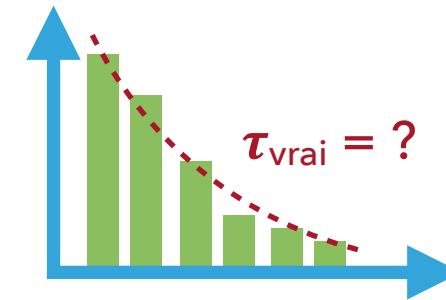


PHYS-F-311

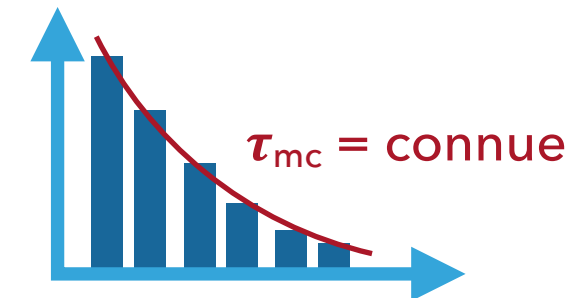
INTRODUCTION À LA PHYSIQUE EXPERIMENTALE:
STATISTIQUE ET PROGRAMATION

L'ANALYSIS DES DONNÉES

Aquisition des données

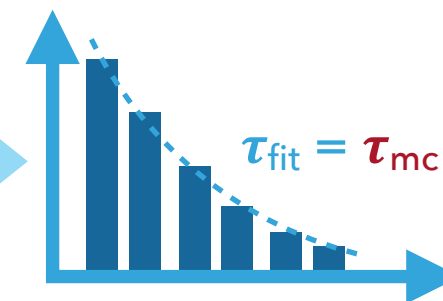


Simulation MC

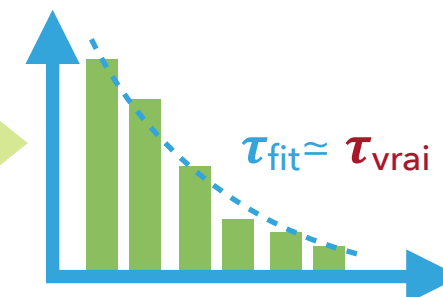


Méthode d'ajustement:
moindres carrés ou
vraisemblance

validation de méthode
d'ajustement



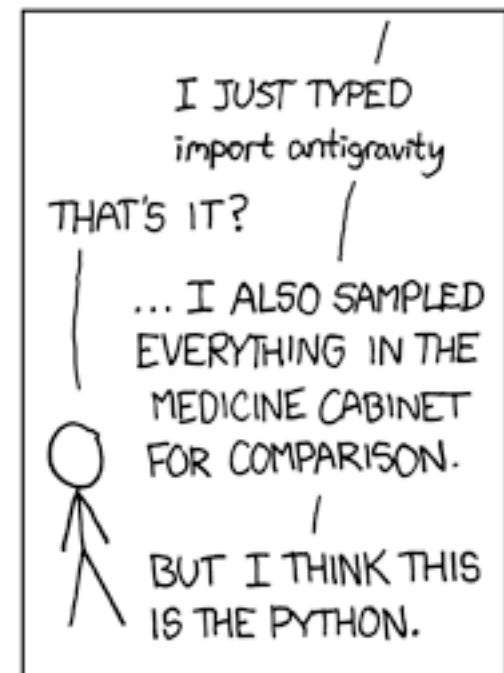
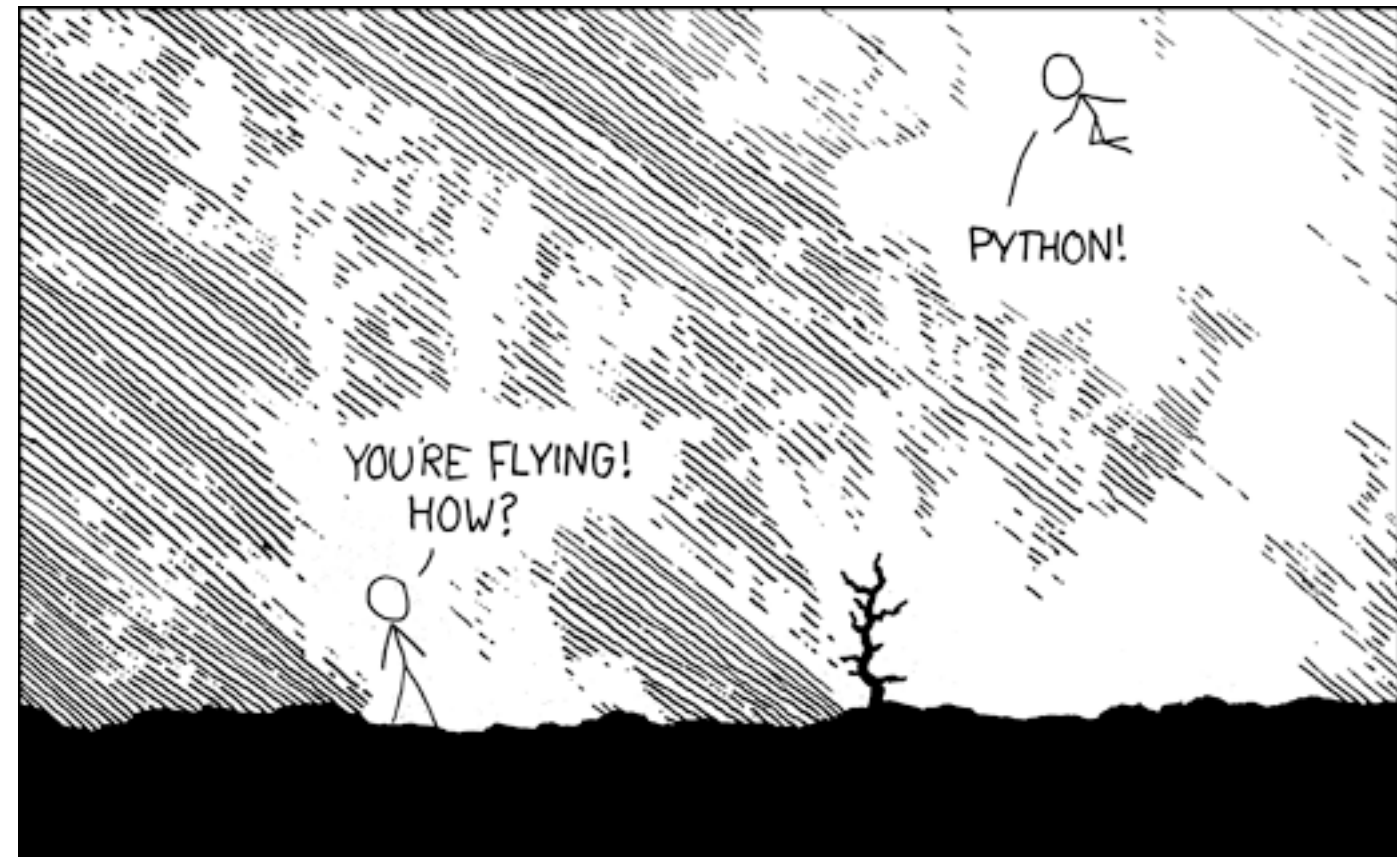
Application aux données
expérimentales



Python est un langage de programmation moderne, polyvalent, orienté objet et de haut niveau :

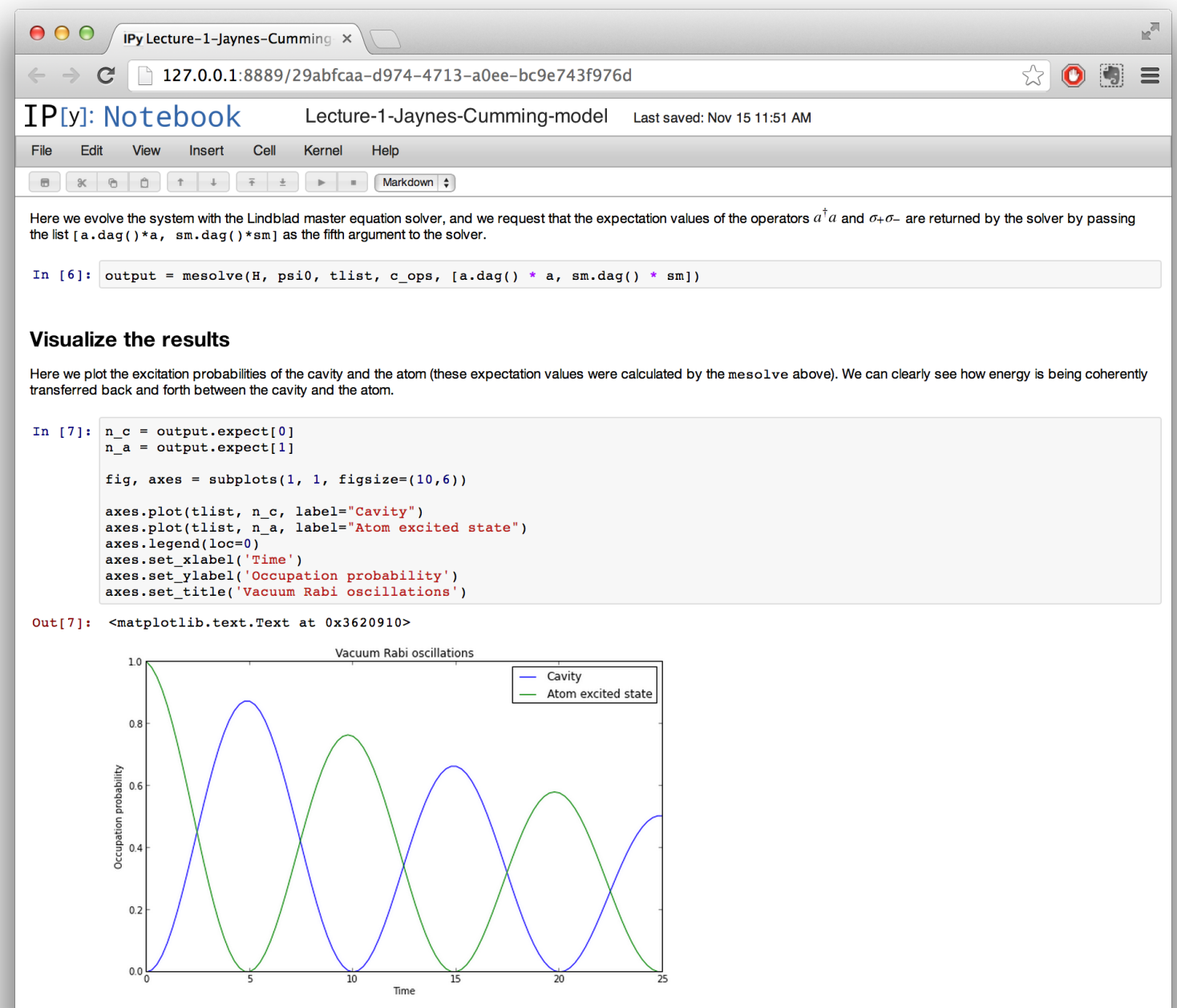
- **langage propre et simple :** Code facile à lire et intuitif, syntaxe minimaliste facile à apprendre, la maintenabilité s'adapte bien à la taille des projets.
- **Langage expressif :** Moins de lignes de code, moins de bogues, plus facile à maintenir.

Mais surtout, c'est amusant !



source: xkcd.com

Un Jupyter notebook est un environnement basé sur HTML pour plusieurs langages dont Python. Il est basé sur le shell IPython, mais offre un environnement basé sur des cellules avec une grande interactivité, où les calculs peuvent être organisés et documentés de manière structurée.



- ▶ Vous pouvez télécharger et installer une distribution **Python** sur votre ordinateur. Je recommande la distribution gratuite **Anaconda Scientific Python** (<https://www.continuum.io/downloads>). Utilisez la version 3 pour **Python**.
- ▶ L'extension Chrome CoLaboratory vous permet d'exécuter des carnets de notes IPython dans le navigateur Chrome.
- ▶ Des services en ligne tels que SageMath offrent également la possibilité d'exécuter des Jupyter notebooks en ligne.

Vous pouvez télécharger les notebooks qu'on va utiliser sur le site web:

<https://github.com/zemrude/PHYS-F-311>

- ▶ <https://github.com/zemrude/PHYS-F-311/blob/master/Intro-Python.ipynb>

Most of the functionality in Python is provided by **modules**. The Python Standard Library is a large collection of modules:

- ▶ **Must haves**

- ▶ **numpy**: random numbers, arrays, transcendental functions, linear algebra.
- ▶ **scipy**: statistical tests, special functions, integration, curve fitting, minimization.
- ▶ **matplotlib**: plotting: xy plots, error bars, contour plots, histograms.

- ▶ **Recomended**

- ▶ **astropy**: Libraries for astronomers.
- ▶ **pandas**: Libraries for data tables.

- ▶ **Optionals**

- ▶ **seaborn**: Plots beautification.

Python has package managers that makes installing third-party modules pretty simple:

```
pip install --user modulename
```

Option 1

```
import numpy
x = numpy.cos(2 * numpy.pi)
```

Option 2

```
import numpy as np
x = np.cos(2 * np.pi)
```

Option 3

```
from numpy import cos, pi
x = cos(2 * pi)
```

Option 4

```
from numpy import *
x = cos(2 * pi)
```

- Options 1 and 2 are the preferred one. They allowed you to keep each function related to its function.

Example: there is another module **math** with a the function **cos** implemented, by keeping the **np.cos** or **numpy.cos** you avoid confusion between them.

- Option 3 might be used when we need access only to some of the functions inside the module. Option 4 saves a lot of typing but is sloppy and not recommended.

The Zen of Python:

Beautiful is better than ugly.

Explicit is better than implicit.

Simple is better than complex.

INTRODUCTION STATISTIQUE

TRAITEMENT DES ERREURS

► Erreur maximal ou limitation de l'appareil de mesure:

Tout les appareils ont une précision, le fournisseur indique normalement la précision de chaque appareil dans le manuel. Si on ne le trouve pas, on peut utiliser l'approximation suivante: **L'erreur d'un appareil numérique est donné par la moitié du dernier chiffre de précision**



Exemple: 138.20 ± 0.05 Kg

► Erreur aléatoire: Une erreur est aléatoire lorsque, d'une mesure à l'autre, la valeur obtenue peut être surévaluée ou sous-évaluée par rapport à la valeur réelle. **On peut estimer l'erreur aléatoire en répétant les mesures.**



Exemple: Mesurer avec un chronomètre

► Erreur systématique: Une erreur est systématique lorsqu'elle contribue à toujours surévaluer (ou toujours sous-évaluer) la valeur mesurée. **L'erreur systématique ne change pas et on ne peut pas le corriger.**



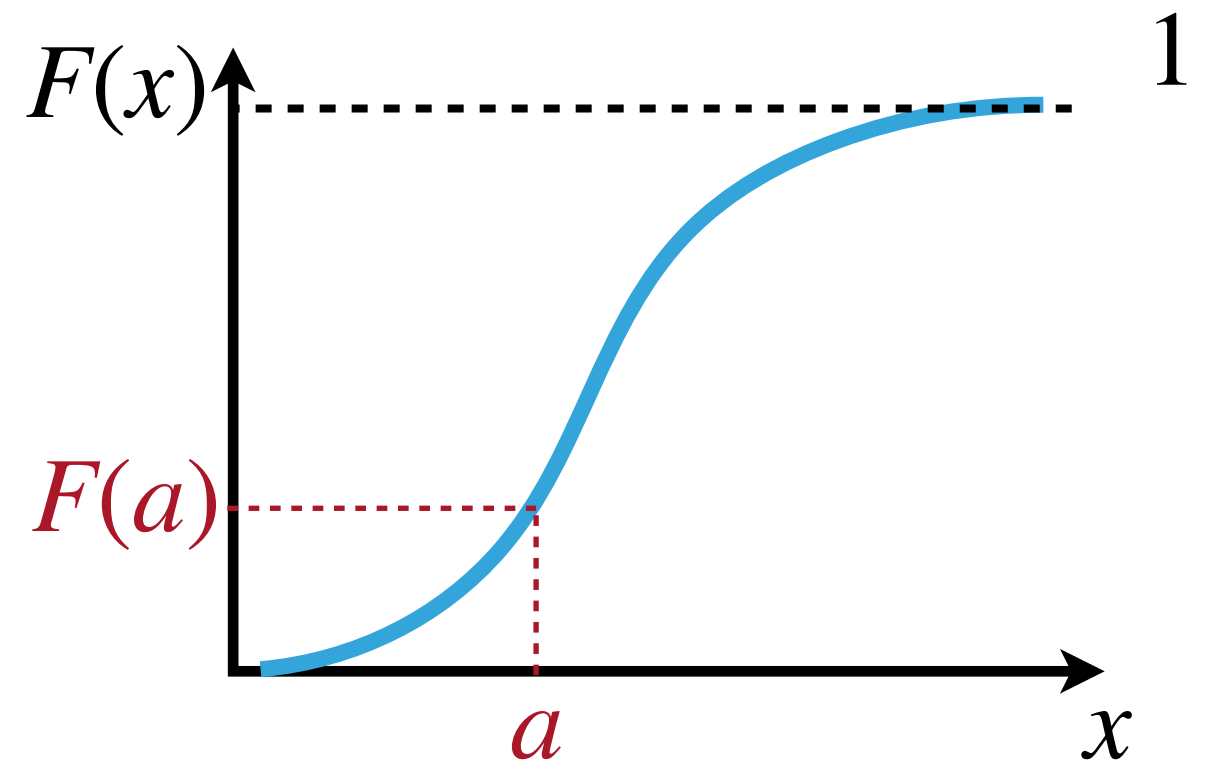
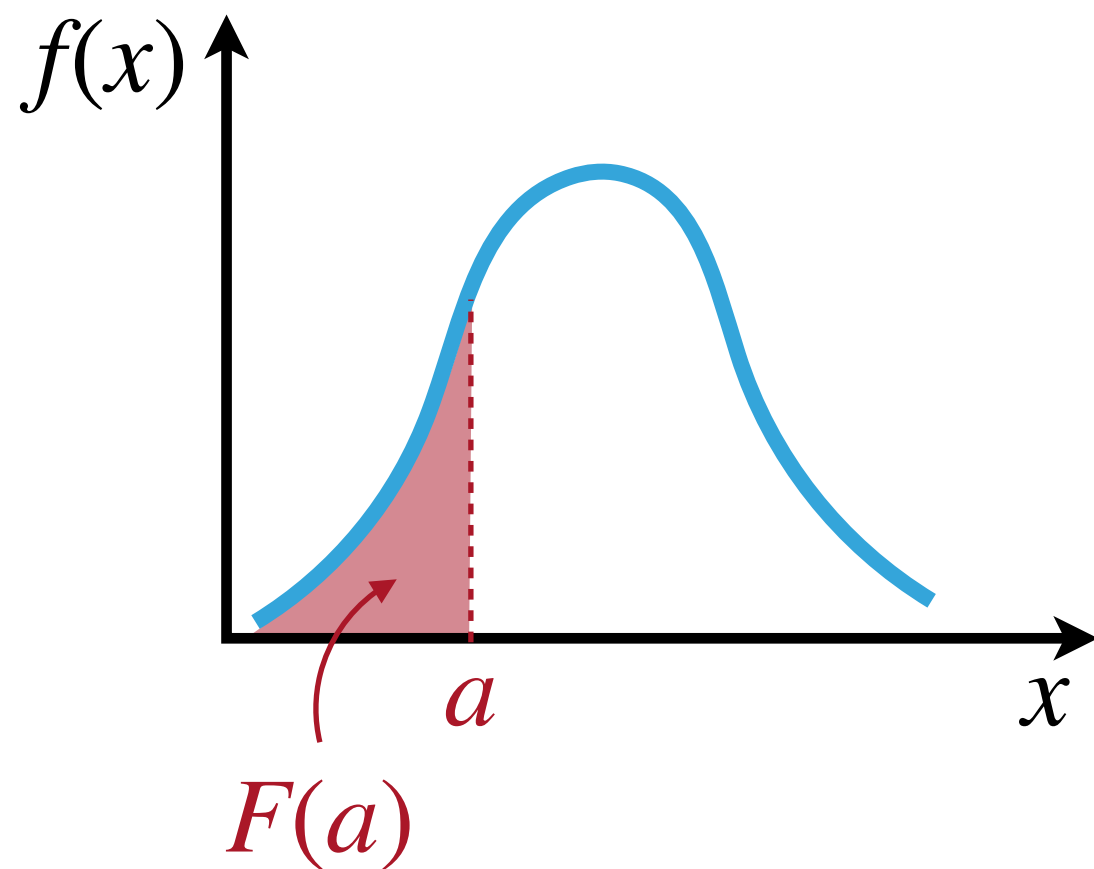
Exemple: Erreur dues au zéro dans une balance

INTRODUCTION STATISTIQUE

TRAITEMENT DES ERREURS

INTRODUCTION STATISTIQUE

DISTRIBUTION DES PROBABILITES

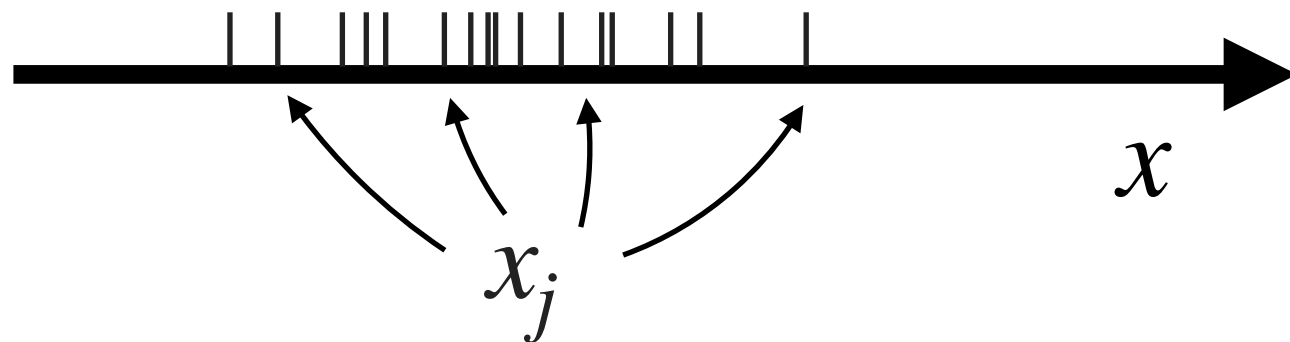


INTRODUCTION STATISTIQUE

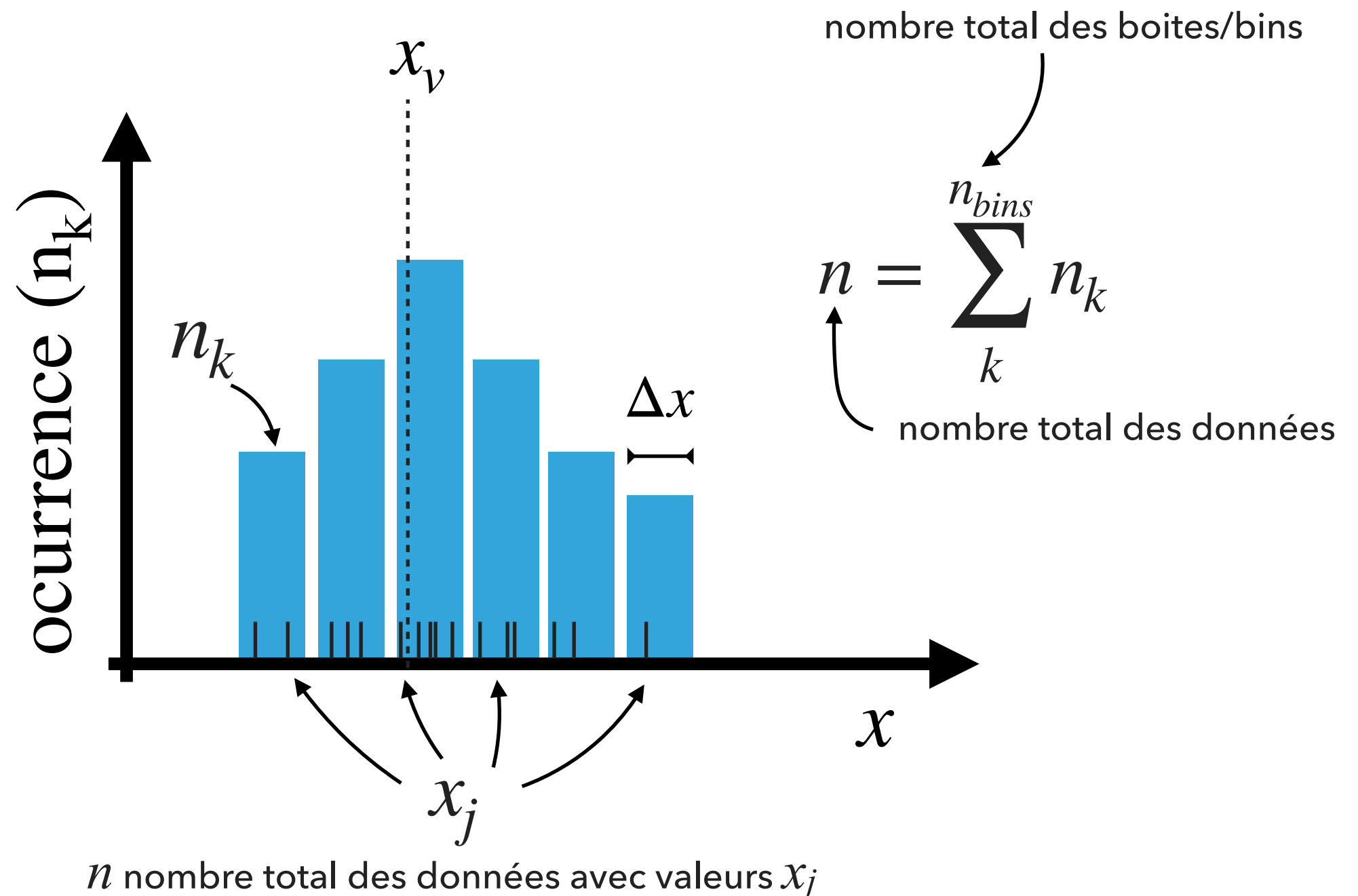
ESPERANCE MATHÉMATIQUE

INTRODUCTION STATISTIQUE

ESPERANCE MATHÉMATIQUE



Les histogrammes ne sont pas une représentation Y vs X. Il sont utilisés pour indiquer **l'ocurrence d'une valeur**, par exemple d'une mesure.



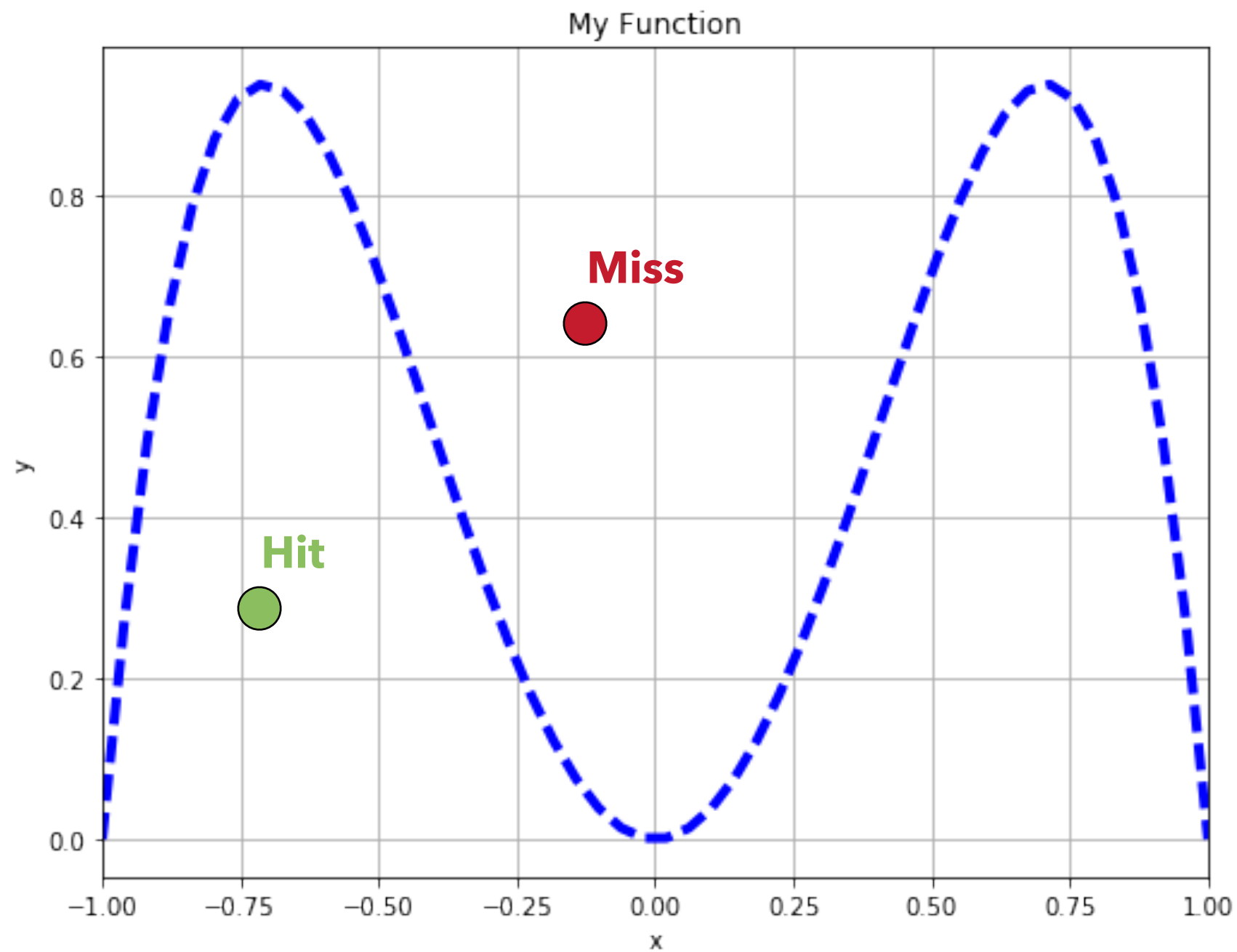
- ▶ <https://github.com/zemrude/PHYS-F-311/blob/master/Histograms-Binning.ipynb>

SIMULATION MONTE-CARLO

- ▶ <https://github.com/zemrude/PHYS-F-311/blob/master/MonteCarlo-Methods.ipynb>

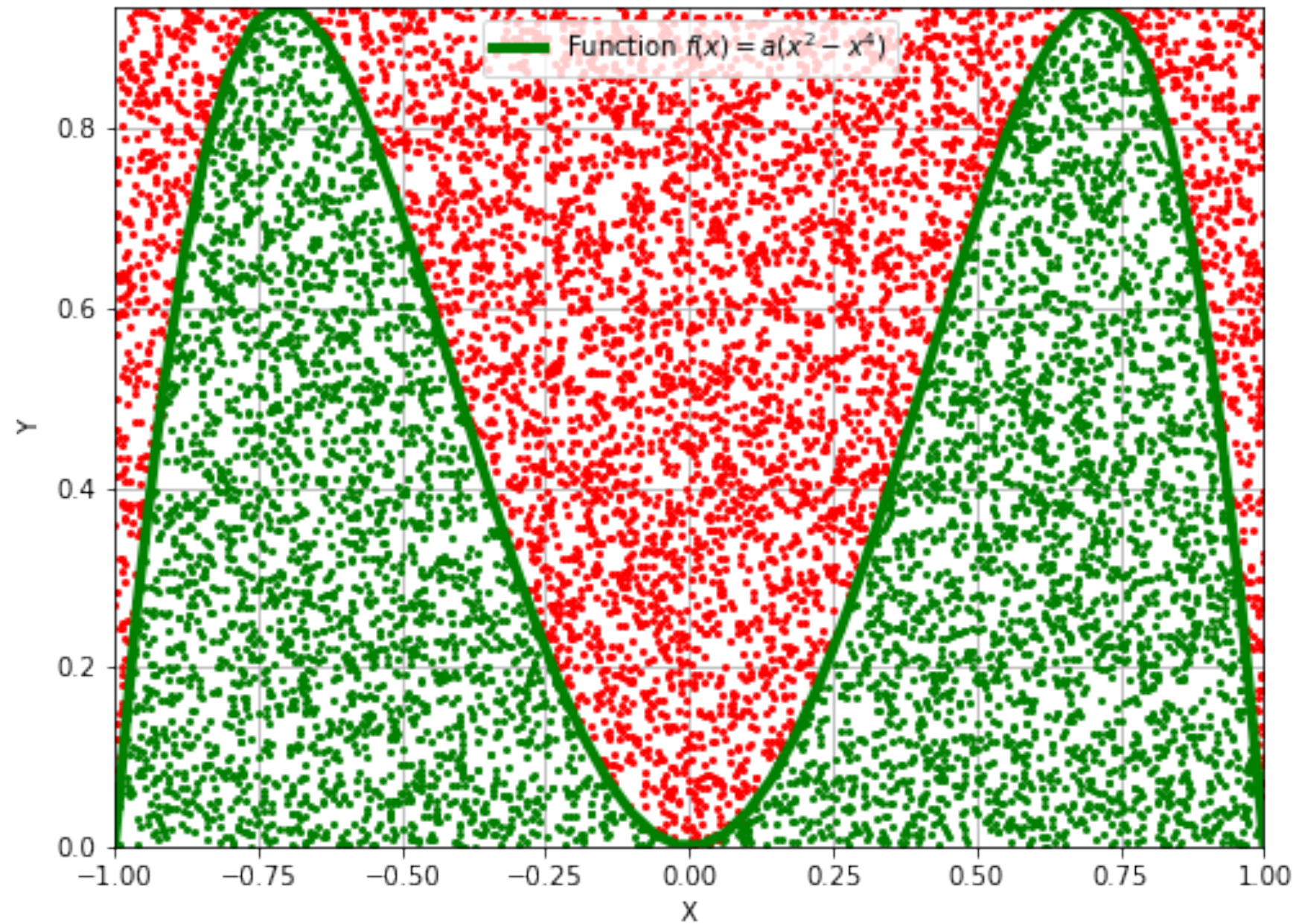
MÉTHODE DE MONTECARLO

MÉTHODE DE RÉJECTION (HIT&MISS)



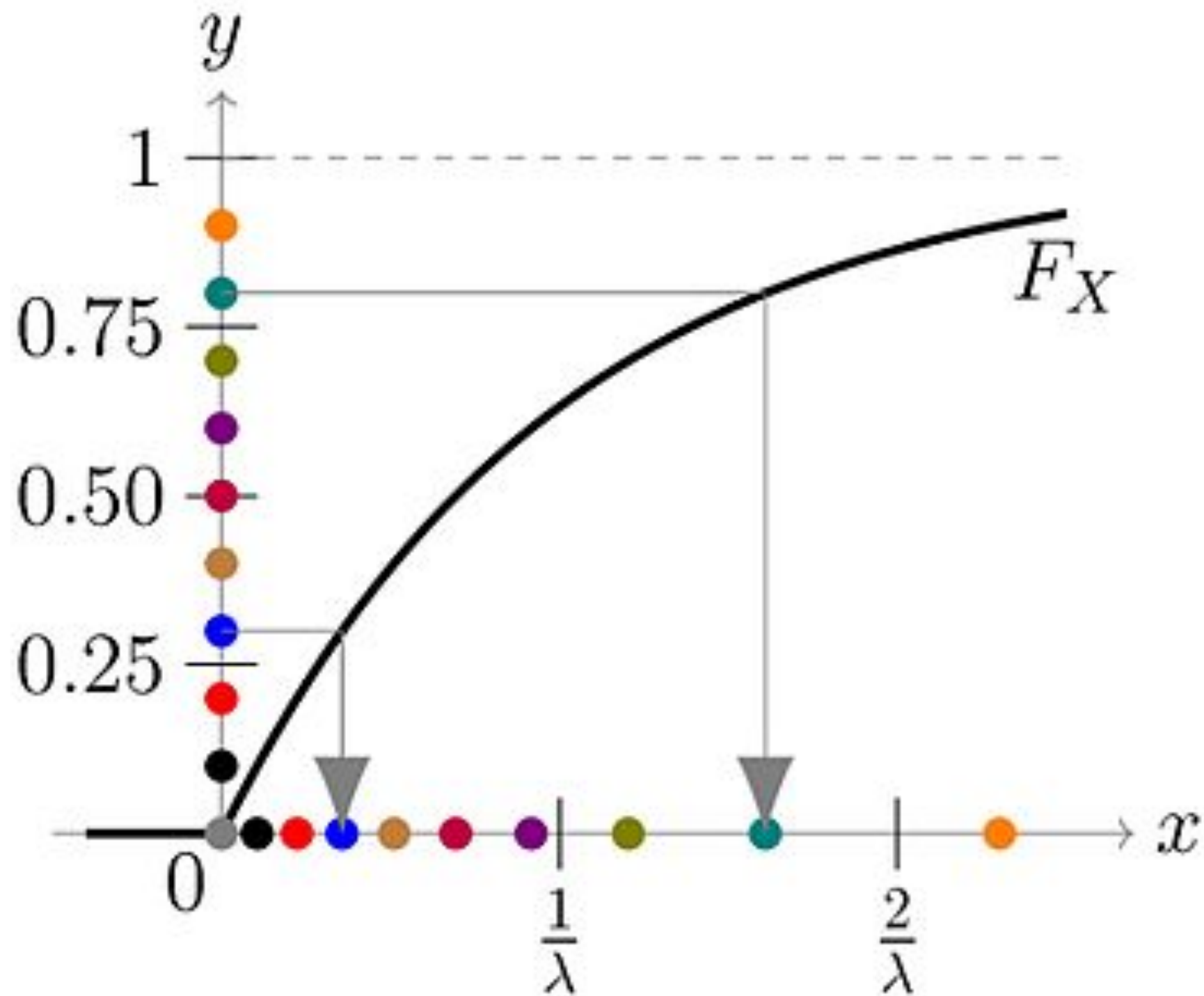
MÉTHODE DE MONTECARLO

MÉTHODE DE RÉJECTION (HIT&MISS)



MÉTHODE DE MONTECARLO

MÉTHODE DE LA TRANSFORMÉE INVERSE



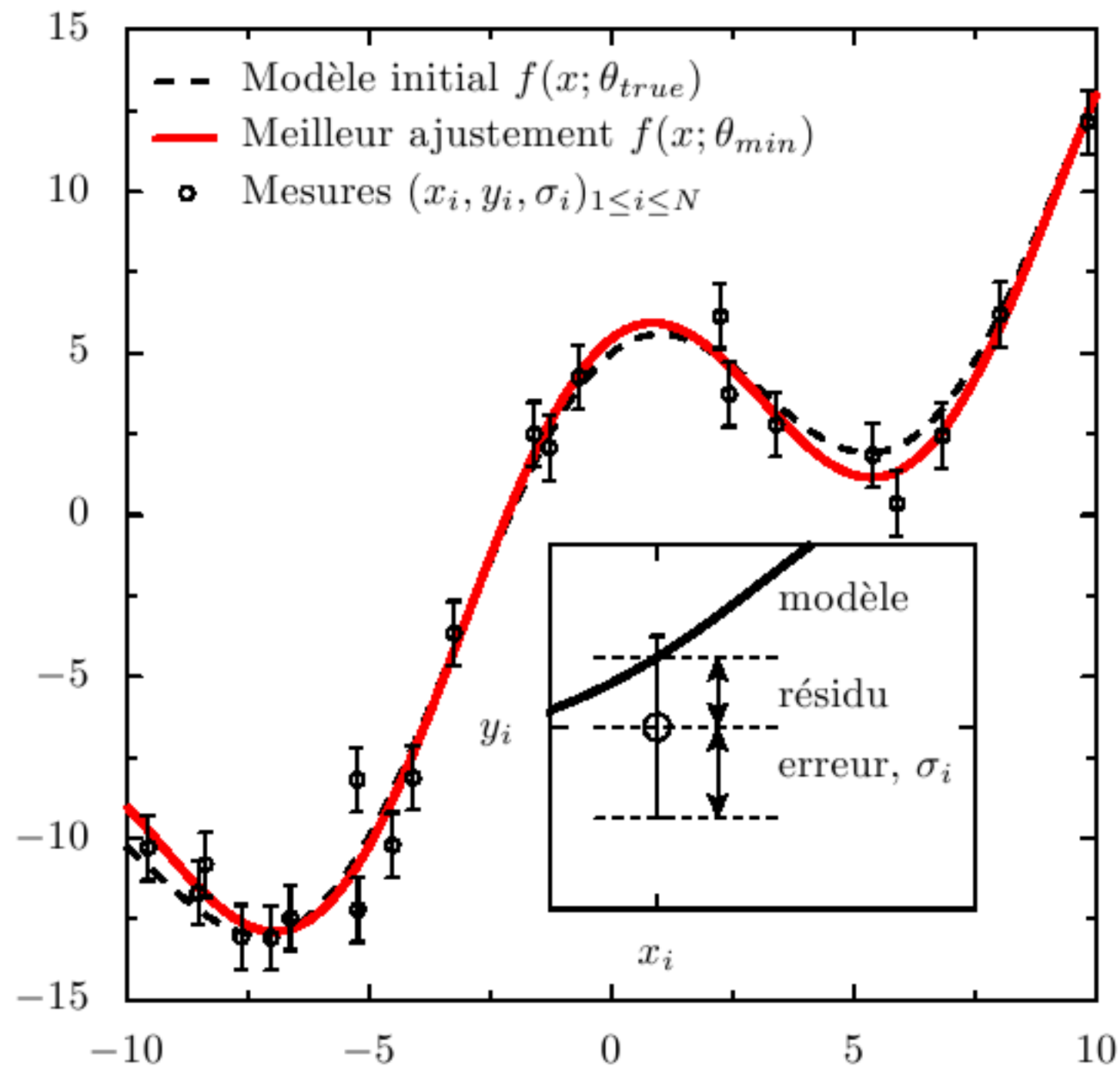
MÉTHODE DE MONTECARLO

MÉTHODE DE LA TRANSFORMÉE INVERSE

MÉTHODES D'AJUSTEMENT

MÉTHODE D'AJUSTEMENT

MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS



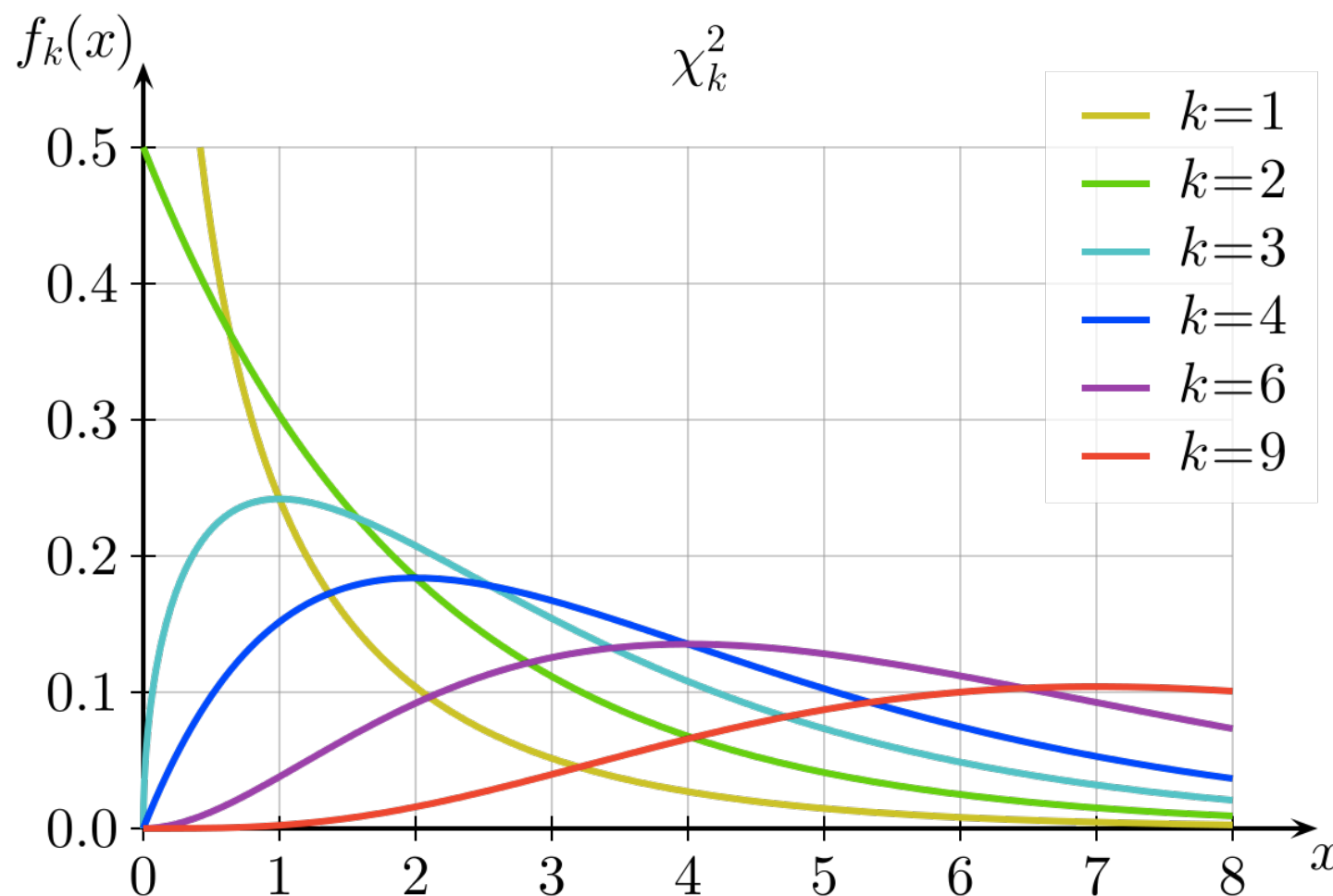
MÉTHODE D'AJUSTEMENT

MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS: AJUSTEMENT D'UN HISTOGRAMME

MÉTHODE D'AJUSTEMENT

MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS

- ▶ Le test χ^2 est la addition carré des nombres aleatoires gaussiennes -> χ^2 il est aussi un variable aleatoire



$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{k/2-1} e^{-x/2}}{2^{k/2} \Gamma(k/2)} & \text{for } x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

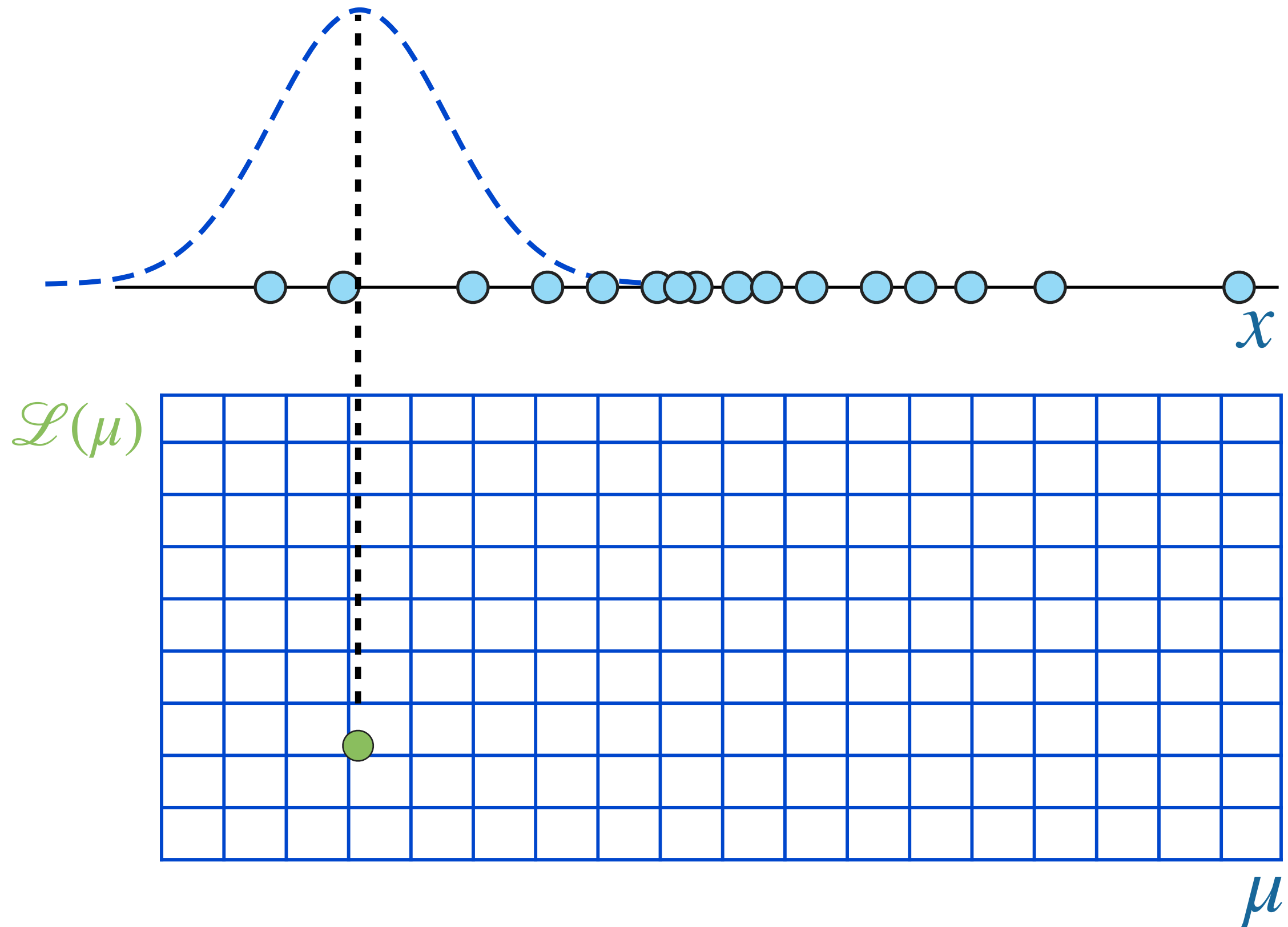
$f(x)$ = probability density function

k = degrees of freedom

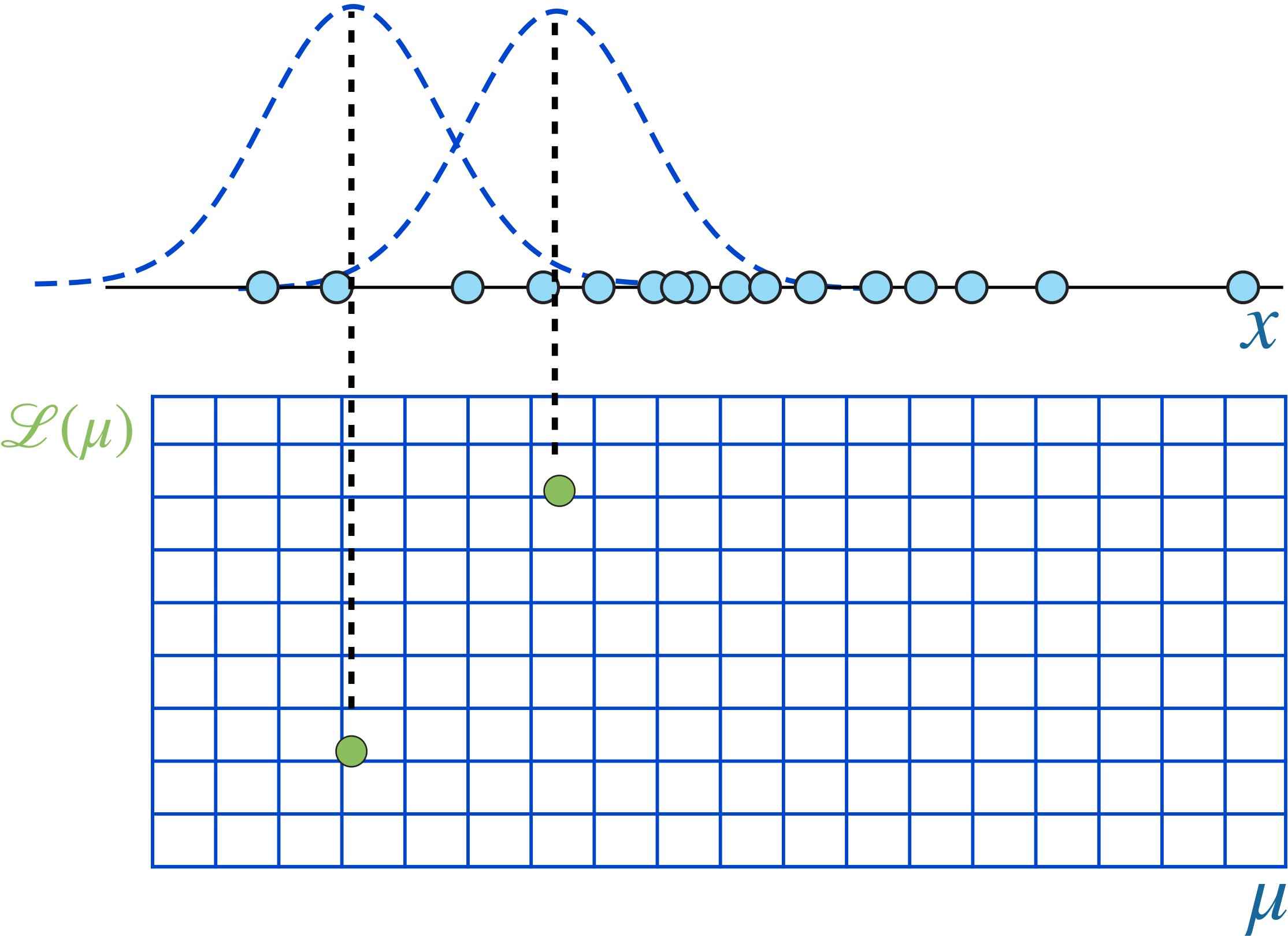
$\Gamma(k/2)$ = gamma function

MÉTHODE D'AJUSTEMENT

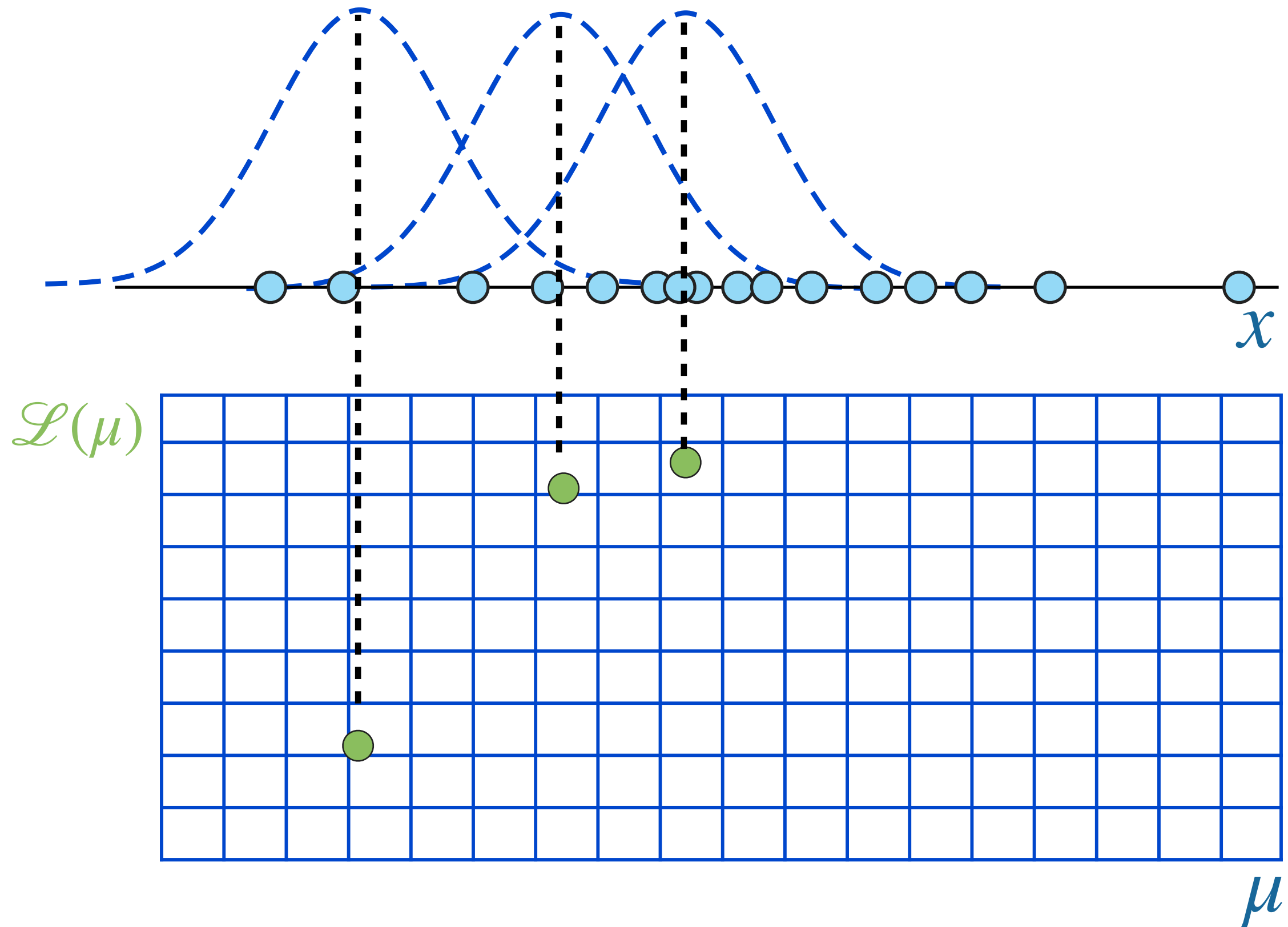
MÉTHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE



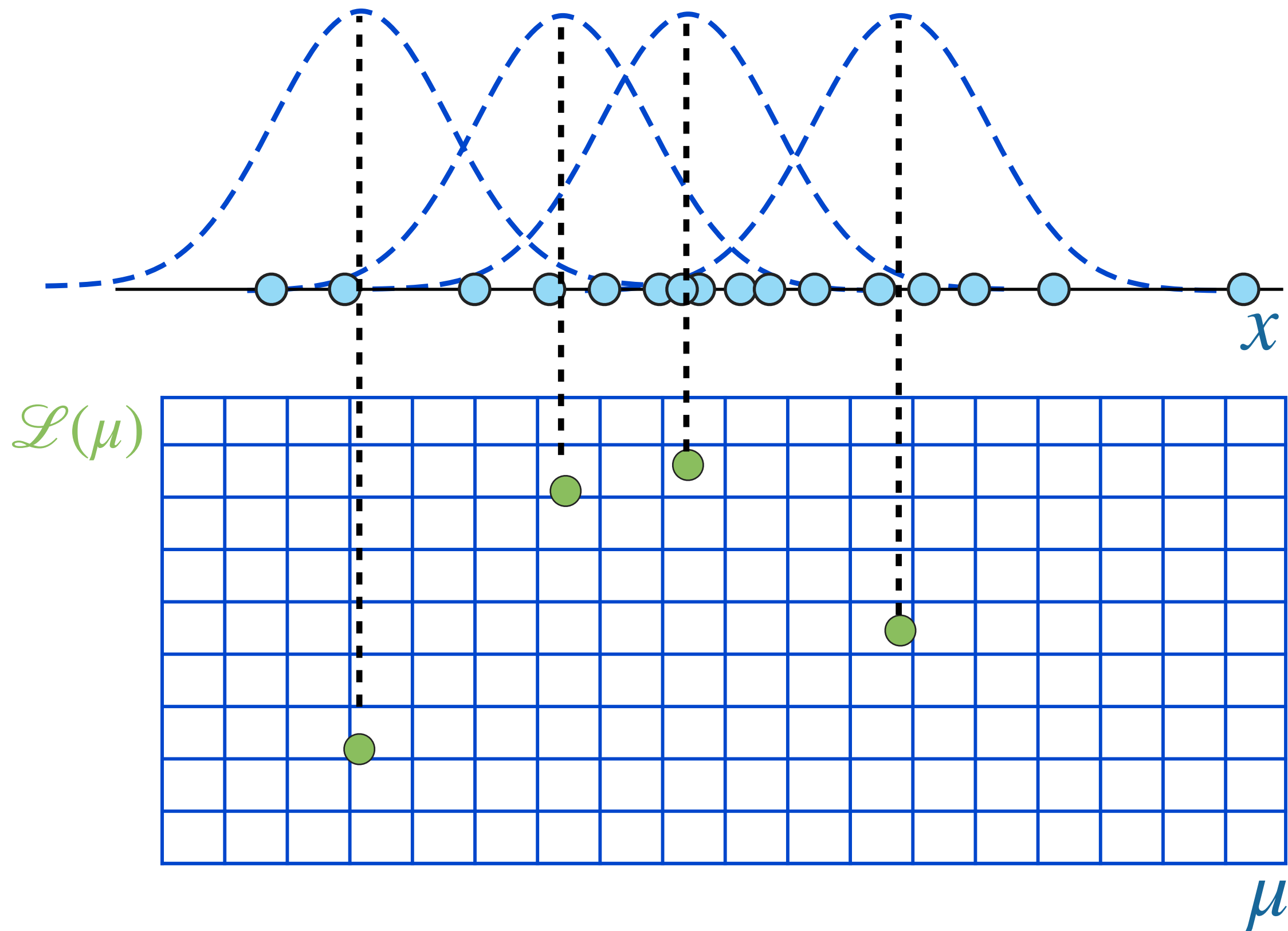
VRAISEMBLANCE



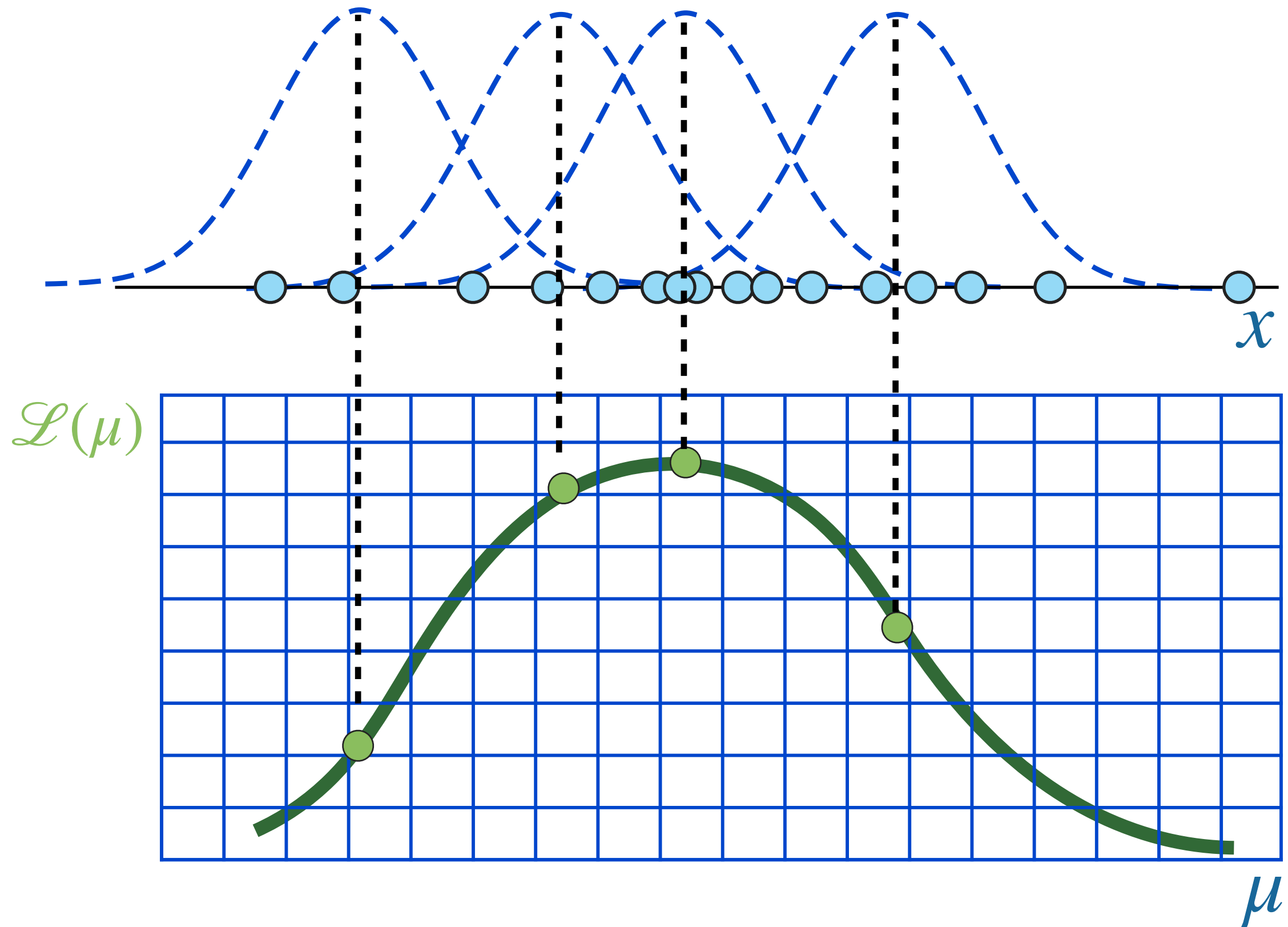
VRAISEMBLANCE



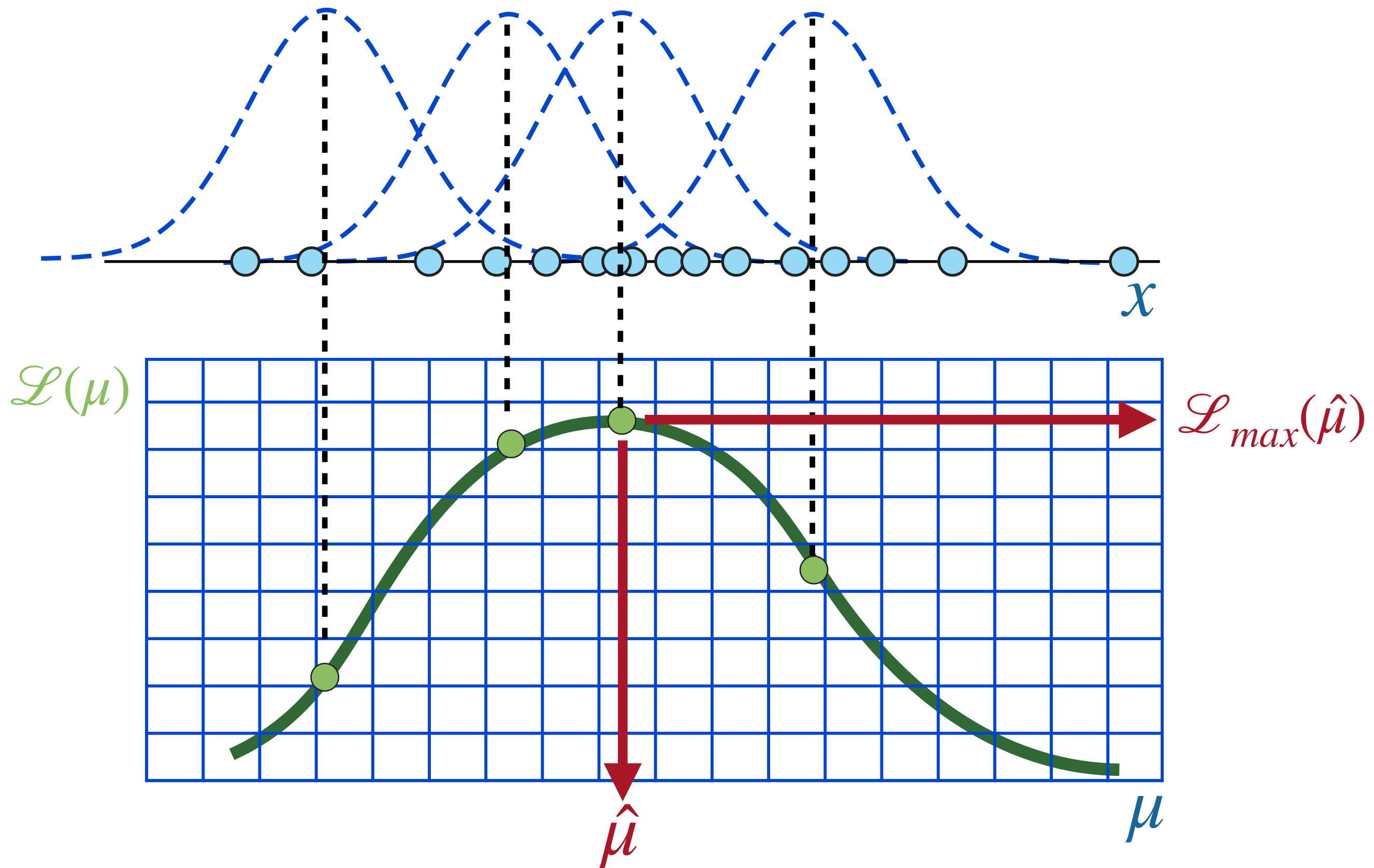
VRAISEMBLANCE



VRAISEMBLANCE

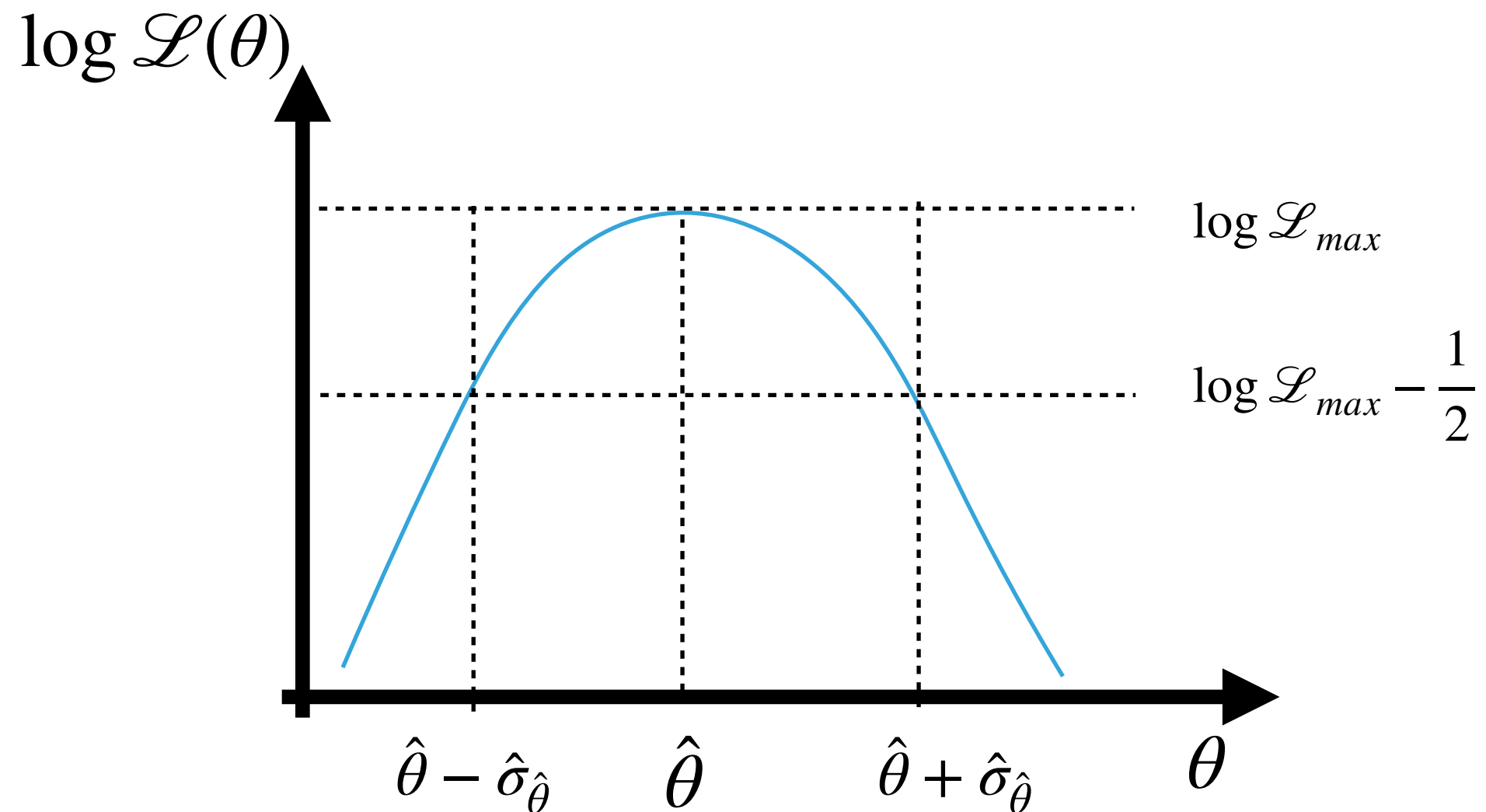


VRAISEMBLANCE



- ▶ <https://github.com/zemrude/PHYS-F-311/blob/master/Fitting-Methods.ipynb>

$$\hat{\sigma}_{\hat{\theta}} = \left[\frac{\partial^2 \log \mathcal{L}(\theta)}{\partial \theta^2} \right]_{\theta=\hat{\theta}}^{-1} \quad \leftarrow \text{Cramér-Rao Bound}$$

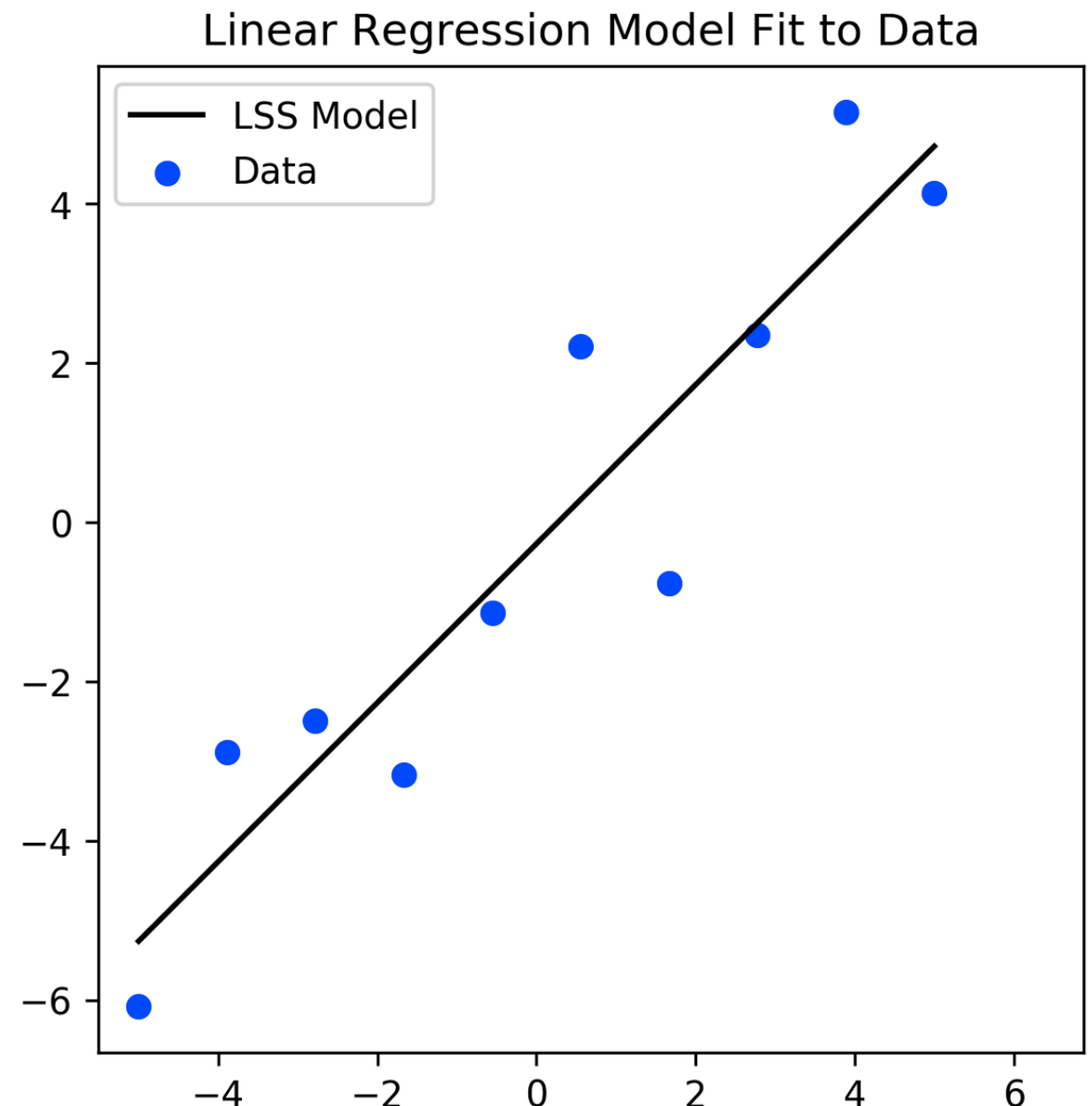


- ▶ Si les erreurs sont gaussiennes, nous avons une relation entre la méthode des moindres carrés moyens et la vraisemblance.

$$\log \mathcal{L} = -\frac{\chi^2}{2}$$

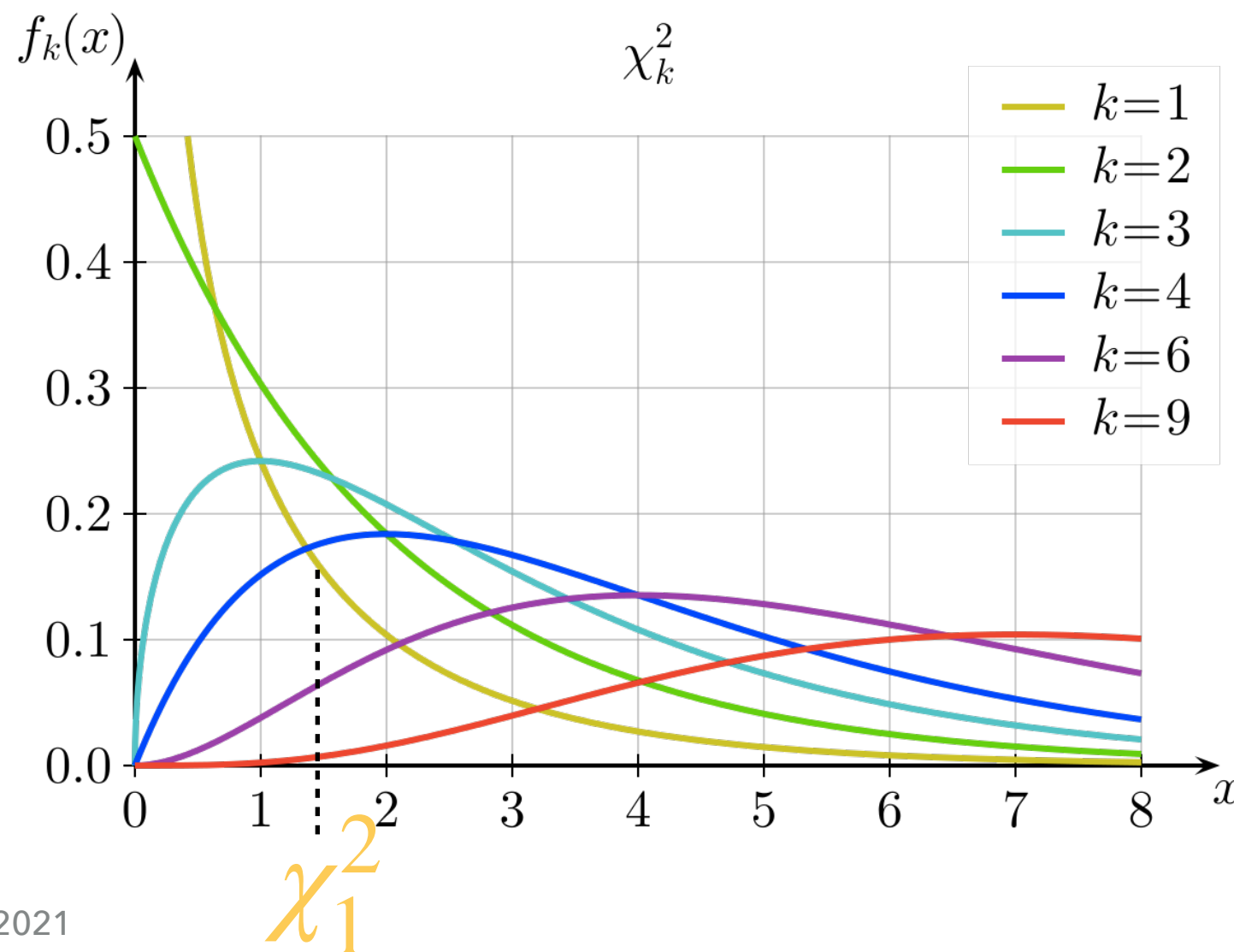


$$\chi^2(\hat{\theta} \pm N\hat{\sigma}_{\hat{\theta}}) = \chi_{min}^2 \pm N^2$$



- Comme le χ^2 devrait suivre une distribution de ν degrés de liberté, nous pouvons calculer la probabilité d'une valeur donnée.

$$p - \text{value} = \int_{\chi^2_{\nu}}^{\infty} f_{\chi^2}(z) dz$$



$$\frac{\chi^2}{\nu} \sim 1$$

- ▶ Vous êtes maintenant prêt à analyser vos données de toutes les manières possibles.