

# Introduction à l'apprentissage automatique

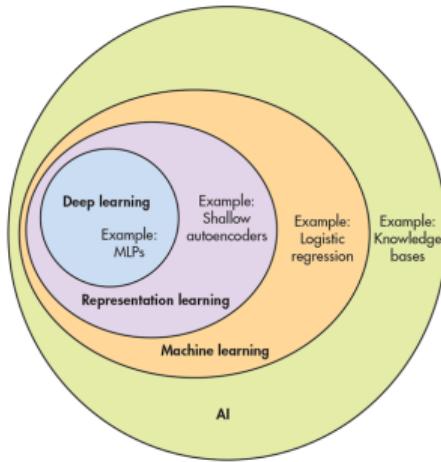
24 mars 2021

1. Intro : Qu'est ce que le *Machine Learning* ?
2. L'apprentissage supervisé
  - 2.1 La régression linaire
  - 2.2 La régression logistique
  - 2.3 Les problèmes de biais et de variances
  - 2.4 Les arbres de décisions
3. L'apprentissage non supervisé
  - 3.1 Les algorithmes de clustering
  - 3.2 Analyse en composantes principales
4. Autres algorithmes
  - 4.1 Recommandation
  - 4.2 Optimisation

- Introduction à l'apprentissage automatique (ou *machine learning* en anglais)
- En pratique : *Python*, *Jupyter*. Packages *numpy* *pandas*, *scikit-learn*
- Peu de pré-requis mathématiques : dérivées partielles et calcul matriciel
- Largement inspiré du cours de **Andrew Ng** sur [Coursera](#).

Allez, on démarre en douceur !

# 1. Intro : Qu'est ce que le *Machine Learning*



[From [MIT Press book Deep Learning](#)]

A screenshot of a tweet from Mat Veloso (@matveloso). The tweet reads: "Difference between machine learning and AI:  
If it is written in Python, it's probably machine learning  
If it is written in PowerPoint, it's probably AI". The tweet has 198 replies, 8.3k retweets, and 23k likes. There are buttons for "Traduire le Tweet", timestamp "02:25 - 23 nov. 2018", and user interaction icons.

- **AI** : Domaine d'étude ⇒ abus de langage (NN, RL)
- **ML** : Algorithmes/outils développés dans le cadre de la recherche sur l'IA

# 1. Intro : Qu'est ce que le *Machine Learning*

- **Arthur Samuel :**

*"The field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed."*

- **Tom Mitchell :**

*"A computer program is said to learn from experience  $E$  with respect to some class of tasks  $T$  and performance measure  $P$ , if its performance at tasks in  $T$ , as measured by  $P$ , improves with experience  $E$ ."*

- **L'idée :** Une machine apprend *seule* à réaliser une tache complexe à l'aide de processus itératifs simple.

# 1. Intro : Qu'est ce que le *Machine Learning*

- Les principaux types d'apprentissage :

## Supervisé

- Utilise des données *labeledisées*
- La machine apprend par l'exemple
- *Prédit* le résultat pour de nouveaux événements
- Problèmes de prédictions et de classification
- Regression linéaire et logistique
- Réseaux de Neurones
- Arbres de décisions

## Non-supervisé

- Données non *labeledisées*
- La machine apprend par elle même à identifier une structure
- Évaluation des performances compliqué.
- Problèmes de classification, réduction de dimensions
- K-means
- Analyse en Composante Principale

## Par renforcement

- Un agent A, effectue une action Ac, l'environnement E lui renvoie une récompense.
- Récompenses à court et long terme
- Utilisé par Deepmind (alphaGo)

# À quelles problématiques répond le Machine Learning ?

- **Prédictions** Prédire une valeur continue à partir de caractéristique données
- **Projections** Prédictions spécifique de séries temporelles :  $y = f(y(t - 1), y(t - 2), \dots)$
- **Classifications** Prédire la classe (discret) d'un objet en fonction de ses caractéristiques
- **Segmentations** Regrouper des objets par similarité dans l'espace des variables utilisé
- **Compréhensions** Comprendre l'importance de variables d'intérêt dans un contexte donné

## 2. L'apprentissage supervisé

- Utilise des données *labélisées*
- La machine apprend par l'exemple
- *Prédit* le résultat pour de nouveaux événements
- Problèmes de régression et de classification
- Régression linéaire et logistique
- Réseaux de Neurones
- Arbres de décisions

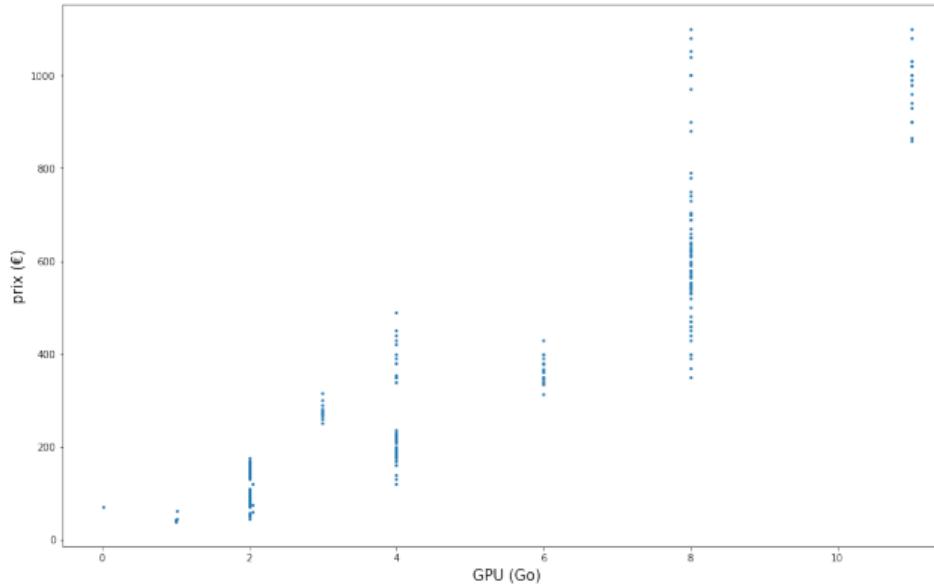
## 2.1 La régression linéaire

- Déterminer une relation *linéaire* entre *input(s)* (features) et *output* :  
⇒ **Apprentissage Supervisé**
- Prédiction d'une valeur **continue** (e.g. non discrète, non catégorielle)
- Applications :
  - Recherche de corrélations
  - En science, modélisation de phénomènes (physiques, biologiques, ...)
  - Dans le domaine médical : les études épidémiologique
  - Dans la finance/économie : prédictions des tendances
  - ...

**Sujet Data Science ⇒ Premier algorithme à tester !**

## 2.1 Un exemple : le prix d'une carte graphique

- La propriété principale d'une carte Graphique : valeur de **GPU**
- Données, liste de carte graphiques dont on connaît le couple  $\{GPU; \text{prix}\}$  :



## 2.1 Construire un modèle (regression linéaire)

- Soit :  $x_1$  la valeur de GPU de nos  $m$  carte graphiques, et  $y$  leur prix
- On cherche à déterminer le modèle pour prédire un prix  $\hat{y}$  à partir  $x_1$  :

$$\hat{y} = h_{\theta}(x_1)$$

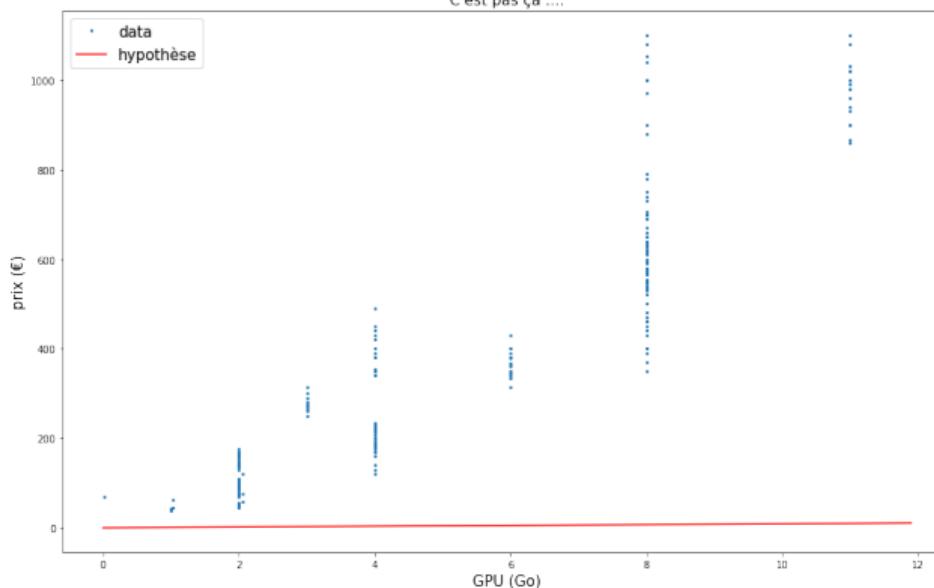
- On définit le paramètre  $\theta_1$  qui va lier  $x_1$  à  $\hat{y}$  :

$$h_{\theta}(x) = \theta_1 x_1$$

- Rappel math : **fonction linéaire**  $f(x) = kx$

## 2.1 Construire un modèle (regression linéaire)

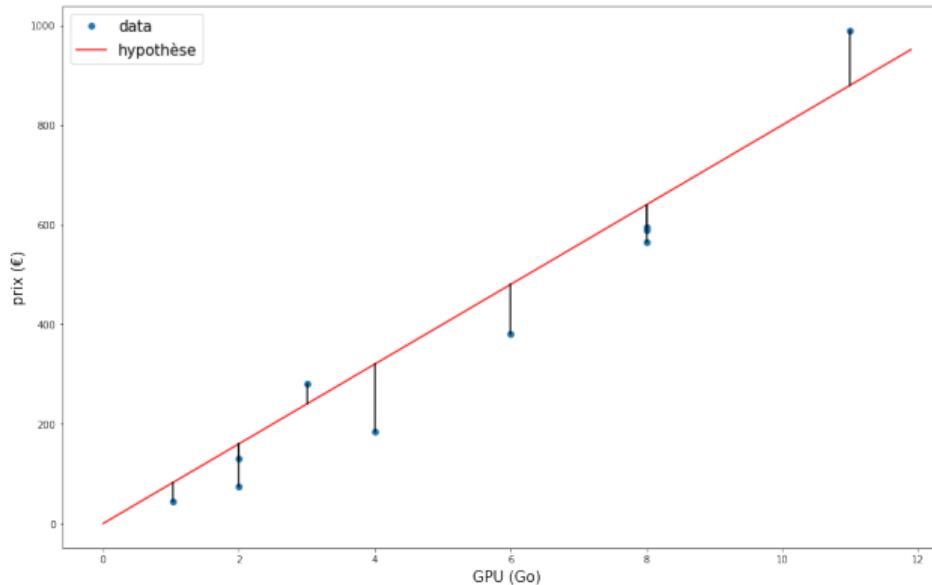
- Initialisons aléatoirement la valeur de  $\theta_1$



- C'est pas encore ça ...

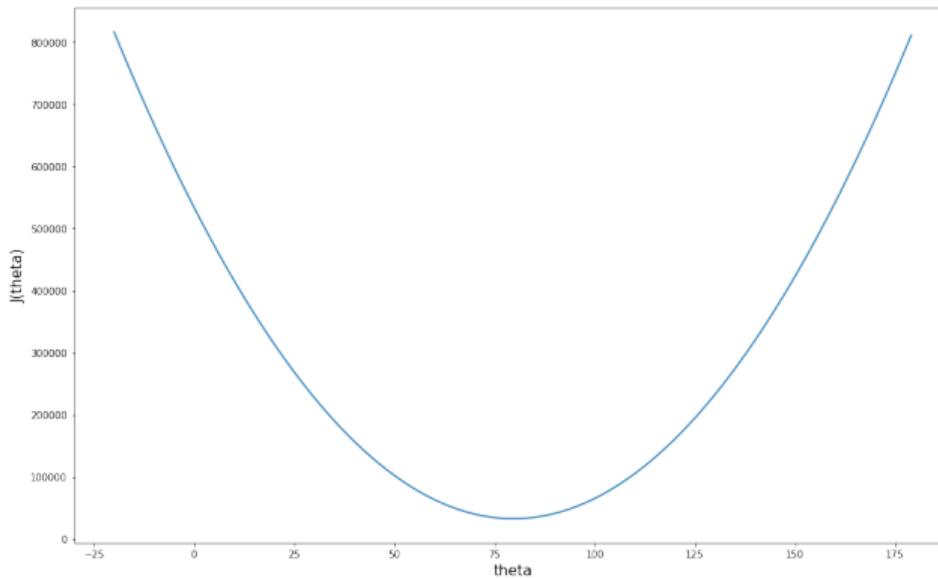
## 2.1 La fonction de coût

- $J(\theta)$  : véracité de notre modèle
- Ex, somme quadratique des erreurs :  $J(\theta) = \frac{1}{2m} \sum_{i=0}^m (\hat{y}^{(i)} - y^{(i)})^2$



## 2.1 La fonction de coût

- On cherche à trouver la valeur de  $\theta_1$  qui **minimise**  $J(\theta)$
- En Brute ...



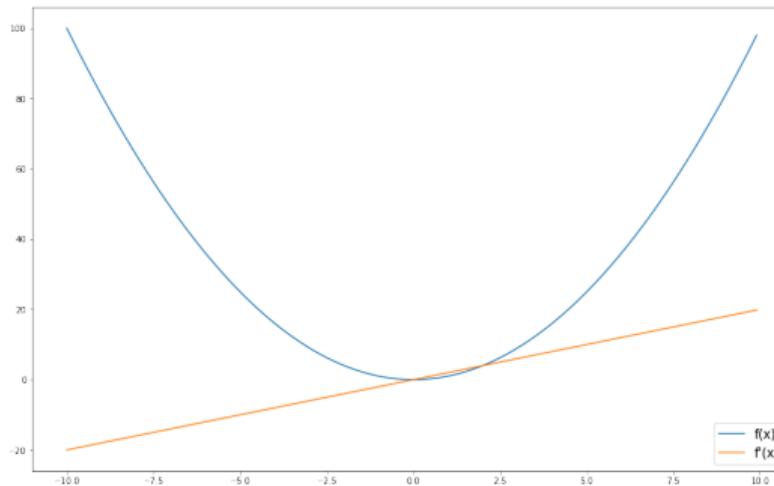
- ... essayons d'optimiser

## 2.1 La descente de gradient

- Algorithme pour arriver “*rapidement*” au minimum de  $J(\theta)$

- On va utiliser la *dérivation* :  $\frac{d}{d\theta_1} J(\theta)$  :

Si  $J(\theta)$  est croissant :  $\frac{d}{d\theta_1} J(\theta) > 0$ ,      Si  $J(\theta)$  est décroissant :  $\frac{d}{d\theta_1} J(\theta) < 0$



## 2.1 La descente de gradient

- (Encore) un peu de math, la descente de gradient s'écrit :

### Descente de gradient

Répéter jusqu'à convergence : {

$$\theta_1 := \theta_1 - \alpha \frac{d}{d\theta_1} J(\theta)$$

}

- $\alpha$  : taux d'apprentissage (*learning rate*), **seul** paramètre de l'algorithme.
- On va itérativement modifier la valeur de  $\theta_1$  en fonction de la dérivée de  $J(\theta)$ , jusqu'à minimiser  $J(\theta)$  (*convergence*).

## 2.1 La descente de gradient

- Dérivons donc notre fonction de coût :

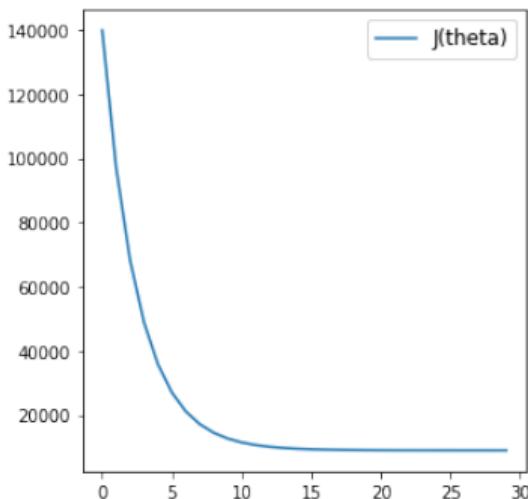
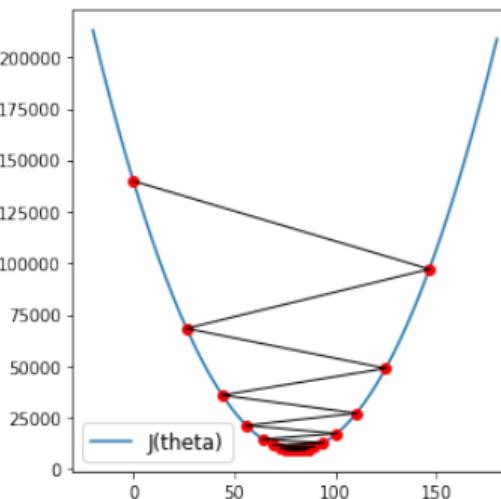
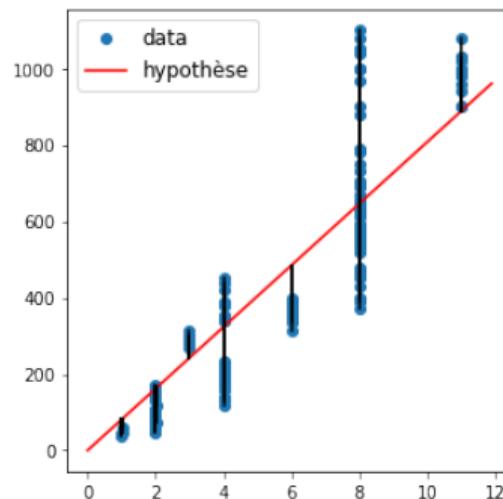
$$J(\theta) = \frac{1}{2m} \sum_{i=0}^m (\hat{y}^{(i)} - y^{(i)})^2 = \frac{1}{2m} \sum_{i=0}^m (\theta_1 x_1^{(i)} - y^{(i)})^2$$
$$\frac{d}{d\theta_1} J(\theta) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m (\hat{y}^{(i)} - y^{(i)}) x_1^{(i)}$$

- Un peu de *hand-tunning* :
  - Le learning rate ( $\alpha$ ) est fixé à 0.03 (0.045 pour la démo)
  - Précision  $\epsilon = 0.0001$  pour arrêter la descente de gradient

## 2.1 Préparation du dataset

- On sépare les données en trois sous-échantillons :
  - **Train** : (60%) échantillon d'entraînement
  - **Validation** : (20%) échantillon qui nous permet de mesurer les performances de différents algorithmes et pour différentes valeurs d'hyperparamètres
  - **Test** : (20%) échantillon de test qui donne la performance du modèle final
- On peut utiliser deux échantillons train/test (80/20 ou 70/30) dans certains cas.
- Il est important de séparer les données en différents sous-échantillons de test pour être sûr que le modèle de généralise bien
- S'assurer que les sous-échantillons proviennent de la même source et soient représentatifs

## 2.1 C'est parti !

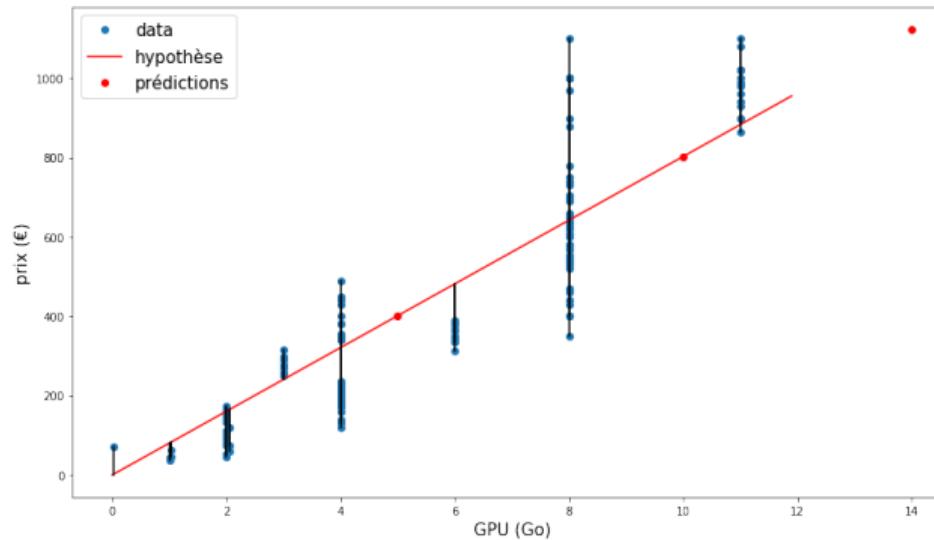


- La descente de gradient c'est achevée au bout de quelques itérations
- On peut voir que  $J(\theta)$  a continuellement diminué à chaque itération

$$\theta_1 \approx 80$$
$$err_{train} \approx err_{test}$$

## 2.1 On peut maintenant faire une prédition

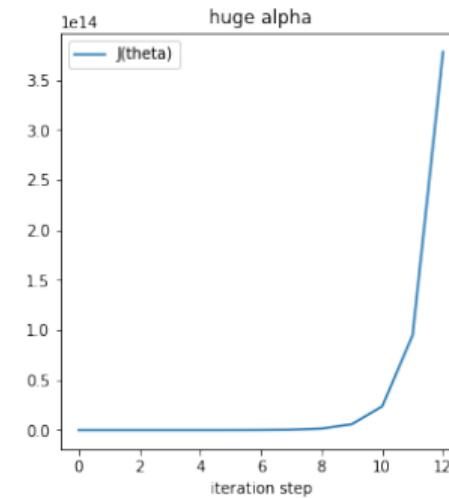
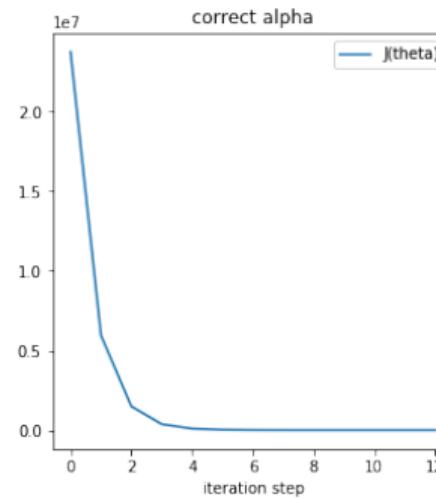
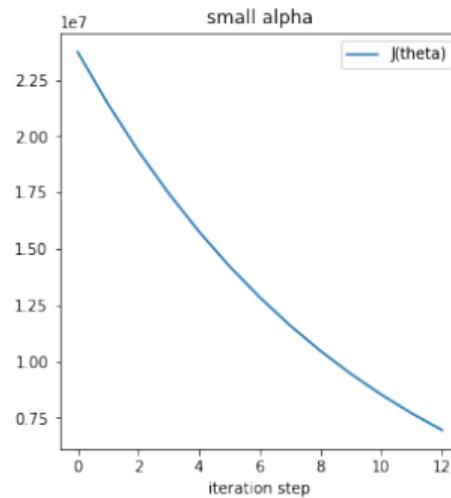
- Quel serait le prix de cartes avec 5, 10 et 14 Go de GPU ?



- On pourra les vendre autour de 400, 800 et 1100 euros !

## 2.1 Le choix du taux d'apprentissage

- **$\alpha$  Trop grand** : la descente de gradient diverge
- **$\alpha$  Trop petit** : la descente de gradient est très longue



## 2.1 Un mot sur la régression linéaire multivariée

- Même principe, mais avec plusieurs variables  $x_i$  (donc plusieurs paramètres  $\theta_i$ )
- on peut rajouter un biais  $\theta_0$ , cad un terme constant :  $\hat{y} = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots$
- Notre fonction hypothèse s'écrit alors :

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n = \theta_0 + \sum_{i=1}^n \theta_i x_i$$

- **Astuce :** On définit  $x_0 = 1$ , et on re-écrit la fonction hypothèse :

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 x_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_n x_n = \sum_{i=0}^n \theta_i x_i$$

- La fonction de coût reste inchangée

## 2.1 Un mot sur la regression linéaire multivariables

- Dans le cas multivariables, la descente de gradient devient :

Descente de gradient (cas multivariables)

Répéter jusqu'à convergence : {

$$\theta_0 := \theta_0 - \alpha \frac{d}{d\theta_0} J(\theta)$$

$$\theta_1 := \theta_1 - \alpha \frac{d}{d\theta_1} J(\theta)$$

$$\theta_2 := \theta_2 - \alpha \frac{d}{d\theta_2} J(\theta)$$

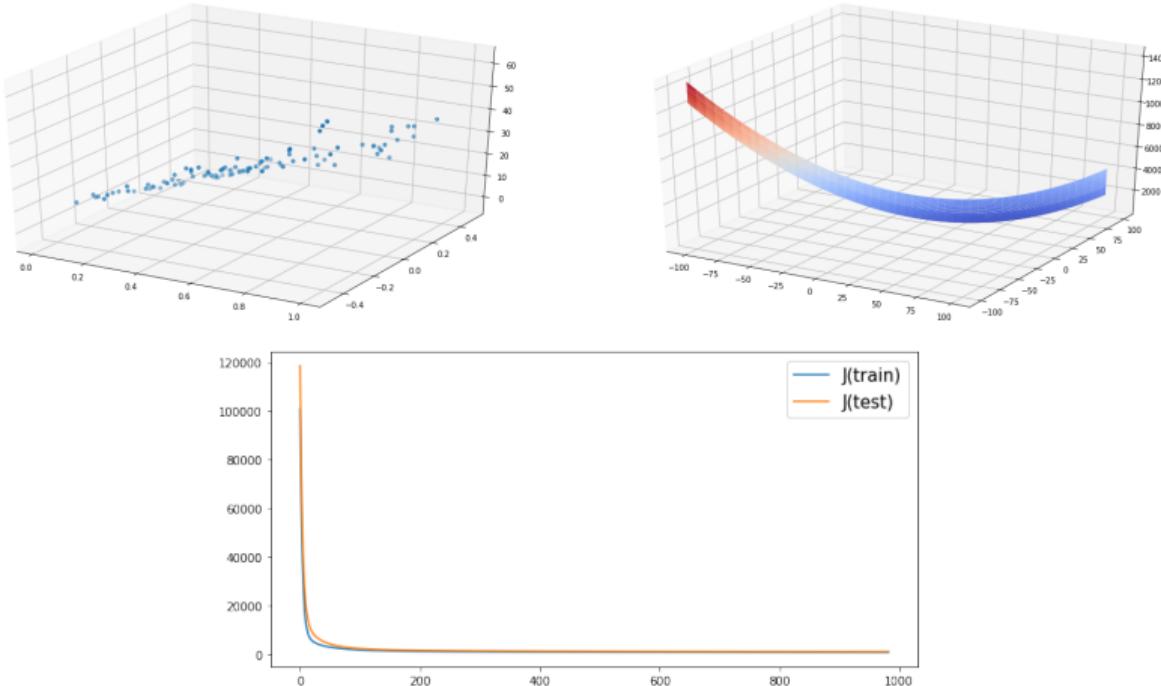
...

}

- Il est très important de simultanément changer les valeurs des paramètres.

## 2.1 Un mot sur la régression linéaire multivariées

- Pour illustrer : régression linéaire à deux dimensions



## 2.1 Affinons notre modèle de carte graphiques

- Plus de features : chipset, fréquence, consommation, ...
- Il va falloir explorer et nettoyer les données :
  - Gestion des données manquantes / aberrantes
  - *Features engineering*
  - Normaliser le dataset (pour accélérer la descente de gradient)

## 2.1 Features scaling

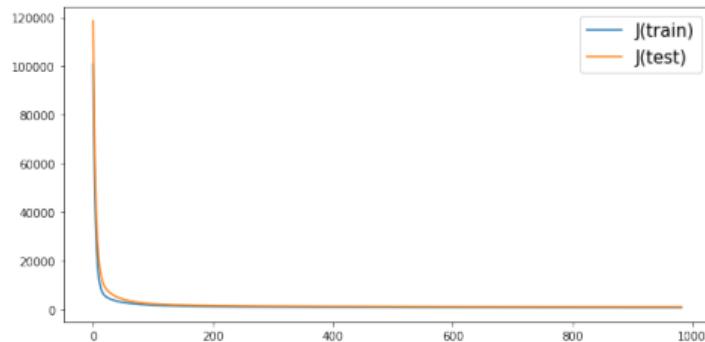
- Mettre les variables à la même échelle (performances)
- Normaliser les variables :  $-1 \leq x_i \leq 1$

	Feature Scaling	Mean normalization
<b>Start range</b>	$x_{min} \leq x \leq x_{max}$	$x_{min} \leq x \leq x_{max}$
<b>Transformation</b>	$x := \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$	$x := x - x_{mean}$
<b>New range</b>	$0 \leq x \leq 1$	$(x_{min} - x_{mean}) \leq x \leq (x_{max} - x_{mean})$

- En combinant les deux :  $x := \frac{x - x_{mean}}{x_{max} - x_{min}} \Rightarrow -1 \leq x \leq 1$
- Remarque : Il est possible de remplacer  $x_{max} - x_{min}$  par l'écart type :  $\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

## 2.1 Régression linéaire multivariées : Résultats

- On utilise la même valeur de  $\epsilon = 0.0001$  et  $\alpha = 0.03$
- Plus long ! Mais meilleur résultats :
- Modèle simple :  $err \approx 100$
- Modèle multivariable :  $err \approx 30$



## 2.1 Pour conclure sur la régression linéaire

- **Regression Linéaire** :  $\hat{y}$  est une valeur *continue*
  - Valeur discrète : **Regression Logistique** (*classification*)
- Le résultat  $\hat{y}$  dépend **linéairement** des variables  $x_i$  si :

$$\hat{y} = \theta_1 x_1 + \cdots + \theta_n x_n = \sum_{i=1}^n \theta_i x_i$$

- **Supervisé** :  $y$  connu pour chaque élément du jeu de données d'entraînement
- Facile à implémenter (encore plus avec Scikit-learn ...), rapide :
  - ⇒ bon point de départ sur un sujet

- **Classification** : prédire un nombre limités de valeurs discrètes
  - **Classification binaire** : Deux valeurs possibles : Vrai ou Faux (spam / non spam)
  - **Classification multiclasse** : plusieurs valeurs possibles (camion, voiture, piétons, vélos, ...)
- **Classification binaire** : En utilisant la régression linéaire ?
  - $y \in \{0, 1\} \Rightarrow$  On définit un seuil  $S$  pour  $h_\theta(x)$  :
$$\begin{cases} h_\theta(x) \geq S \rightarrow y = 1 \\ h_\theta(x) < S \rightarrow y = 0 \end{cases}$$
- **Problème** : On voudrait que  $0 \leq h_\theta(x) \leq 1$   
 $\Rightarrow$  Il faut redéfinir notre fonction hypothèse !

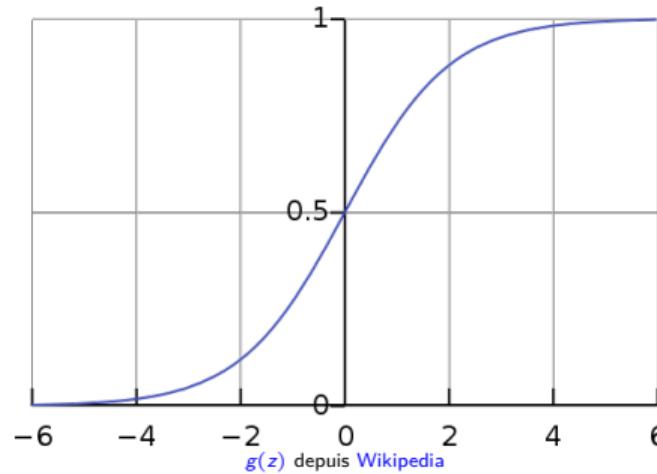
## 2.2 La régression logistique

- Modèle de la régression logistique :

- On utilise la **Fonction Sigmoïde**  $g(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$

$$\begin{cases} z = \sum_{i=0}^n \theta_i x_i \\ h_\theta(x) = g(z) \end{cases}$$

$$0 \leq h_\theta(x) \leq 1$$



- Classification** : On prédit une **probabilité**

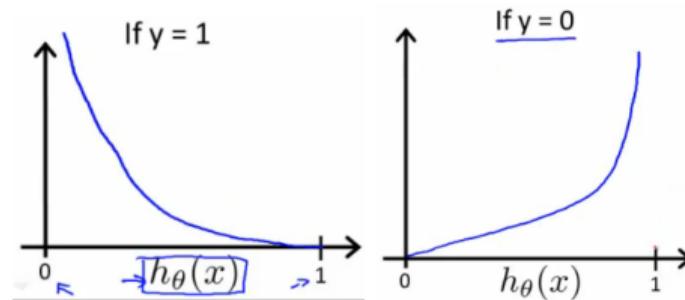
## 2.2 La régression logistique

- On change également la fonction de coût :

$$J(\theta) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Cost(h_\theta(x^{(i)}), y^{(i)})$$

- Avec :

$$Cost(h_\theta(x), y) = \begin{cases} -\log(h_\theta(x)) & \text{if } y = 1 \\ -\log(1 - h_\theta(x)) & \text{if } y = 0 \end{cases}$$



## 2.2 La régression logistique

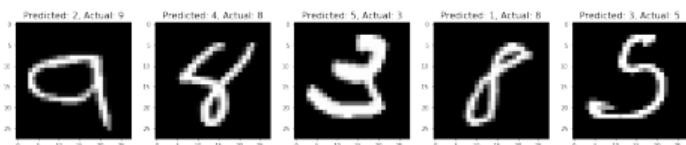
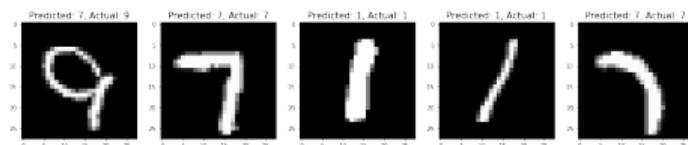
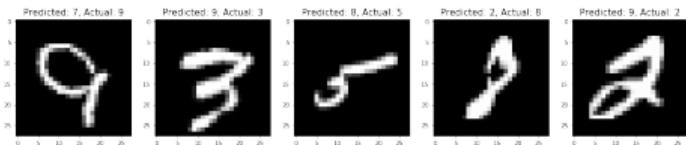
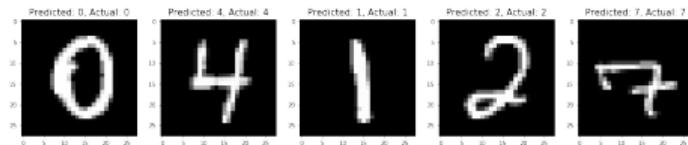
- Et la **Classification multiclasse**?  $y \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$
- La **descente de gradient** ne permet pas de la résoudre
- On peut *tricher* en utilisant la méthode '*One-vs-all*' :
  - On remplace le problème multiclasse par  $n + 1$  problèmes binaire
  - Probabilité que  $y$  soit dans une classe ou qu'il soit dans une des autres :

$$\begin{cases} h_{\theta}^{(0)} = P(y = 0|x; 0) \\ h_{\theta}^{(1)} = P(y = 1|x; 0) \\ \dots \\ h_{\theta}^{(n)} = P(y = n|x; 0) \\ \text{prediction} = \max_i(h_{\theta}^{(i)}(x)) \end{cases}$$

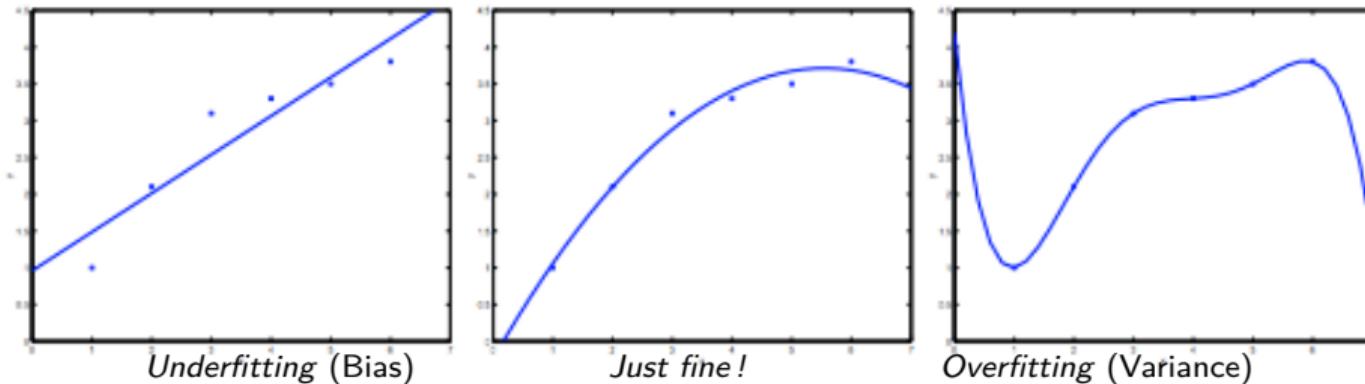
- Algorithme d'optimisation avancés : *Conjugate gradient*, (*L-*)*BFGS*, ...

## 2.2 La régression logistique

- Application : vision par ordinateur, reconnaissance d'images.
- Objets "*simples*" : chiffres manuscrits
- Régression logistique multiclasse sur MNIST :
  - Durée d'apprentissage  $\sim 20\text{sec}$  / Précision  $\approx 91\%$



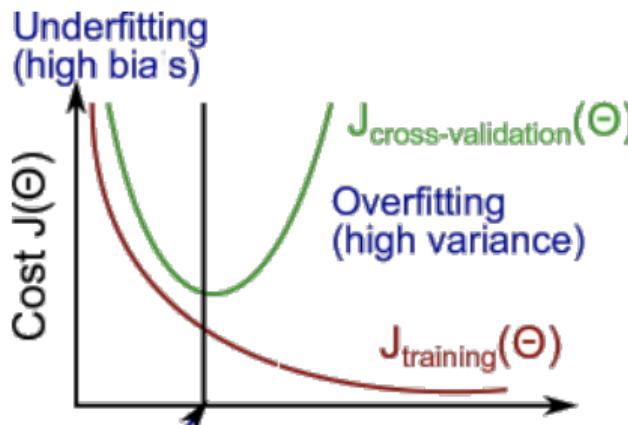
## 2.3 Les problèmes de biais et de variance



- **Underfitting** : modèle trop simple (pas assez de variables)
- **Overfitting** : modèle trop complexe, deux manière de résoudre :
  - Réduire le nombres de variables ou changer les paramètres du modèle
  - Utiliser des méthodes de **régularisation**

## 2.3 Les bonnes pratiques : biais et variance

- Si  $J_{train}(W, b) \gg J_{valid}(W, b)$  : problème de variance : **Overfitting**
- Si  $J_{train}(W, b) \approx J_{valid}(W, b) \gg 0$  : problème de biais : **Underfitting**
- Comment diagnostiquer ? deux valeurs à regarder :
  - Erreur de l'échantillon d'entraînement :  $t_{err}$
  - Erreur de l'échantillon de validation :  $v_{err}$
- On estime le cas idéal (Bayes ou opérateur humain) :  $\approx 0\%$

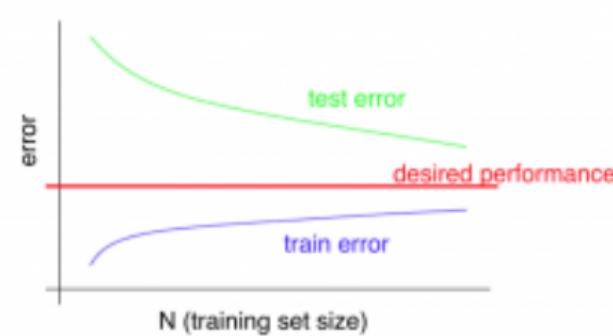


[Coursera]

$t_{err}$	$v_{err}$	problème
1%	11%	haute variance
15%	16%	haut biais
15%	30%	haut biais & haute variance
0.5%	1%	bas biais & basse variance

## 2.3 Les bonnes pratiques : courbes d'apprentissage

- Entrainer un modèle en augmentant le nombre d'exemples et monitorer l'évolution de l'erreur :



Biais et variance [Coursera]

## 2.3 Les bonnes pratiques : Que faire ?

- **Haut Biais ?**

(Performance entraînement)

→ Oui →

Changer les hyperparamètres

Plus de données et étude qualité

Algorithme plus complexe



Non



- **Haute Variance ?**

(Performance validation)

→ Oui →

Changer les hyperparamètres

Plus de données et étude qualité

Régularisation



Non



OK !



*Recommencer !* →



*Recommencer !* →

## 2.3 La régularisation

- Contraindre les paramètres  $\theta_j$  sans réduire le nombre de variables
- On ré-écrit la fonction de coût avec le **terme de régularisation** :

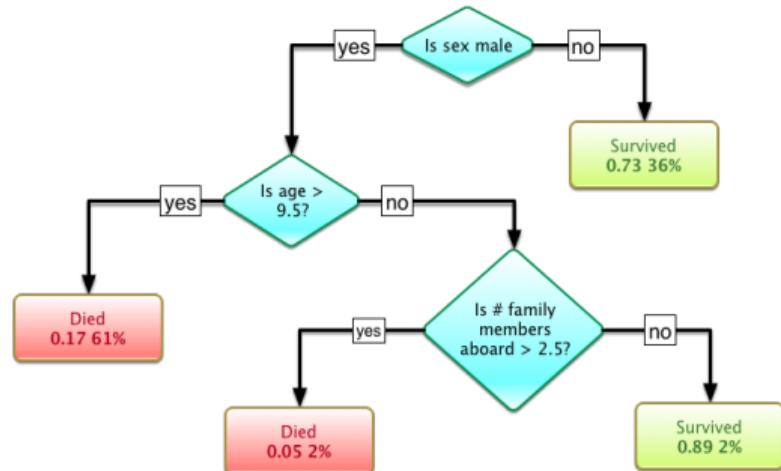
$$J(\theta) = \frac{1}{2m} \left( \sum_{i=1}^m (h_\theta(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 + \lambda \sum_{j=1}^n \theta_j^2 \right)$$

- $\lambda$  : Paramètre de régularisation
- Si  $\lambda$  est trop grand : risque d'*underfitting*
- Si  $\lambda = 0$  : pas de régularisation.
- **Remarque** : On ne régularise pas le terme constant  $\theta_0$

## 2.4 Les arbres de décisions

- Effectue une prédition (regression ou classification) par une succession de décision simples : *if-else-then* sur les différentes variables
- Arbre = suite de décisions (*noeuds*) ammenant à une prédition (*feuille*)

- La complexité de la structure de données qu'il est possible de représenter avec une arbre de décision est proportionnelle à la profondeur de l'arbre



Un arbre pour déterminer la probabilité de survie des passagers du Titanic (depuis [Wikipedia](#))

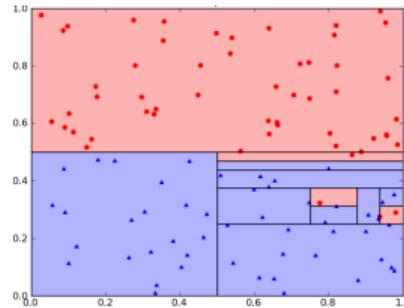
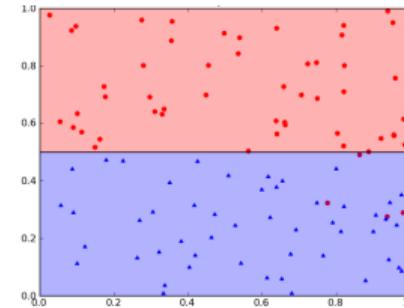
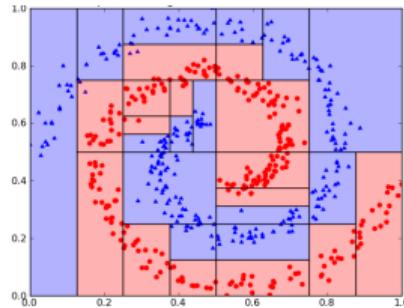
## 2.4 Les arbres de décisions : Apprentissage

- La *méilleure* séparation possible est déterminée :
  - Toutes les variables/sélection possibles
  - Celle qui minimise une fonction de coût
- L'échantillon d'entraînement est séparé suivant cette décision, créant ainsi deux feuilles (sous-échantillon)
- On recommence l'opération tant que l'on n'a pas atteint la profondeur voulue ou bien que la pureté de chaque feuille atteint un niveau satisfaisant (à déterminer)

**Remarque :** Il est possible d'utiliser la même variable pour différents noeuds.

## 2.4 Les arbres de décisions

- Ces algorithmes sont faciles à interpréter (et à visualiser)
- Tout les types de données (catégorielle, numérique, ...) peuvent être mélangés



*Illustration depuis University of Chicago*

- Risque d'*overfitting* (sur-apprentissage) du modèle qui se généralise mal
- Algorithmes très sensibles au jeu de données d'entraînement

## 2.4 Les arbres de décisions : méthodes d'ensemble

- Pour pallier les faiblesses des arbres de décision, on les utilise comme *base learners* dans des méthodes qui en regroupent plusieurs
- Il existe deux familles de méthodes :
  - **averaging** : plusieurs estimateurs (*learners*) indépendants dont on moyenne les prédictions (*Random Forests*, ...)
  - **boosting** : plusieurs estimateurs combinés (*AdaBoost*, *Gradient Boosting*, ...)

## 2.4 Exemple d'algorithme d'*averaging* : Random Forests

- *Bagging* : Chaque estimateur (arbre) de l'ensemble est construit à partir d'un sous-échantillon aléatoire  $b$  (avec replacement) de l'échantillon d'entraînement  $B$  (*Bootstrap aggregating*)
- *Features bagging* : La meilleure séparation possible sur un sous-échantillon aléatoire des variables  $p$  (souvent :  $\sqrt{p}$ )
- Soit  $f_b$ , l'arbre entraîné sur le sous-échantillon  $b$  ( $b \in [1, B]$ ), on calcule la prédiction globale en moyennant les prédictions de tout les arbres dans le cas d'une prédiction :

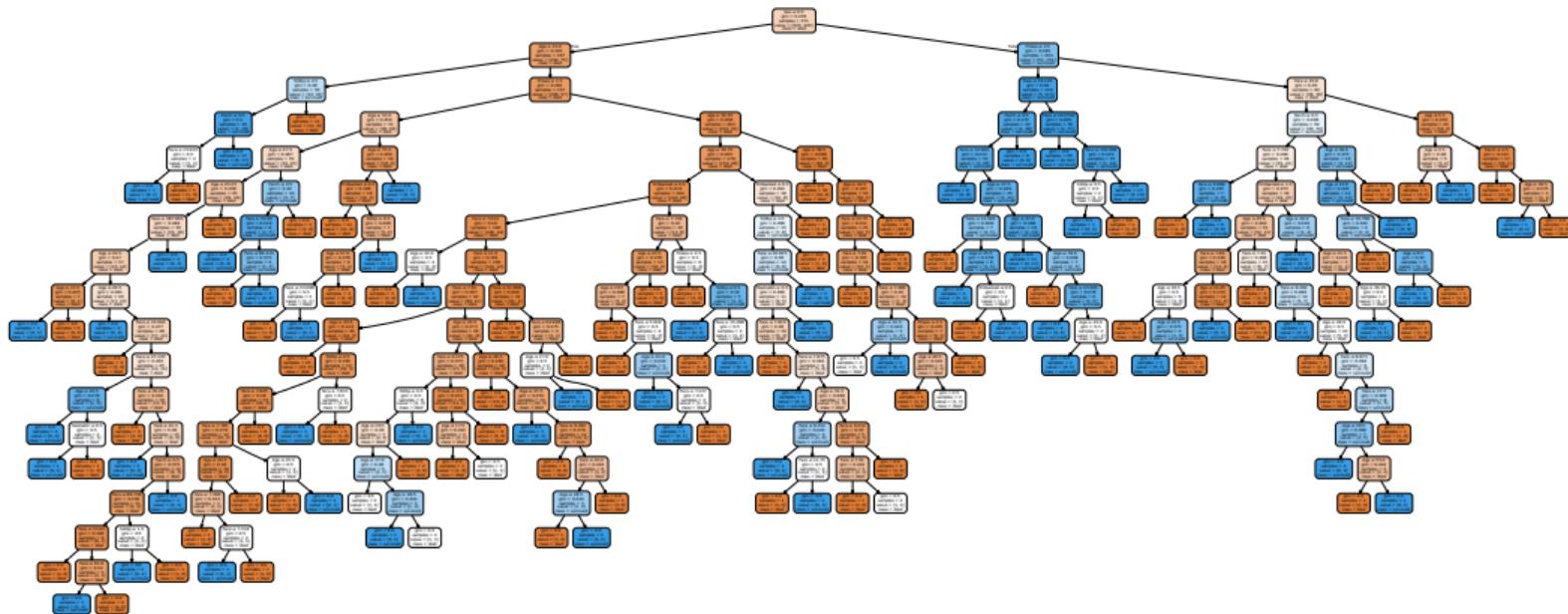
$$\hat{f} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B f_b(x)$$

- Dans le cas d'une classification, on utilise le résultat du vote majoritaire des *learners*
- Cette méthode obtient de meilleure performance car elle réduit la *variance* du modèle sans accroître le *biais*

## 2.4 Exemple d'algorithme de *boosting* : AdaBoost

- L'apprentissage d'un même *learner* est répété en modifiant le jeu de données à chaque itération
- On utilise des poids :  $w_i$  pour  $i \in [1, N]$ . Initialement :  $w_i = 1/N$
- À chaque itération, le poids des exemples correctement prédits diminue tandis que celui des exemples dont les prédictions sont fausse augmente
- L'algorithme devient plus sensibles aux exemples difficiles à prédire

## 2.4 Arbres de décision : *Titanic*



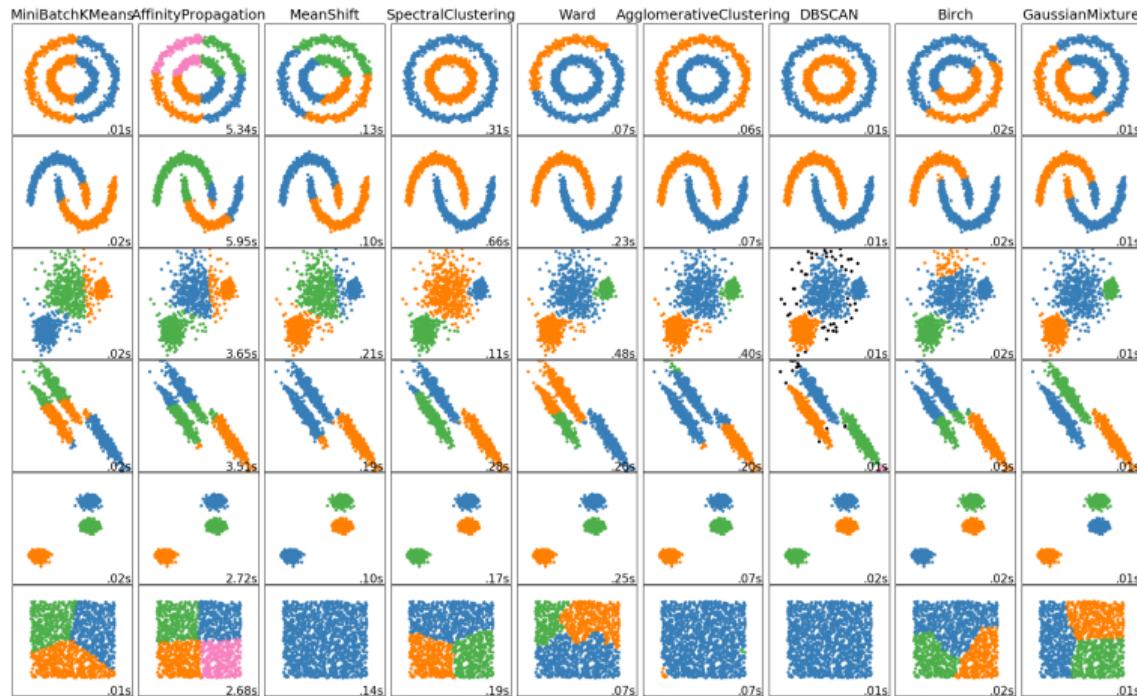
	Decision Tree	Random Forest	AdaBoost	Gradient Boosting
Accuracy (%)	77.6	81.1	83.2	86.0

- Données non *labélisées*
- La machine apprend par elle même à identifier une structure
- Évaluation des performances compliqué.
- Problèmes de classification, réduction de dimensions
- *K-means, Mean Shift, Gaussian Mixture Model*
- Analyse en Composante Principale

### 3.1 Les algorithmes de clustering

- *Clustering* : Se rapproche d'un problème de classification (sans labels)
- Ces algorithmes cherchent à rassembler les exemples en cluster
- À la différence des arbres de décision, le choix du cluster ne s'effectue pas par une suite de décisions simple, mais en déterminant la plus petite distance possible dans l'espace des variables
- Utilisés pour la segmentation d'utilisateurs/marchés dans le commerce en ligne mais aussi en génétique
- Il faut (dans la majorité des cas) définir au préalable le nombre de clusters à construire (hyperparamètre du modèle)

## 3.1 Les algorithmes de clustering



### 3.1 K-Means : description et limites

- Sépare les données en  $K$  clusters  $C_k$  d'égale variance (dispersion)
- L'algorithme modifie la position des *centroïdes*  $\mu_k$  afin de minimiser l'écart moyen de l'ensemble des points d'un cluster à son *centroïde*
- Critère de minimisation, **Inertie** :

$$I = \sum_{k=0}^K \sum_{x \in C_k} \|x - \mu_k\|^2$$

(Distance Euclidienne)

- **Limitations** :
  - Le nombre de clusters se définit “à la main”
  - Le résultat est très dépendant de l'initialisation
  - Le **K-Means** ne fonctionne pas avec les variables catégorielles (non ordonnées)

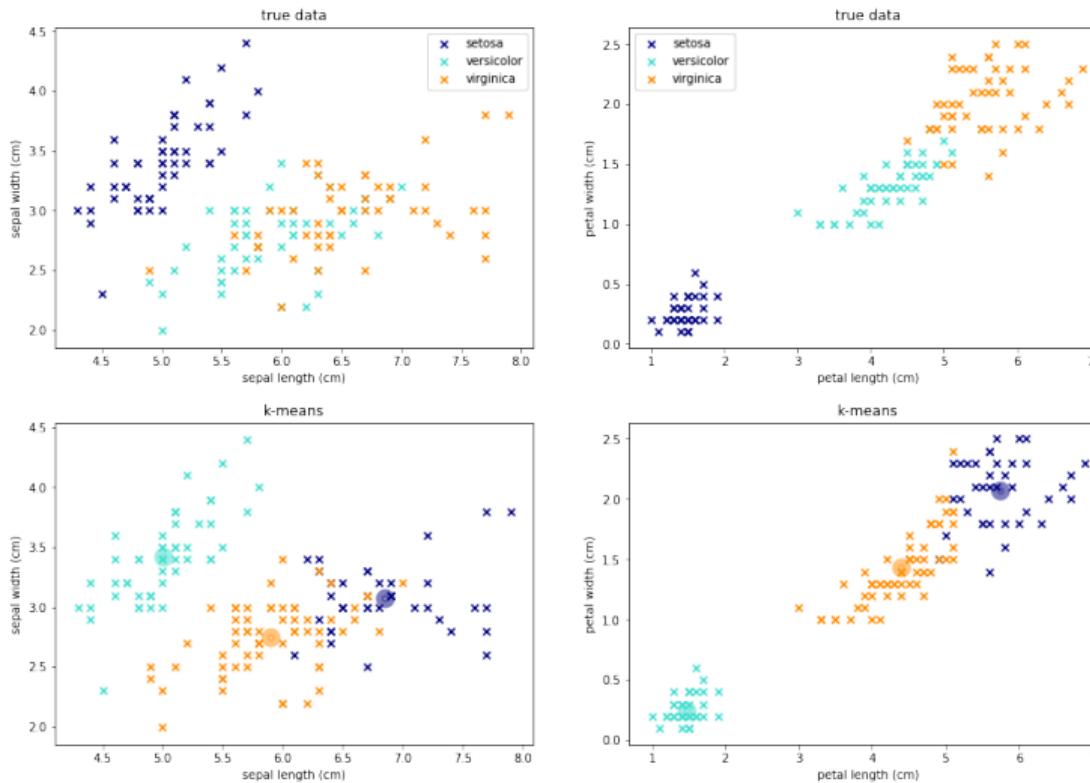
### 3.1 K-Prototypes

- Implémentation python : <https://github.com/nicodv/kmodes>
- Permet de mélanger variables **numériques** ( $r$ ) et **catégorielles** ( $c$ )
- *centroïdes* :  $\mu_k \rightarrow prototypes : Q_k$
- On redéfinit la fonction de coût :

$$I = \sum_{k=0}^K \sum_{x \in C_k} \left( \sum_{j=1}^{m_r} (x_j^r - q_{jk}^r)^2 + \gamma_k \sum_{j=1}^{m_c} \delta(x_j^c, q_{jk}^c) \right) \text{ with } \delta(p, q) = \begin{cases} 0 & \text{if } p = q \\ 1 & \text{if } p \neq q \end{cases}$$

- **Algorithme :**
  1. Initialise  $K$  prototypes (aléatoirement)
  2. Détermine le plus proche prototype de chaque entrée, et crée les clusters
  3. Met à jour les prototypes de chaque cluster en minimisant  $I$

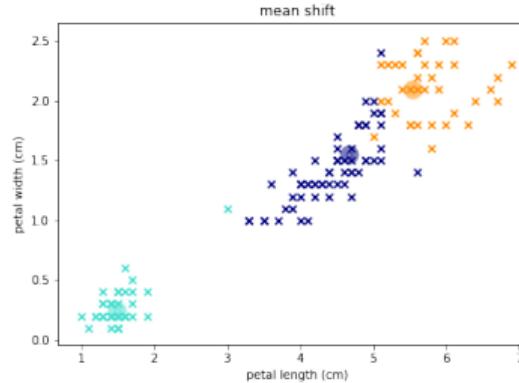
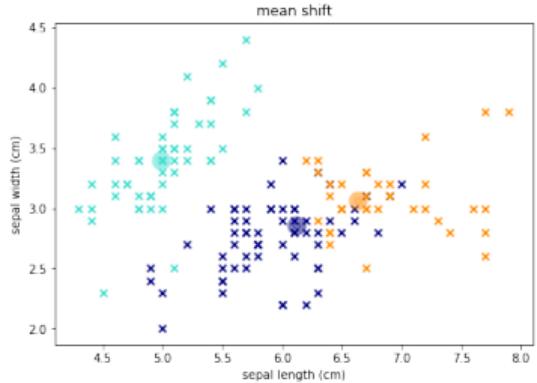
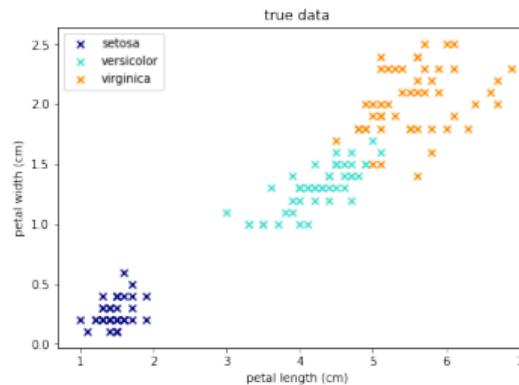
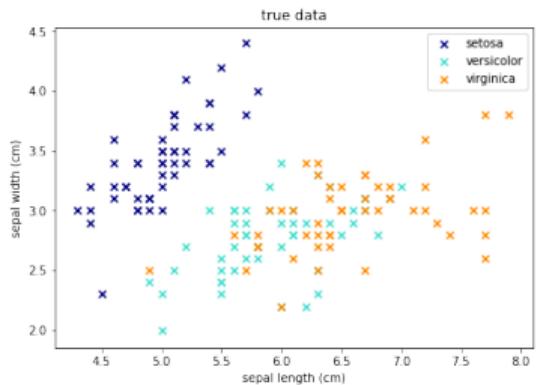
### 3.1 Clustering : Iris dataset, K-means result



### 3.1 Mean Shift

- Cherche les zones de fortes densité en modifiant itérativement la position de *centroïdes*
- Des *centroïdes* de rayons  $R$  sont aléatoirement initialisés
- Ils sont déplacés vers la région de plus haute densité (nombres de points dans le rayon  $R$ )
- On continue jusqu'à maximiser la densité de chaque *centroïde*
- Plusieurs *centroïdes* dans une zone : celui avec la plus haute densité est conservé
- l'ensemble du dataset est labelisé (plus petite distance)
- Le *Mean Shift* détermine le nombre optimal de clusters pour la valeur du rayon choisie ( $R$ )

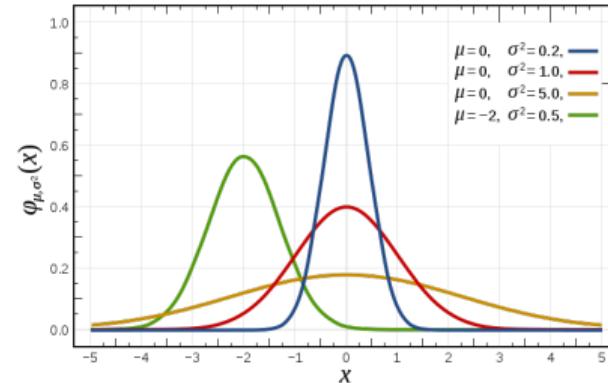
### 3.1 Clustering : Iris dataset, Mean Shift result



### 3.1 Gaussian mixture models

- **Hypothèse :** la structure des données est compatible avec un mélange de gaussiennes

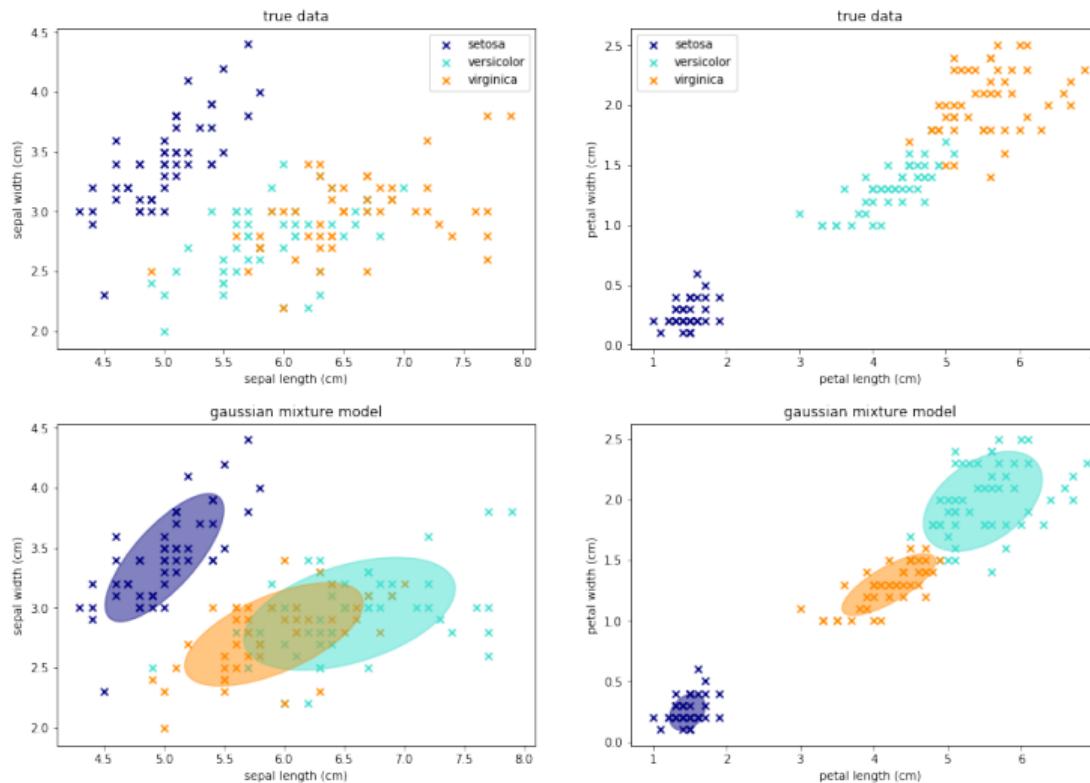
- On ajuste les paramètres de  $N$  gaussiennes jusqu'à trouver ceux qui *collent* le mieux aux données



depuis [Wikipedia](#)

- Algorithme d'ajustement : **espérance-maximisation**, on cherche à maximiser la fonction de *log-likelihood* (fonction de vraisemblance)
- *Intuitivement* : on cherche les paramètres qui rendent la distribution de données observée la plus probable

### 3.1 Clustering : Iris dataset, GMM result

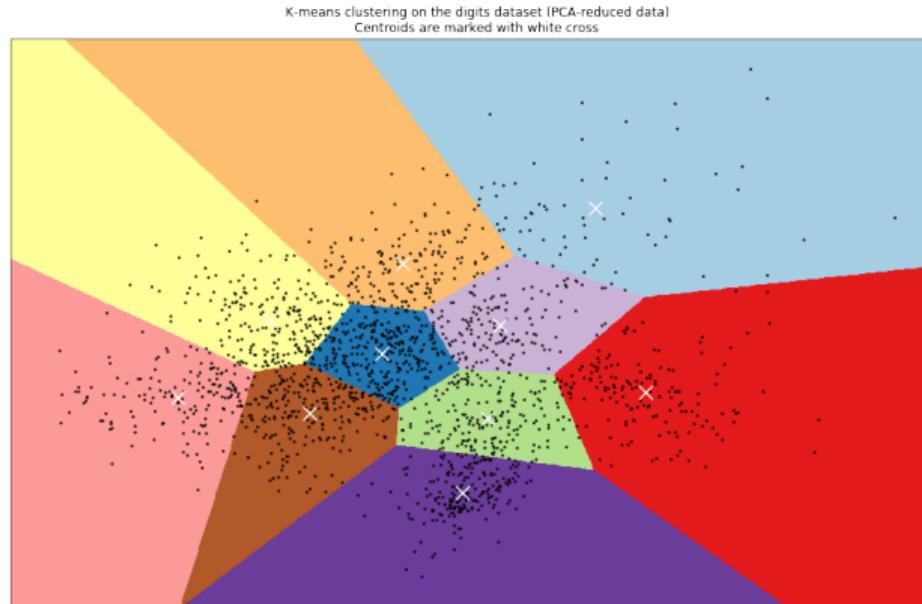


## 3.2 Analyse en composantes principales

- **PCA** (*Composants principal analysis*) : Algorithme de réduction de dimensions
- Transforme un problème à  $n$  variables en un problème à  $n'$  variables (avec  $n' < n$ )
- Explore les corrélations entre les variables pour les *regrouper* (pondération) : **Pertes d'informations**
- Très utile pour :
  - Pre-stage d'un algorithme de clustering (peut améliorer les performances)
  - Pour faire de la visualisation en 2D de données à plus haute dimension

## 3.2 Analyse en composantes principales

- **Exemple d'utilisation :** digit dataset :
  - 64 variables  $\Rightarrow$  10 pour initialiser le K-means
  - 64  $\Rightarrow$  2 pour la visualisation



## 4.1 Recommandation, collaborative filtering

- Algorithme classique de recommandation de produits
- Utilise les notes donné à chaque produit par les utilisateurs
- Vainqueur du challenge Netflix (et toujours utilisé)

User / Item	Batman	Star Wars	Titanic
Bill	3	3	
Jane	1	2	4
Tom	2.38	5	

- Degré de similarité entre utilisateurs (ou produits)
  - Similarité Cosinus ou Pearson
- Estimation de l'intérêt d'un utilisateur pour un produit en se basant sur les utilisateurs similaires :
$$\text{cosSim}(Bill, Tom) = 0.71 / \text{cosSim}(Jane, Tom) = 0.32$$

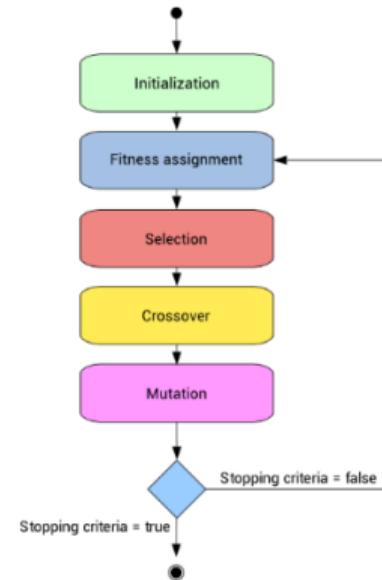
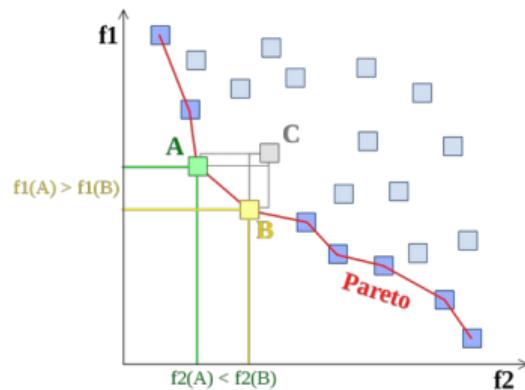
- Filtrage actif : l'utilisateur donne des notes/son avis
- Filtrage passif : Il faut déduire les goûts de l'utilisateur via son comportement
- Limites : temps de calcul, nouveaux arrivants, comportements singuliers

## 4.1 Recommandation, collaborative filtering, formules

- **Similarité Pearson :**  $sim(x, y) = \frac{\sum_{i \in I_{xy}} (r_{x,i} - \bar{r}_x)(r_{y,i} - \bar{r}_y)}{\sqrt{\sum_{i \in I_{xy}} (r_{x,i} - \bar{r}_x)^2} \sqrt{\sum_{i \in I_{xy}} (r_{y,i} - \bar{r}_y)^2}}$
- **Similarité Cosinus :**  $simCos(x, y) = cos(\vec{x}, \vec{y}) = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{\|\vec{x}\| \times \|\vec{y}\|} = \frac{\sum_{i \in I_{xy}} r_{x,i} r_{y,i}}{\sqrt{\sum_{i \in I_x} r_{x,i}^2} \sqrt{\sum_{i \in I_y} r_{y,i}^2}}$
- **Estimation :**  $r_{u,i} = \frac{\sum_{u' \in U} sim(u, u') r_{u',i}}{\sum_{u' \in U} |sim(u, u')|}$

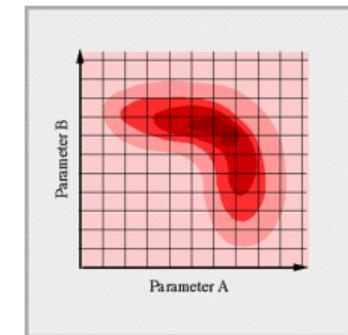
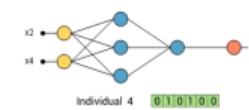
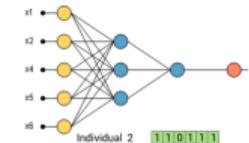
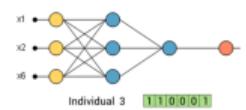
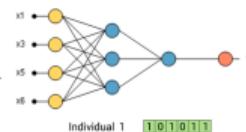
## 4.2 Optimisation, algorithme génétique

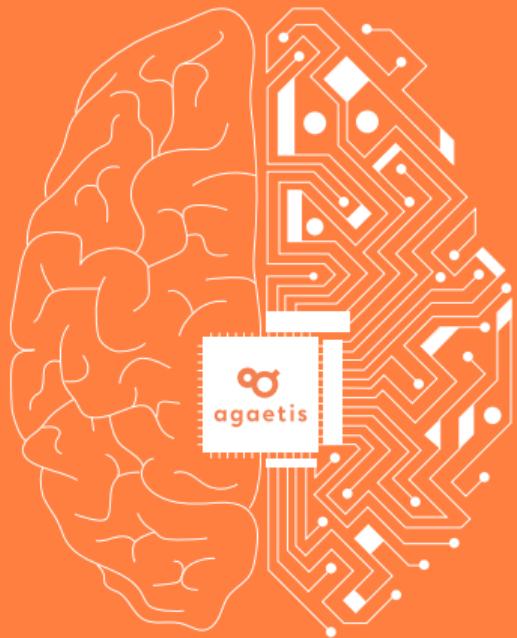
- Algorithme d'optimisation par sélection/mutation successives
  - Réponds aux problèmes à forte combinatoire sans solution unique
  - Détermine le jeu des solutions optimales (front de Pareto)
- 
- **population de solutions :**
    - Initialisation → Selection → Reproduction → Mutation



## 4.2 Optimisation, algorithme génétique

- Applications :
  - Voyageur de commerce
  - Sélection de features
  - Hyper-paramètrage algorithme ML
  - ...





human  
after  
all