

Causal Inference | *Inférence causale*

Nahomi Ichino

26 June 2023

Randomized experiments | *Les expériences aléatoires*

Learning the average causal effect from an experiment | *Comment apprendre l'effet causal moyen d'une expérience aléatoire*

Core assumptions | *Hypothèses clés*

Randomized experiments vs observational studies | *Études aléatoires vs. études observationnelles*

Key points for this lecture | *Points clés du cours*

- ▶ Potential outcomes
- ▶ A causal effect is a difference between potential outcomes
- ▶ Core assumptions for causal inference
- ▶ The difference between randomized and observational studies
- ▶ Les résultats potentiels
- ▶ L'effet causal est une différence entre des résultats potentiels
- ▶ Les hypothèses clés pour l'inférence causale
- ▶ Les différences entre les études aléatoires et les études observationnelles

Randomized experiments | *Les expériences aléatoires*

Review: Core elements of a randomized experiment | *Les expériences aléatoires*

- ▶ You have a treatment.
 - ▶ *You randomly assign treatment to units.*
 - ▶ You compare the outcomes for the units that were assigned to treatment to outcomes for those that were not.
- ▶ Vous avez un traitement.
 - ▶ *Vous assignez de manière aléatoire des sujets aux conditions de traitement et de contrôle.*
 - ▶ Vous comparez les résultats des unités qui sont assignées au groupe de traitement et de celles qui sont assignées au groupe de contrôle.

What can you learn from an experiment? | *Qu'apprendre d'une expérience?*

The *average causal effect* of the treatment T on an outcome Y for the units that you have in your study.

- ▶ You have to define what the treatment means and what it means to not have the treatment.
- ▶ The units in your study might or might not be representative of a larger population.

L'effet causal moyen du traitement T sur un résultat Y pour pour les unités de votre étude.

- ▶ Vous devez définir la condition de traitement et de contrôle pour définir un effet causal.
- ▶ Les unités de votre étude peuvent ou non être représentatives d'une population plus large.

What do we mean by “ T causes Y ”? | *Comment interpréter “ T cause Y ”?*

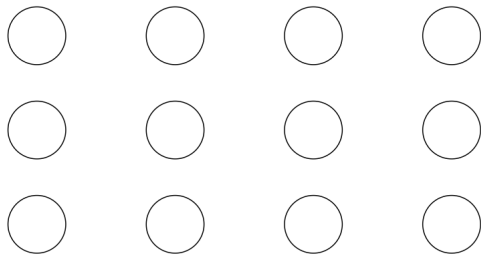
- ▶ We're going to take the counterfactual approach.
- ▶ “ T causes Y ” is a claim about what didn't happen.
 - ▶ “If T had not occurred, then Y would not have occurred.”
 - ▶ “With T , the probability of Y is higher than would be without T .”
- ▶ Nous utiliserons l'approche contrefactuelle.
- ▶ “ T cause Y ” est une affirmation sur ce qui n'a pas eu lieu.
 - ▶ “Si T n'avait pas été donné, il n'y aurait pas de Y .”
 - ▶ “Avec T , la probabilité de Y est plus élevée qu'elle ne le serait sans T .”

What do we mean by “ T causes Y ”? | *Comment interpréter “ T cause Y ”?*

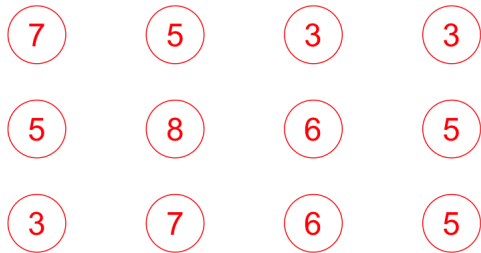
- ▶ “ T causes Y ” requires a *context*.
 - ▶ Small classrooms improve test scores but require experienced teachers and funding.
- ▶ “ T causes Y ” doesn’t mean “ W does not cause Y .”
- ▶ “ T cause Y ” nécessite un *contexte*.
 - ▶ Les petites salles de classe améliorent les résultats des examens mais nécessitent des enseignants expérimentés et un financement adapté.
- ▶ “ T cause Y ” n’implique pas nécessairement que W ne cause pas Y .

Learning the average causal effect from an experiment |
*Comment apprendre l'effet causal moyen d'une expérience
aléatoire*

We have 12 units | *Nous avons 12 unités*

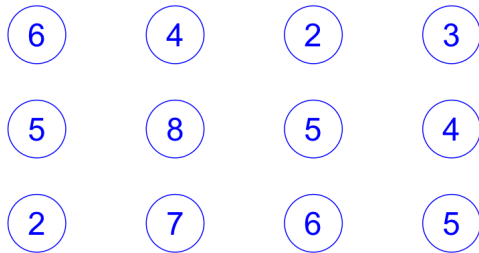


$Y_i(1)$, the outcome each unit would have if treated | $Y_i(1)$, le résultat qu'on obtiendrait si l'unité recevait le traitement



true average of $Y(1) = 5.25$

$Y_i(0)$, the outcome each unit would have if not treated | $Y_i(0)$, le résultat qu'on obtiendrait si l'unité recevait le contrôle

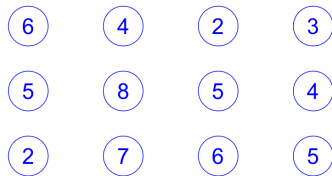


true average of $Y(0) = 4.75$

Each unit has both $Y_i(1)$ and $Y_i(0)$ | *Chaque unité a à la fois $Y_i(1)$ et $Y_i(0)$*

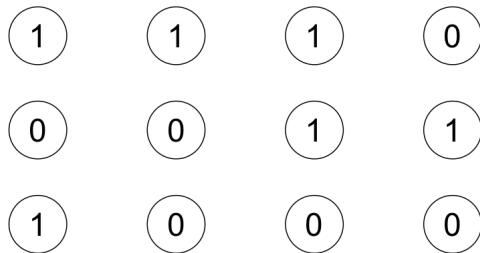


true average of $Y(1) = 5.25$



true average of $Y(0) = 4.75$

So each unit has a treatment effect $\tau_i = Y_i(1) - Y_i(0)$ | *Alors, pour chaque unité, il y a un effet de traitement $\tau_i = Y_i(1) - Y_i(0)$*



true average treatment effect = 0.5

Potential outcomes | Résultats potentiels

- ▶ For each unit we assume that there are two *post-treatment* outcomes: $Y_i(1)$ and $Y_i(0)$.
 - ▶ $Y_i(1)$ is the outcome that *would* obtain *if* the unit received the treatment ($T_i = 1$).
 - ▶ $Y_i(0)$ is the outcome that *would* obtain *if* the unit received the control ($T_i = 0$).
- ▶ Pour chaque unité, nous supposons qu'il y a deux résultats *post-traitement* : $Y_i(1)$ et $Y_i(0)$.
 - ▶ $Y_i(1)$ est le résultat qu'on *obtiendrait* si l'unité recevait le traitement ($T_i = 1$).
 - ▶ $Y_i(0)$ est le résultat qu'on *obtiendrait* si l'unité recevait le contrôle ($T_i = 0$).

Fundamental problem of causal inference | *Le problème fondamental de l'inférence causale*

- ▶ We can't measure the individual-level causal effect, because we can't observe both $Y_i(1)$ and $Y_i(0)$ at the same time.
- ▶ But not all is lost.
- ▶ We can estimate the **average treatment effect** with a randomized experiment.
- ▶ Nous ne pouvons pas mesurer l'effet causal au niveau individuel, car nous ne pouvons pas observer à la fois $Y_i(1)$ et $Y_i(0)$ pour un même individu.
- ▶ Mais tout n'est pas perdu.
- ▶ Nous pouvons estimer **l'effet moyen du traitement** avec une expérience aléatoire.

Let's go back to the $Y_i(1)$ | *Revenons à $Y_i(1)$*

7	5	3	3
5	8	6	5
3	7	6	5

We can take a random sample of these $Y_i(1)$ | *Sélectionnons un échantillon aléatoire de $Y_i(1)$*



average $Y(1)$ of sample #1 = 5

We can take another random sample of these $Y_i(1)$ | *Sélectionnons un autre échantillon aléatoire de $Y_i(1)$*



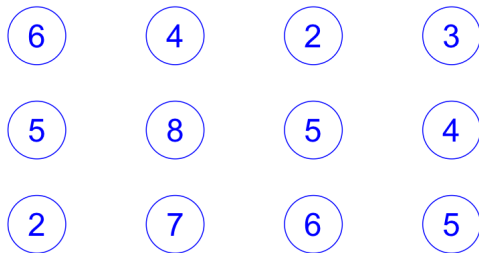
average $Y(1)$ of sample #2 = 5.5

And another! | *Et un autre!*



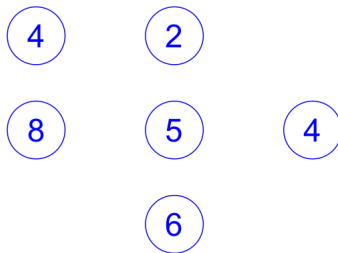
average $Y(1)$ of sample #3 = 5.67

Let's get back to the $Y_i(0)$ | *Revenons à $Y_i(0)$*



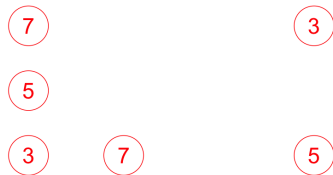
true average of $Y(0) = 4.75$

And we can take a random sample of these $Y_i(0)$ | *Sélectionnons un autre échantillon aléatoire de $Y_i(0)$*

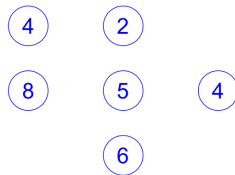


average $Y(0)$ of sample #1 = 4.83

A random assignment | *Une assignation aléatoire*

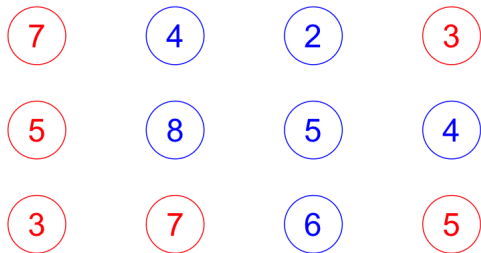


average $Y(1)$ of sample #1 = 5



average $Y(0)$ of sample #1 = 4.83

Put them together | *Assemblons-les*



$$5 - 4.83 = 0.17$$

A different random assignment | *Une autre assignation aléatoire*

7	4	2	3
5	8	6	5
2	7	6	5

$$5.5 - 4.5 = 1$$

Randomization is powerful | *Randomiser est puissant*

Average treatment effect / l'effet moyen du traitement (ATE):

$$ATE = \bar{\tau}_i = \overline{Y_i(1) - Y_i(0)} = \overline{Y_i(1)} - \overline{Y_i(0)}$$

We use two facts:

1. The average of a difference equals the difference of averages.

Nous appuyons sur deux faits:

1. La moyenne des différences est égale à la différence des moyennes.

Randomization is powerful | *Randomiser est puissant*

$$Y_i = T_i Y_i(1) + (1 - T_i) Y_i(0)$$

$$E_R[\overline{Y_i} | T_i = 1] = \overline{Y_i(1)}$$

$$E_R[\overline{Y_i} | T_i = 0] = \overline{Y_i(0)}$$

2. Because the units were randomly assigned to treatment, $Y_i = Y_i(1)$ for the treated units represent the $Y_i(1)$ for all the units. (What we observe is Y_i .)

The same logic applies to the units assigned to control.

2. Parce que les unités ont été assignées de manière aléatoire au traitement, $Y_i = Y_i(1)$ pour les unités traitées représentent les $Y_i(1)$ pour toutes nos unités. (Ce que nous observons est Y_i .)

La même logique s'applique pour les unités assignées aléatoirement au contrôle.

Randomization is powerful | *Randomiser est puissant*

$$ATE = \bar{\tau}_i = \overline{Y_i(1) - Y_i(0)} = \overline{Y_i(1)} - \overline{Y_i(0)}$$

$$E_R[\overline{Y_i} | T_i = 1] = \overline{Y_i(1)}$$

$$E_R[\overline{Y_i} | T_i = 0] = \overline{Y_i(0)}$$

- ▶ \overline{Y} means the average over a set of observations.
- ▶ $E_R[\]$ means the average over repeated operations.
- ▶ We may not get exactly $\overline{Y_i(1)}$ from a particular randomization, but we can expect to get $\overline{Y_i(1)}$ over repeated experiments.
- ▶ \overline{Y} signifie “moyenne sur un ensemble d’observations”.
- ▶ $E_R[\]$ signifie “moyenne sur des opérations répétées”.
- ▶ Nous n’obtenons pas exactement $\overline{Y_i(1)}$ d’une assignation aléatoire particulière, mais nous pouvons nous attendre à $\overline{Y_i(1)}$ au cours d’expériences répétées.

Randomization is powerful | *Randomiser est puissant*

- ▶ Randomization creates two groups that are similar except that one will receive the treatment and the other will not. Differences before receiving treatment are only due to chance.
- ▶ Differences after treatment can be attributed to the treatment instead of other factors.
- ▶ L'assignation aléatoire crée deux groupes d'unités qui sont similaires excepté qu'un recevra le traitement et l'autre non. Les différences entre les groupes avant de recevoir le traitement ne sont dues qu'au hasard.
- ▶ Les différences entre les groupes après le traitement peuvent être attribuées au traitement plutôt qu'à d'autres facteurs.

Core assumptions | *Hypothèses clés*

Core assumptions | *Hypothèses clés*

We need two core assumptions for randomized experiments:

1. Random assignment of treatment.
2. SUTVA (Stable unit treatment value assumption).
3. Excludability.

Nous avons besoin de deux hypothèses clés pour les expériences aléatoires:

1. L'assignation aléatoire du traitement.
2. L'hypothèse SUTVA (Hypothèse stable de la valeur de traitement d'une unité).
3. La restriction d'exclusion.

Core assumption 1: Random assignment of treatment | *Hypothèse clé 1: L'assignation aléatoire du traitement*

- ▶ Each observation has a *known* probability of assignment to experimental conditions *between* 0 and 1.
 - ▶ No unit in the experimental sample is assigned to treatment with certainty (probability = 1) or to control with certainty (probability = 0).
 - ▶ It doesn't mean haphazard or uncontrolled!
- ▶ Chaque observation a une probabilité *connue* d'assignation au traitement comprise entre 0 et 1.
 - ▶ Aucune unité de l'échantillon expérimental n'est assignée au traitement ou au contrôle avec certitude.
 - ▶ Cela ne signifie ni désordonné ni incontrôlé!

2.1 No interference – A subject's potential outcome reflects only whether that subject receives the treatment himself/herself. It is not affected by how treatments happen to be allocated to other subjects.

- ▶ A classic violation is the case of vaccines and their spillover effects.

2.1 La non-interférence – Le résultat potentiel d'un sujet reflète uniquement la réception du traitement par ce sujet. Il n'est pas affecté par le statut du traitement des autres sujets.

- ▶ Une violation classique est le cas des vaccins et de leurs effets de contamination.

2.2 No hidden variations of the treatment

- Say treatment is taking a vaccine, but there are two kinds of vaccines and they have different ingredients.

2.2 Pas de variations cachées du traitement

- Disons que le traitement consiste à prendre un vaccin, mais il existe deux types de vaccins et ils ont des compositions différentes.

Core assumption 3: Excludability | *Hypothèse clé 3: La restriction d'exclusion*

3. Treatment assignment has no effect on outcomes except through its effect on whether treatment was received.
 - ▶ Treatment and control groups should be treated the same, except for the actual treatment.
3. L'assignation au traitement n'a aucun effet sur les résultats, sauf à travers l'effet de recevoir ou non le traitement.
 - ▶ Important de maintenir la symétrie entre les groupes de traitement et de contrôle, excepté le statut du traitement.

Randomized experiments vs observational studies | *Études aléatoires vs. études observationnelles*

Different types of studies | *Les différents types d'études*

- ▶ Randomized studies
- ▶ Observational studies

- ▶ Études aléatoires
- ▶ Études observationnelles

Randomized studies | *Études aléatoires*

- ▶ Randomize treatment, then go measure outcomes.
- ▶ We can attribute differences in outcomes to the treatment (plus chance).
- ▶ Le traitement est assigné de manière aléatoire, ensuite on mesure les résultats.
- ▶ Nous pouvons attribuer les différences de résultats au traitement (en plus du hasard).

Observational studies | *Études observationnelles*

- ▶ Treatment is not randomly assigned. It is observed, but not manipulated.
- ▶ Differences might be due to underlying differences (selection bias) or the treatment (plus noise). It's often very hard to tell.
- ▶ Le traitement n'est pas assigné de manière aléatoire. Il est observé, mais pas manipulé.
- ▶ Les différences peuvent être dues à des différences sous-jacentes (biais de sélection) ou au traitement (plus le bruit). C'est souvent très difficile à dire.

Internal validity | *La validité interne*

- ▶ Randomized studies have high internal validity – confidence that we have learned the causal effect of a treatment on an outcome.
- ▶ Observational studies have to invoke additional strong assumptions to make the same claim of a causal effect.
- ▶ La randomisation apporte une validité interne élevée à une étude – nous avons appris l'effet causal du traitement sur le résultat avec un certain niveau de confiance.
- ▶ Les études observationnelles doivent invoquer d'autres hypothèses fortes pour faire la même affirmation à propos d'un effet causal.

Generalizability (external validity) | Généralisabilité (la validité externe)

- ▶ The finding from a particular study in one particular place and at one particular time may not hold in other settings (i.e., not have external validity).
- ▶ This is a general concern for observational studies as well, not just a concern for randomized studies.
- ▶ Le résultat d'une étude spécifique à un endroit et moment particuliers peut ne pas être valable dans d'autres contextes (i.e. la validité externe).
- ▶ C'est une préoccupation générale, pas seulement une préoccupation pour les études aléatoires.

- ▶ EGAP Methods Guide on Randomization
(<https://egap.org/resource/10-things-to-know-about-randomization/>)
- ▶ EGAP's Metaketa Initiative works to accumulate knowledge by pre-planning a meta-analysis of multiple studies that have high internal validity due to randomization.
- ▶ Guide des méthodes EGAP sur la randomisation
(<https://egap.org/fr/resource/10-choses-a-savoir-sur-la-randomisation/>)
- ▶ L'initiative Metaketa d'EGAP vise à accumuler des connaissances en pré-planifiant une méta-analyse de plusieurs études qui ont une validité interne élevée en raison de la randomisation.