A)	60	2	30	5,45	0,006
Intra (Erreur)	478,5	87	5,5		
Total	538,5	89			

Source	SS	df	MS	F	p
Inter (A)	65	2	33	5,91	0,016
Intra (Erreur)	66	12	5,5		
Total	131	14			

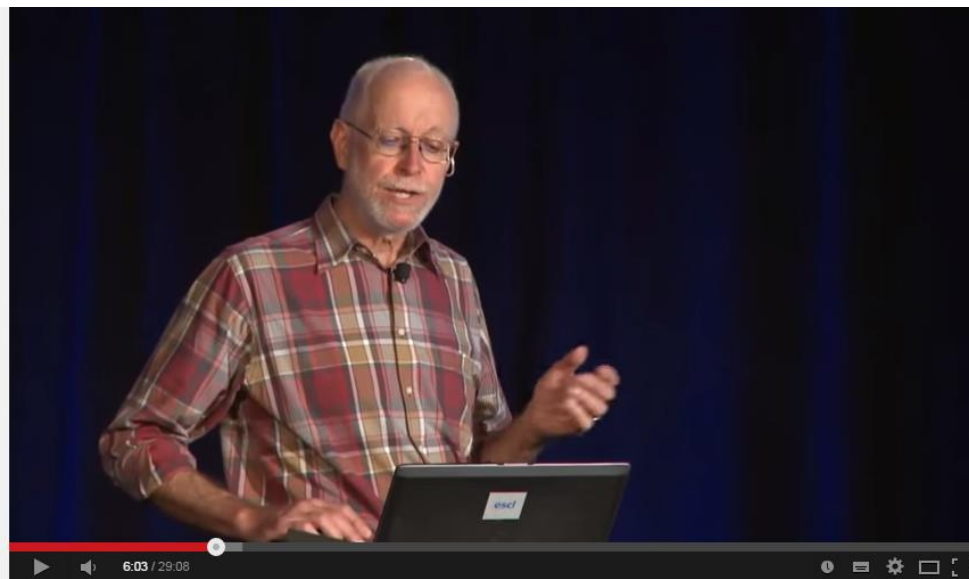
p est une mesure qui dépend de F_{obs} et du nombre d'individu n

p diminue si

- La différence entre les groupes augmente
- Pour un même recouvrement et Pour un F constant, si on augmente la taille de l'échantillon

L'analyse de la variance (ANOVA)

Approche NSHST - Null Hypothesis Significance Testing :
Approche critique :



The New Statistics: Confidence Intervals, NHST, and p Values (Workshop Part 1)



Psychological Science

S'abonner 745

1 279

Alimur Rahman Dartanian Dine

<https://www.youtube.com/watch?v=iJ4kqk3V8jQ>

The New Statistics: Why and How

Geoff Cumming
La Trobe University

Abstract

We need to make substantial changes to how we conduct research. First, in response to heightened concern that our published research literature is incomplete and untrustworthy, we need new requirements to ensure research integrity. These include prespecification of studies whenever possible, avoidance of selection and other inappropriate data-analytic practices, complete reporting, and encouragement of replication. Second, in response to renewed recognition of the severe flaws of null-hypothesis significance testing (NHST), we need to shift from reliance on NHST to estimation and other preferred techniques. *The new statistics* refers to recommended practices, including estimation based on effect sizes, confidence intervals, and meta-analysis. The techniques are not new, but adopting them widely would be new for many researchers, as well as highly beneficial. This article explains why the new statistics are important and offers guidance for their use. It describes an eight-step new-statistics strategy for research with integrity, which starts with formulation of research questions in estimation terms, has no place for NHST, and is aimed at building a cumulative quantitative discipline.

Keywords

research integrity, the new statistics, estimation, meta-analysis, replication, statistical analysis, research methods

Received 7/8/13; Revision accepted 8/20/13

Psychological Science
2014, Vol. 25(1) 7–29
© The Author(s) 2013
Reprints and permissions:
sagepub.com/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0956797613504966
pss.sagepub.com
SAGE

Psychological Science
2014, Vol. 25(1) 7–29
© The Author(s) 2013
Reprints and permissions:
sagepub.com/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0956797613504966
pss.sagepub.com
SAGE

Plan

- Démarche expérimentale
- Vocabulaire et méthode expérimentale
- Approche intuitive de l'ANOVA
- Le problème des comparaisons multiples
- Les problèmes
 - Trop de variables
 - Trop de modalités
 - Trop (ou pas) de questions
- Les solutions
 - « Soft control »
 - Imagerie : Permutation, RFT et FDR
 - Comparaisons planifiées (à priori)
 - Comparaisons non planifiées (à posteriori)



