

RÉGRESSION STATISTIQUE



corrélation
modèles linéaires simples
ou modèles linéaires multiples
ou modèles non-linéaires

novembre 2022
Armel Crétual,
Diane Haering

UNIVERSITÉ
RENNES 2
UFR STAPS



• • • • • • • • Introduction

- Statistiques descriptives
- Statistiques analytiques
- Statistiques prédictives



• • • • • • • • Introduction

- **Statistiques descriptives**

Objets: dénombrement, centralité, dispersion

Outils: comptage, moyenne, écart type...

- **Statistiques analytiques**

Objets: comparaison, facteurs, relations, classification

Outils: t-test, anova, corrélation, analyse par composantes principales, machine learning

- **Statistiques prédictives**

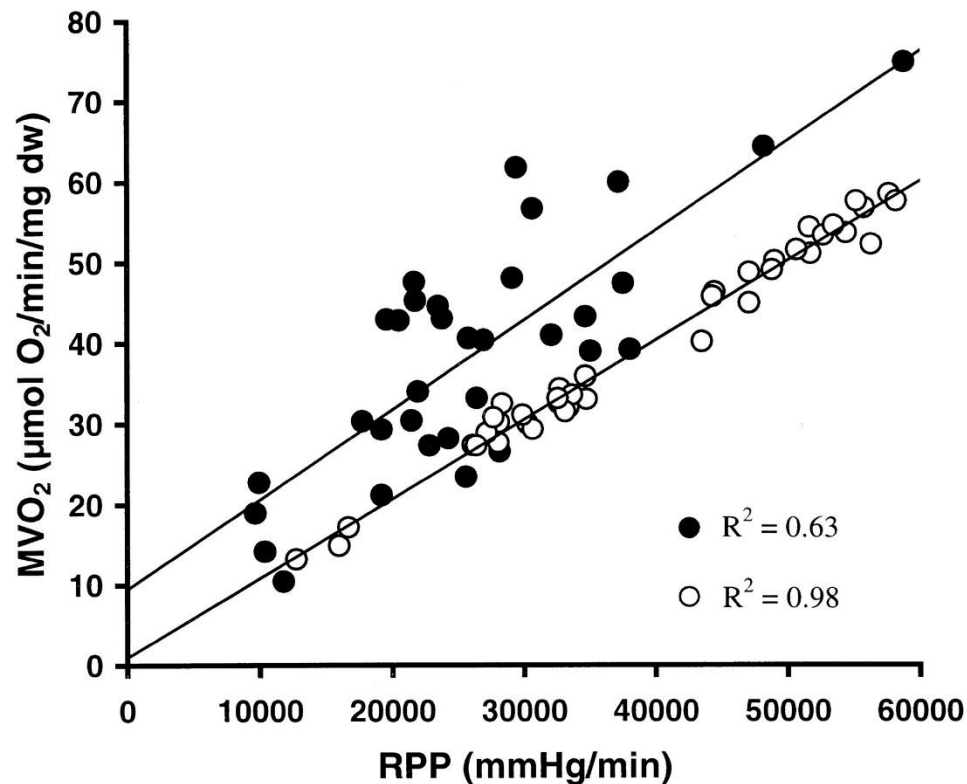
Objets: Interpolation, extrapolation

Outils: régression, machine learning



Contexte

- Rappels sur le cas le plus simple
 - Corrélation linéaire de deux variables

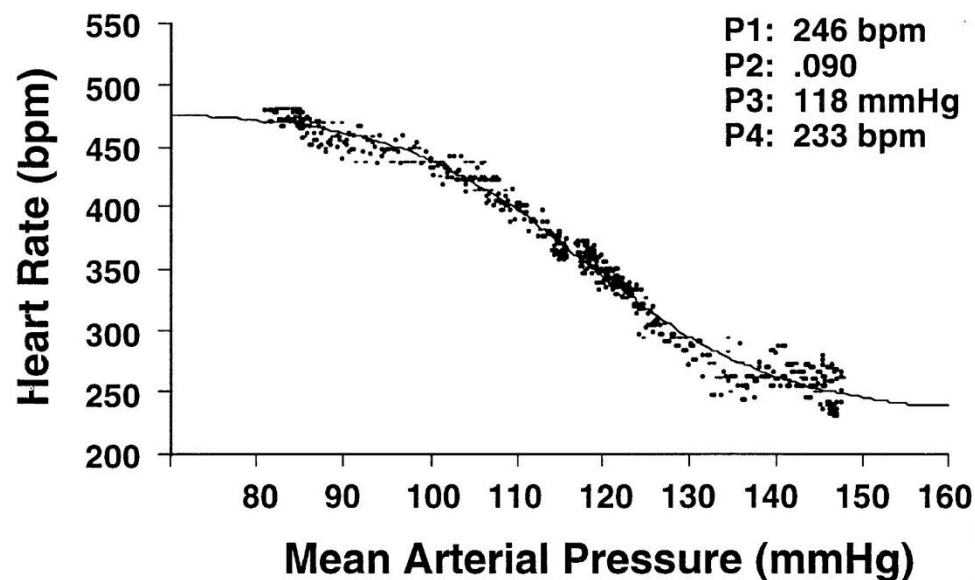
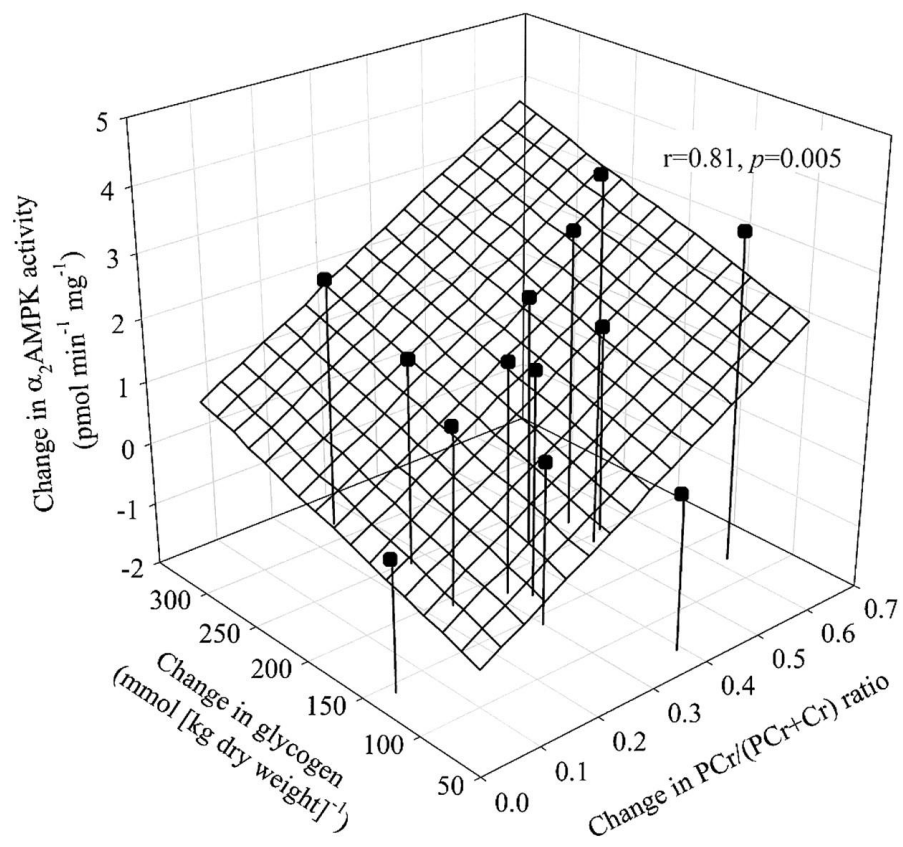


Relationship between myocardial oxygen consumption and mechanical performance (heart rate x SBP = RPP) in sham-operated (○) and ischemic (●) animals.



Contexte

- Puis généralisation aux cas plus complexes
 - Plusieurs variables
 - Non linéaire



Dans quels cas?



Type de variables

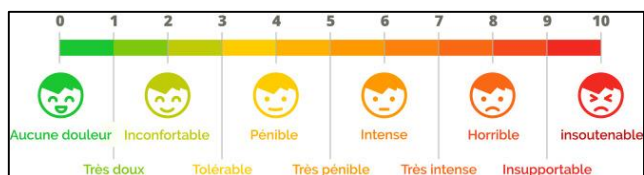
Nominale

Ex: genre spécialité sportive



Ordinale

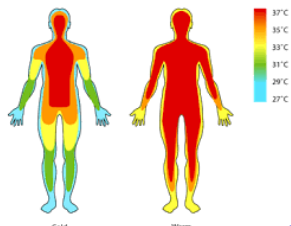
Ex: échelle de Likert



Numérique

Ex: Température

Zéro arbitraire



Ex: Masse corporelle

Vrai zéro



Quantité
d'information
croissante

Type de variables

Nominale

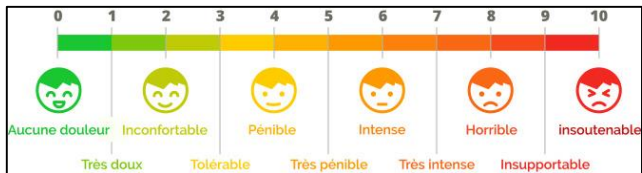
Ex: genre spécialité sportive



Test d'indépendance
du Chi-carré

Ordinale

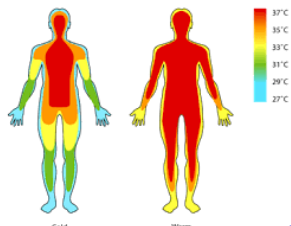
Ex: échelle de Likert



Numérique

Ex: Température

Zéro
arbitraire



Ex: Masse corporelle

Vrai zéro



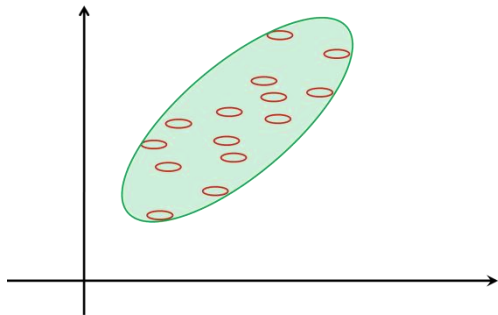
Corrélation/
Régression

Type de protocole

Continue

Observée

Etude en corrélation

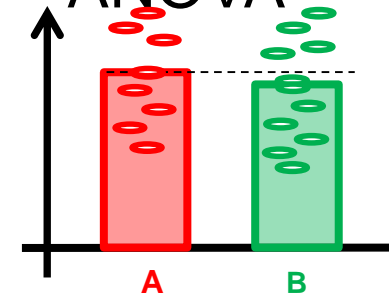


Sur les données brutes
Pour chaque sujet

Contrôlée

Discrète

Etude comparative
ANOVA



Sur les paramètres extraits
Par groupe

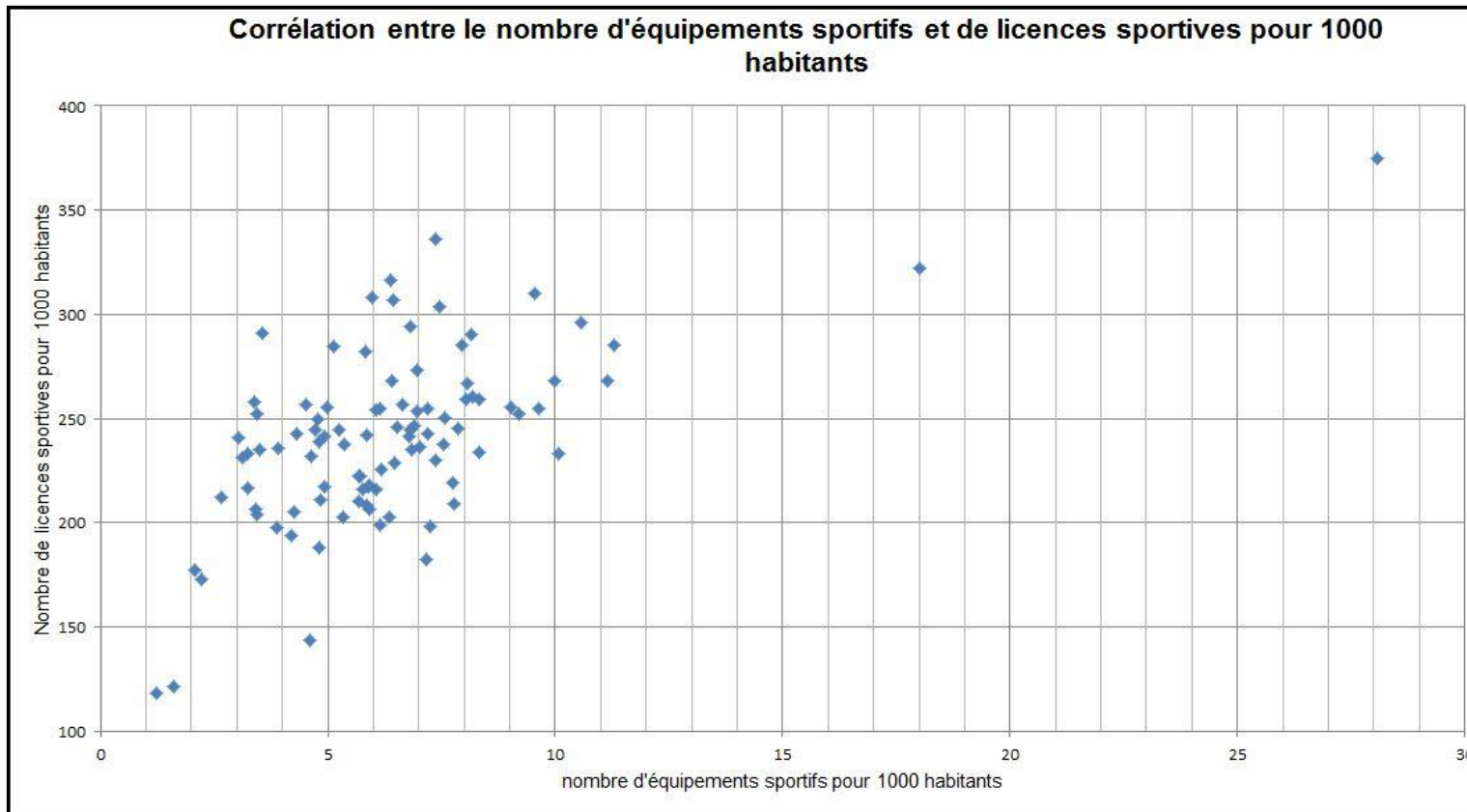


Corrélation



• • • • • Observation

- Le plus souvent **observation** conjointe
- Pas de contrôle direct d'une des variables



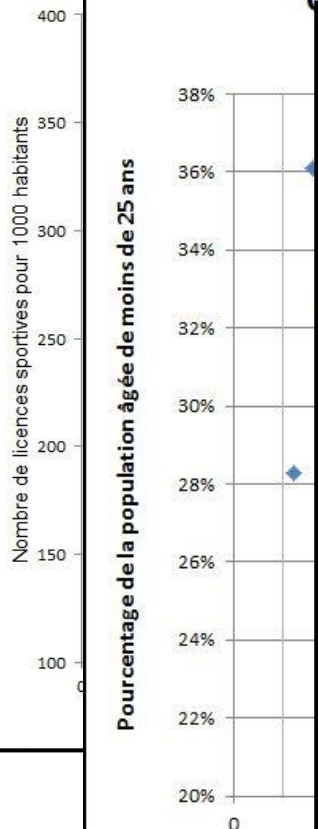
- • • • • • • • • • Comparaison n'est pas raison
- Corrélation ne signifie pas causalité!



Comparaison n'est pas raison

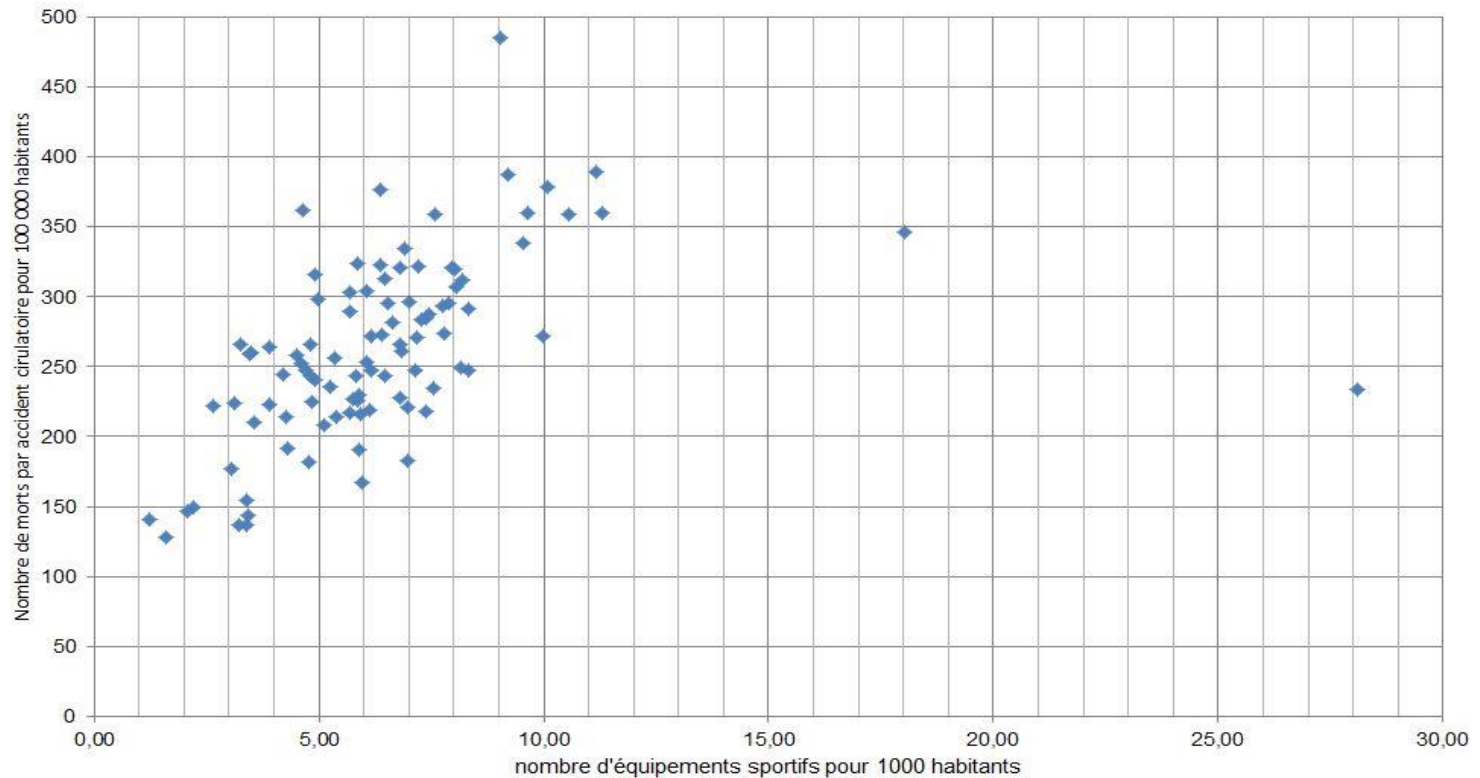
- Corrélation ne signifie pas causalité!

Corrélation entre le nombre d'équipements sportifs et de licences sportives pour 1000

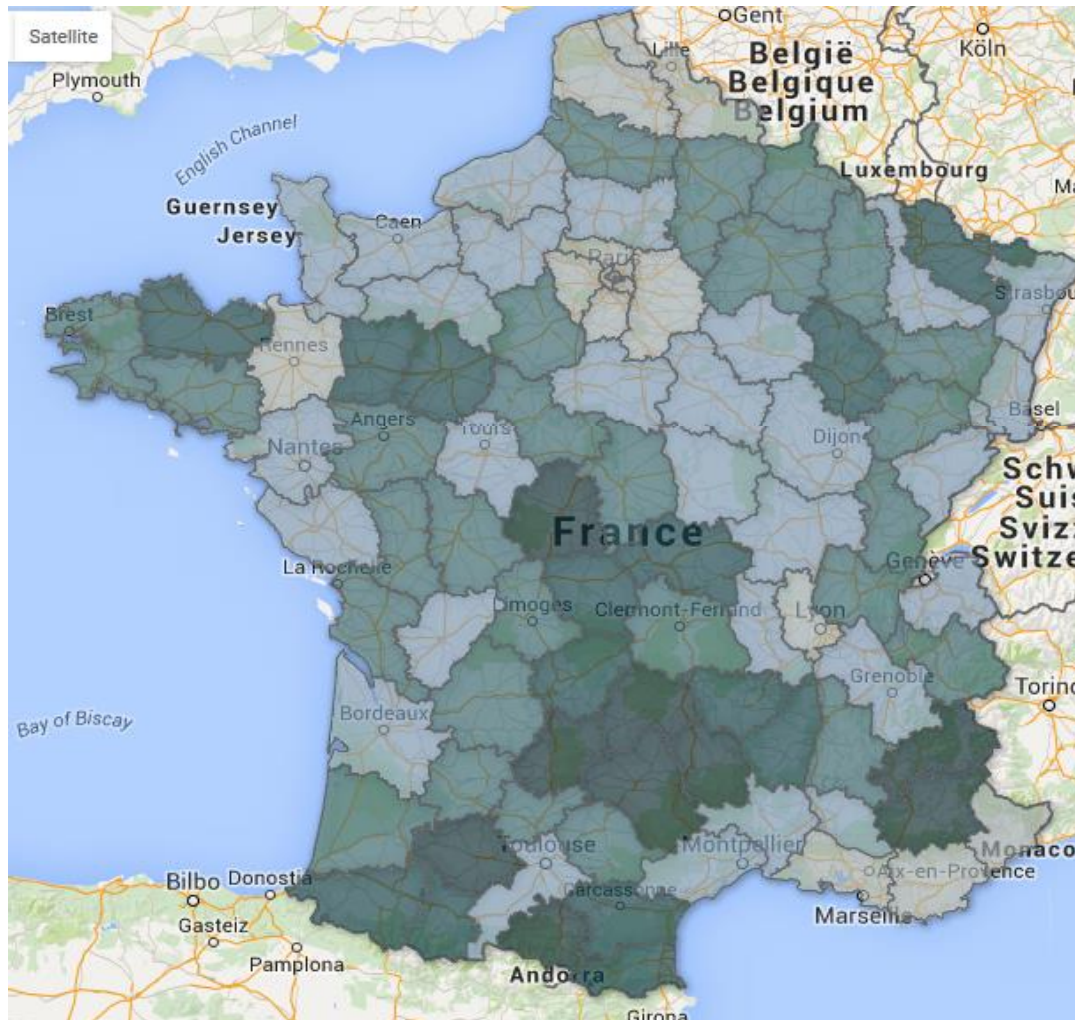


Corrélation entre le nombre d'équipements sportifs pour 1000 habitants et la

Corrélation entre le nombre d'équipements sportifs pour 1000 habitants et le nombre de décès par accident du système circulatoire pour 100 000 habitants



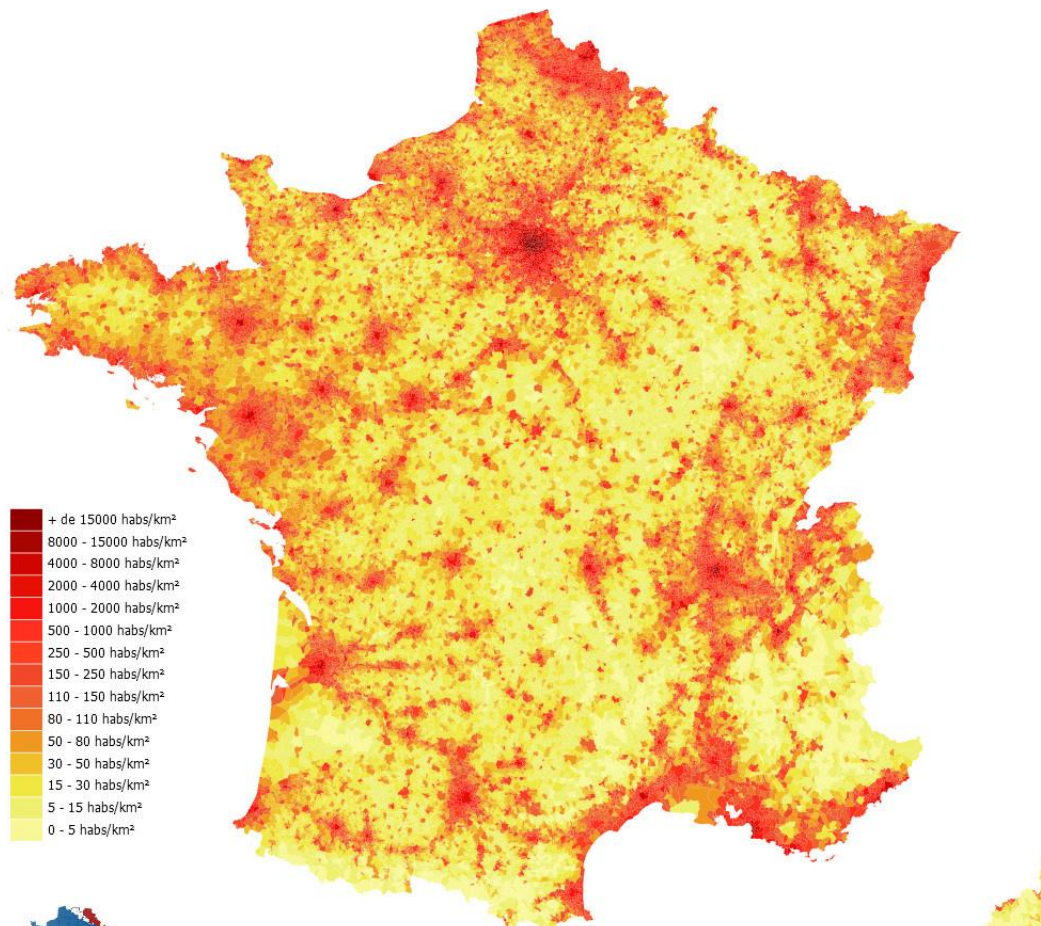
- • • • • • • • • • Comparaison n'est pas raison
- Corrélation ne signifie pas causalité!



Taux d'équipements sportifs



Comparaison n'est pas raison



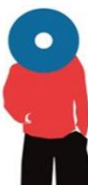
CARTESFRANCE.FR

Carte de France de la densité de population 2009

Source: www.CartesFrance.fr - Recensement INSEE 2011

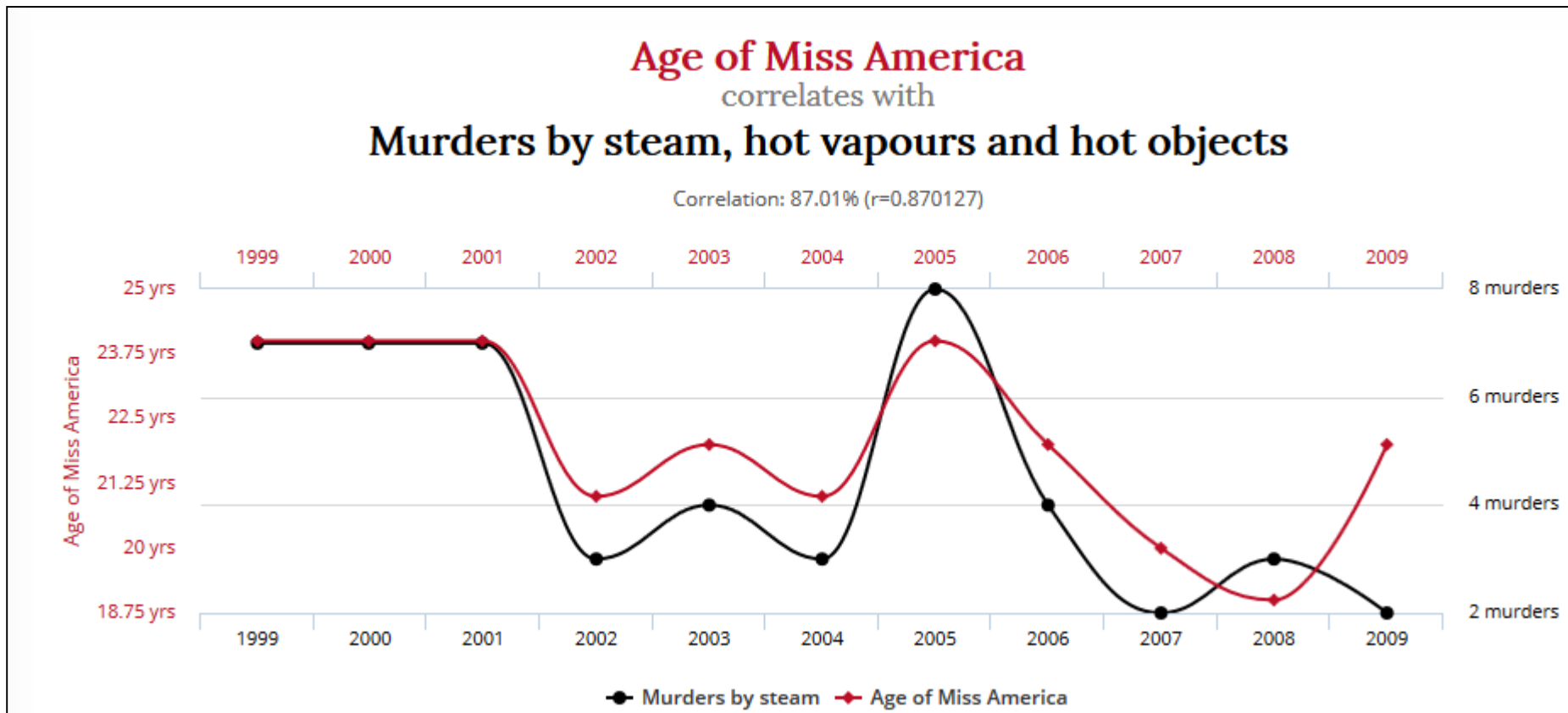


UNIVERSITÉ
RENNES 2
UFR STA



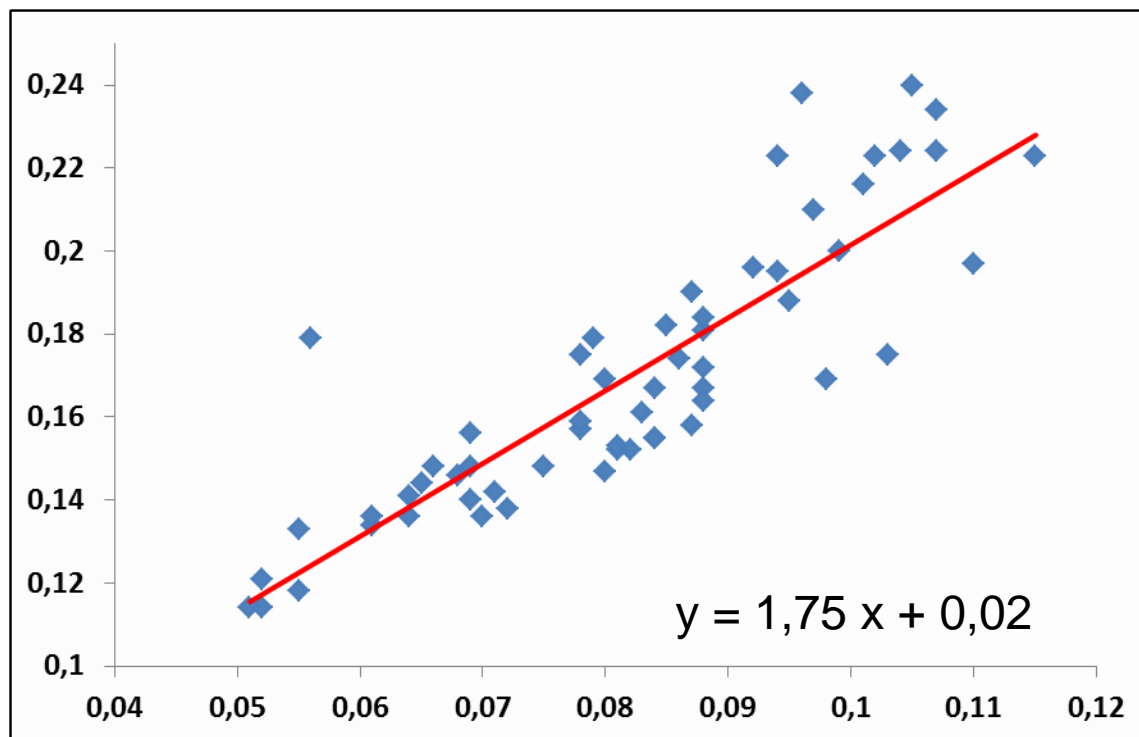
• • • • • Comparaison n'est pas raison

- Corrélation ne signifie pas causalité!



• • • • • Régression

- Régression = **représentation simplifiée**
- Droite (ou courbe) qui **passe au mieux** par les données

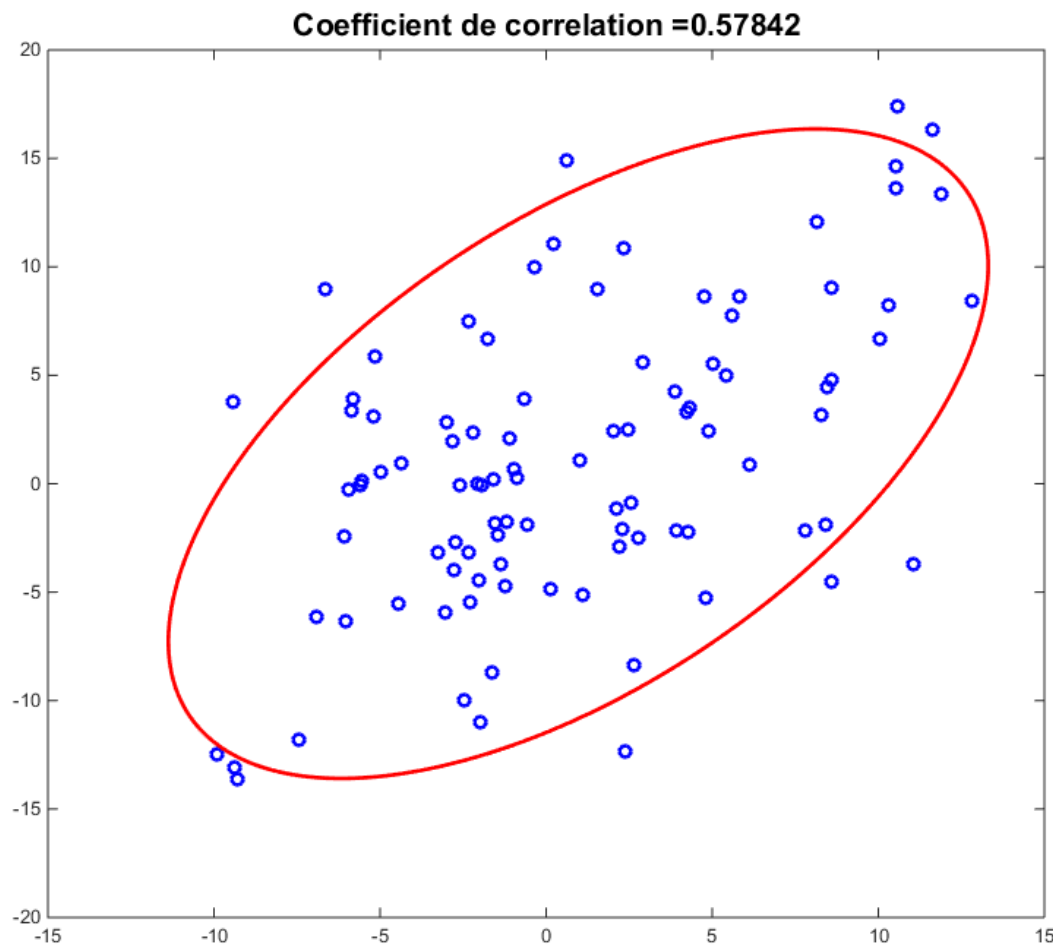


Variation de
l'alcoolémie sanguine
et respiratoire



• • • • • Régression

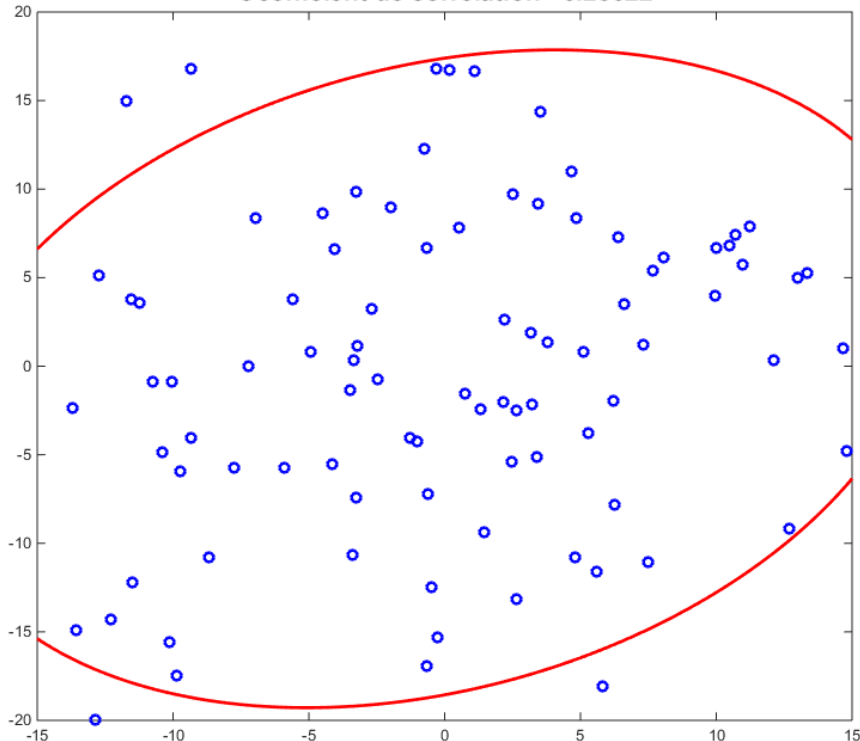
- Quantification de « l'intensité » de la relation ou de « la force » de la régression



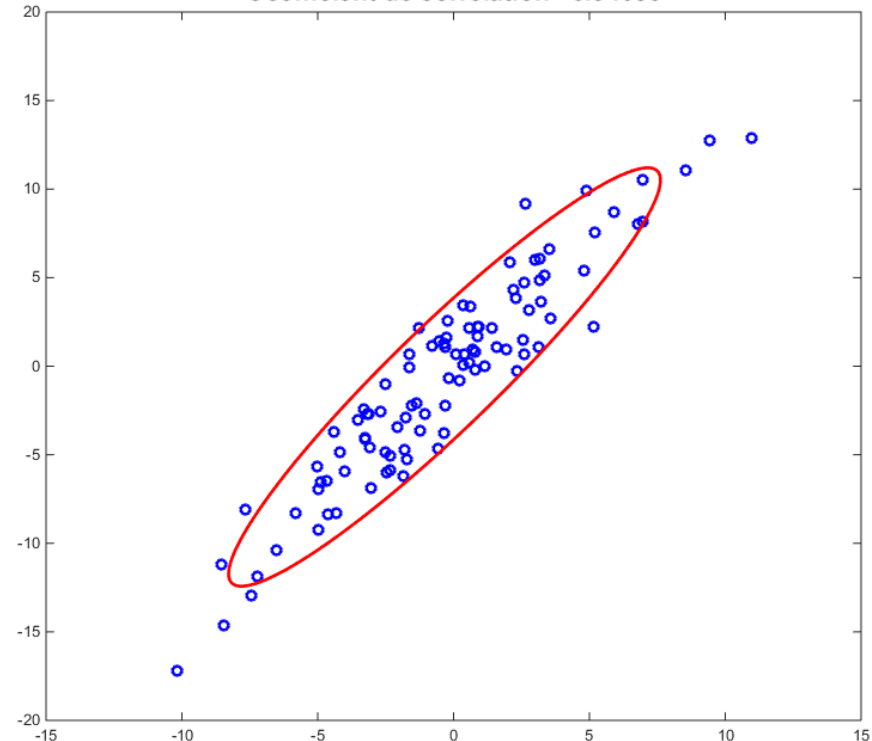
Corrélation

- R : coefficient de corrélation
- $-1 \leq R \leq 1$

Coefficient de corrélation = 0.25022

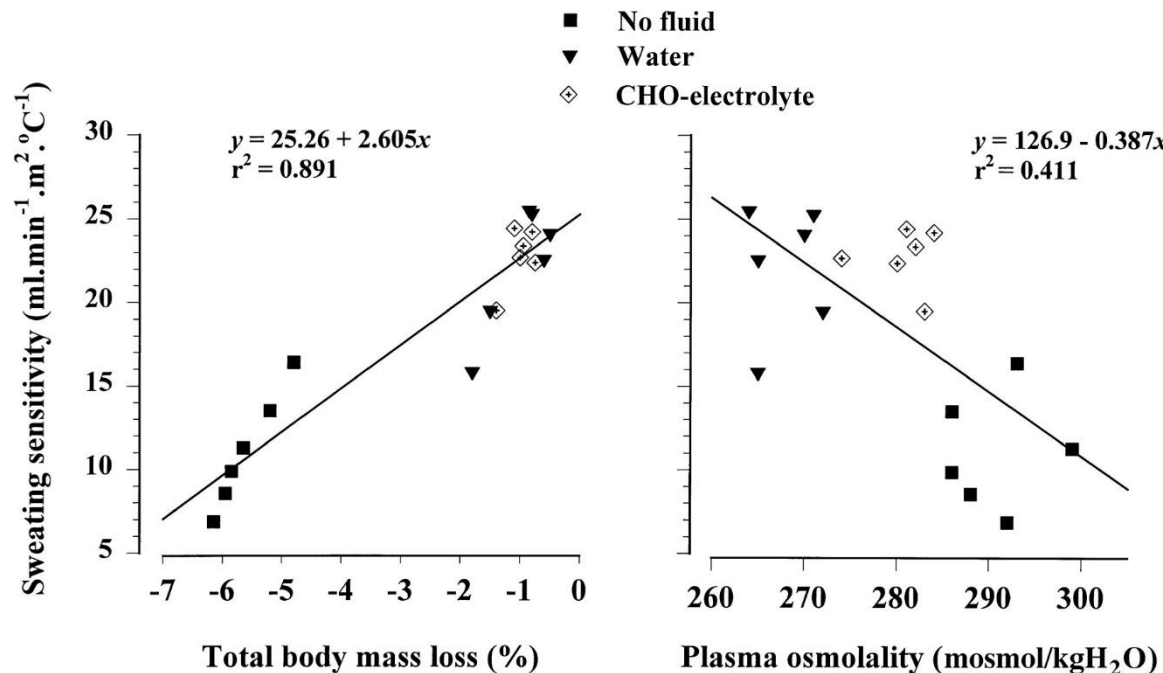


Coefficient de corrélation = 0.94083



Corrélation

- R^2 : coefficient de détermination
- Pas d'information supplémentaire
- Convention usuelle



Hydration effects on physiological strain of horses during exercise-heat stress
Geor1998



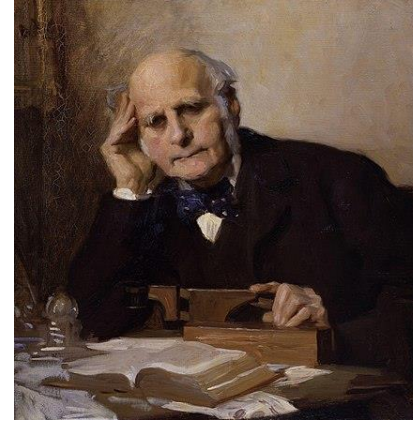
Corrélation

- Deux méthodes

- R de Pearson



Auguste Bravais 1844
→ corrélation
(astronomie)

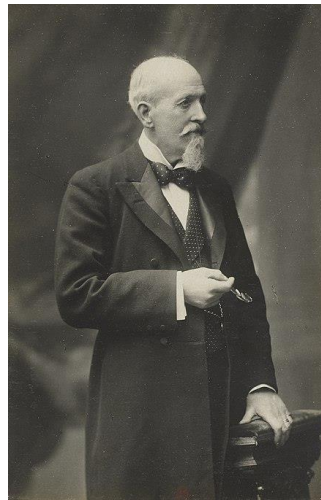


Francis Galton 1880
→ régression
(eugénisme)



Karl Pearson 1900
→ exploitation
(éugénisme)

- R de Spearman



Charles Spearman 1904
→ adaptation (psychologie)



Corrélation

- Pearson

Centrage des données autour des valeurs moyennes selon chaque variable

- Calcul basé sur la **covariance**

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

$$r = \frac{cov(x, y)}{s_x s_y}$$

Réduction/normalisation du calcul selon l'écart type de chaque variable

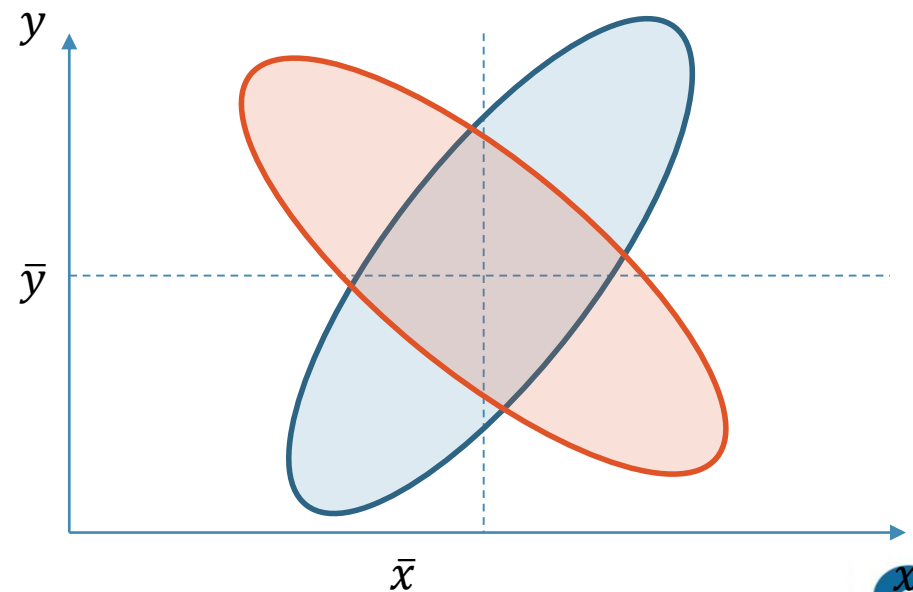
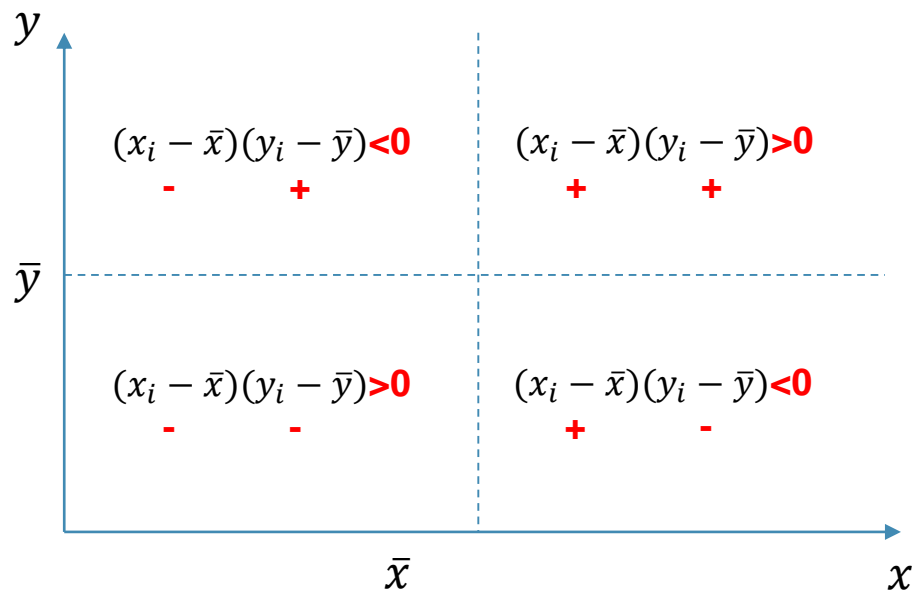
- Teste la **corrélation linéaire**



Corrélation

- Pearson

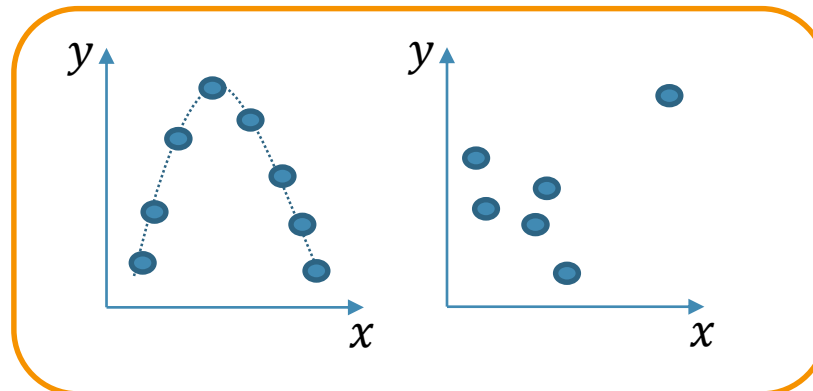
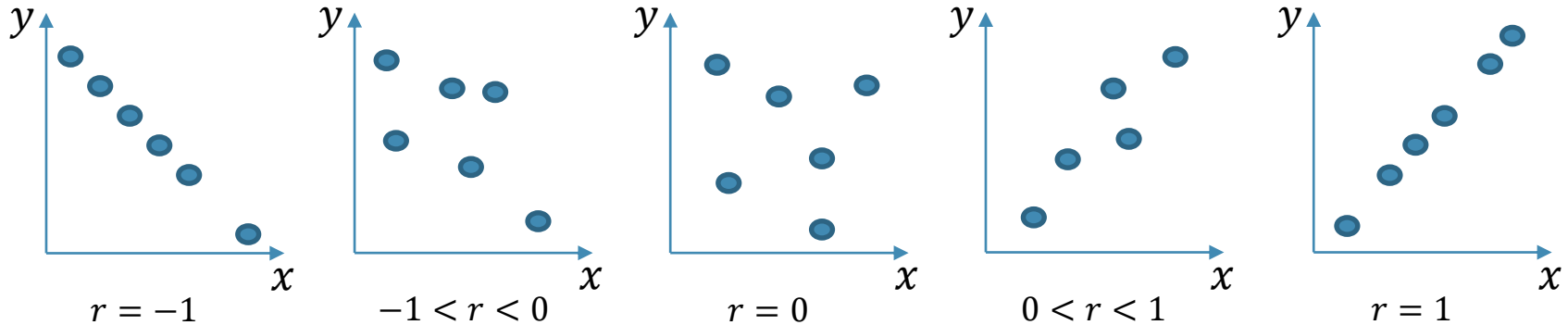
- Signe du produit des coordonnées centrées selon la partie du plan



Corrélation

- Pearson

- Exemples de coefficients de corrélation



!! Même si le calcul du coefficient de Pearson est possible, il n'est pas approprié.



Corrélation

- Spearman

- Calcul identique au coefficient de Pearson, mais basé sur les **rangs**

$$r_s = \frac{\text{cov}(\tilde{x}, \tilde{y})}{s_{\tilde{x}}s_{\tilde{y}}}$$

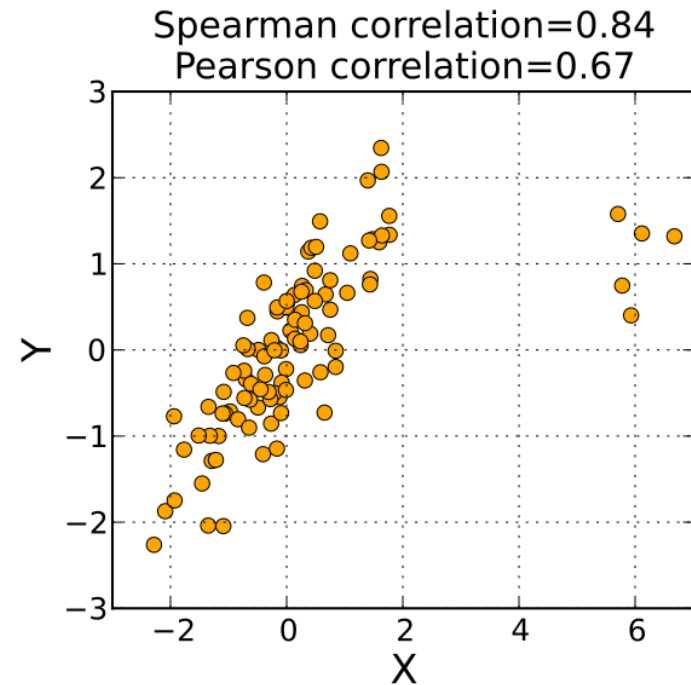
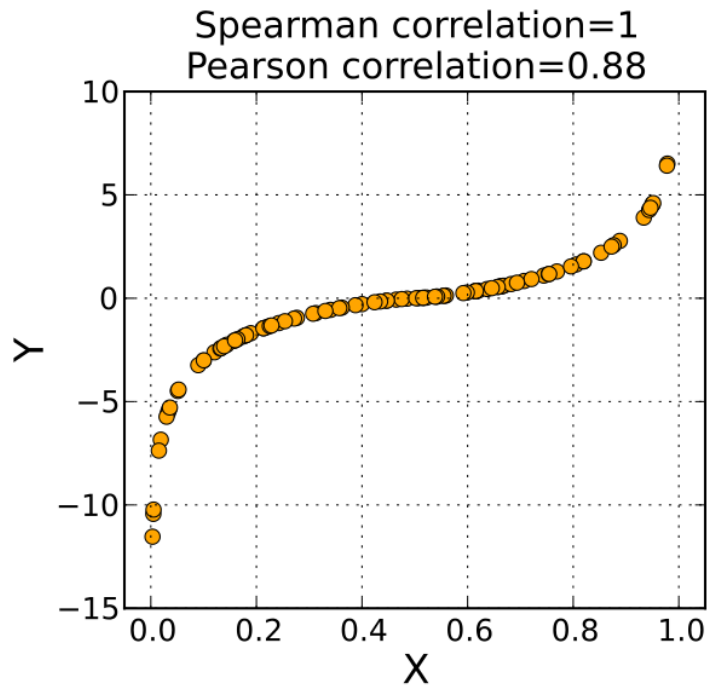
- Teste la **croissance** de la relation (pas nécessairement linéaire)



Corrélation

- Spearman

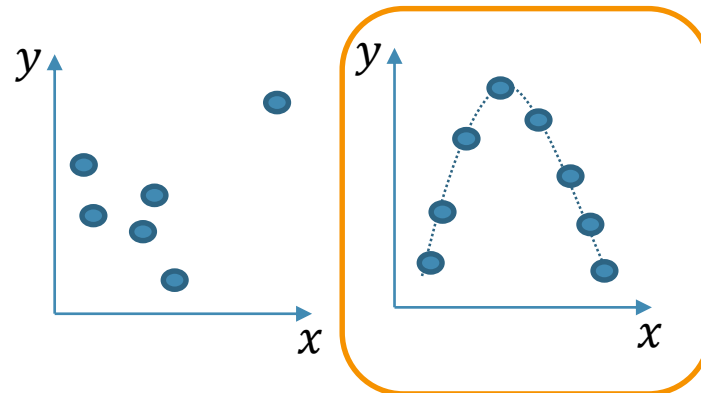
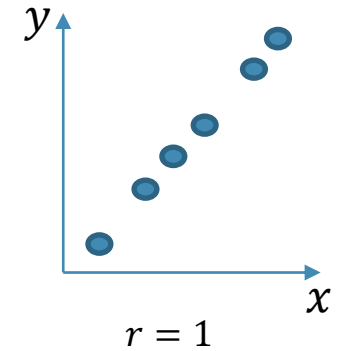
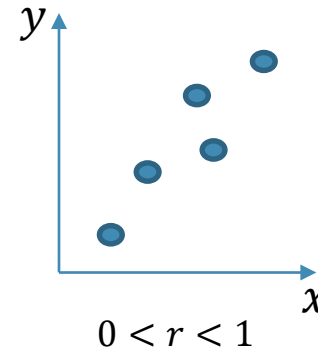
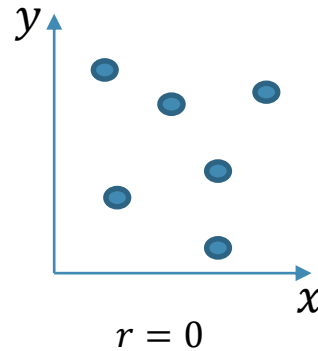
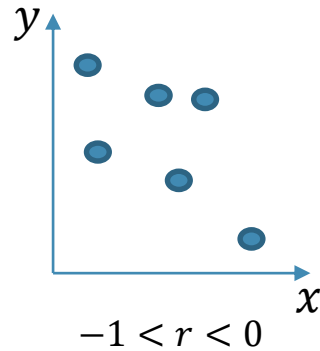
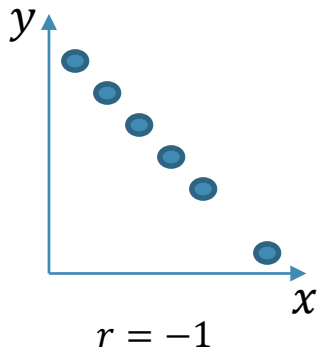
- Exemples de coefficients de corrélation



Corrélation

- Spearman

- Exemples de coefficients de corrélation



!! Même si le calcul du coefficient de Spearman est possible, il n'est pas approprié ici non plus, car la relation n'est pas monotone

→ faire un graphique avant de déterminer le test de corrélation à effectuer

• • • • • • • • • • Corrélation

- p du r?
- Résultat du test: r est-il significativement différent de 0?
- N'est pas la réponse à la question: « corrélé ou non? »



Corrélation

• Table de Bravais-Pearson

La table du r de Bravais-Pearson indique la probabilité de faire une erreur en déclarant l'existence d'une dépendance linéaire en fonction de la taille de l'échantillon ($ddl=N-2$)

Exemple: si l'effectif = 18 donc $ddl= 16$.et si le r calculé dépasse le seuil 0,4683, lu sur la table la probabilité (le risque pris) est de 0,05. (5%)

risque =		10%	5%	2%	1%
ddl =	seuil s				
	1		0,9877	0,9969	0,9995
2		0,9	0,95	0,98	0,99
3		0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
4		0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
5		0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
6		0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
7		0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
8		0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
9		0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
10		0,4973	0,576	0,6581	0,7079
11		0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
12		0,4575	0,5324	0,612	0,6614
13		0,4409	0,5139	0,5923	0,6411
14		0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
15		0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
16		0,4	0,4683	0,5425	0,5897
17		0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
18		0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
19		0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
20		0,3598	0,4227	0,4921	0,5368
25		0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30		0,296	0,3494	0,4093	0,4487
35		0,2746	0,3246	0,381	0,4182
40		0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45		0,2438	0,2875	0,3384	0,3721
50		0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
60		0,2108	0,25	0,2948	0,3248
70		0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
80		0,1829	0,2172	0,2565	0,283
90		0,1726	0,205	0,2422	0,2673
100		0,1638	0,1946	0,2301	0,254

Excel

- Calculer R de Pearson vs. R de Spearman

- Excel ou librecalc: =COEFFICIENT.CORRELATION (x_cells ; y_cells), =RANG(),

<https://www.cours-gratuit.com/tutoriel-excel/tutoriel-excel-coefficient-de-correlation>

- Opencalc: =PEARSON(), =RANG(),

<https://www.openoffice.org/fr/Documentation/How-to/calc/Fonctions.pdf>

- Numbers: =RANK(), =CORREL()

<https://www.apple.com/au/mac/numbers/compatibility/functions.html#statistical>

- Calculer p-value de Pearson en utilisant la formule:

- Excel eng, numbers: =TDIST((r_cell*sqrt(N_cell-2)/sqrt(1-(r_cell *r_cell))),N_cell,2)

- Excel fra, OpenCalc: =LOI.STUDENT.N((r_cell*sqrt(N_cell-2)/sqrt(1-(r_cell *r_cell))),N_cell,VRAI)

<http://www.ordinateur.cc/Logiciel/Microsoft-Access/135546.html>

<https://fonctiontranslator.com/fr/tdist/>



Copie vendeurs de chaussures.xlsx



Stabilité/Robustesse du coefficient de corrélation

Individu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	3.40	3.42	3.44	3.45	3.46	3.48	3.49	3.50	3.51	3.72
y	2.42	2.54	2.45	2.53	2.64	2.52	2.60	2.64	2.60	3.12

- Représenter le nuage de points de y en fonction de x
- Calculer le coefficient de corrélation de Pearson
- Remplacer les valeurs du tableau par leur rang, dans le tableau suivant:

Individu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\tilde{x}										
\tilde{y}										

- Calculer le coefficient de corrélation de Spearman
- Répéter les calculs des 2 coefficients sans l'individu 10



• • • • • • • • Robustesse

- Sensibilité de la corrélation à l'ajout ou le retrait de données
- Corrélation « réelle »
 - résultat stable
- Résultat variable
 - corrélation dépendante des données « aberrantes »



Corrélation

- Deux méthodes :
 - R de Pearson
 - R de Spearman
- Laquelle faut-il prendre?
 - Distribution normale, pas de valeurs extrêmes, valeurs numériques, relation linéaire → Pearson
 - Sinon (ex: valeurs aberrantes), si relation monotone → Spearman
 - Si données \approx normales et \approx linéaires
→ $R_{\text{Pearson}} \approx R_{\text{Spearman}}$

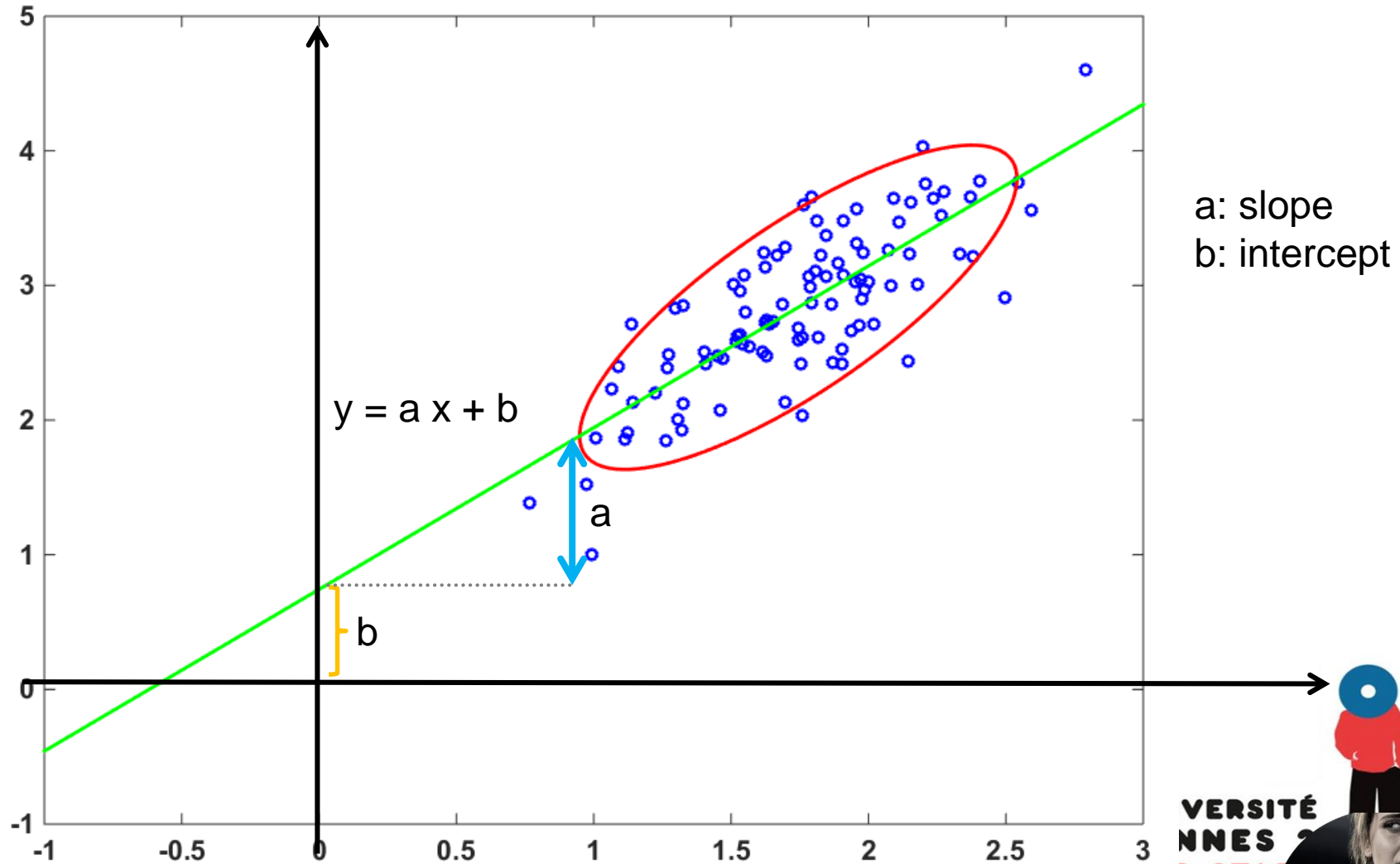


Régression linéaire simple



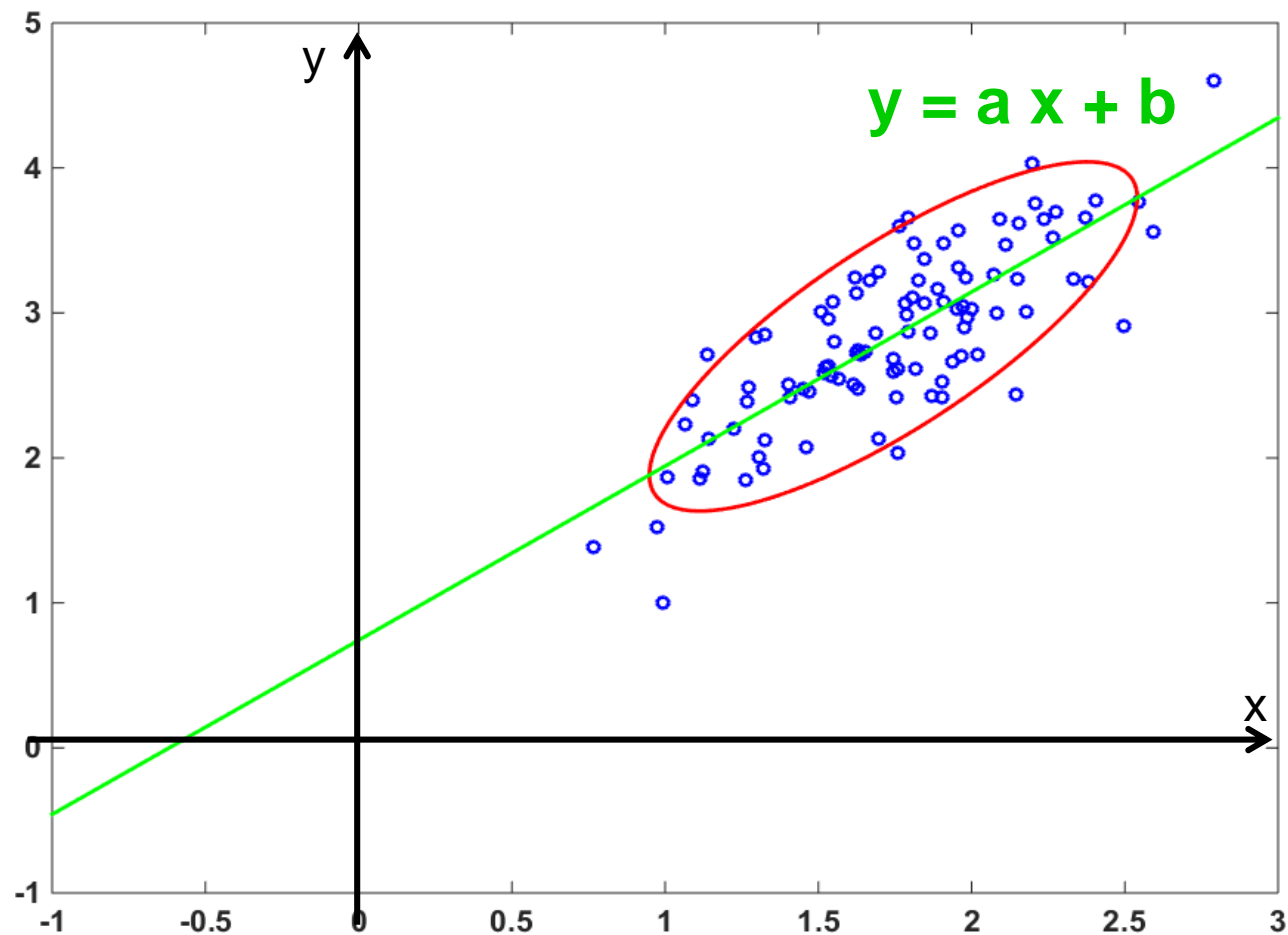
• • • • • Régression

- Relation de corrélation décrite par une droite



• • • • • Régression

- Cette droite correspond à une équation ou à une fonction mathématique



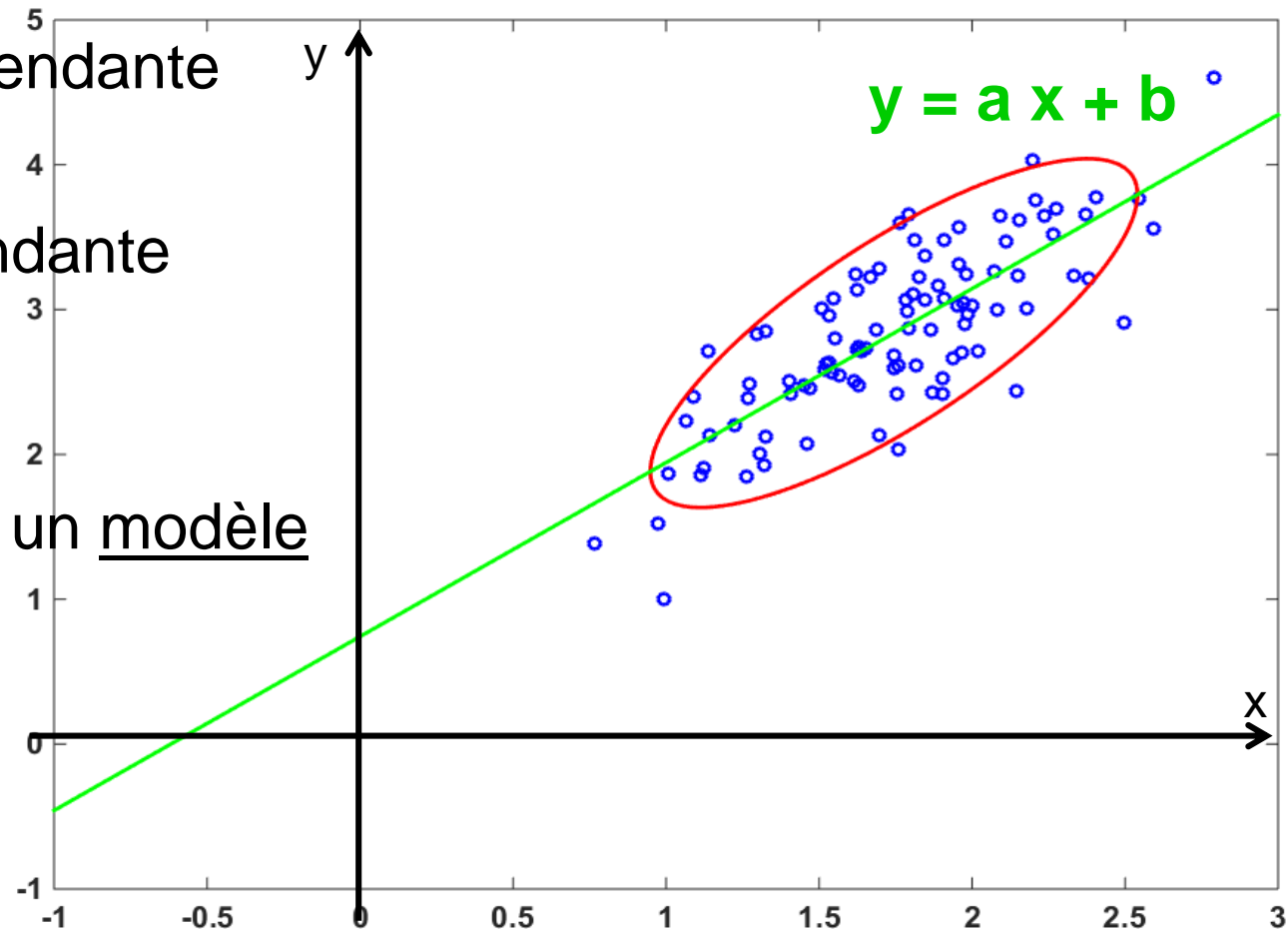
• • • • • Régression

- Cette équation décrit mathématiquement la relation entre les deux variables, de façon à ce que y soit prédite par x

➤ x : variable indépendante

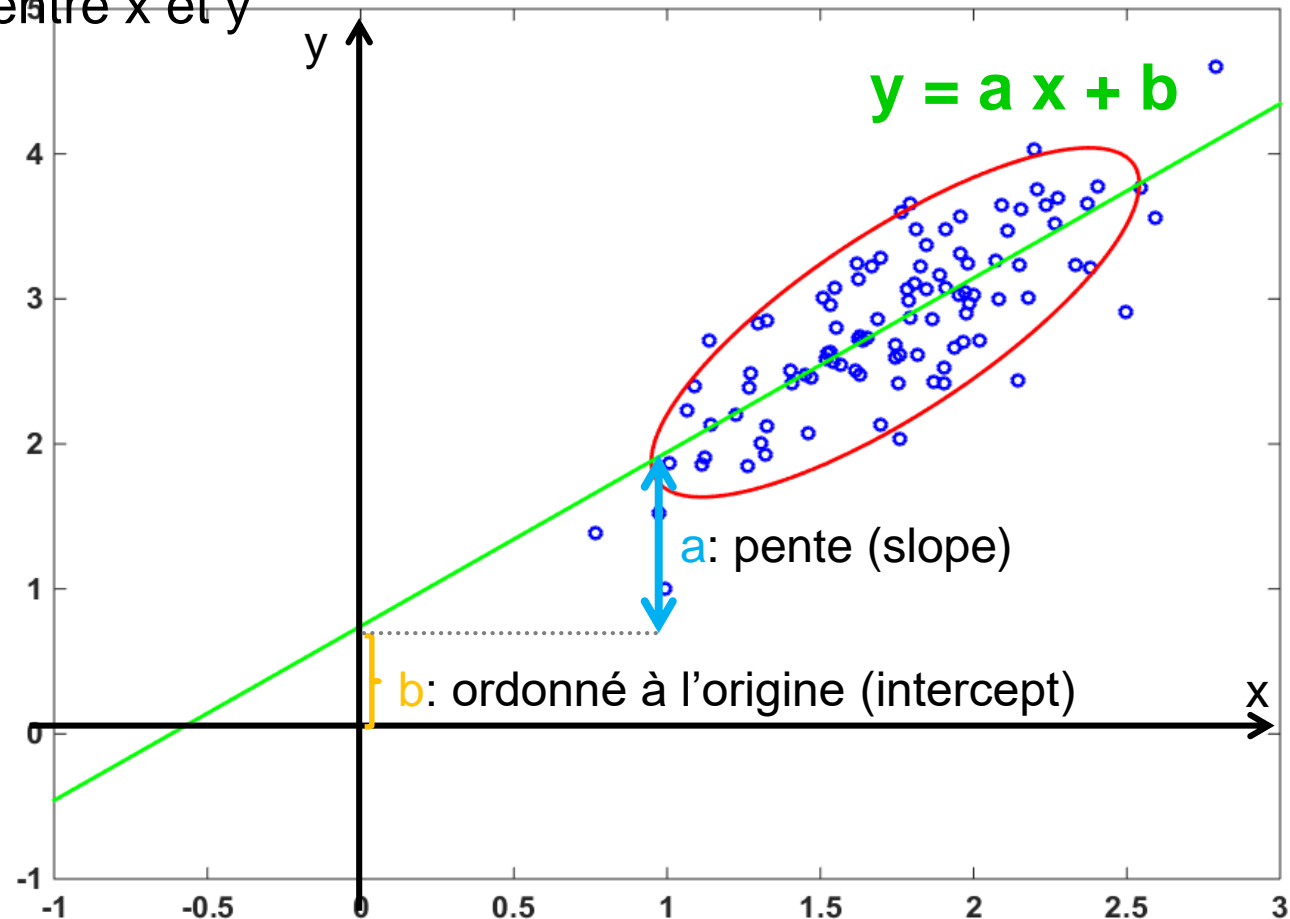
➤ y : variable dépendante

- La régression est un modèle



• • • • • Régression

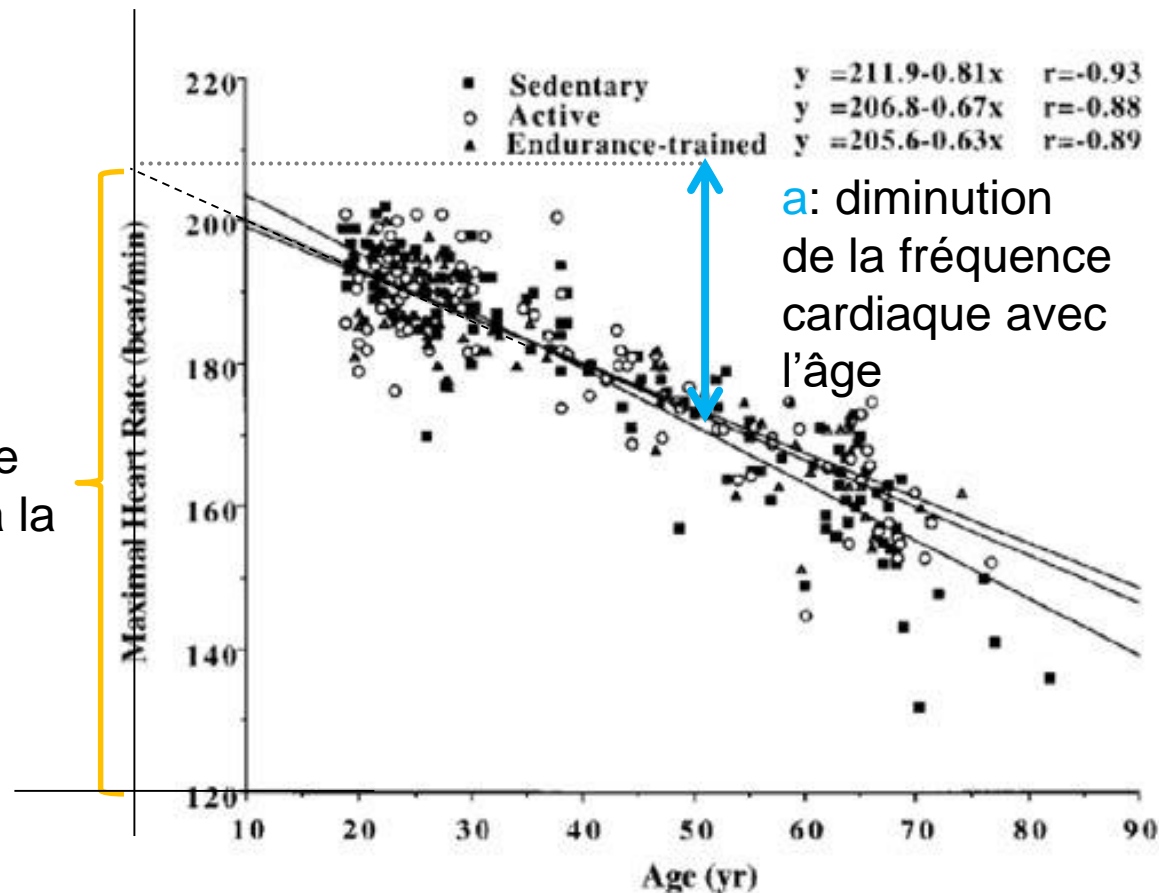
- Cette relation a des paramètres (ex: a et b)
- On peut chercher à donner un sens concret à ces paramètres pour interpréter la relation entre x et y



• • • • • Régression

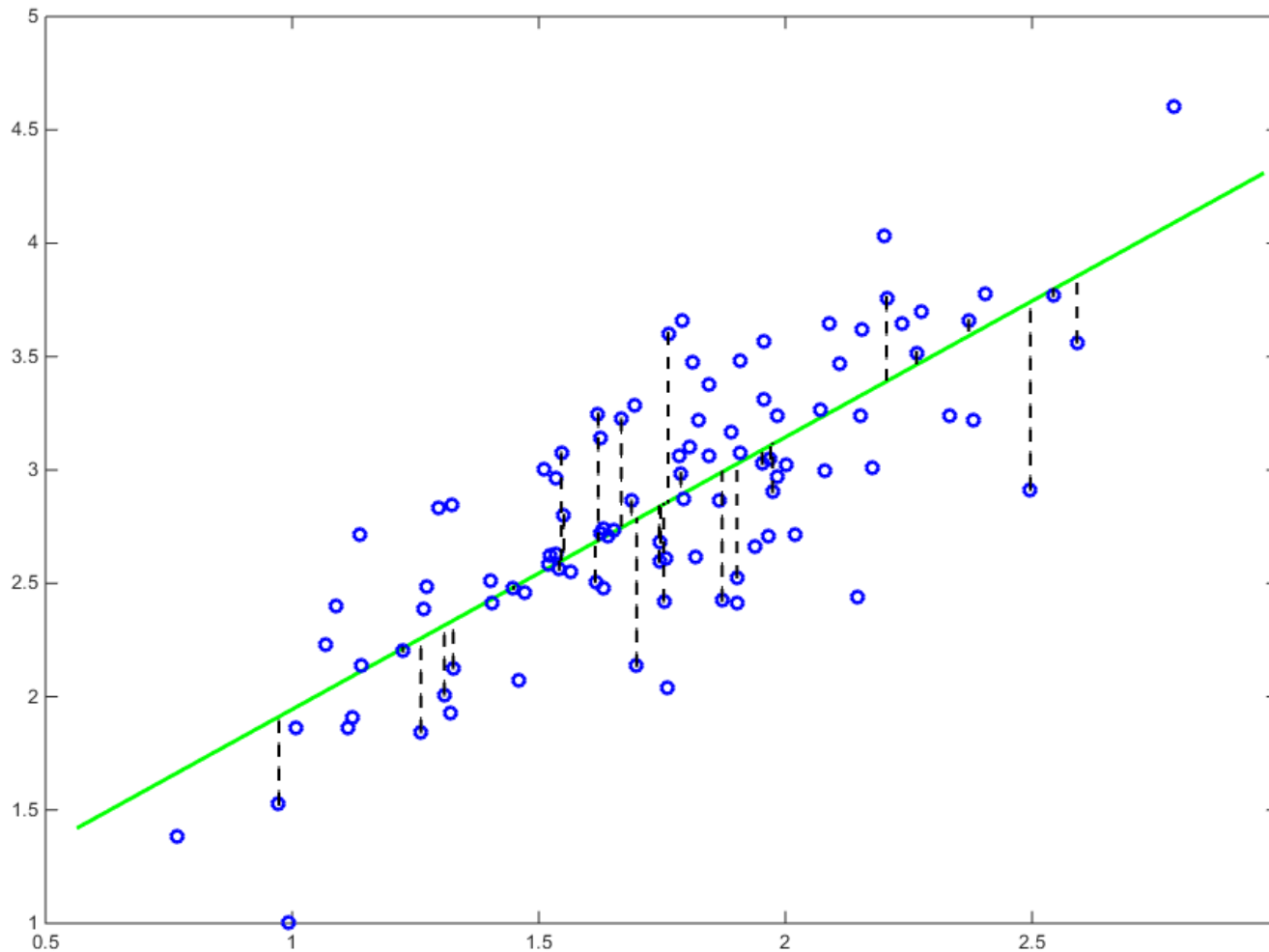
- Cette relation a des paramètres (ex: a et b)
- On peut chercher à donner un sens concret à ces paramètres pour interpréter la relation entre x et y

b: fréquence cardiaque maximale théorique du muscle cardiaque à la naissance



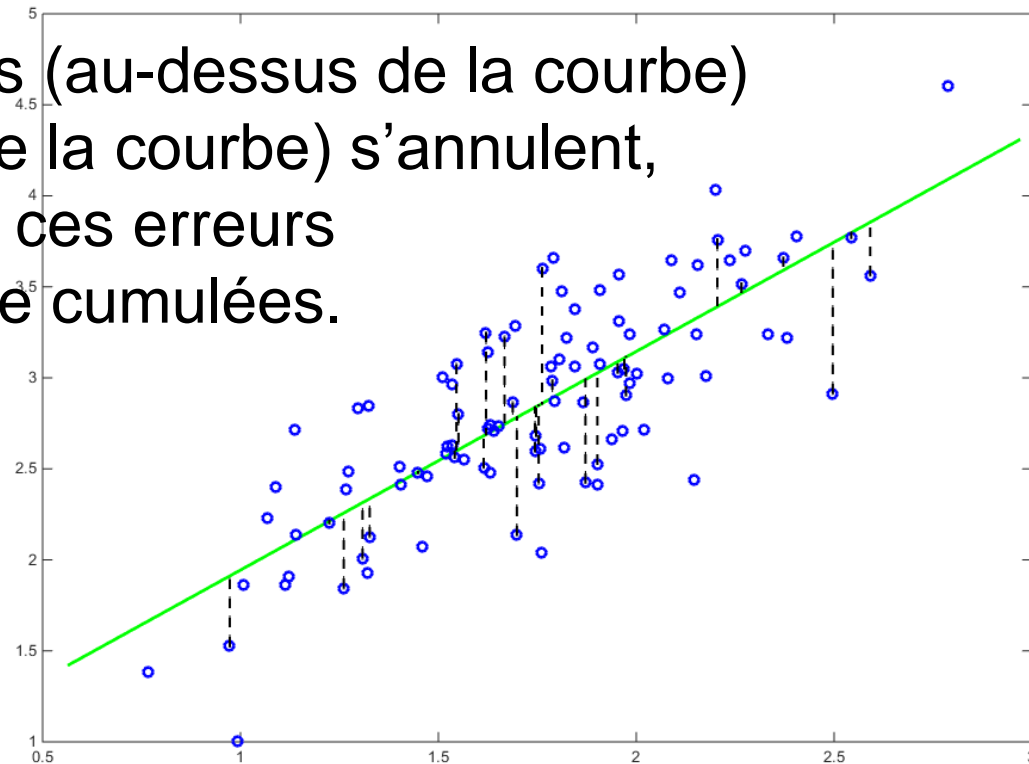
• • • • • Régression

- Résidus = erreur entre donnée et estimation (=valeur de la prédiction)



• • • • • Régression

- Calculer l'équation de la droite revient à résoudre un problème d'optimisation « des moindres carrés » :
 - trouver les valeurs de a et b,
 - telles que l'erreur de prédiction cumulée ($y_{\text{prédit}} - y_{\text{mesuré}}$) soit la plus petite possible
 - comme les erreurs positives (au-dessus de la courbe) et négatives (en dessous de la courbe) s'annulent, on additionne les carrés de ces erreurs pour connaître l'erreur totale cumulée.



• • • • • • • Régression

- Estimation de la droite
→ calcul simple d'algèbre linéaire

$$\hat{y} = [x \ 1] \cdot [a \ b]$$

$$\varepsilon = y - \hat{y}$$

$$[a \ b] = [x \ 1]^+ \cdot y$$

- La pseudo-inverse est la solution de norme minimale



• • • • • • • Régression

- Conditions d'utilisation?
- Calcul de la significativité statistique?
- « Statistiques inférentielles » 2018, Rothen, Baggio, Déline

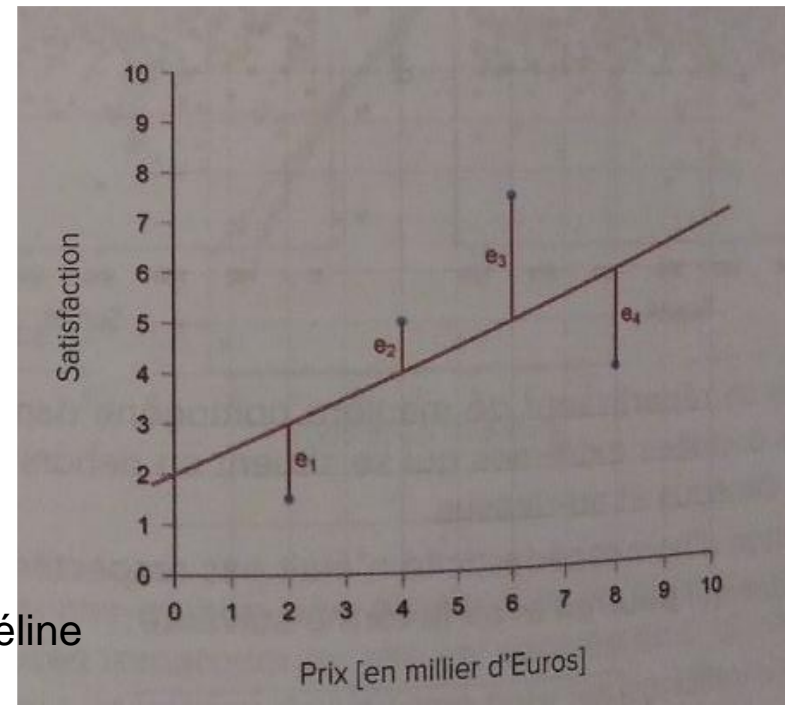


• • • • • Régression

• Exercice

Nous avons demandé à 4 personnes quel était leur dernier achat important. Nous avons ensuite récolté le prix de cet achat (en millier d'euros) et leur degré de satisfaction (note de 0 à 10) afin de voir s'il y avait un lien. Nous avons ensuite fait une régression linéaire (cf graphique)

1. Quelles sont les réponses des 4 personnes?
2. Quelle est l'hypothèse de cette recherche?
3. Quelles est la VD, quelle est la VI?
4. Quelles sont les valeurs de a et b?
5. Combien valent les résidus?
6. Que vaut la prédiction de la satisfaction pour un achat de 3000€?
7. Quelles conclusions pouvez vous tirer si le coefficient b est statistiquement significatif?



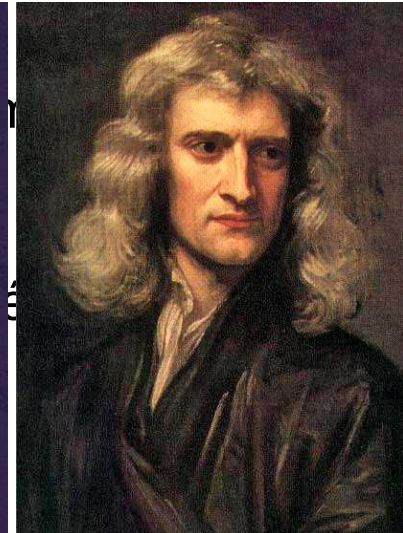
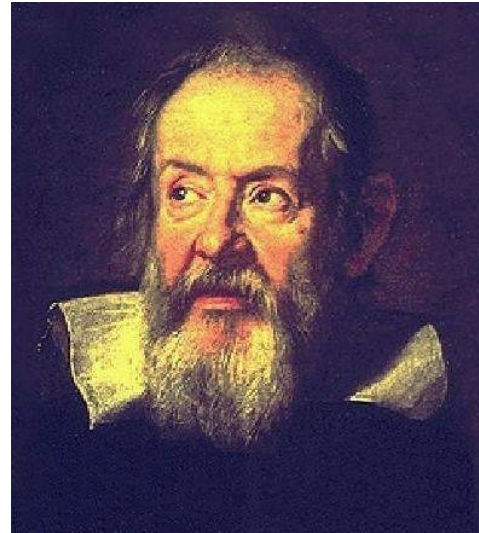
• • • • • Régression

- Régression = représentation simplifiée
- Ne permet pas de conclure: ~~le phénomène est linéaire~~
- **Grosse erreur usuelle**
 - jeu de données non linéaire sur l'ensemble de la plage de valeurs
 - régressions linéaires par morceaux



• • • • • Régression

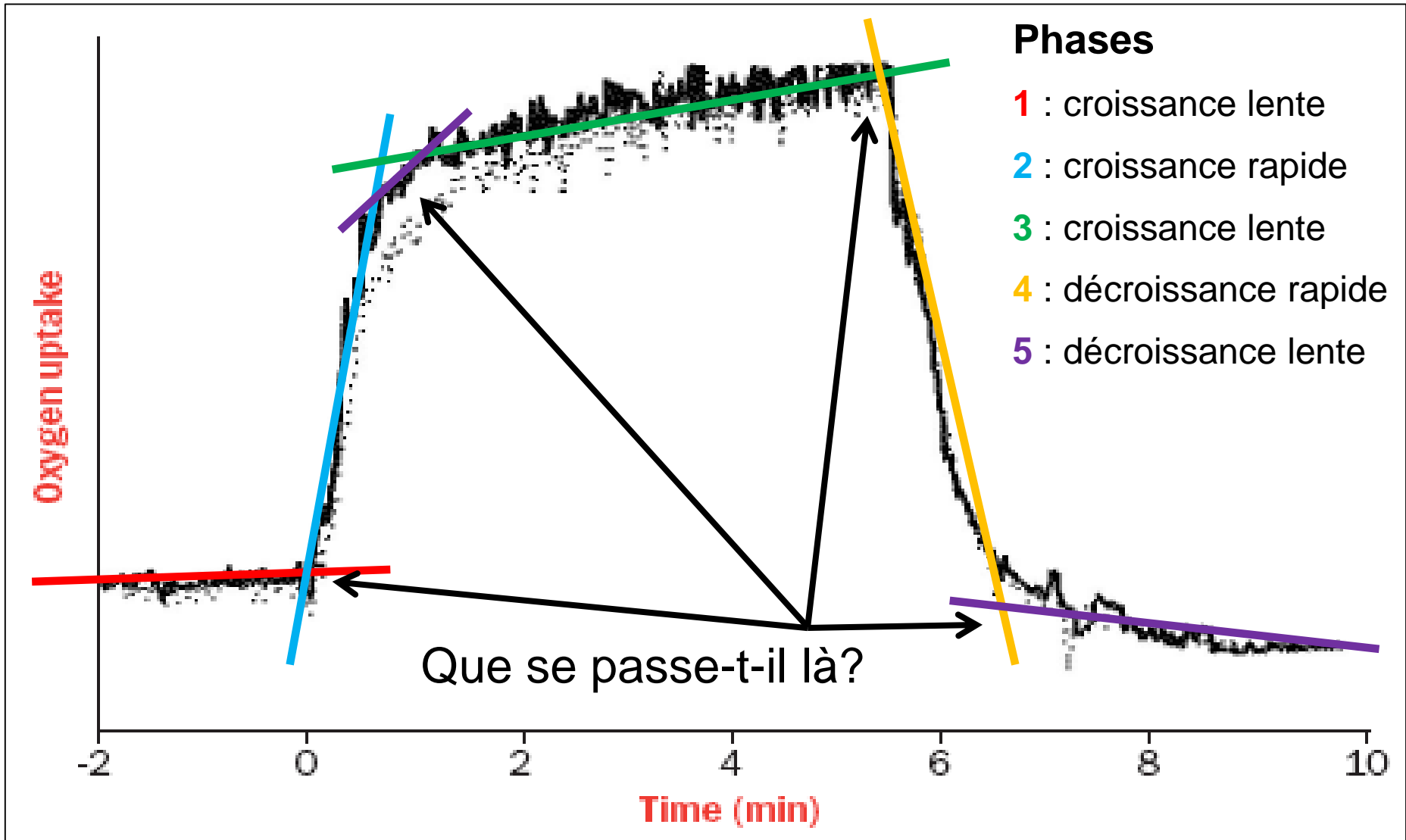
- Le monde n'est pas linéaire!
- « Bonne » corrélation linéaire **ne signifie pas** le phénomène est linéaire



Galilée, Newton, réveillez-vous!
Ils sont devenus fous.

• • • • • Régression

Consommation d'O₂ lors d'un exercice rectangulaire et retour au repos



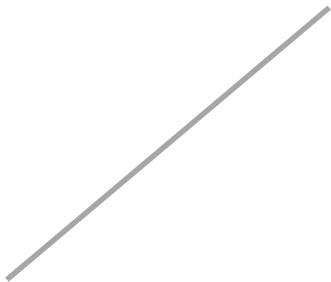
Modèles non-linéaires



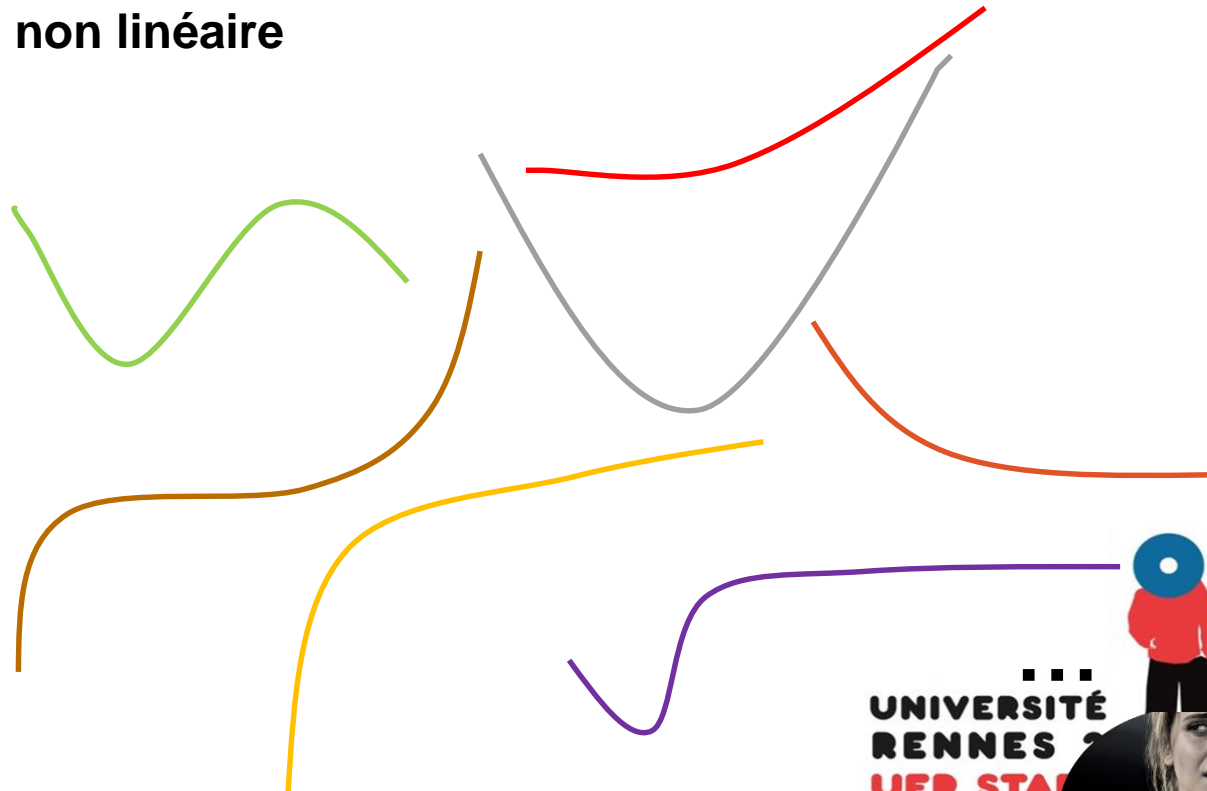
• • • • • Pourquoi du non-linéaire?

- C'est plus compliqué!
- Mais élargit le champ des possibles

linéaire



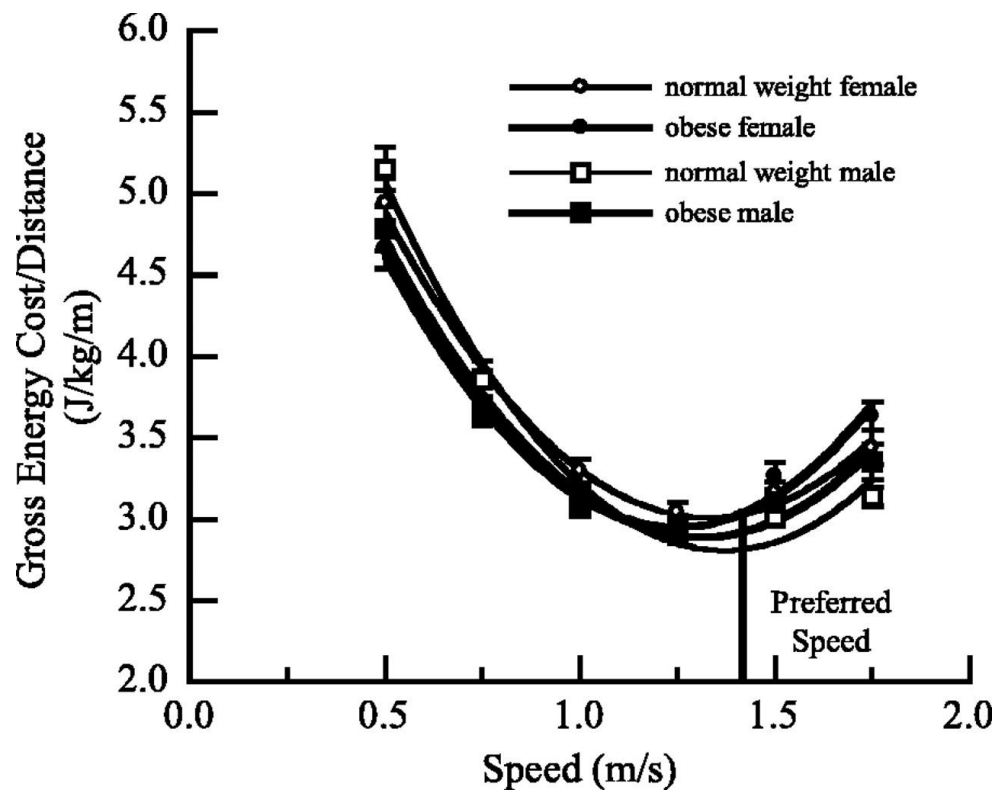
non linéaire



• • • • • Pourquoi du non-linéaire?

• Intérêts

- « Colle » mieux aux données
- Rend compte de phénomènes non-linéaires
- Toute la plage des données dans un seul modèle



Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking
[Browning2006]



• • • • • • • Pourquoi du non-linéaire?

- En théorie : élargit à l'infini les possibilités!
- La question devient:
→ quelle forme (fonction) choisir?
- Choix de la forme doit être **justifié**



Modèles usuels

- Coût énergétique de la marche
 - 8 sujets sur tapis roulant, 11 niveaux de vitesse
 - Mesure de la vitesse réelle (imperfection du tapis) et du coût énergétique (en J/Kg/m)
 - Déterminer la vitesse de confort de chaque sujet

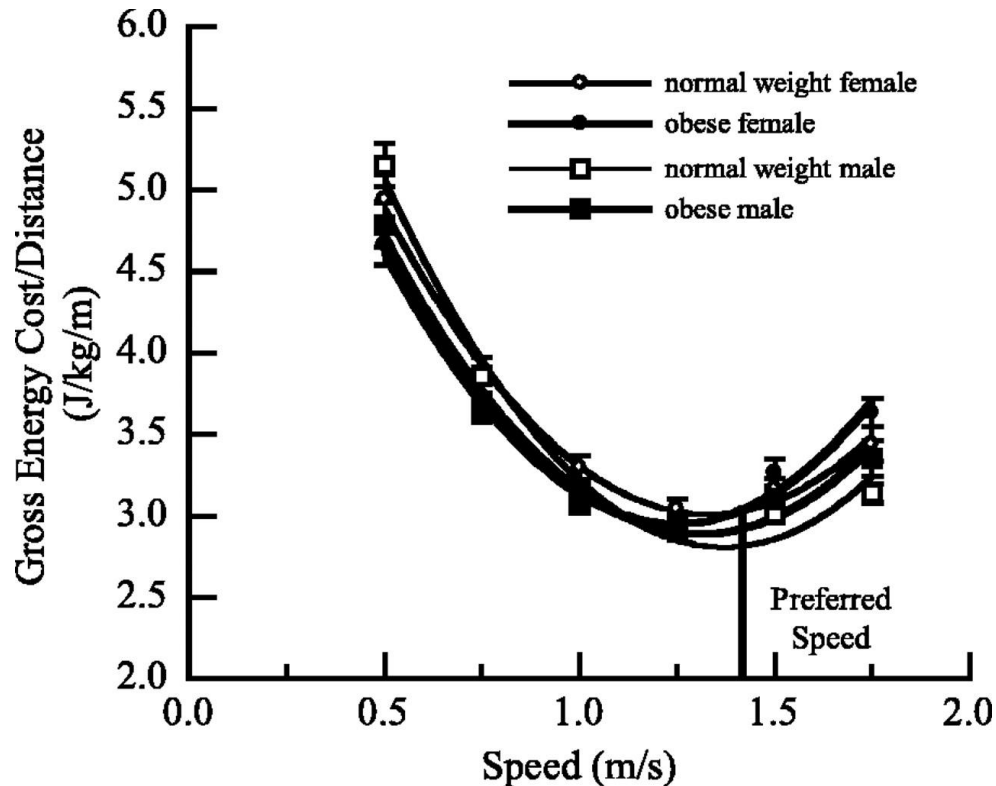


Cout energetique.xlsx



Modèles usuels

- Polynomial
 - Quadratique (degré 2)



Modèles usuels

- Polynomial
 - Quadratique (degré 2)
 - Cubique (degré 3)
 - Degré N
- Calcul simple \rightarrow Linéaire en $(N+1).D$

$$y = [x^N \ x^{N-1} \ \dots \ x \ 1] \cdot [a_N \ a_{N-1} \ \dots \ a_1 \ a_0]^T$$

$$y = VdM(x) \cdot A^T$$

$$A^T = VdM(x)^+ \cdot y$$



Modèles usuels

- Polynomial
 - Degré 2, 3, ..., N
- Jusqu'où s'arrêtera-t-on?
- Degré élevé utilisé pour lissage de données



Angle coude.xlsx



Modèles usuels

- Angle du coude
 - Proposer un modèle polynomial qui « colle » aux données
 - Comparer le lissage des mesures bruitées aux données « propres »



Angle coude.xlsx



• • • • • • • • Modèles usuels

- Les moutons sont-ils stupides?
- Sommes-nous une espèce supérieure?
- Et les dinosaures ?



Cerveau.xlsx



Modèles usuels

- Logarithmique
 - Semi-log
 - log-log
- Une donnée (ou les deux) a une distribution avec quelques valeurs très élevées



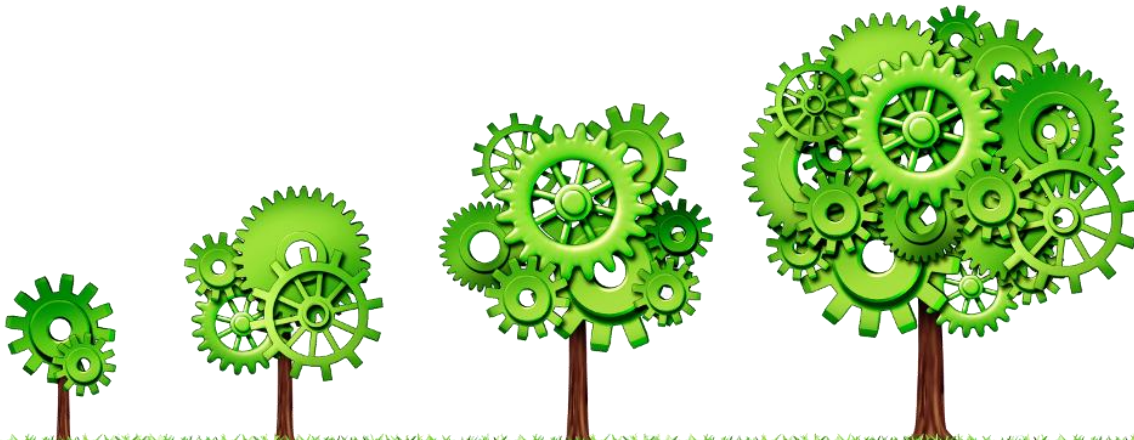
Modèles usuels

- Log-log
- Très simple → linéaire après transformation
 - $\log(y) = a.\log(x) + b$
- Lié à une relation de type « puissance »
 - $\log(y) = a.\log(x) + b$
 - $y = \beta.x^a$ avec $\beta = e^b$



Modèles usuels

- La croissance!
- Quel a été le taux de croissance moyen des 45 dernières années
 - En Chine
 - En Inde
 - En Afrique
 - Au Panama



Croissance.xlsx



Modèles usuels

- Evolution du budget des clubs de football européens les plus riches
- Comparer les clubs anglais aux autres



Budget Foot.xlsx



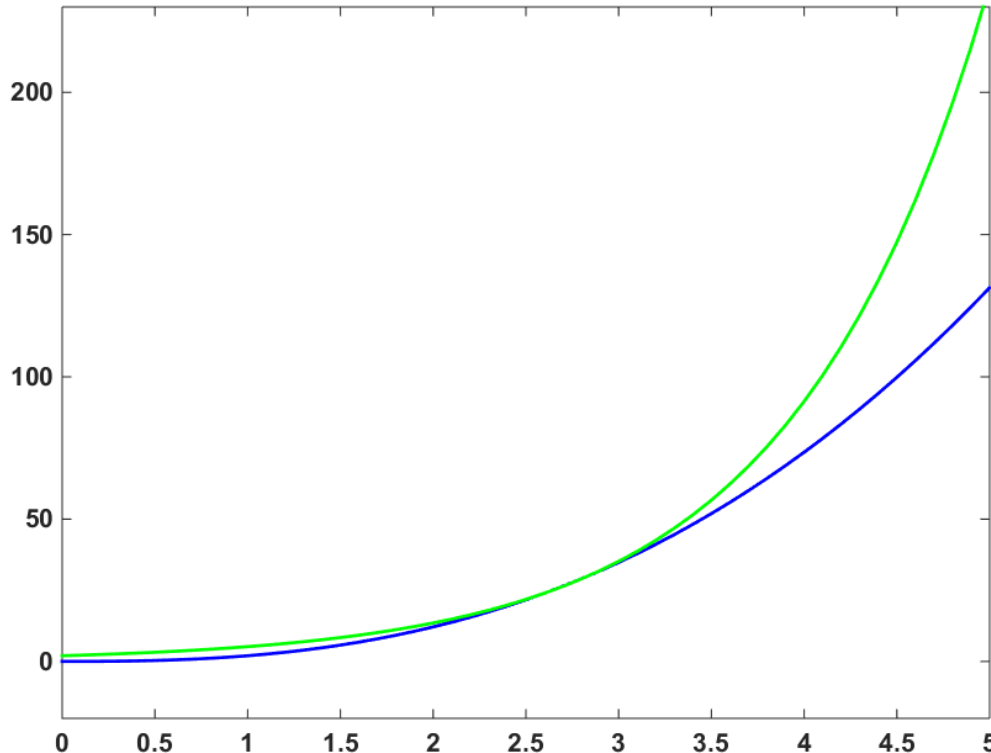
• • • • • • • • Modèles usuels

- Exponentiel
- Rend compte d'une évolution constante en pourcentage
- Paramètre important \rightarrow ce pourcentage d'évolution



Modèles usuels

- Ne pas confondre
 - exponentiel $\rightarrow y = b \cdot a^x$
 - puissance $\rightarrow y = b \cdot x^a$



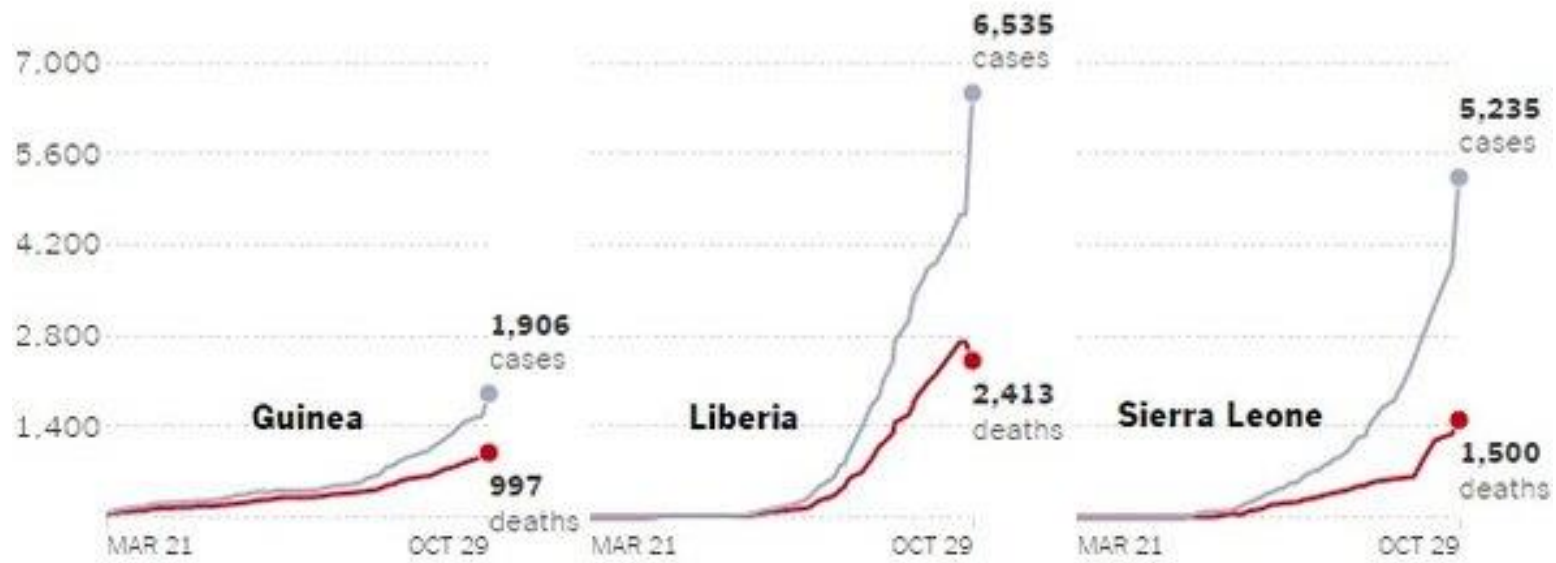
$$y = 2 \cdot 2,6^x$$

$$y = 2 \cdot x^{2,6}$$



Modèles usuels

- Epidémie
- Début d'épisode → comportement exponentiel



Note: The number of deaths and cases reported by the World Health Organization sometimes decreases because of data revisions.



Modèles usuels

- A quel moment l'épidémie d'Ebola a commencé à être stabilisée?
 - En Sierra-Leone
 - Au Libéria
 - En Guinée



Ebola.xlsx

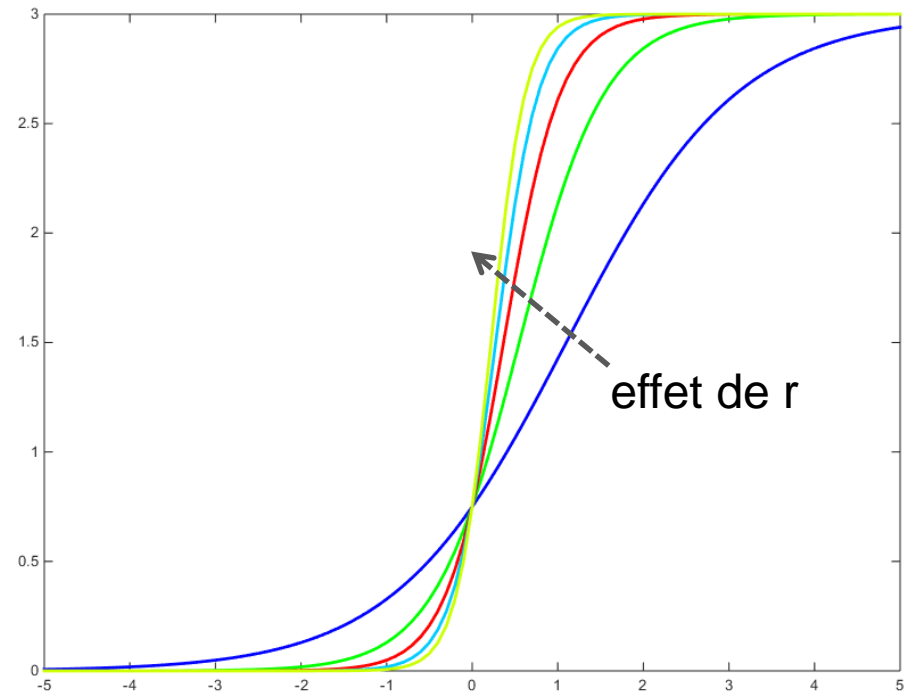
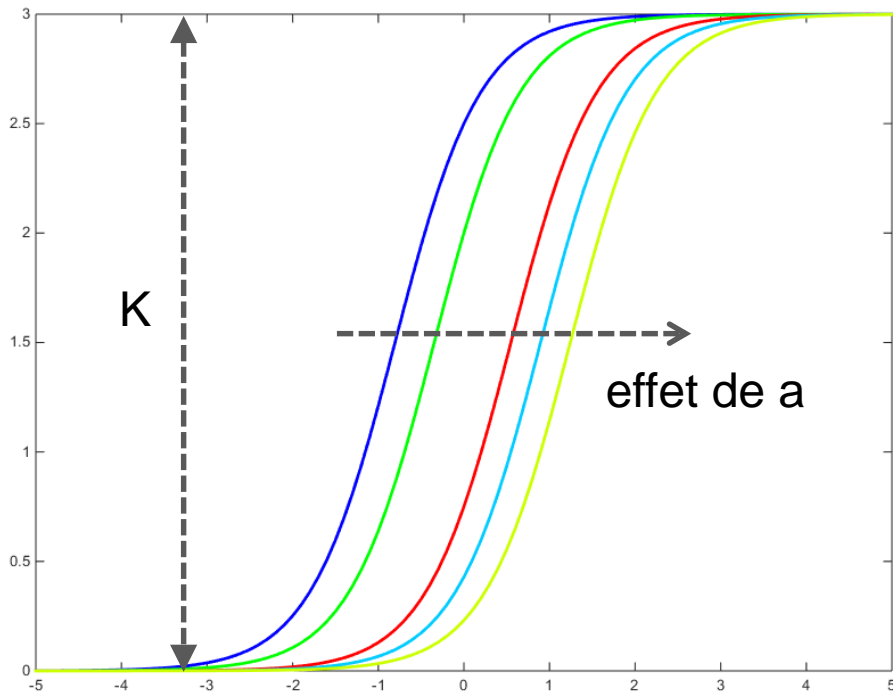
UNIVERSITÉ
RENNES 2
UFR STAP



Modèles usuels

- Logistique

$$y = \frac{K}{1 + a \cdot e^{-r \cdot x}}$$



• • • • • • • • Modèles usuels

- Logistique
 - Point d'inflexion
 - Changement d'état
 - Cas particulier $\rightarrow y = \text{variable binaire}$



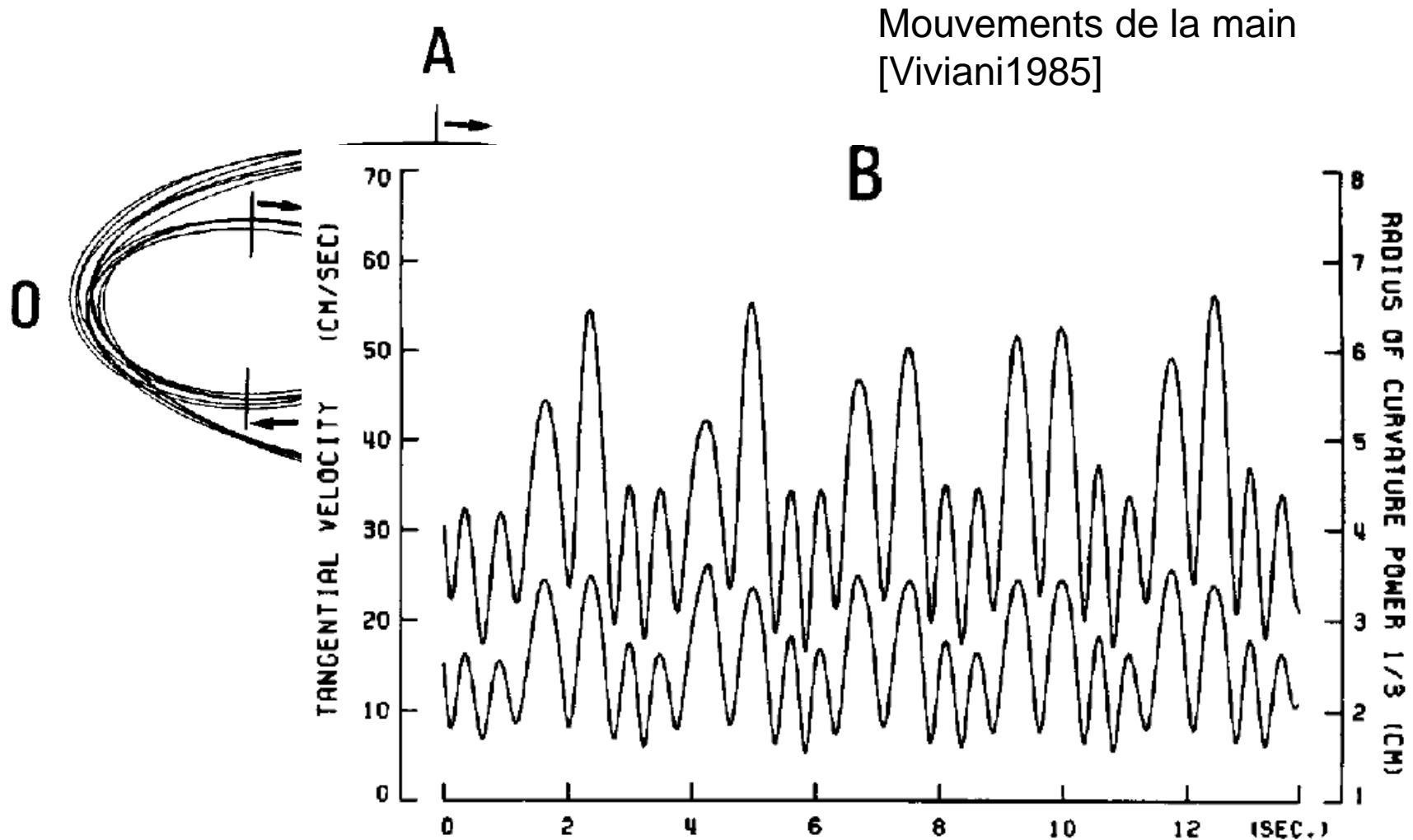
Modèles usuels

- Non-linéaire? Vraiment?
 - Polynôme \rightarrow linéaire en dimension $N+1$
 - Puissance \rightarrow linéaire en log-log
 - Exponentiel \rightarrow linéaire en semi-log
- Linéarisation possible par changement de variable ne signifie pas linéaire!
- Et quid de : $y = \sin(e^{x^2+2x-7}) \cdot \ln(x/1+\text{th}(x))!$



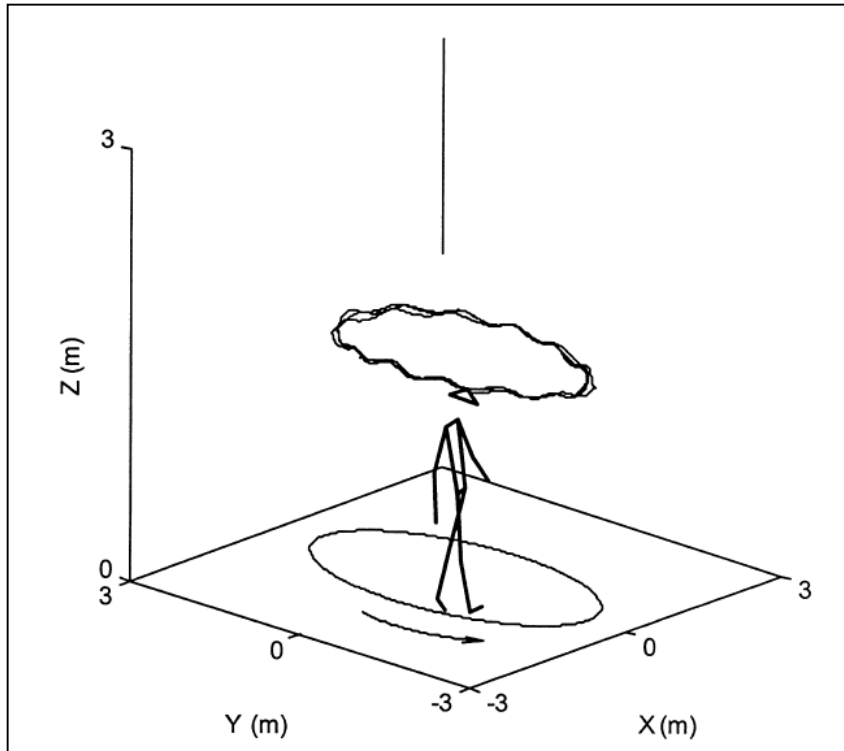
Régression non-linéaire

- Relation vitesse-courbure

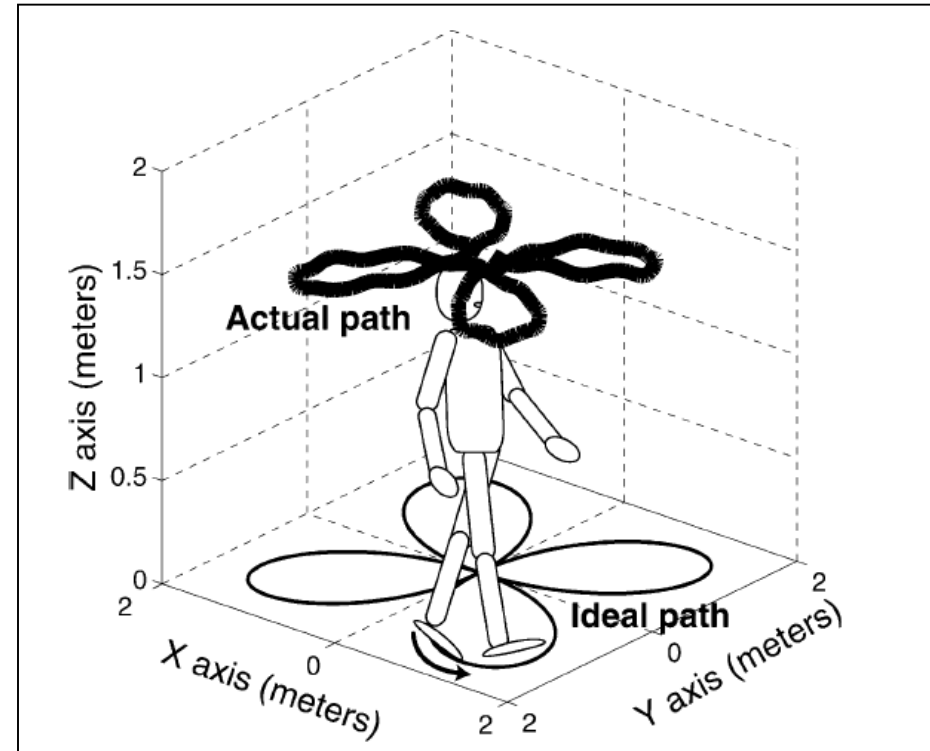


Régression non-linéaire

- Relation vitesse-courbure dans la marche?



Ellipse tracée au sol
[Veilledent2001]

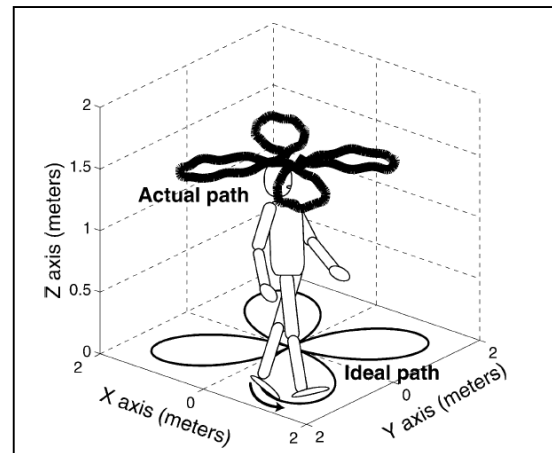
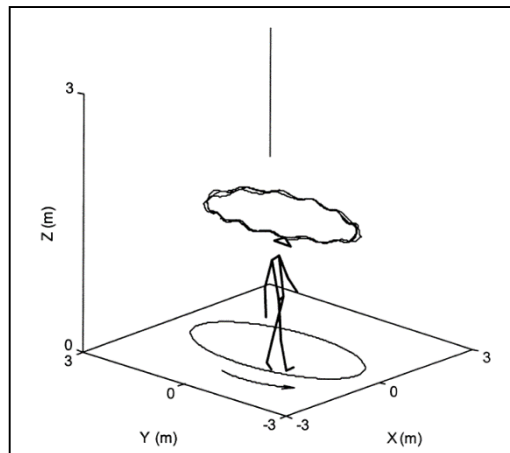


Autres tracés
[Hicheur2005]



Régression non-linéaire

- Relation vitesse-courbure dans la marche?
 - Retrouve-t-on le même type de lien?
 - La relation dépend-elle de la forme suivie?



Courbure Vitesse.xlsx

Modèles linéaires à N variables



Modèle linéaire multiple

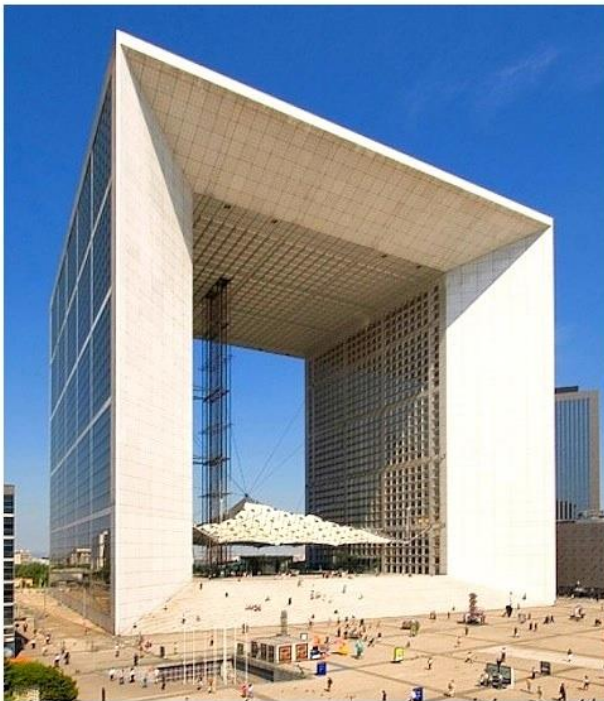
- Modèle linéaire 2D
 - 1 variable dépendante
 - 1 variable indépendante
- Modèle linéaire N-D
 - 1 variable dépendante
 - (N-1) variables indépendantes
 - $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_{N-1} x_{N-1}$



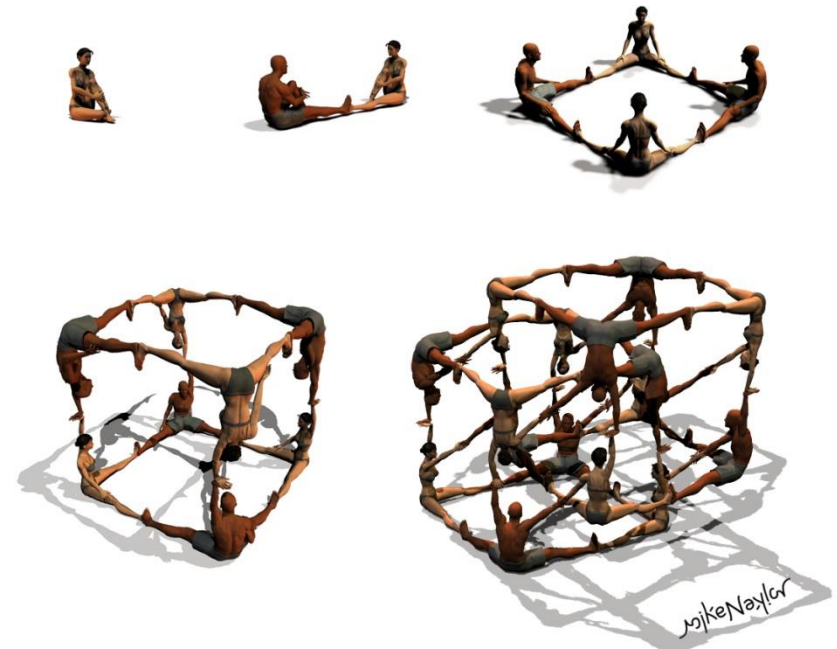
Modèle linéaire multiple

- Modèle linéaire N-D

- Calcul très simple
- Mais difficulté de représentation (pour $N > 3$)

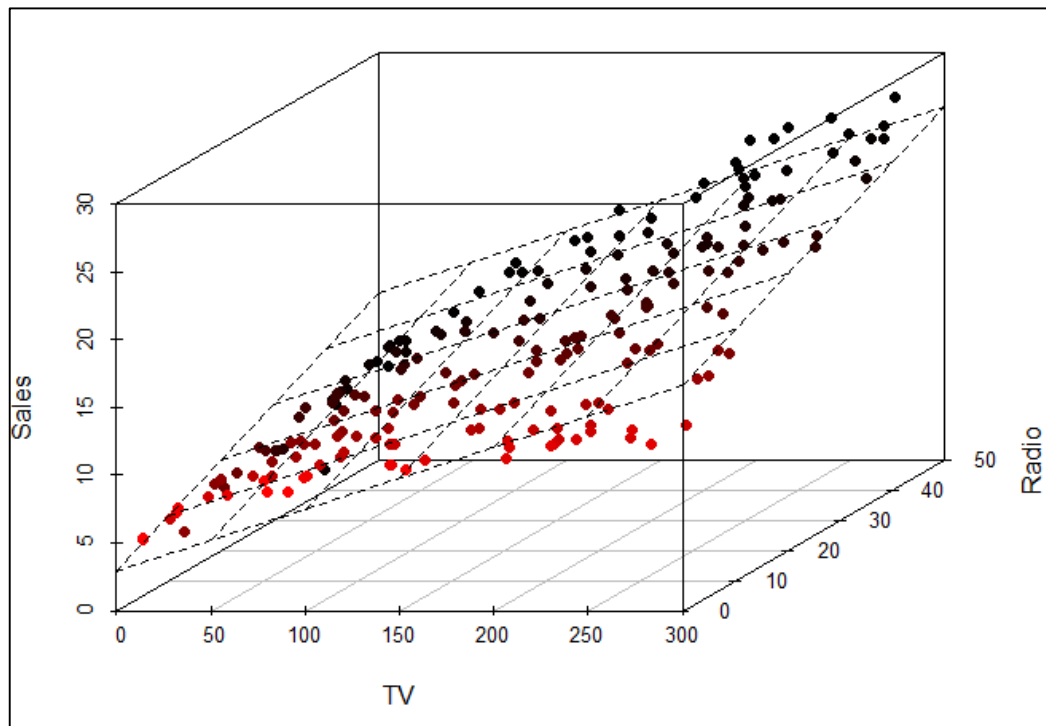


Arche de la défense:
ombre en 3D d'un cube 4D



Modèle linéaire multiple

- Modèle linéaire N-D : pour quoi faire?
 - Une variable dépendante peut être liée à plusieurs variables indépendantes



Ventes en fonction de la diffusion publicitaire à la télé et à la radio



Modèle linéaire multiple

- Beaucoup de variables → comment trier?
- Exemple, dans 60 villes industrielles:
 - Mortalité → variables dépendante
 - 15 variables indépendantes
 - Météorologiques (précipitations, températures,...)
 - Sociologiques (âge moyen, études, revenus,...)
 - Niveaux de pollution



Modèle linéaire multiple

- Trier ?
 - Toutes les variables sont-elles utiles?
 - Le sont-elles au même niveau?
- Deux méthodes usuelles
 - Régression pas-à-pas
 - Meilleur sous-ensemble

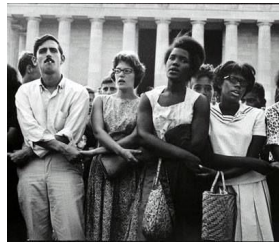


Modèle linéaire multiple

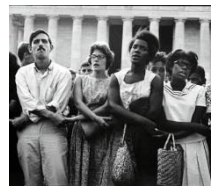
- Régression pas-à-pas
 - Ascendante ou descendante
 - Ajout ou retrait successif d'une variable
 - Critère \rightarrow meilleure statistique (R^2 par exemple)
- Exemple: ascendante sur la mortalité



$N = 1, R^2 = 0,41$



$N = 2, R^2 = 0,56$



$N = 3, R^2 = 0,64$



$N = 4, R^2 = 0,70$



$N = 5, R^2 = 0,75$

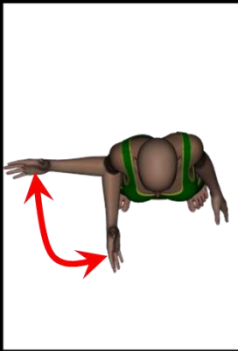
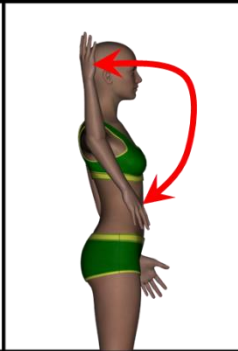





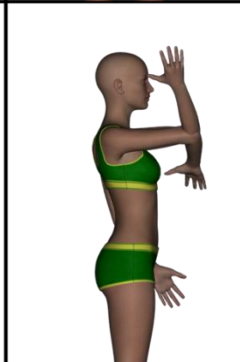
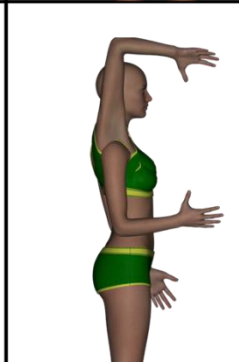

Modèle linéaire multiple

- Meilleur sous-ensemble
 - Pour N de 1 au nombre de variables
 - Recherche du meilleur sous-ensemble de N variables (par exemple au sens de R^2)
- Peut différer de la régression pas-à-pas
 - Une variable dans le meilleur sous-ensemble N peut ne plus être dans le $N+1^{\text{ème}}$
 - Mortalité: pollution au NO dans le 6^{ème} mais plus dans les suivants jusqu'au 14^{ème}



Modèle linéaire multiple

- Mobilité de l'épaule
 - Mesures mono-axiales

ER1 External rotation from neutral	EIR2 Ext./ internal rotation in mid-abduct.	EIR3 Ext./ internal rotation in mid-flexion	Abd Abduction from neutral	FE Flexion/ extension amplitude
				
				



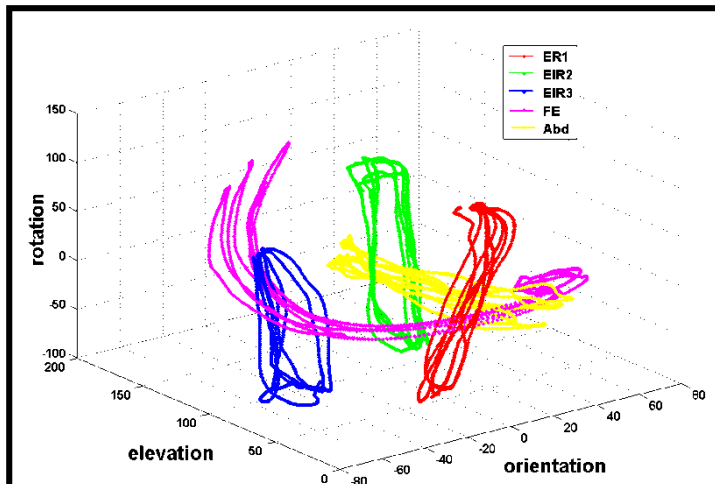
Modèle linéaire multiple

- Mobilité de l'épaule
 - Espace atteignable → volume articulaire



Modèle linéaire multiple

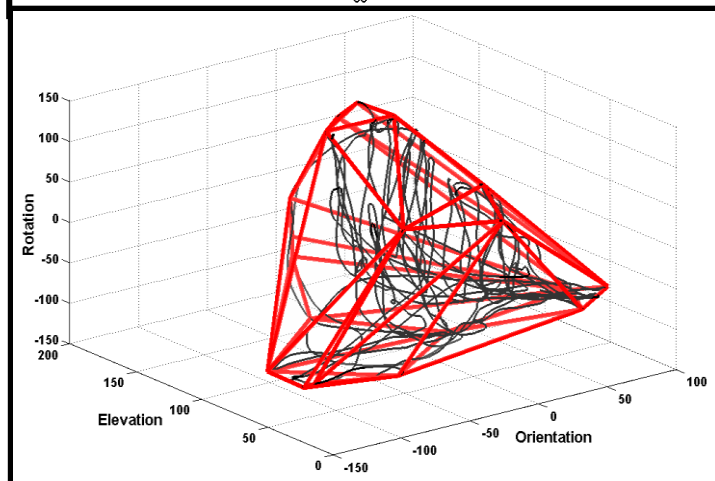
- Mobilité de l'épaule
 - Mise en relation \rightarrow volume = $f(\text{amplitudes})$



ER1	EIR2	EIR3	Abd	FE
External rotation from neutral	Ext./ internal rotation in mid-abduct.	Ext./ internal rotation in mid-flexion	Abduction from neutral	Flexion/ extension amplitude

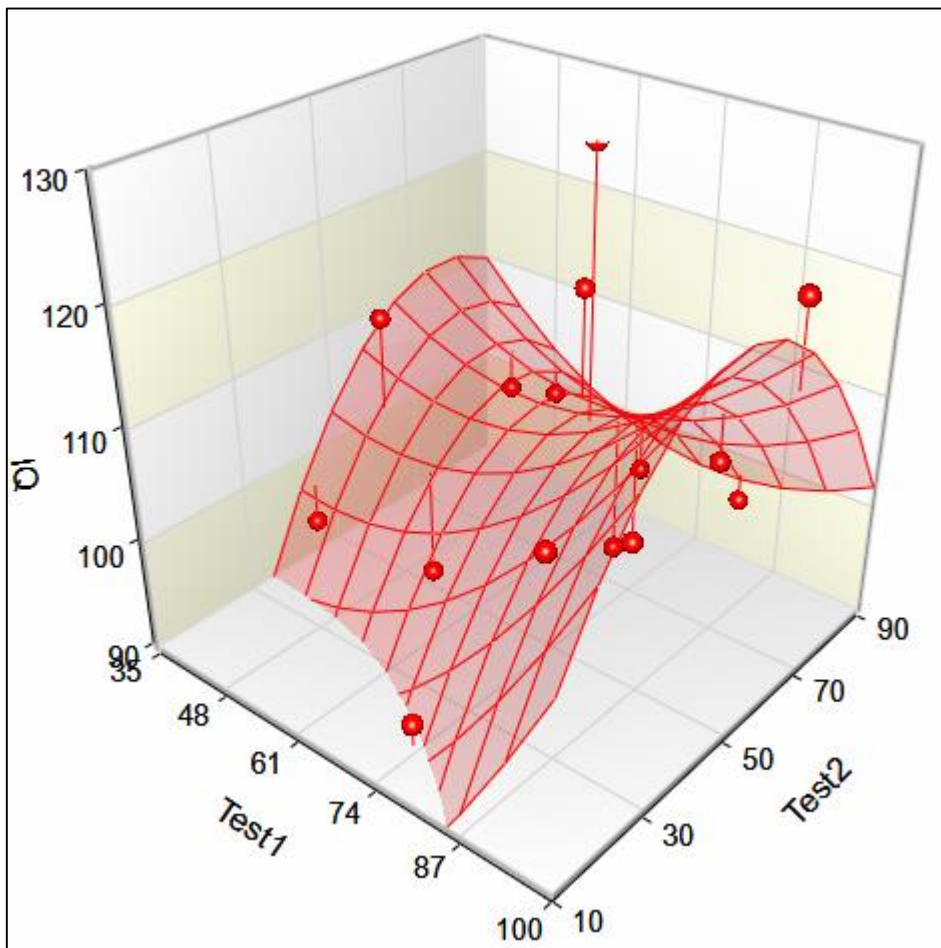


Mobilité épaule.xlsx



Limite importante

- Ces méthodes sont linéaires



Comment rendre compte de ce type de relation?

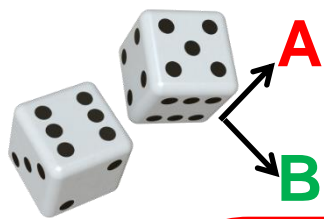


Exercice bilan



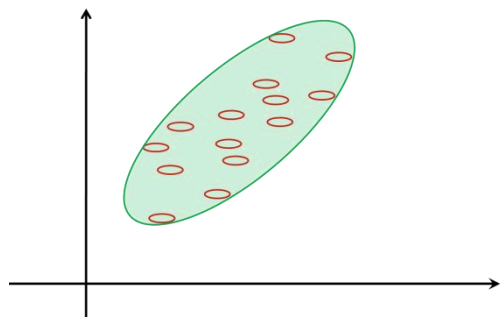
Type de protocole

- Analyse en deux étapes



Observée

Etude en corrélation



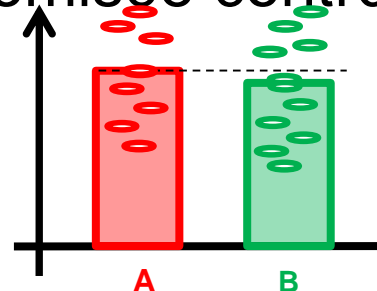
Sur les données brutes
Pour chaque sujet

Continue

Paramètre de haut niveau
Pour chaque sujet

Contrôlée

Etude comparative
randomisée contrôlée



Sur les paramètres extraits
Par groupe

Discrète

Etude de la fatigue musculaire

- Etude de la fatigue musculaire
 - Modèle animal → souris
 - Effet du genre et de la présence du gène Cre (jouant sur l'expression d'IL-15R α)

J Appl Physiol 118: 437–448, 2015.

First published December 11, 2014; doi:10.1152/jappphysiol.00704.2014.

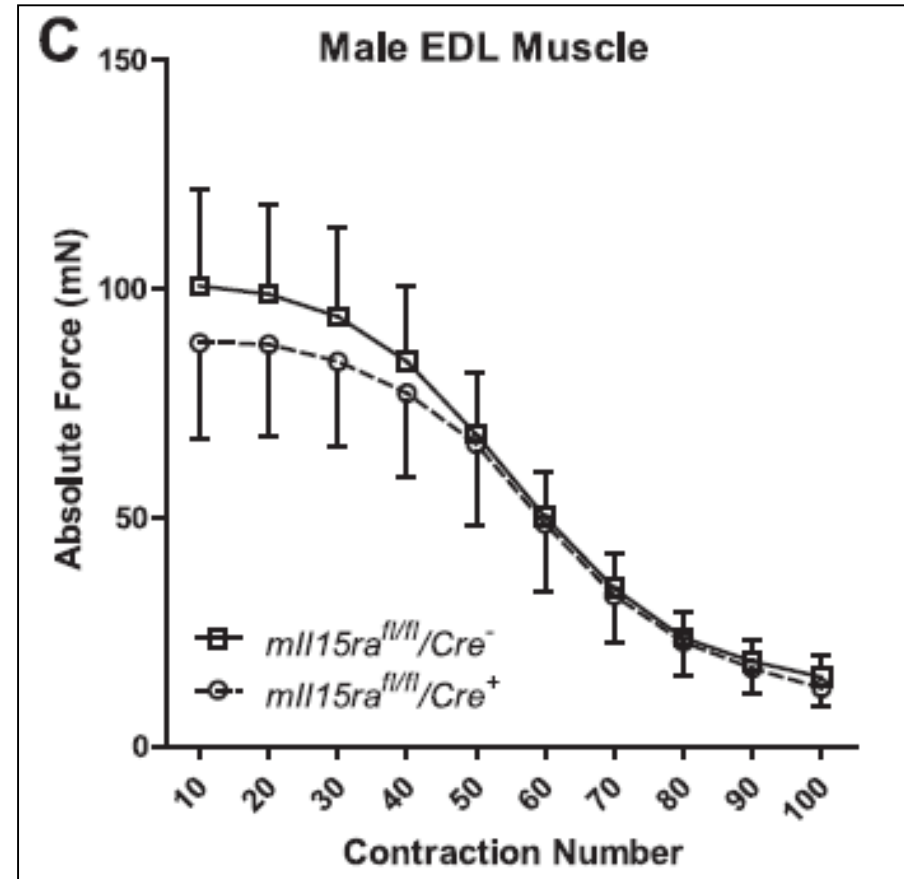
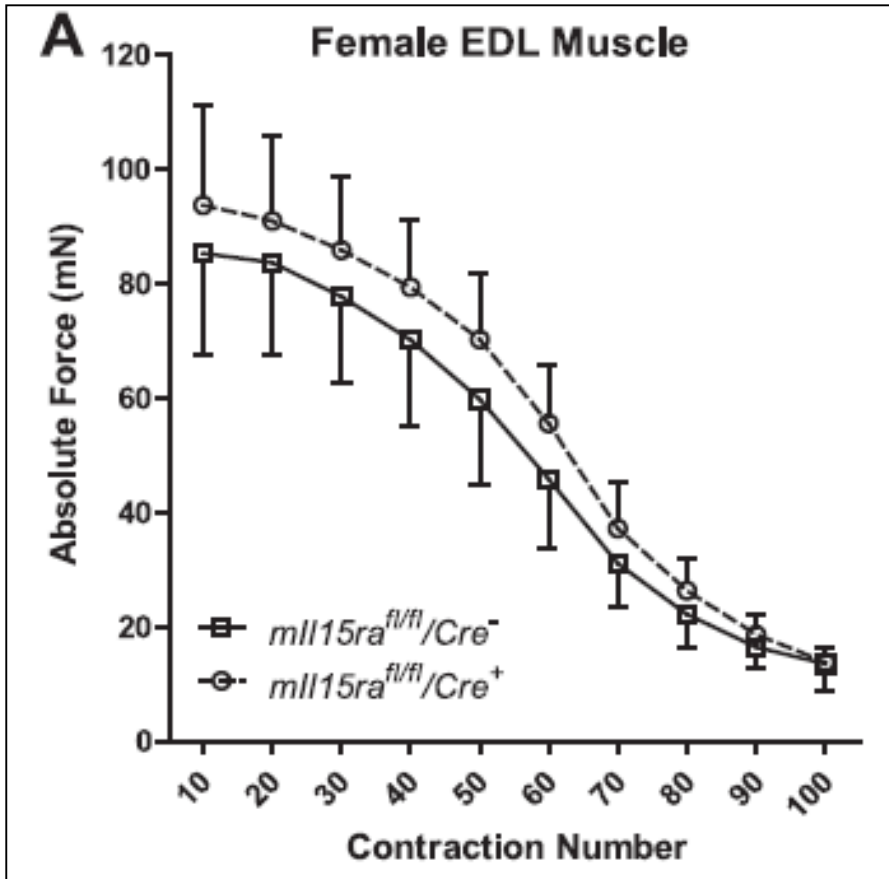
Muscle-specific deletion of exons 2 and 3 of the *IL15RA* gene in mice: effects on contractile properties of fast and slow muscles

Grant O'Connell,^{1*} Ge Guo,^{1*} Janelle Stricker,^{1,4} LeBris S. Quinn,^{5,6} Averil Ma,⁷
and Emidio E. Pistilli^{1,2,3}



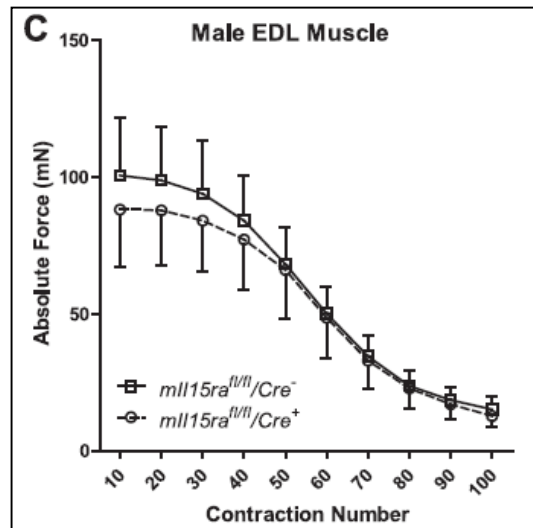
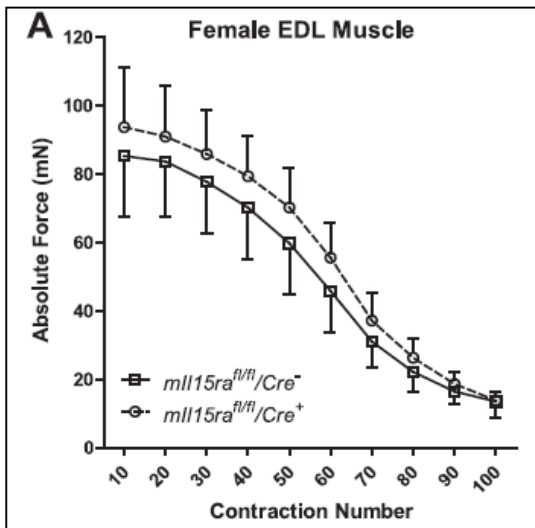
Etude de la fatigue musculaire

Résultats



Etude de la fatigue musculaire

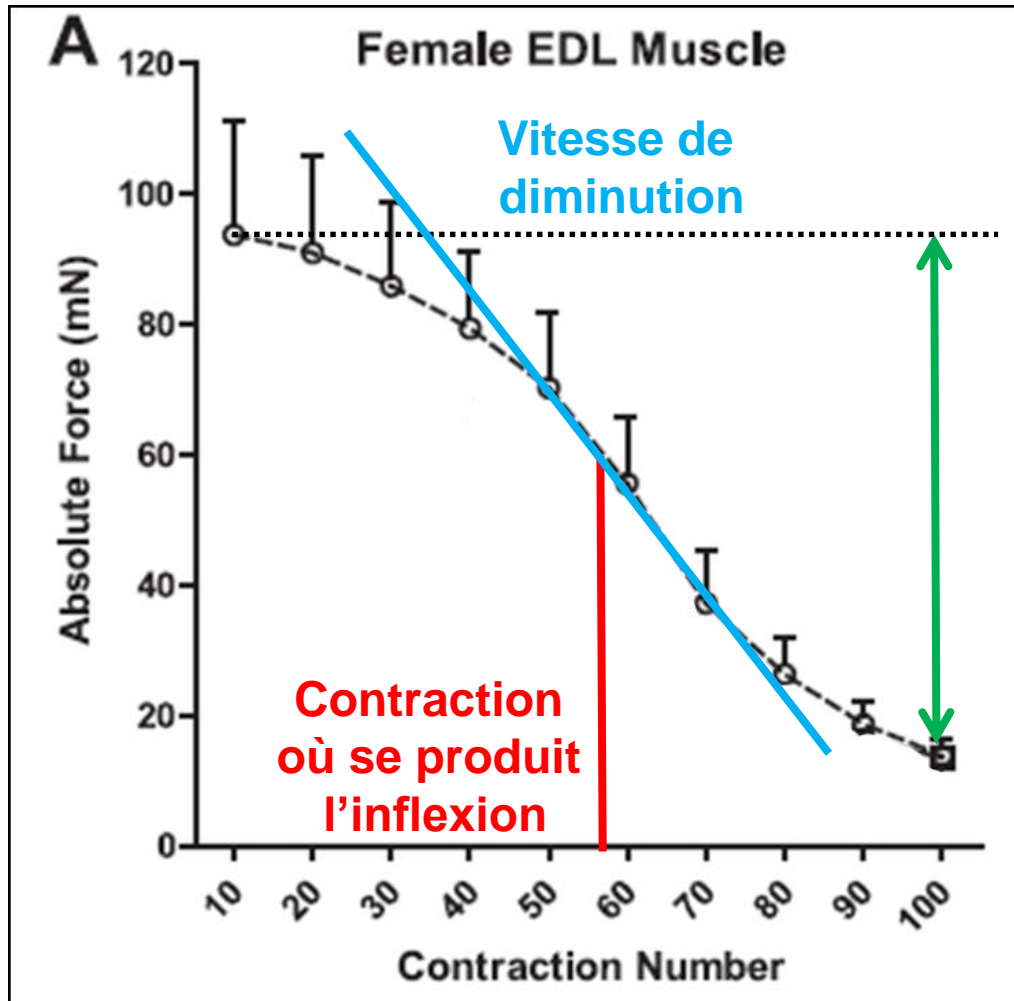
- Analyse des données
 - Proposer un modèle permettant de rendre compte de la fatigue pour chaque animal
 - Ensuite comparer les groupes selon les paramètres de ce modèle



Fatigue souris.xlsx

Etude de la fatigue musculaire

- Modèle

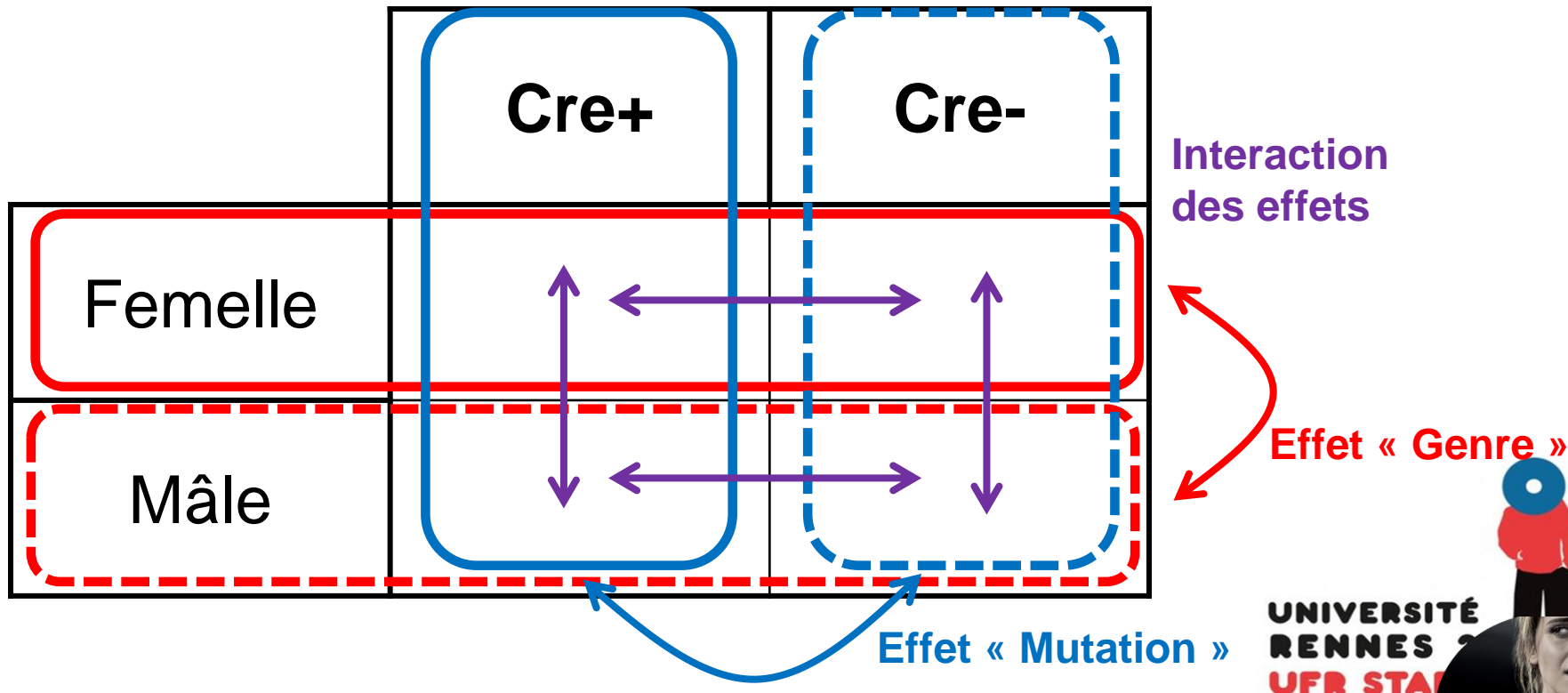


Amplitude de la diminution



Etude de la fatigue musculaire

- Comparaison des groupes sur ces paramètres par ANOVA à deux voies:
 - Genre
 - Gène d'expression d'IL-15a ou non



Vous avez bien mérité le traditionnel:

Merci de votre attention



Références

- **Statistiques générales pour utilisateurs Tome 1 Méthodologie**, 2010, J. Pagès
- **Statistiques générales pour utilisateurs Tome 2 Exercices**, 2013, F. Husson, J. Pagès
- **Statistiques inférentielles**, 2018, Rothen, Baggio, Deline

