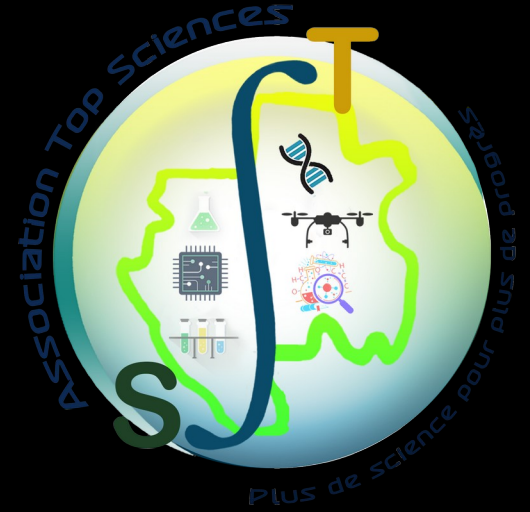


Linear Regression

By Dr. Nzamba Bignoumba



$$y = -ax + b$$

Average training duration: 4 hours 00 minute

Outline

Machine learning overview	→	15 min
Linear regression: theory	→	45 min
Linear regression: use case	→	01.30 h
Model deployment	→	01.30 h

Machine learning overview

IA

Que pouvons nous faire
avec ?

Natural Language Processing
Computer Vision
Signal Processing
⋮

Machine learning overview

Synthèse du contenu d'un ou plusieurs documents
Traduction d'une langue à une autre
Génération du code
⋮

OpenAI-ChatGPT
DeepSeek
GitHub Copilot
Cursor | Codex

Génération de contenu visuel
Classification d'images médicales
Classification d'images agricoles
Détection d'objet
⋮

Midjourney
Canva
Aidoc
IA Agri
AgriHyphen AI

Natural Language Processing
Computer Vision
Signal Processing
⋮

Prévisions météorologiques
Prévisions de maladies et de mortalité
Prévisions boursières
Prévisions de consommation d'électricité
Détection d'anomalies (cybersécurité)
⋮

AWS SageMaker - DeepAR
Nixtla-TimeGPT
Meta-Prophet
Zindi Africa
Amini

Machine learning overview

IA

Que pouvons nous faire
avec ?



Natural Language
Processing Computer Vision
Signal Processing
⋮

Avec quels types
d'algorithmes?



Machine Learning
Deep Learning

Machine learning overview

Support Vector
Machines

Logistic
Regression

K-NN

K-Means

Decision Trees

Gradient Boosting Machines

Random Forest

Linear
Regression

Principal Component
Analysis

Machine Learning

...

Deep Learning

Generative Adversarial
Neural Network

Varational
Autoencoder

Feed Forward
Neural Network

State Space Model

Word
Embeddings

Autoencoder

Graph Neural Network

Neural Ordinary
Differential Equations

Diffusion Model

Recurrent
Neural Network

Normalizing Flows

Transformer

Neural Radiance Field

...

Machine learning overview

IA

Que pouvons nous faire
avec ?



Natural Language
Processing Computer Vision
Signal Processing
⋮

Avec quels types
d'algorithmes?

Machine Learning

Deep Learning

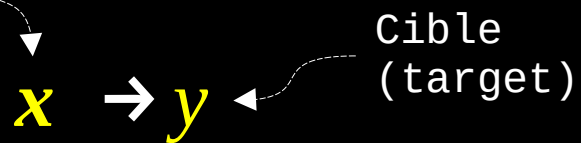
Comment
fonctionnent-ils ?

Supervised
Non-Supervised
Self-Supervised
⋮

Machine learning overview

Nous disposons des données \mathbf{X} s et des des cibles correspondantes \mathbf{y} s. Le modèle utilisera \mathbf{X} pour prédire une valeur $\hat{\mathbf{y}}$, $\text{modèle}(\mathbf{X}) = \hat{\mathbf{y}}$. $\hat{\mathbf{y}}$ sera ensuite comparée à \mathbf{y} pour calculer l'erreur \mathbf{e} faite par le modèle, $|\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}| = \mathbf{e}$. Cette erreur servira à **ajuster les paramètres** du modèle afin qu'il puisse prédire une valeur $\hat{\mathbf{y}}$ très proche de \mathbf{y} .

Observation



\mathbf{e} Erreur que le modèle va chercher à minimiser.



Prédiction

- Supervised
- Non-Supervised
- Self-Supervised
- ⋮

Machine learning overview

Nous ne disposons que des données **Xs**. Aucune cible **y** correspondante n'est disponible. Le modèle exploitera les **similarités** des données et leur **cooccurrence** pour effectuer la tâche qui lui est assignée. Par exemple, la tâche de clustering, qui consiste à regrouper des données présentant des caractéristiques similaires (patterns).

Observation

X

~~**y**~~

Inexistante

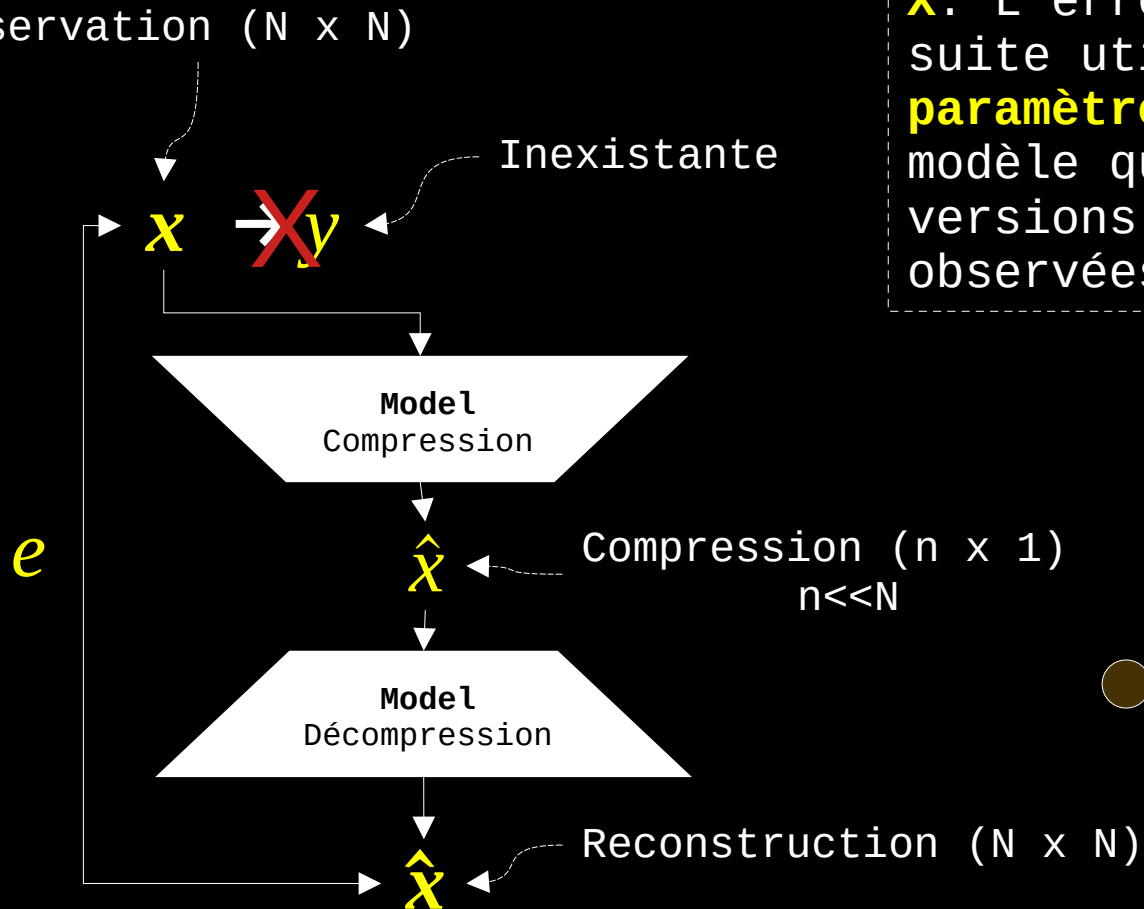
Model

Clustering

Supervised
Non-Supervised
Self-Supervised
⋮

Machine learning
overview

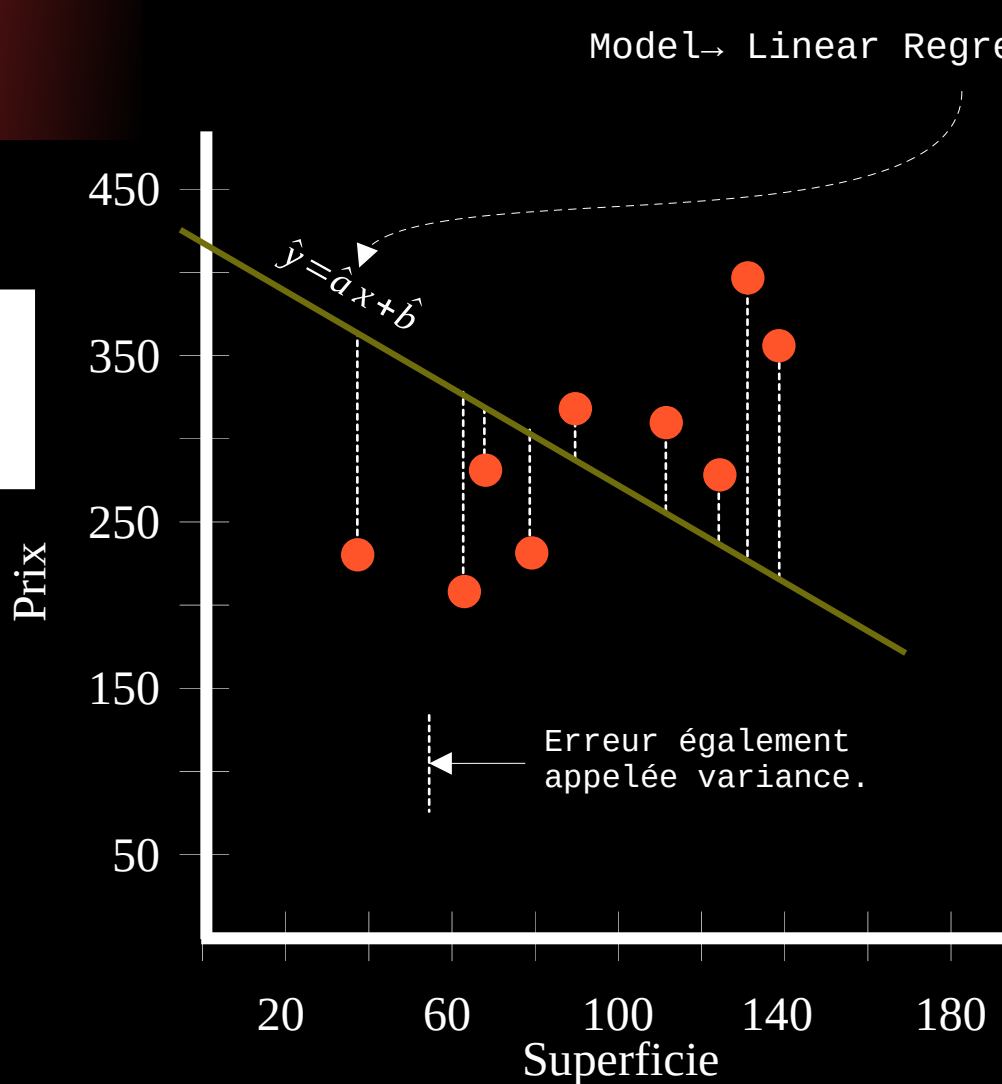
Nous ne disposons que des données \mathbf{X} s. Le modèle prend une observation \mathbf{X} en entrée, $\text{model}(\mathbf{X}) = \hat{\mathbf{X}}$, et compare sa prédiction $\hat{\mathbf{X}}$ à cette même observation \mathbf{X} . L'erreur $|\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}| = e$, sera par la suite utilisée pour **ajuster les paramètres** du modèle. Exemple : un modèle qui apprend à créer des versions compressée des données observées.



Supervised
Non-Supervised
Self-Supervised
⋮

Theory

Graphique des prix (en XAF) de location des maisons en fonction de leur superficie (en m²).



L'entraînement consiste à trouver les valeurs \hat{a} et \hat{b} qui minimisent au maximum l'erreur (E).

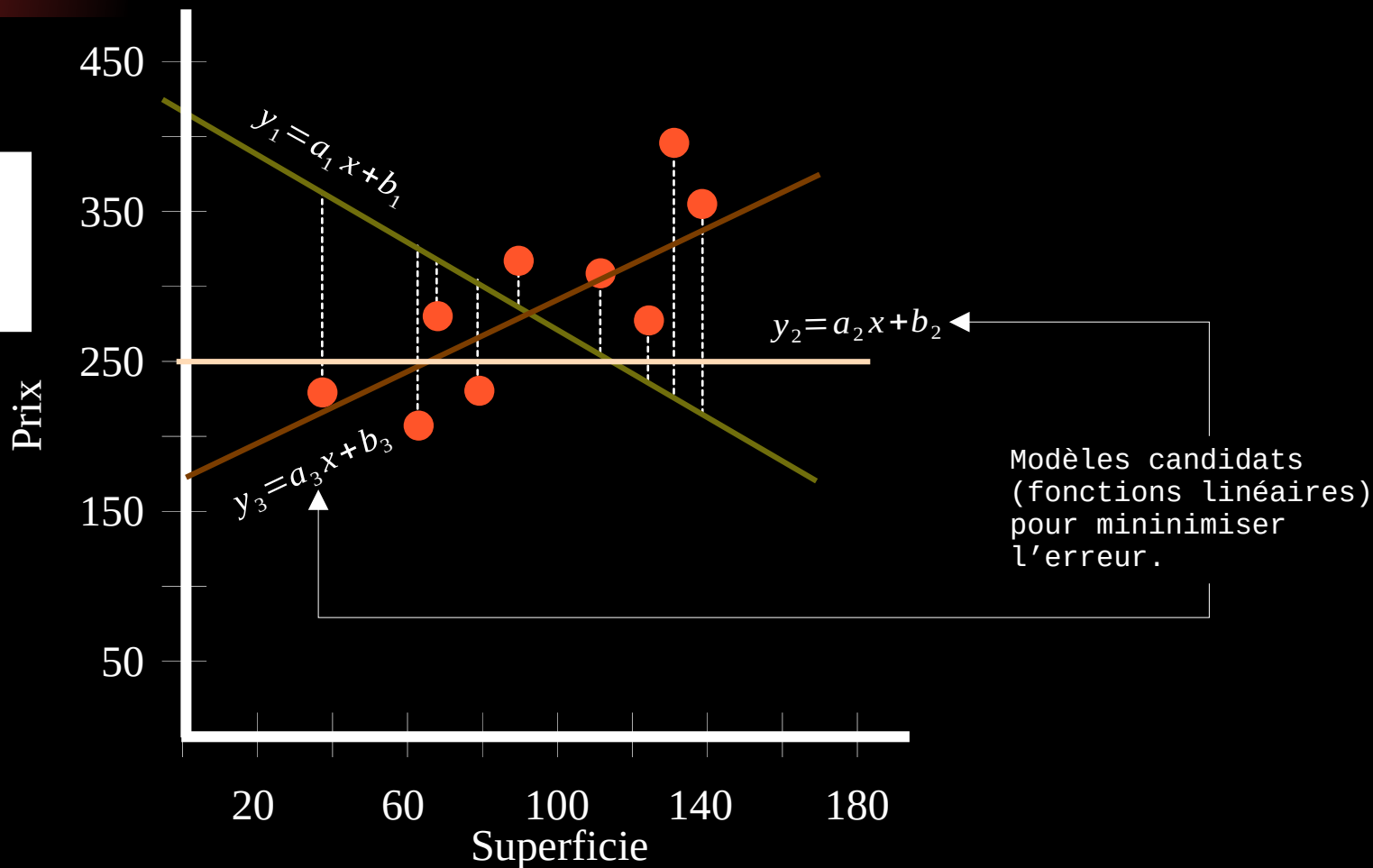
$$E = | \quad | + | \quad | + | \quad | + \dots |$$

$$E = (e_1 + e_2 + \dots + e_9) / I$$

$I=9$, est le nombre de points.

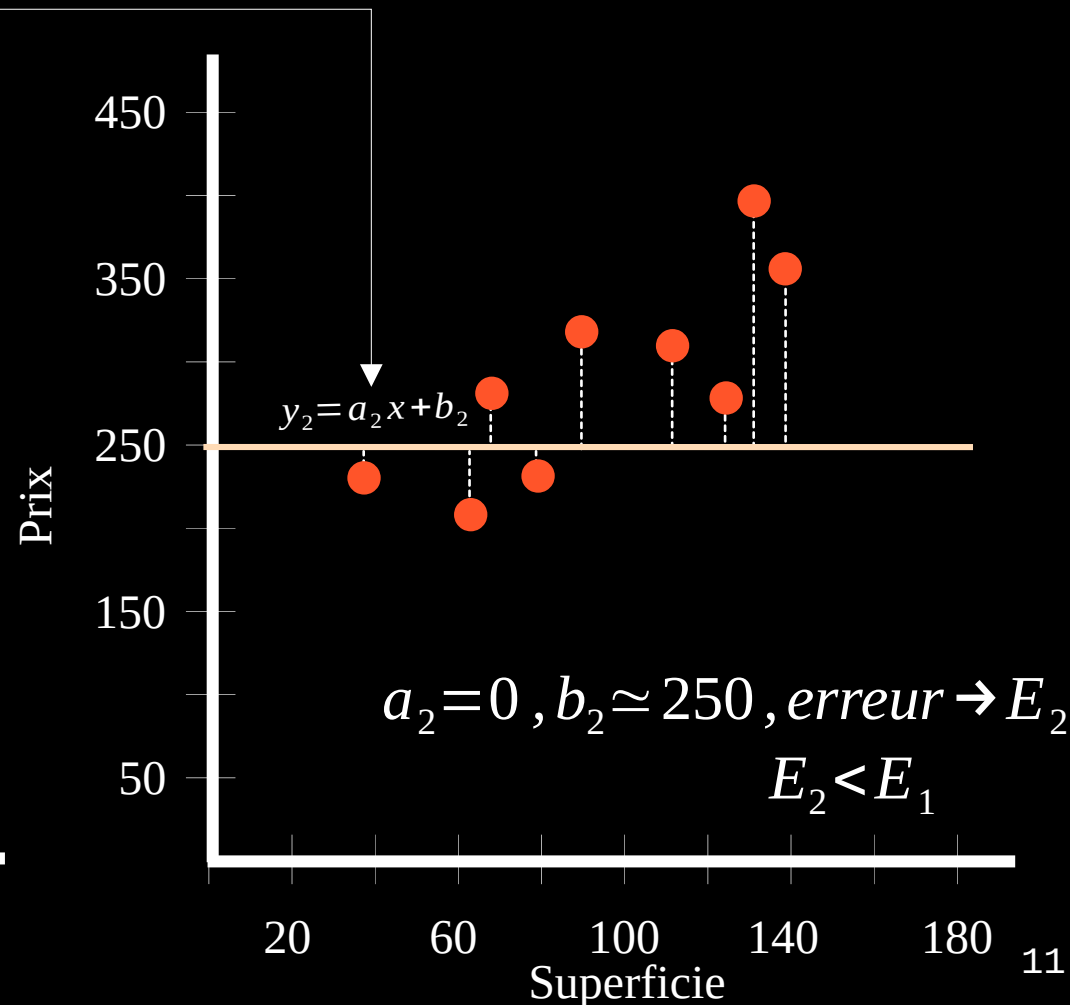
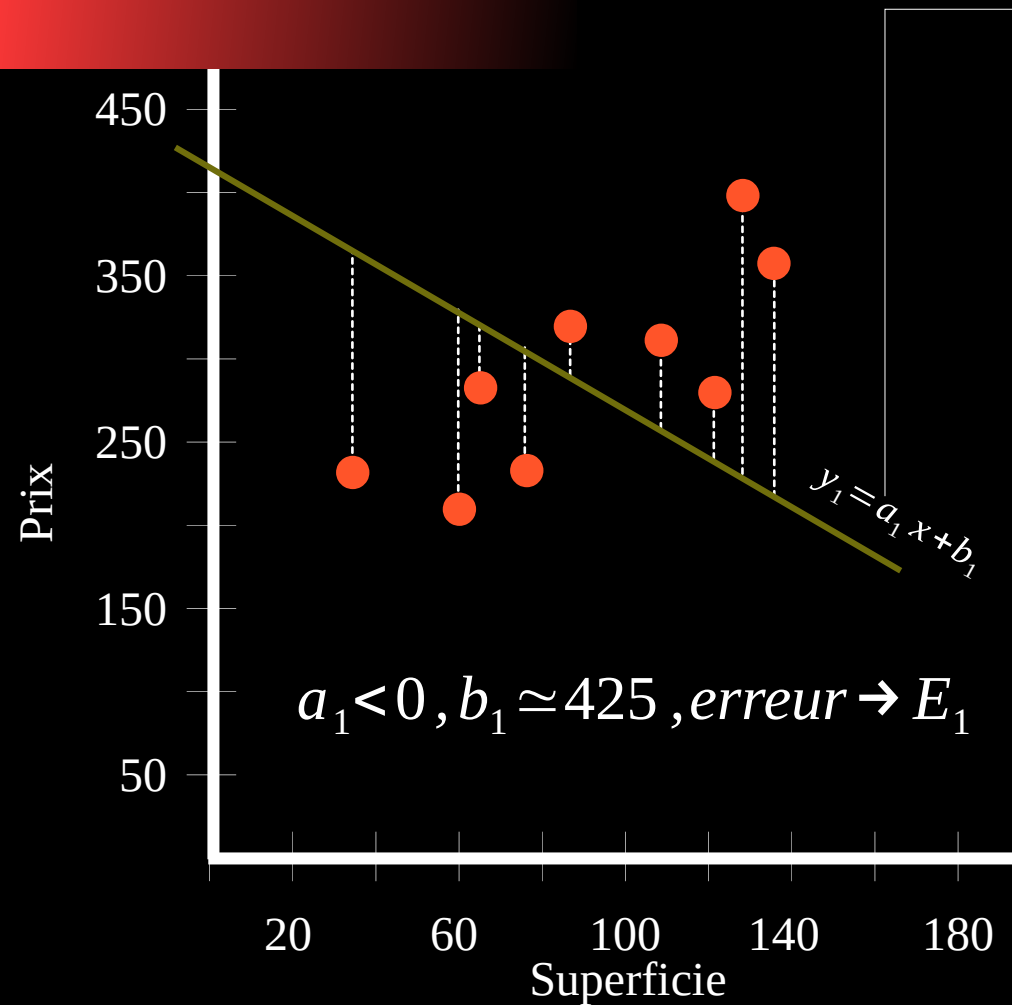
Theory

Graphique des prix
(en XAF) de location
des maisons en
fonction de leur
superficie (en m²).



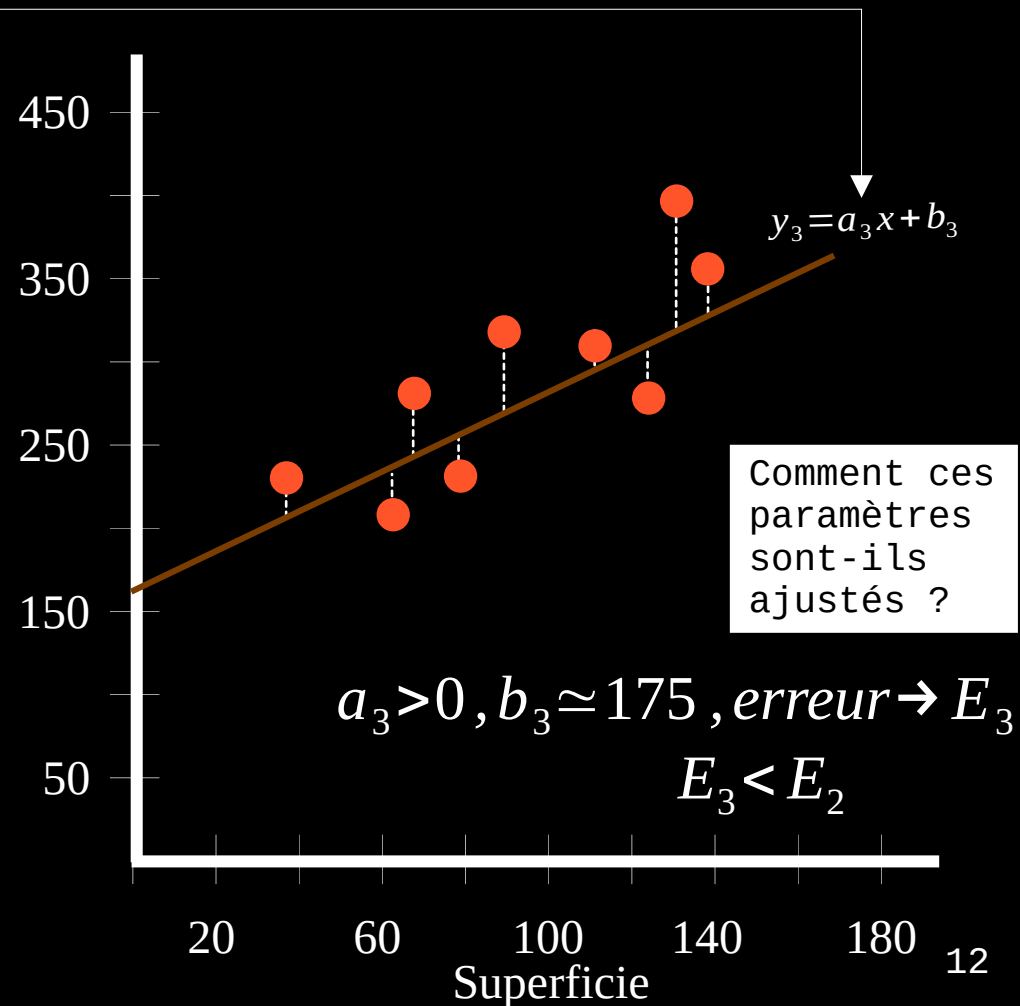
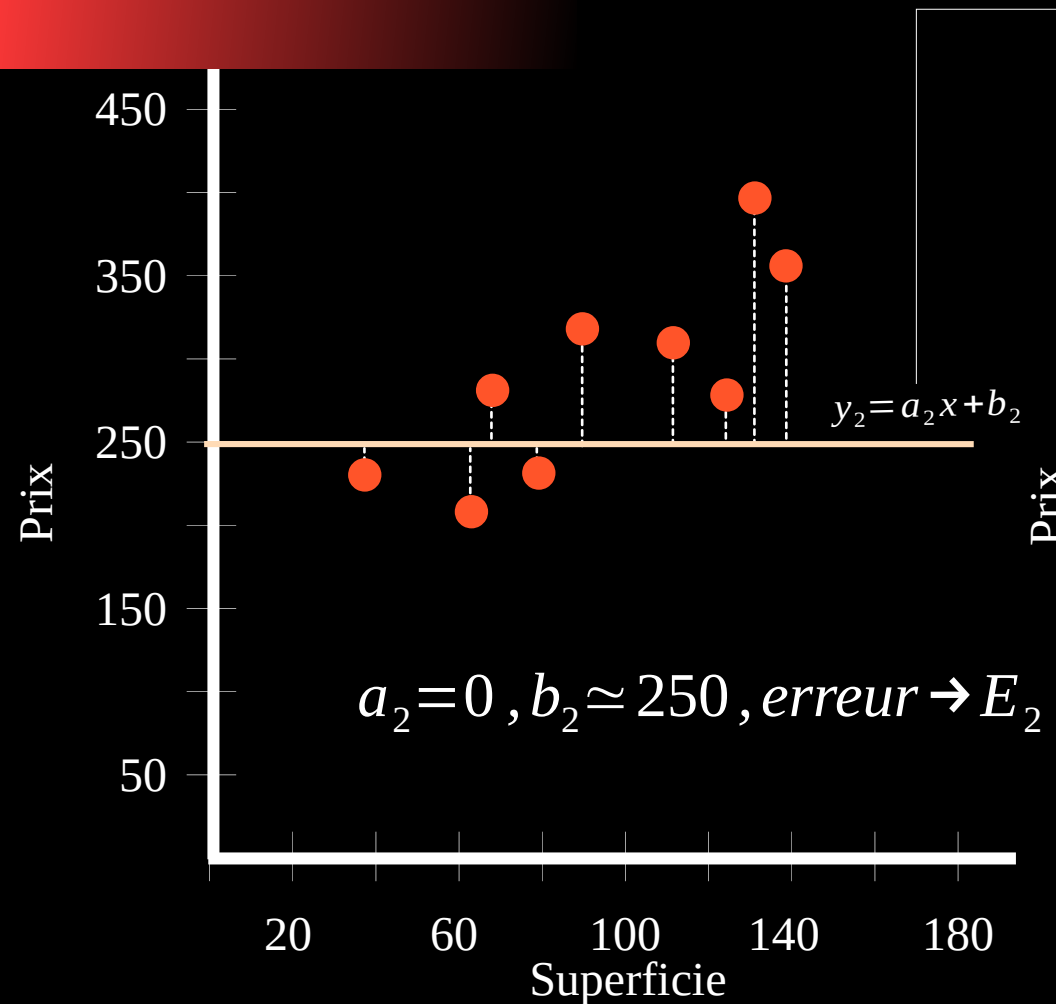
Theory

Amélioration du modèle après n entraînements.

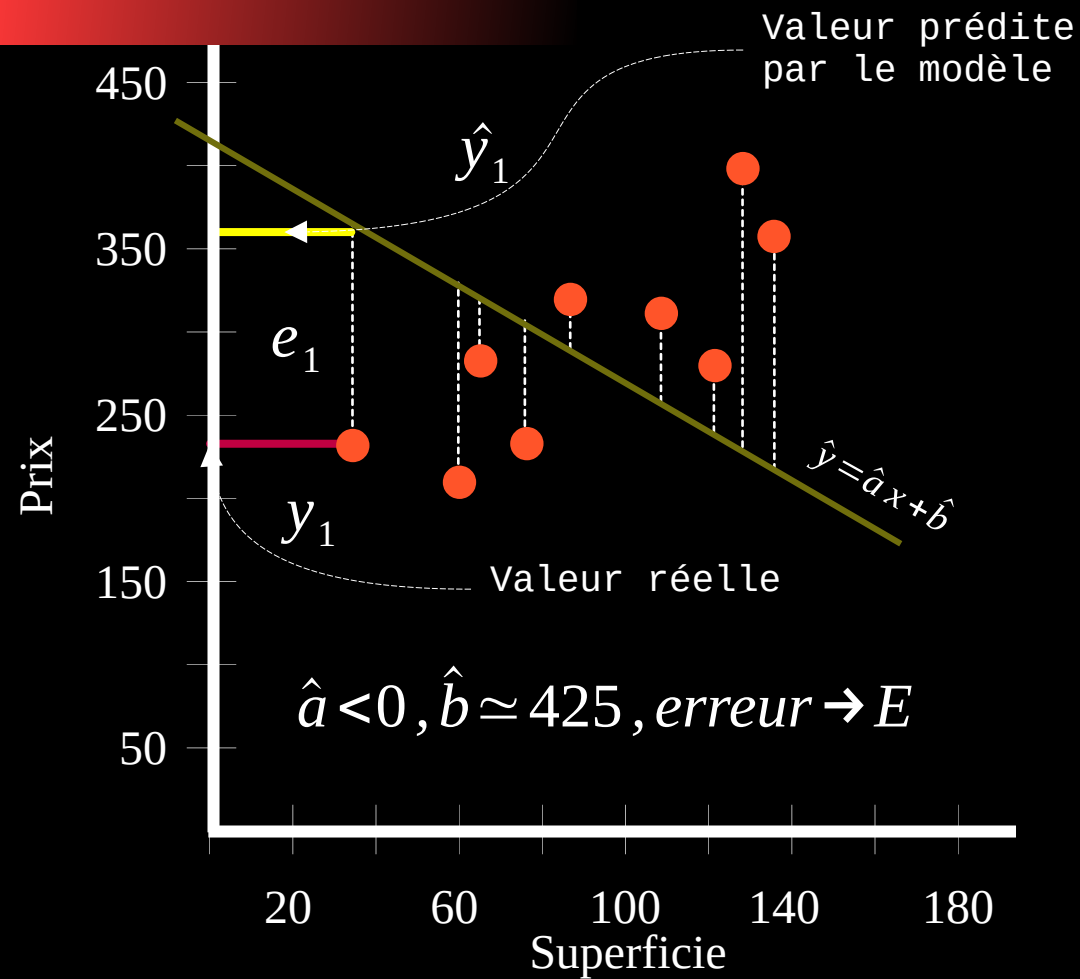


Theory

Amélioration du modèle après $n+k$ ($k>0$) entraînements.



Theory



$$e_1 = (y_1 - \hat{y}_1)^2 = [y_1 - (\hat{a}x_1 + \hat{b})]^2$$

$$E = (e_1 + e_2 + \dots + e_9) / I = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I e_i$$

E est appelée **Mean Squared Error (MSE)** et I=9, est le nombre de points

$$E = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (\hat{a}x_i + \hat{b})]^2$$

Comment minimiser l'erreur E?

En trouvant les valeurs optimales de \hat{a} et \hat{b} qui minimise cette erreur.

Dérivons E pour trouver les paramètres optimaux.

Theory

$$E = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (\hat{a} x_i + \hat{b})]^2$$

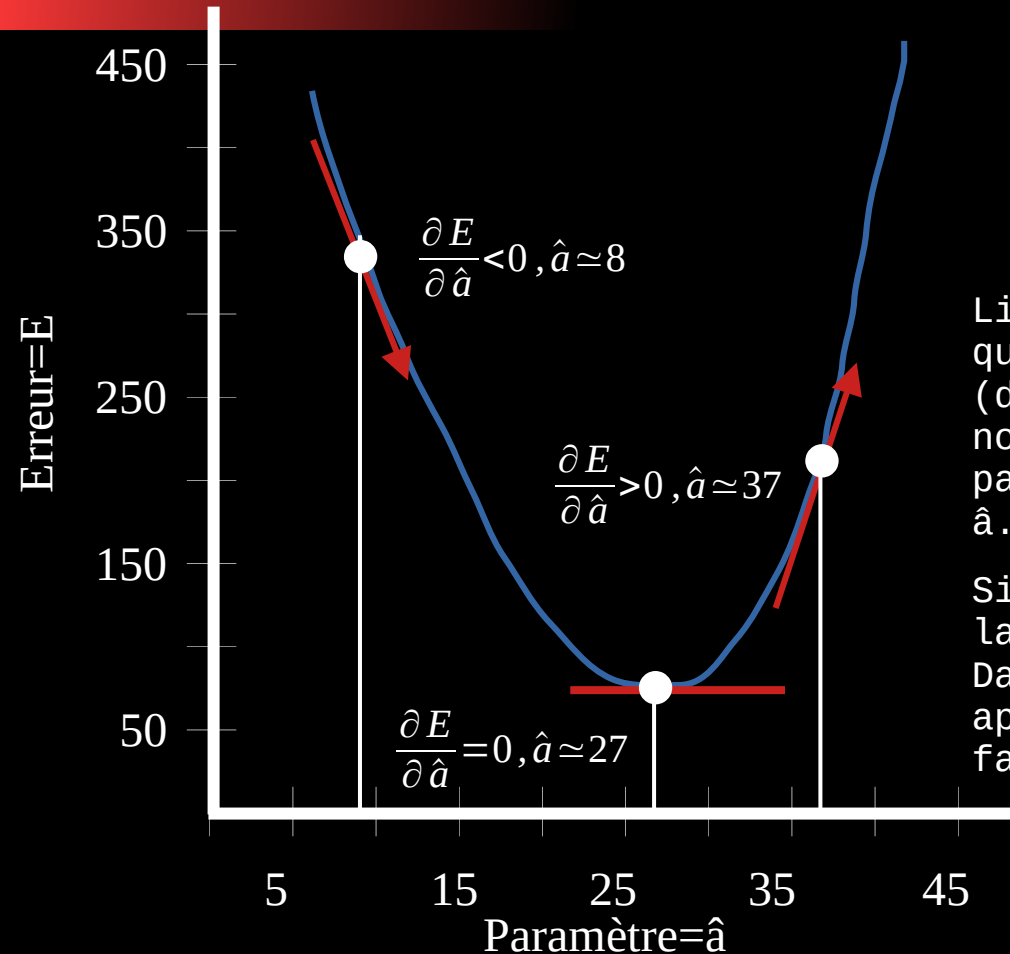
$$[(u - v)^2]' = 2(u - v)(u' - v'), u = y_i \text{ and } v = (\hat{a} x_i + \hat{b})$$

$$\frac{\partial E}{\partial \hat{a}} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 2[y_i - (\hat{a} x_i + \hat{b})](-x_i) = -\frac{2}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (\hat{a} x_i + \hat{b})](x_i)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \hat{b}} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 2[y_i - (\hat{a} x_i + \hat{b})](-1) = -\frac{2}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (\hat{a} x_i + \hat{b})]$$

Theory

Rappel sur les dérivés des fonctions.



Supposons que nous voulons calculer la dérivée de E au point $\hat{a}=x$, formellement on aura:

$$E'(\hat{a}=x) = \frac{\partial E}{\partial \hat{a}}$$

Littéralement, la fonction ci-dessus signifie: quelle est le taux de changement de E (diminution, augmentation, stagnation), lorsque nous sommes au point \hat{a} . Ce taux est représenté par un vecteur tangent à la courbe de E au point \hat{a} .

Si nous voulons minimiser E , nous devons trouver la valeur \hat{a} qui conduit à cette minimisation. Dans notre exemple, cette valeur est approximativement égale à 27. Ceci doit aussi se faire pour b .

Calculons la dérivée de E en fonction de \hat{a} et b .

Theory

Rappel algèbre linéaire.

Addition de
vecteurs

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 + b_1 \\ a_2 + b_2 \\ \vdots \\ a_k + b_k \end{bmatrix}$$

Exemple $\rightarrow \begin{bmatrix} 2.5 \\ 18.0 \\ \vdots \\ 7.5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3.9 \\ 8.1 \\ \vdots \\ 4.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.4 \\ 26.1 \\ \vdots \\ 11.7 \end{bmatrix}$

Produit d'un
nombre réel avec
un vecteur

$$X \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xa_1 \\ Xa_2 \\ \vdots \\ Xa_k \end{bmatrix}$$

Exemple $\rightarrow 2 \begin{bmatrix} 3.9 \\ 8.1 \\ \vdots \\ 4.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.8 \\ 16.2 \\ \vdots \\ 8.4 \end{bmatrix}$

Theory

Rappel algèbre linéaire.

Pour multiplier deux matrices, le nombre de colonnes de la première matrice doit être égal au nombre de lignes de la seconde.

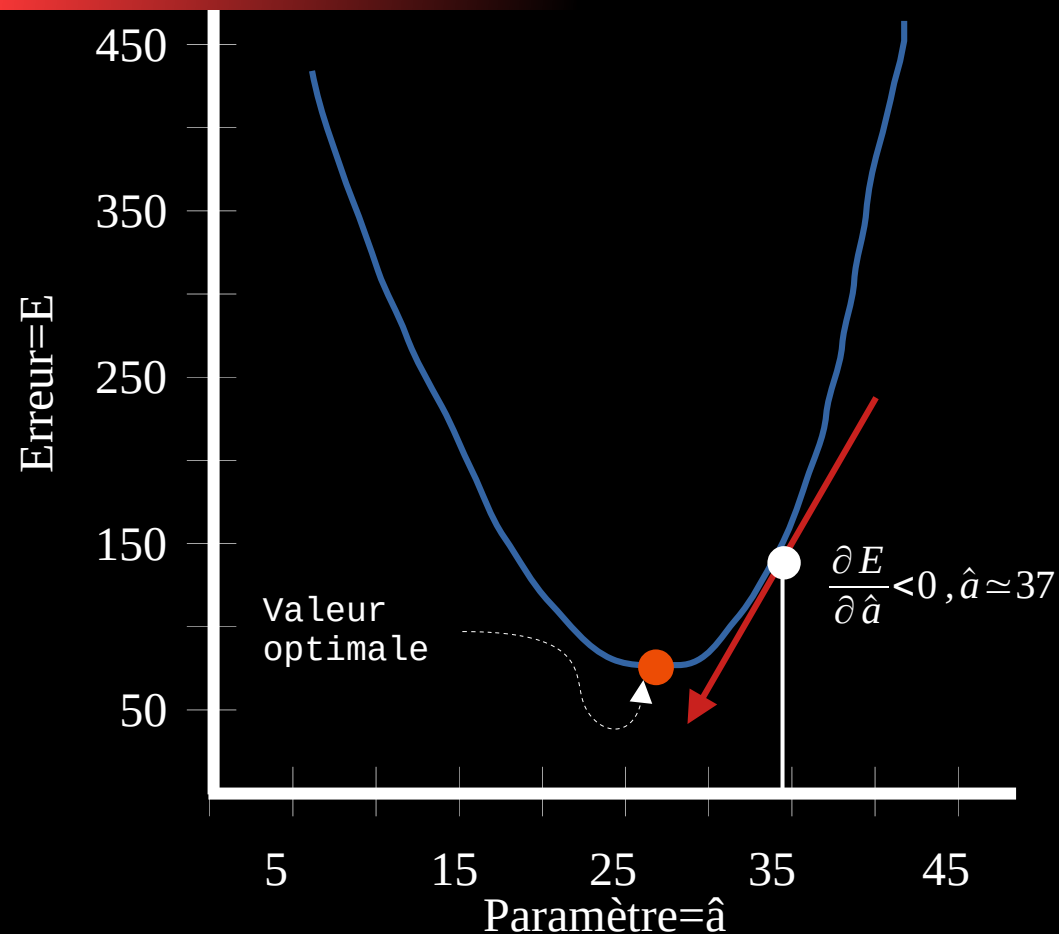
$$\begin{array}{l} \text{Produit de} \\ \text{matrices} \end{array} \quad \begin{array}{c} 2 \times 2 \\ \left[\begin{array}{cc} a_1^1 & a_2^1 \\ a_1^2 & a_2^2 \end{array} \right] \end{array} \begin{array}{c} 2 \times 3 \\ \left[\begin{array}{ccc} b_1^1 & b_2^1 & b_3^1 \\ b_1^2 & b_2^2 & b_3^2 \end{array} \right] \end{array} = \begin{array}{c} 2 \times 3 \\ \left[\begin{array}{ccc} a_1^1 b_1^1 + a_2^1 b_1^2 & a_1^1 b_2^1 + a_2^1 b_2^2 & a_1^1 b_3^1 + a_2^1 b_3^2 \\ a_1^2 b_1^1 + a_2^2 b_1^2 & a_1^2 b_2^1 + a_2^2 b_2^2 & a_1^2 b_3^1 + a_2^2 b_3^2 \end{array} \right] \end{array}$$

Exemple

$$\begin{bmatrix} 2,1 & 4,3 \\ 1,7 & 7,0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2,5 & 10,0 & 13,2 \\ 5,4 & 4,4 & 6,5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,1*2,5+4,3*5,4 & 2,1*10,0+4,3*4,4 & 2,1*13,2+4,3*6,5 \\ 1,7*2,5+7,0*5,4 & 1,7*10,0+7,0*4,4 & 1,7*13,2+7,0*6,5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 2,1 & 4,3 \\ 1,7 & 7,0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2,5 & 10,0 & 13,2 \\ 5,4 & 4,4 & 6,5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 28,47 & 39,92 & 55,67 \\ 42,05 & 47,8 & 67,94 \end{bmatrix}$$

Theory



La nouvelle valeur de \hat{a} sera:

$$\hat{a} = \hat{a} - \eta \frac{\partial E}{\partial \hat{a}}$$

$\eta > 0$ Est appelée **learning rate**.
Elle est souvent égale à 0.001

Ce processus d'ajustement appelé **descente de gradient** est répété n fois jusqu'à ce que l'on trouve la valeur optimale de \hat{a} (ainsi que \hat{b}) qui minimise E .

Que se passe-t'il si nous avons plusieurs valeurs observées ?

Theory

$$\hat{y} = \hat{a}_1 x_1 + \hat{a}_2 x_2 + \dots + \hat{a}_k x_k + \hat{b} = [x_1, x_2, \dots, x_k] \begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_k \end{bmatrix} + \hat{b}$$

$$\hat{y} = X\theta + \hat{b} \mid X = [x_1, x_2, \dots, x_k], \theta = \begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_k \end{bmatrix}$$

$$E = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (X_i \theta + \hat{b})]^2$$

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_k] \rightarrow X^T = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}$$

$$\nabla_{\theta} E(\theta) = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 2[y_i - (X_i \theta + \hat{b})](-X_i)^T = -\frac{2}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (X_i \theta + \hat{b})](X_i)^T$$

Theory

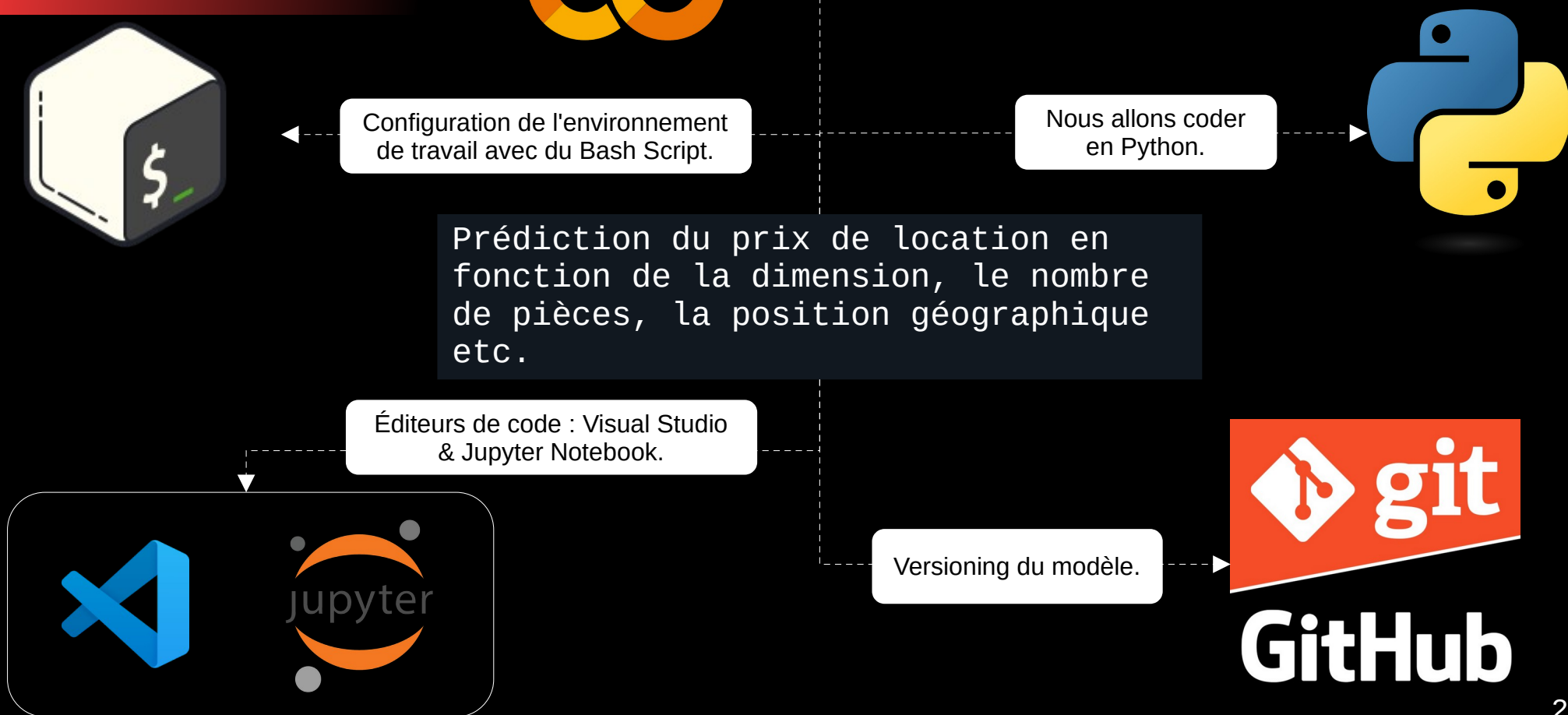
$$X = [x_1, x_2, \dots, x_k] \rightarrow X^T = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}$$

$$\alpha_i = [y_i - (X_i \theta + \hat{b})]$$

$$\nabla_{\theta} E(\theta) = \frac{-2}{I} \sum_{i=1}^I [y_i - (X_i \theta + \hat{b})] (X_i)^T = \frac{-2}{I} \sum_{i=1}^I \alpha_i \begin{bmatrix} x_1^i \\ x_2^i \\ \vdots \\ x_k^i \end{bmatrix}$$

$$\theta = \theta - \ni \nabla_{\theta} E(\theta) = \theta - \ni \frac{-2}{I} \sum_{i=1}^I \alpha_i \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_k \end{bmatrix} - \ni \frac{-2}{I} \sum_{i=1}^I \alpha_i \begin{bmatrix} x_1^i \\ x_2^i \\ \vdots \\ x_k^i \end{bmatrix}_{20}$$

Use Case



- *Python est un langage de programmation codé en C;*
- *Langage impératif et interprété;*
- *Langage le plus utilisé en data science;*
- *Inclut diverses bibliothèques telles que Pandas pour la manipulation de données structurées, Numpy pour les calculs mathématiques, etc.*

Use Case

```

observations=[ 'pieds_carres','nombre_chambres','nombre_etages','distance_centre_ville','annee_construction','taille_garage','score_localisation','avec_piscine']
# observations=[ 'pieds_carres','nombre_etages','distance_centre_ville','annee_construction']

X=data[observations].values#Observations

print('Exemple des observations/features avant la standardization.')
print(X[0])

scaler = StandardScaler()
X_ = scaler.fit_transform(X)
print('\n')
print('Exemple des observations/features après la standardization.')
print(X_[0])

y=data[['prix']].values#Target (cible)
#2% des données (soit 100 échantillons/samples) seront utilisées pour le test.
#random_state permet de reproduire la distribution des données d'entraînement et de test.
X_train,X_test,y_train,y_test=train_test_split(X,y,test_size=0.2,random_state=1234)

X_train=scaler.fit_transform(X_train)#Standardiser les données d'entraînement.

```

Codons

```

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import mlflow
import numpy as np
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split
from datetime import time
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
import random

```

Model deployment

