

La méthode expérimentale




Benjamin.Putois@univ-lyon2.fr

Clotilde de Vaux (1815-
1846)



Auguste Comte

(1798-1856)



INTRODUCTION
à l'ÉTUDE DE LA
MÉDECINE EXPÉRIMENTALE

M. CLAUDE BERNARD
Membre de l'Institut, de l'Académie des sciences, de l'Académie française, de l'Académie de médecine, de l'Académie royale de médecine, de l'Académie royale de chirurgie de Paris, Professeur de physiologie générale à la Faculté de médecine, Professeur de la matière médicale à la Faculté de médecine de Montpellier, de l'Académie de médecine de Montpellier, et de l'Académie de médecine de Paris.

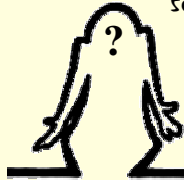
PARIS
J. B. BAILLIÈRE et FILS,
ÉDITEURS DE L'UNIVERSITÉ IMPÉRIALE DE MÉDECINE,
10, RUE MÉNÉTRIER, 10.

Londres, | Madrid, | New-York,
Edinburgh, | Calcutta, | Mexico, | Rio-
de-Janeiro, | Bombay, | Santiago, | Val-
paraiso.
1855
Tous droits réservés.


« Il n'est pas possible d'instituer une expérience sans une idée préconçue ; instituer une expérience, avons-nous dit, c'est poser une question ; on ne conçoit jamais une question sans l'idée qui sollicite la réponse. »

« Quand le fait qu'on rencontre est en opposition avec une théorie régnante, il faut accepter le fait et abandonner la théorie, lors même que celle-ci, soutenue par de grands noms, est généralement adoptée. »

Le doute est le commencement de la sagesse.



Aristote



INTRODUCTION
à l'ÉTUDE DE LA
MÉDECINE EXPÉRIMENTALE


M. CLAUDE BERNARD
Membre de l'Institut, de l'Académie des sciences, de l'Académie française, de l'Académie de médecine, de l'Académie royale de médecine, de l'Académie royale de chirurgie de Paris, Professeur de physiologie générale à la Faculté de médecine, Professeur de la matière médicale à la Faculté de médecine de Montpellier, de l'Académie de médecine de Montpellier, et de l'Académie de médecine de Paris.

PARIS
J. B. BAILLIÈRE et FILS,
ÉDITEURS DE L'UNIVERSITÉ IMPÉRIALE DE MÉDECINE,
10, RUE MÉNÉTRIER, 10.

Londres, | Madrid, | New-York,
Edinburgh, | Calcutta, | Mexico, | Rio-
de-Janeiro, | Bombay, | Santiago, | Val-
paraiso.
1855
Tous droits réservés.

« Quand on entre sur un terrain neuf, il ne faut pas craindre d'émettre des vues même hasardées afin d'exciter la recherche dans toutes les directions. Il ne faut pas, suivant l'expression de Priestley, rester dans l'inaction par une fausse modestie fondée sur la crainte de se tromper. »

« Ne jamais croire de manière absolue aux théories ! »



C. Bernard



Hypothèse nulle

Synonyme: Hypothèses nulle ou hypothèse de base ou H0

Anglais: Null hypothesis

La variable indépendante n'a pas d'effet sur la VD pour l'ensemble de la population des sujets

H0 donne une valeur précise pour l'intensité de l'effet (si l'effet est nul, son intensité est de zéro). On dit que H0 est une hypothèse statistique exacte***.



Hypothèse alternative

Synonyme: Hypothèses alternative ou H1

Anglais: Non-null hypothesis ou Alternative hypothesis

La VI a un d'effet sur la VD pour l'ensemble de la population des sujets. (notez que l'intensité n'est pas précisé)

→ H1 = effet de la VI est non nul.

H1 ne donne pas une valeur précise pour l'intensité de l'effet (il y a une infinité de possibilité d'être supérieur à zéro). On dit que H1 est une hypothèse statistique inexacte***.



Hypothèse alternative

$$(1) \begin{cases} H_0 : \mu = \mu_0 \\ H_1 : \mu \neq \mu_0 \end{cases}, (2) \begin{cases} H_0 : \mu = \mu_0 \\ H_1 : \mu \geq \mu_0 \end{cases}, (3) \begin{cases} H_0 : \mu = \mu_0 \\ H_1 : \mu \leq \mu_0 \end{cases}$$

Hypothèse alternative (H1) : *Non-null hypothesis ou Alternative hypothesis* Ce terme apparaît en 1933 dans J. Neyman and E. S. Pearson, "On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Ser. A, 231, 289-337 (David, 1995).

On remarquera que l'hypothèse alternative correspond à une multitude de situations couvrant toutes les possibilités où la différence D des moyennes est distincte de 0.

Comme il y a plusieurs possibilités, on ne peut pas dire que H1 est Vrai ou non. Contrairement à H0, ou si $M=M_0$ alors il n'y a qu'une seule possibilité.



Décision

Or, on ne peut tester la vraisemblance d'une hypothèse que si cette hypothèse est exacte. Il faut pouvoir comparer le Fcal à une valeur spécifiée par l'hypothèse.


On ne peut donc pas tester H1

Par contre, on peut adopter comme règle de décision:

- Rejeter H0 si les résultats sont improbables si elle est vraie.
- Rejeter H0 revient à accepter H1.

Mais à partir de quel moment un résultat est improbable?





Précisez l'improbable

C'est nous qui déterminons la limite de l'improbable. Pour certaines personnes, il est improbable qu'un évènement survienne s'il a 10% de chance d'apparition, pour d'autres 5% de chance. La limite entre le probable et l'improbable est exprimée par un seuil.



En d'autres termes, entre 0 et 5% c'est improbable.

Au dessous du seuil → Improbable
 Au dessus du seuil → Probable

Nous l'appelons:

- Seuil d'improbabilité
- Seuil de significativité
- α

Si je dépasse le seuil, je tombe dans il est probable que je tombe ! Si je ne le dépasse pas il est improbable que je tombe!

Précisez l'improbable


Le seuil de significativité est

- = La probabilité que hypothèse nulle vraie soit rejetée par erreur.
- = La chance de rejeter la conclusion que la différence entre deux conditions soit nulle alors que ces deux conditions sont égales.
- = La chance de dire qu'il y a un effet de la VI alors qu'il n'y en a pas.
- = une fausse alarme, une erreur de type I (*voir plus loin*)

Les seuils les plus usuels:

.05	Niveau de confiance = 95 %
.01	Niveau de confiance = 99 %

Je m'accorde 5% de chance de dire que j'observe un effet qui n'existe pas!





Erreur ALPHA ou de type I

« L'erreur associée au rejet d'une hypothèse nulle lorsqu'elle est vraie »

A. Morin & S. Findlay

c.a.d. Accepter l'existence d'un effet de la VI alors que cet effet n'existe pas en réalité.

Anglais : *First kind error or a-error.*

On parle aussi de fausse alarme.

α = probabilité de rejeter H_0 alors qu'elle est vraie.

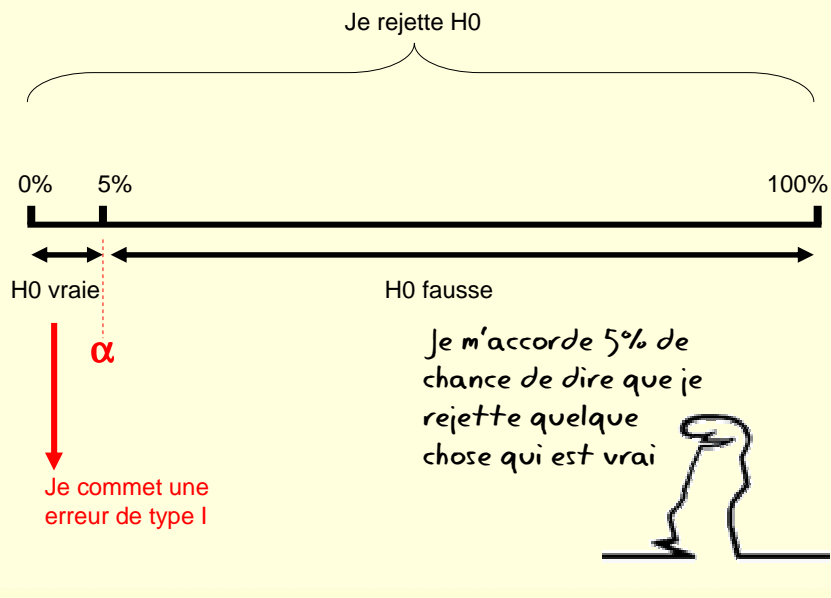
α = probabilité de commettre une erreur de type I.


α = probabilité dire qu'il y a un effet alors que c'est faux

Pour éviter les erreurs de type I, il faut réduire le seuil de significativité



Erreur ALPHA ou de type I

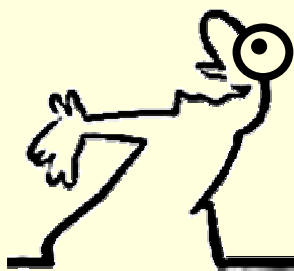





Erreur ALPHA ou de type I

ALPHA ALPHA !!!
FAUSSE ALARME !

Je vois des choses qui n'existent pas : J'hallucine!!!

Erreur BETA ou de type II

« L'erreur associée à l'acceptation de l'hypothèse nulle lorsqu'elle est fausse. »
A. Morin & S. Findlay

c.a.d. Refuser l'existence d'un effet de la VI alors que cet effet existe en réalité.

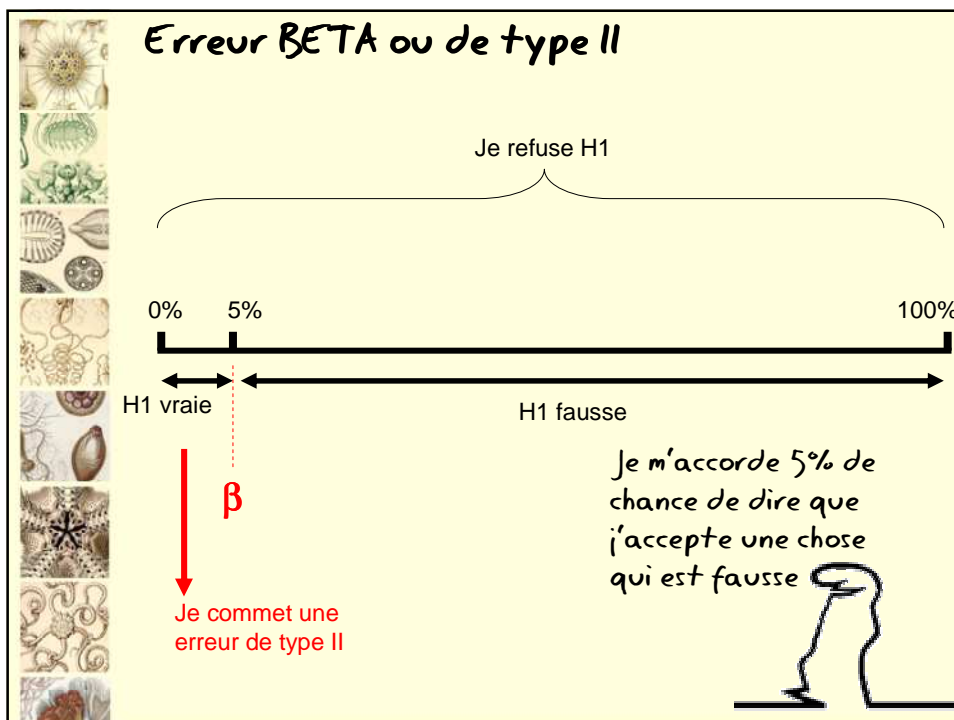
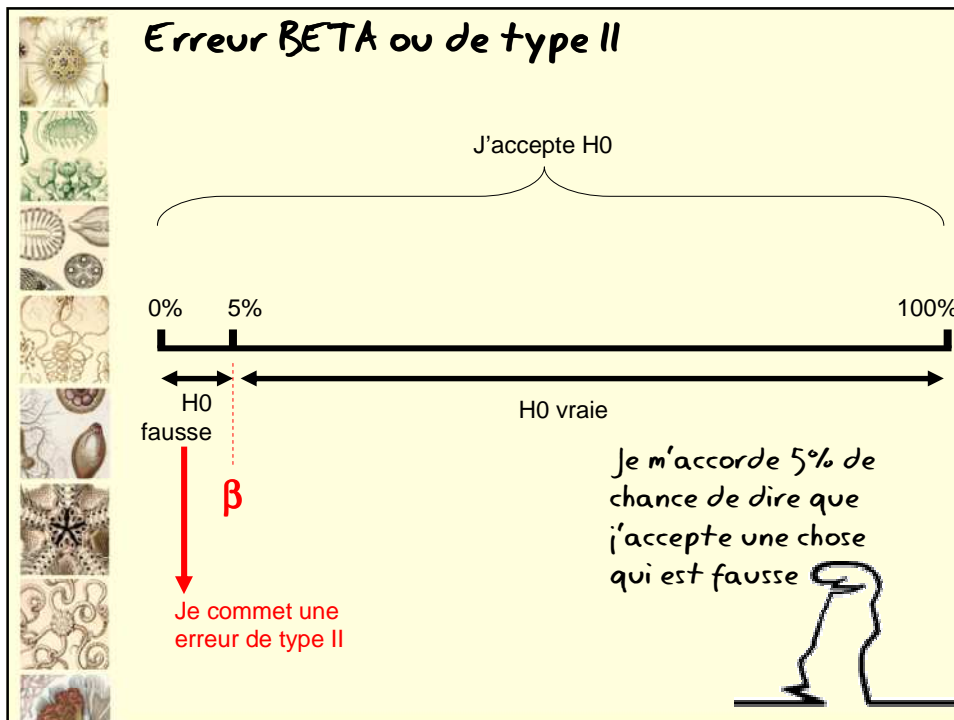
Anglais : *second kind error or β -error.*


On parle aussi d'omission.

β = probabilité d'accepter H_0 alors qu'elle est fausse.
 β = probabilité de commettre une erreur de type II
 β = probabilité de dire qu'il n'y a pas d'effet alors qu'il y en a un.

Lorsqu'il y a une hypothèse alternative spécifiée, le taux d'erreur de type II diminue lorsque le taux d'erreur de type I augmente.

Pour éviter les erreurs de type II, il faut augmenter le seuil de significativité

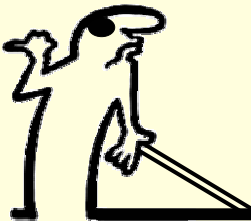





Erreur BETA ou de type II

C'est bêta ! J'ai omis de voir qu'il y avait un effet !

Je suis aveugle !

Erreur BETA ou de type II

On ne peut jamais connaître β car il est calculé en fonction de la distribution de H_1 , et que l'on ne connaît pas la valeur exacte de H_1 . De ce fait il est impossible d'évaluer la vraisemblance de H_1 .

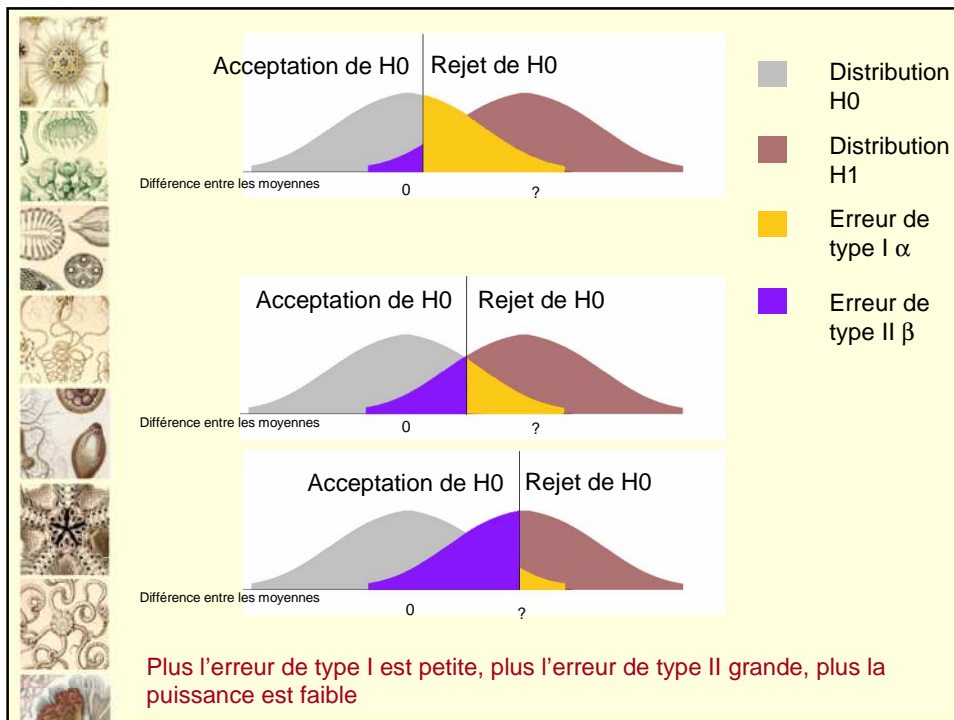
*Par conséquent, on ne peut jamais rejeter H_1 .
Par conséquent, on ne peut jamais accepter H_0 .*

NB: Ne pas rejeter H_0 n'est pas équivalent à l'accepter

Par contre :

*On peut rejeter $H_0 \rightarrow$ Accepter H_1
On ne peut rejeter $H_1 \rightarrow$ On ne peut accepter H_0*

Plus la taille de l'échantillon est grand plus bêta est petit



PUISSANCE

$1 - \alpha$ = probabilité de ne pas rejeter H0 quand elle est vraie
 $1 - \beta$ = probabilité de rejeter H0 quand elle est fausse = puissance du test

		Etat de la nature (inconnu)	
		H0 vraie	H0 fausse
décision	Non rejet de H0	Non rejet correct = $1 - \alpha$	erreur de type II (manqué) β
	Rejet de H0	erreur de type I (fausse alarme) α	détection correcte d'un effet $1 - \beta$



Test d'hypothèses

=Test de signification

Niveau de confiance = 95%

Seuil de significativité = 0,5%

Décision/Vérité	H_0	H_1
H_0	$1 - \alpha$	β
H_1	α	$1 - \beta$

Puissance

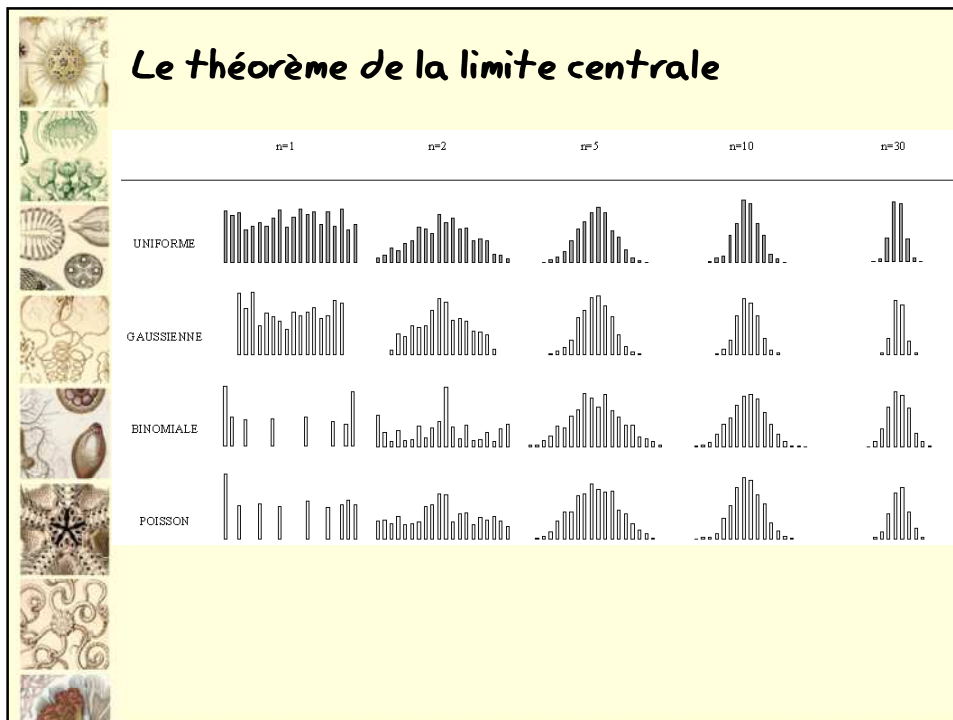
Seuil de signification



Le théorème de la limite centrale

Générer une distribution d'échantillonnage pour chaque problème posé, serait long et fastidieux. Les propriétés des distributions d'échantillonnage sont à l'origine d'un théorème important en statistique : le théorème de la limite centrale qui énonce que pour une population dont la moyenne (mean) est M et l'écart type s (standard deviation), la distribution d'échantillonnage de la moyenne, réalisée à partir d'échantillons de taille n , a les propriétés suivantes :

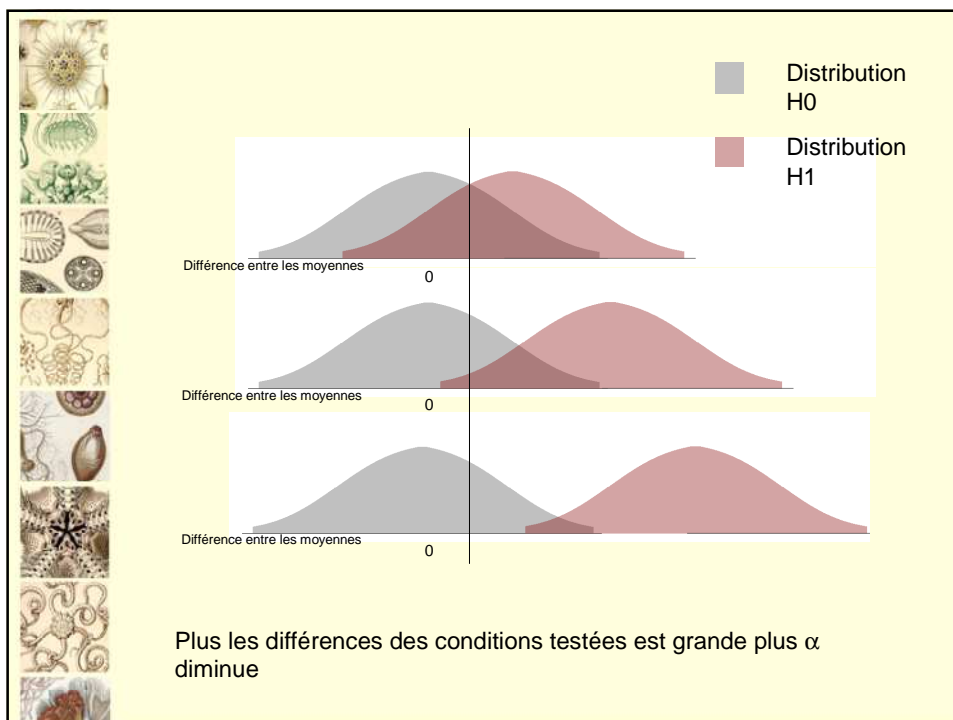
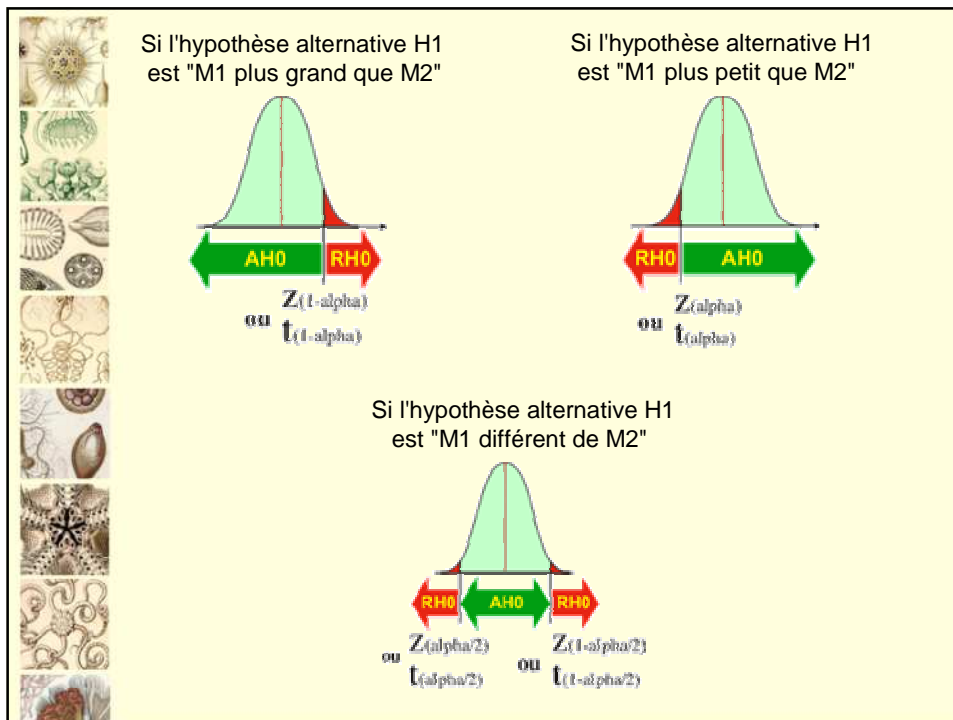
- 1- La moyenne de la distribution d'échantillonnage est égale à la moyenne des moyennes (établie à partir des mesures individuelles).
- 2- L'écart type de la distribution d'échantillonnage est égale à : s/\sqrt{n} . C'est l'erreur standard de la moyenne (Standard Error of the Mean : SEM).
- 3- La distribution d'échantillonnage est toujours symétrique autour de sa moyenne.
- 4- Si la distribution dans la population est normale, alors la distribution d'échantillonnage est également normale. Cependant, lorsque la taille des échantillons est suffisamment grande, alors la distribution d'échantillonnage tend vers une distribution normale indépendamment du type de distribution initiale.



Liens:

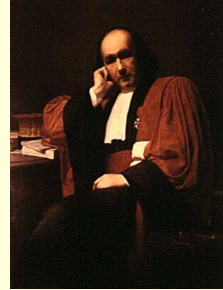
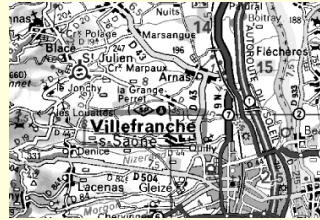
<http://www.fundp.ac.be/sciences/biologie/biostatistiques/biostat/modules/module130/page8.html>

http://www.educ.necker.fr/cours/poly/biostatistique/biostat.htm#Valeur_de_p.htm





Claude Bernard (1813-1878)



"J'ai connu la douleur du savant qui, faute de moyens matériels, ne peut entreprendre de réaliser des expériences qu'il conçoit et est obligé de renoncer à certaines recherches, ou de laisser sa découverte à l'état d'ébauche."



Claude Bernard (1813-1878)

« La théorie est l'hypothèse vérifiée après qu'elle ait été soumise au contrôle du raisonnement et de la critique. Une théorie, pour rester bonne, doit toujours se modifier avec le progrès de la science et demeurer constamment soumise à la vérification et la critique des faits nouveaux qui apparaissent. Si l'on considérait une théorie comme parfaite, et si on cessait de la vérifier par l'expérience scientifique, elle deviendrait une doctrine. »

La Science avance en se
critiquant tout le
temps, et en remettant
en cause ce qu'elle dit!





Travaux pratiques :

Un exemple:

Quelqu'un affirme que les femmes sont toujours plus anxieuses au volant que les hommes.

Le croyez vous?



Travaux pratiques :

Un exemple:

Quelqu'un affirme que les femmes sont toujours plus anxieuses au volant que les hommes.

Le croyez vous?

Attention, il ne faut jamais croire ce que l'on nous dit mais demandé des preuves. Si vous prenez pour argent comptant cette assertion, il est probable que vous seriez plus enclin par la suite à accepter un décret de loi qui stipule que les femmes aient à payer une police d'assurance plus onéreuse que les hommes pour couvrir leur véhicule...

Il nous faut des preuves !!!!



Travaux pratiques :

On pose une hypothèse de travail :

1. Les femmes sont toujours plus anxieuses au volant que les hommes.
2. Parfois, les femmes sont plus anxieuses au volant que les hommes.
3. Les femmes sont 5 fois plus anxieuses au volant que les hommes.
4. Les femmes seraient plus anxieuses au volant que les hommes.
5. Les femmes sont plus anxieuses au volant que les hommes.
6. Les femmes pourraient être plus anxieuses que les hommes au volant.
7. Il semblerait que les femmes soient plus anxieuses au volant que les hommes.

Laquelle(s) de ces hypothèses est elle une bonne hypothèse?



Travaux pratiques :

On pose une hypothèse :

1. Les femmes sont **toujours** plus anxieuses au volant que les hommes.
2. **Parfois**, les femmes sont plus anxieuses au volant que les hommes.
3. Les femmes **sont 5 fois** plus anxieuses au volant que les hommes.
4. Les femmes **seraient** plus anxieuses au volant que les hommes.
5. Les femmes **sont plus anxieuses au volant que les hommes.** ✓
6. Les femmes **pourraient** être plus anxieuses que les hommes au volant.
7. **Il semblerait que** les femmes soient plus anxieuses au volant que les hommes.

Une hypothèse théorique doit:

- être un pari: j'affirme donc ma position pour ne pas biaiser mes futures interprétations des résultats. J'emploie donc la forme affirmative.
- être la plus précise possible et sa précision dépend de la force prédictive du modèle théorique dont nous disposons.



Travaux pratiques :

Quelle est H0 ?

Quelle est H1 ?



Travaux pratiques :

Quelle est H0 ?

L'hypothèse nulle:

Les femmes et les hommes ont le même niveau d'anxiété au volant.

Quelle est H1 ?

Les femmes et les hommes ont un niveau d'anxiété au volant différent.

Les femmes ont un niveau d'anxiété au volant plus élevé que les hommes.

Les hommes ont un niveau d'anxiété au volant moins élevé que les femmes.



Travaux pratiques :

Brainstorming :

Comment pouvons-nous tester cette hypothèse ?



Travaux pratiques :

Comment pouvons-nous tester cette hypothèse ? Choix de la méthode

- Questionnaire d'auto-évaluation de l'anxiété à qq personnes.
- Questionnaire d'auto-évaluation de l'anxiété à 1000 personnes.
- Questionnaire d'hétéro-évaluation de l'anxiété pré évalué.

Attention au nombre de participants, à la normalisation, à la validité et à la standardisation des tests. Dans notre exemple l'échelle d'anxiété de Beck est une échelle qui convient.

(voir parti Validation)

- En mettant en place un protocole expérimental, en testant l'hypothèse sur un échantillon de participants, et en vérifiant si notre échantillon est représentatif de la population.



Travaux pratiques :

Opérationnalisation de l'hypothèse :

Récrivez l'hypothèse en fonction de la méthode que vous avez choisie, de la manière la plus précise et concrète possible.



Travaux pratiques :

Opérationnalisation de l'hypothèse :

Récrivez l'hypothèse en fonction de la méthode que vous avez choisie, de la manière la plus précise et concrète possible.

- Pour une situation de conduite, les femmes présentent un score à l'échelle d'anxiété de Beck plus élevé que celui des hommes.
- Dans une situation de conduite, les femmes présentent un niveau de sudation (de conductivité épidermique) plus important que celui des hommes.
- Dans une situation de conduite, les femmes présentent un rythme cardiaque plus important que celui des hommes.
- Dans une situation de conduite, les femmes présentent une tension musculaire plus importante que celle des hommes.



Travaux pratiques :

Opérationnalisation de l'hypothèse :

Opérationnaliser H0 et H1.



Travaux pratiques :

Opérationnalisation de l'hypothèse :

Opérationnaliser H0 et H1.

Dans une situation de conduite,

H0: les femmes présentent le même rythme cardiaque que les hommes.

$$R_f = R_h$$

H1 : les femmes présentent un rythme cardiaque plus important que celui des hommes.

$$R_f \neq R_h$$

ou

$$R_f > R_h$$



Travaux pratiques :

Observation et Test : les biais possibles

1. Effet de ???

Imaginez que le participant trouve l'expérimentateur super sympa et qu'il connaisse ses intentions (avis, opinion sur l'hypothèse). Imaginez que le participant ne veuille pas que l'hypothèse soit validée... Imaginez que les participant ne croit pas en la méthode utilisée...

Attention au effet d'attente des participants.

Expérience

→ Pour éviter ce biais, nous utilisons un protocole en simple aveugle et de placebo.



Travaux pratiques :

Observation et Test : les biais possibles

2. Effet Pygmalion.

Imaginons que l'expérimentateur soit un macho, un misogyne, un beau garçon, une jolie demoiselle, imaginez que l'expérimentateur souhaite à tout prix que l'hypothèse soit vraie.

Attention au effet d'attente de l'expérimentateur:

Expérience de Rosenthal.

Expérience de Rosenhan.

→ Pour éviter ce biais, nous utilisons un protocole en double aveugle.



Travaux pratiques :

Observation et Test : les biais possibles

3. Effet de la mesure.

Imaginez que normalement un participant ne stresse jamais au volant mais que dans le cadre d'une étude avec un expérimentateur à côté de lui qui le note, il stresse beaucoup plus. Imaginez que les hommes soient plus anxieux à l'idée d'être évalués que les femmes (ou inversement).

→ *La méthode de Solomon.*

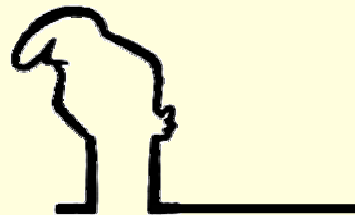


Travaux pratiques :

Les biais possibles: résumé

Nous utilisons des méthodes pour éviter que nos résultats, notre démarche soient faussés; pour que nous restions dans le doute, pour que nos jugements personnels ne viennent pas modifier les observations.

Etre le plus objectif possible !





Travaux pratiques :

Variable dépendante: la mesure

Nous avons choisi la pression artérielle comme indicateur de l'anxiété:

Elle est exprimée par 2 mesures en centimètres de mercure (cmHg):

- La pression maximale au moment de la contraction du cœur (systole),
- La pression minimale au moment du « relâchement » du cœur (diastole).

Si on énonce la tension sous la forme d'un seul chiffre, sans unité, il s'agit alors de la pression artérielle moyenne (PAM) exprimée en cmHg. Celle-ci se calcule de la manière suivante :

$$\text{PAM} = (\text{pression systolique} + 2 \times \text{pression diastolique}) / 3$$



Travaux pratiques :

Les résultats

Dans la partie résultat, pour rester le plus objectif possible, nous ne décrivons que les résultats! Nous ne faisons aucune interprétation des résultats.

Exemple 1:

	Homme (n=20)	Femme (n=20)
PAM (moyenne et erreur standard)	10,18 (1,28)	10,89 (1,23)

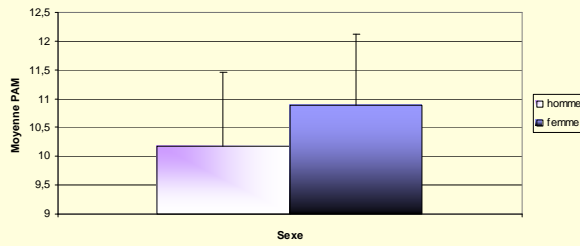


Travaux pratiques :

Les résultats

Dans la partie résultat, pour rester le plus objectif possible, nous ne décrivons que les résultats! Nous ne faisons aucune interprétation des résultats.

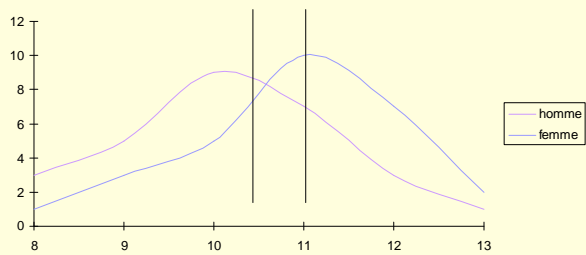
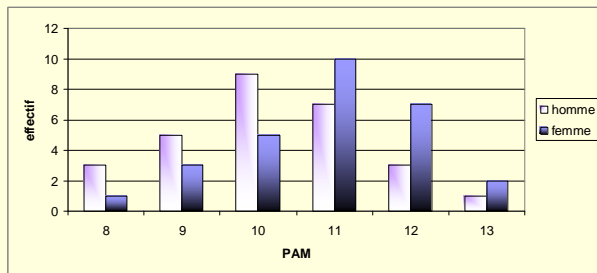
Exemple 1 :



Travaux pratiques :

Les résultats

PAM	homme	femme
8	3	1
9	5	3
10	9	5
11	7	10
12	3	7
13	1	2





Travaux pratiques :

Les résultats

Nous souhaitons comparer deux échantillons. Il faut:

1. Vérifier que la distribution des scores de chaque échantillon suit une loi normale.
2. Vérifier l'égalité des variances: Vérification de l'homogénéité des variances
3. Comparer les moyennes.



Travaux pratiques :

Cas de petits échantillons ($n < 30$)

$$t = \frac{\bar{m}_A - \bar{m}_B}{\sqrt{\frac{S^2}{n_A} + \frac{S^2}{n_B}}} \quad \text{avec} \quad s^2 = \frac{\sum (x - m_A)^2 + \sum (x - m_B)^2}{n_A + n_B - 2}$$

		homme	femme
	moyenne	10,18	10,89
	Somme	44,1	40,68
	S ²	1,57	
	T Student calculé	2,13	
	ddl	54	
T théorique	$\alpha = .05$	1,674	
	$\alpha = .01$	2,402	

→ Nous ne sommes sûr qu'à 95% que l'anxiété des femmes au volant n'est pas égale à celle des hommes. Nous rejetons H0 avec l'idée que nous en sommes sûr qu'à 95%.

