

Big Data Analytics

Les Algorithmes Supervisés

GIRAUD François-Marie



<https://www.orsys.fr/>

Big Data Analytics

Naive Bayes

Rappels - Probabilités

Rappels :

- Une variable aléatoire

$$A \in \mathbb{R}$$

- Probabilité

$$0 \leq P(A \in [a_1 \ a_2]) \leq 1$$

- Probabilité conditionnelle

$$P(A > 0 \mid B < -3)$$

- Évènements indépendants

$$P(A|B) = P(A) \text{ et } P(B|A) = P(B)$$

- Probabilité jointe

$$P(A, B) = P(B|A) * P(A)$$

$$P(A, B) = P(A|B) * P(B)$$

- A et B Indépendants

$$\iff P(A, B) = P(A) * P(B)$$

Théorème de Bayes

$$P(A|B) = \frac{P(B|A).P(A)}{P(B)}$$

Naive Bayes

Prenons un exemple :

Soit une base de donnée de fruits contenant uniquement des bananes ,oranges ,courgettes.

Chaque élément possède des caractéristiques couleur, taille, sucré.

Appliquer Naive Bayes, c'est chercher le maximum de vraisemblance d'un éléments dont on ne connaît pas la nature mais dont on connaît les caractéristiques.

On cherche donc quelle est la plus grande probabilité :

- $P(\text{banane} \mid \text{jaune, long, sucré})$
- $P(\text{orange} \mid \text{jaune, long, sucré})$
- $P(\text{tomate} \mid \text{jaune, long, sucré})$

Naive = toutes les variables sont considérée indépendantes, donc :

$$P(banane|jaune, long, sucre) =$$

$$\frac{P(jaune|banane)*P(long|banane)*P(sucre|banane)*P(banane)}{P(jaune)*P(long)*P(sucre)}$$

Pour estimer les différentes probabilités, on 'compte' dans notre base de donnée de fruits :

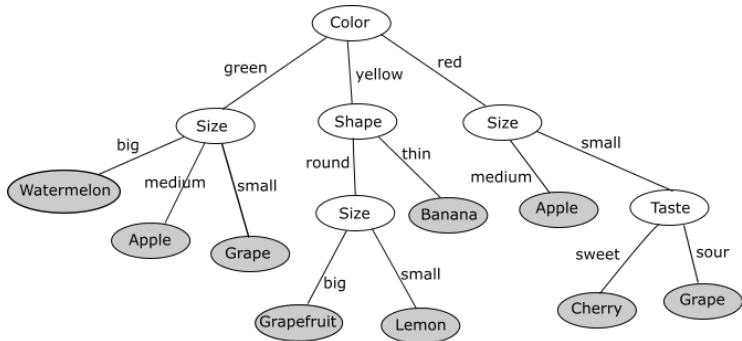
$$P(sucre|banane) = \frac{card(banane \text{ ET } sucre)}{card(banane)}$$

Big Data Analytics

Arbres de décision

Introduction

Modèle de classification ou régression qui classe un input dans une de ses feuilles pour rendre sa prédiction :



Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels

Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels
- ne nécessitent pas que la variable d'output soit normalement distribuée (regression linéaire)

Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels
- ne nécessitent pas que la variable d'output soit normalement distribuée (regression linéaire)
- sont interprétables

Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels
- ne nécessitent pas que la variable d'output soit normalement distribuée (regression linéaire)
- sont interprétables
- sont très rapides durant l'inférence

Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels
- ne nécessitent pas que la variable d'output soit normalement distribuée (regression linéaire)
- sont interprétables
- sont très rapides durant l'inférence
- ne nécessitent pas de normalisation des données

Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels
- ne nécessitent pas que la variable d'output soit normalement distribuée (regression linéaire)
- sont interprétables
- sont très rapides durant l'inférence
- ne nécessitent pas de normalisation des données
- leur apprentissage est hautement parallélisable

Les arbres de décision

- gèrent les inputs numériques comme catégoriels
- ne nécessitent pas que la variable d'output soit normalement distribuée (regression linéaire)
- sont interprétables
- sont très rapides durant l'inférence
- ne nécessitent pas de normalisation des données
- leur apprentissage est hautement parallélisable

→ Couteau-suisse du machine learning tabulaire.

- peuvent overfit les données, mais l'ensembling résoud ce problème

Désavantages

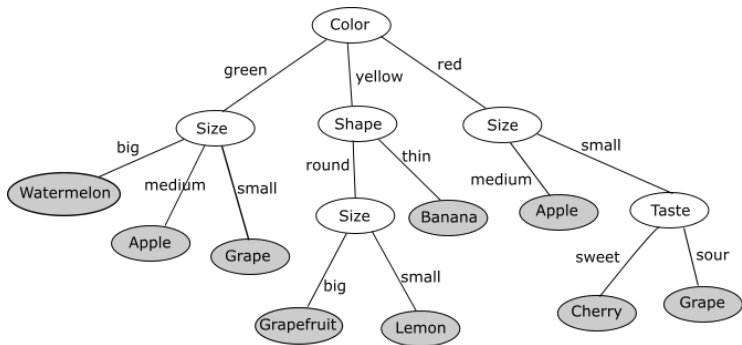
- peuvent overfit les données, mais l'ensembling résoud ce problème
- sont sensibles aux déséquilibres de classe

Désavantages

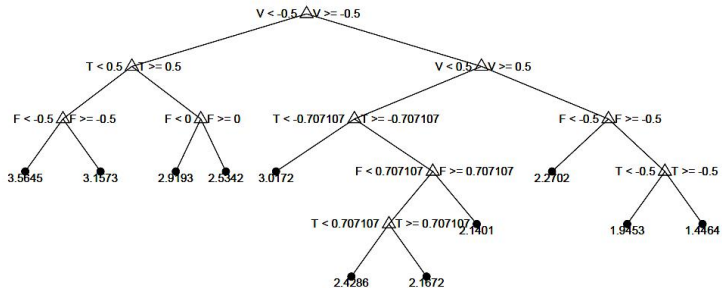
- peuvent overfit les données, mais l'ensembling résoud ce problème
- sont sensibles aux déséquilibres de classe

→ Si les classes ne sont pas équilibrées, peut-être les resampler.

Arbres de classification



Arbres de régression



Apprendre un arbre de décision

Approche « top-down », procédure récursive :

- créer un nœud de départ qui contient toutes les instances du training set

Apprendre un arbre de décision

Approche « top-down », procédure récursive :

- créer un nœud de départ qui contient toutes les instances du training set
- tant qu'il reste des nœuds non-traités :

Apprendre un arbre de décision

Approche « top-down », procédure récursive :

- créer un nœud de départ qui contient toutes les instances du training set
- tant qu'il reste des nœuds non-traités :
 - choisir un nœud non traité

Apprendre un arbre de décision

Approche « top-down », procédure récursive :

- créer un nœud de départ qui contient toutes les instances du training set
- tant qu'il reste des nœuds non-traités :
 - choisir un nœud non traité
 - si le nœud remplit des conditions de feuille finale, ne rien faire

Apprendre un arbre de décision

Approche « top-down », procédure récursive :

- créer un nœud de départ qui contient toutes les instances du training set
- tant qu'il reste des nœuds non-traités :
 - choisir un nœud non traité
 - si le nœud remplit des conditions de feuille finale, ne rien faire
 - sinon, créer deux branches à partir du nœud non traité pour répartir les instances dans deux nouveaux nœuds

Apprendre un arbre de décision

Approche « top-down », procédure récursive :

- créer un nœud de départ qui contient toutes les instances du training set
- tant qu'il reste des nœuds non-traités :
 - choisir un nœud non traité
 - si le nœud remplit des conditions de feuille finale, ne rien faire
 - sinon, créer deux branches à partir du nœud non traité pour répartir les instances dans deux nouveaux nœuds

Conditions de feuilles finales : contient n_{min} éléments, est déjà à profondeur p_{max} , splitterait sans décroître assez l'entropie...

En fonction de la tâche, une fois arrivé dans la feuille de fin :

Classification classe majoritaire

Régression moyenne des valeurs cibles

Splits possibles

Splits possibles d'une feature donnée :

Catégorielle chaque catégorie vs le reste

Ordinale/Continue milieu de chaque valeur ou quantiles

Évaluation de la qualité d'un split

En fonction de la tâche :

Régression coût si on rendait la moyenne des instances comme résultat

$$Loss = \sum |\hat{y} - y| \approx variance$$

Classification Entropie de Shannon :

$$Loss = - \sum_{x \in X} P_x * \log_2(P_x)$$

$= 0 \Rightarrow$ il n'y a pas d'incertitude
maximale quand on a une distribution uniforme

Exemple — démarrage

ID, jardinage, jeux vidéos, chapeaux,
âge

1	0	1	1	13
2	0	1	0	14
3	0	1	0	15
4	1	1	1	25
5	0	1	1	35
6	1	0	0	49
7	1	1	1	68
8	1	0	0	71
9	1	0	1	73

Première étape : création du nœud
de départ

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

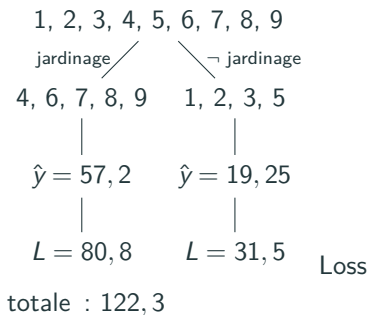
|

Exemple — split

ID, jardinage, jeux vidéos, chapeaux,
âge

1	0	1	1	13
2	0	1	0	14
3	0	1	0	15
4	1	1	1	25
5	0	1	1	35
6	1	0	0	49
7	1	1	1	68
8	1	0	0	71
9	1	0	1	73

Split du premier nœud. Il faut tester
3 splits. Split sur jardinage :

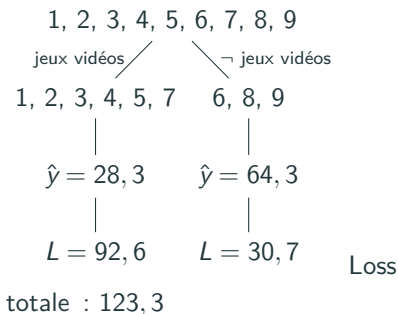


Exemple — split

ID, jardinage, jeux vidéos, chapeaux,
âge

1	0	1	1	13
2	0	1	0	14
3	0	1	0	15
4	1	1	1	25
5	0	1	1	35
6	1	0	0	49
7	1	1	1	68
8	1	0	0	71
9	1	0	1	73

Split du premier nœud. Il faut tester
3 splits. Split sur jeux vidéos :

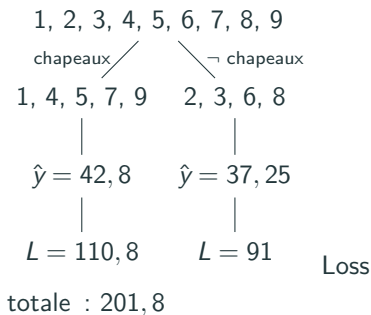


Exemple — split

ID, jardinage, jeux vidéos, chapeaux,
âge

1	0	1	1	13
2	0	1	0	14
3	0	1	0	15
4	1	1	1	25
5	0	1	1	35
6	1	0	0	49
7	1	1	1	68
8	1	0	0	71
9	1	0	1	73

Split du premier nœud. Il faut tester
3 splits. Split sur chapeaux :



Exemple — split

ID, jardinage, jeux vidéos, chapeaux,
âge

1	0	1	1	13
2	0	1	0	14
3	0	1	0	15
4	1	1	1	25
5	0	1	1	35
6	1	0	0	49
7	1	1	1	68
8	1	0	0	71
9	1	0	1	73

122,3 jardinage

123,3 jeux vidéos

201,8 chapeaux

→ On split donc sur jardinage

Exemple — split

ID, jardinage, jeux vidéos, chapeaux,
âge

1	0	1	1	13
2	0	1	0	14
3	0	1	0	15
4	1	1	1	25
5	0	1	1	35
6	1	0	0	49
7	1	1	1	68
8	1	0	0	71
9	1	0	1	73

Résultat après le premier split :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
jardinage / \neg jardinage
4, 6, 7, 8, 9 1, 2, 3, 5 À vous
de jouer !

Fait par :

- la profondeur maximum
- le nombre minimum d'instances dans chaque feuille
- une baisse d'entropie maximale à chaque split
- le nombre minimum d'instances pour split
- le pruning

Big Data Analytics

Random Forest

- les arbres de décision overfit facilement
- ils sont rapides à apprendre
- en combiner beaucoup est faisable et réduit la variance

→ création d'une forêt (ensemble d'arbres) aléatoire

But

Produire des arbres décorrélés et moyenner leurs prédictions pour réduire la variance.

Outil 1 — bagging (row sampling)

Bootstrap aggregating (Bagging) :

- tirer un échantillon du dataset avec replacement
- entraîner un arbre sur cet échantillon
- répéter B fois

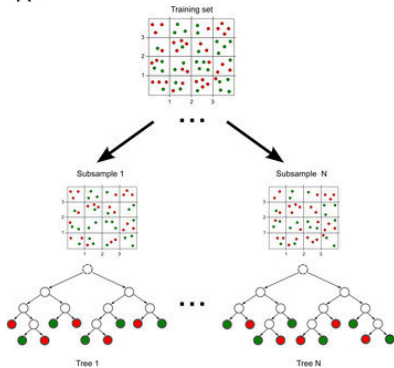
Le bagging s'appelle aussi row sampling.

Outil 2 — random subspace method (column sampling)

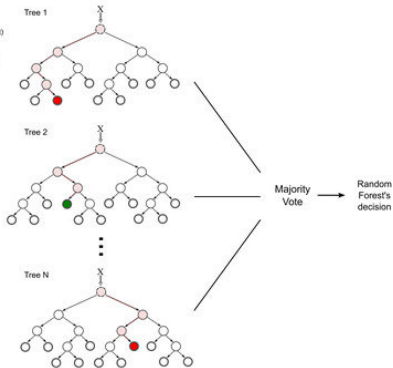
- à chaque split, considérer seulement un sous-ensemble des features
- valeurs conseillées :
 - classification : $\lfloor \sqrt{m} \rfloor$ features par split
 - régression : $\lfloor \frac{m}{3} \rfloor$ features par split, 5 exemples par node minimum

Random Forest

A



B



- Pas de sur-apprentissage en augmentant le nombre d'arbres
- Une fois appris, le modèle est très rapide

Conclusion

- les arbres sont interprétables, rapides à entraîner, combinables.
- random forest combine des arbres faibles en un prédicteur versatile

Big Data Analytics

Regression Linéaire

Définition du problème :

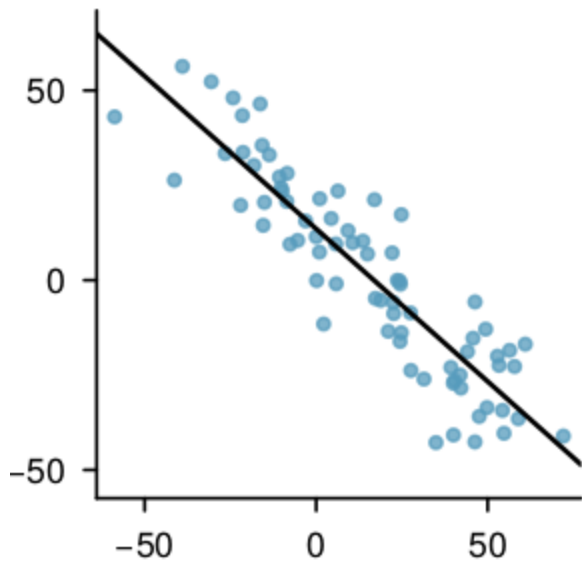
Soit $\{(x_i, y_i)\}_{i \in \mathbb{R}}$ un ensemble de données tel que $\forall i, x_i \in \mathbb{R}$ et $y_i \in \mathbb{R}$

Trouver $\phi^*(x_i) = y_i^*$ telle que

$$\forall i, y_i^* - y_i \rightarrow 0$$

sous la contrainte que ϕ^* soit une fonction linéaire (affine)

Regression Linéaire



Big Data Analytics

Fonction de Coût/Erreur

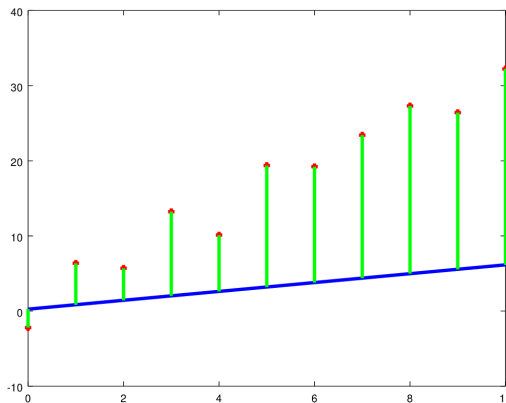
Fonction de Coût/Erreur

Erreur moyenne :

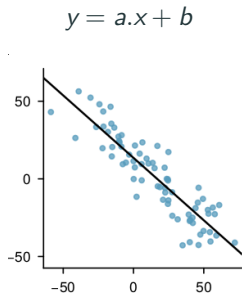
$$\frac{1}{n} \sum_{i=[1..n]} \sqrt{(\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Critère des moindres carrés :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=[1..n]} (\hat{y}_i - y_i)^2$$



Fonction de Coût/Erreur



$$E_{\Omega} = \frac{1}{2n} \sum_{i=[1..n]} (\hat{y}_i - y_i)^2$$

Big Data Analytics

Optimisation

Optimisation

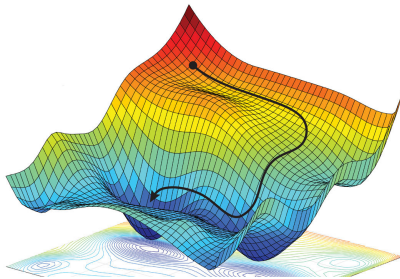
Calcul du gradient de l'erreur par rapport aux paramètres :

$$\frac{\partial Err}{\partial w_i}$$

Mise à jour :

$$w'_i = w_i - \gamma * grad$$

où : $0 < \gamma < 1$ (learning rate)



1 - initialisation aléatoire du modèle

2 - Tant que(critère arrêt == 0)

- Selection aléatoire d'un **batch** de données
- **Forward** : Passe avant du **batch** dans le modèle
- Calcul de l'erreur par rapport aux sorties attendues
- **Backward** : Rétropropagation du gradient de l'erreur en fonction des paramètres dans le modèle (mise à jour du modèle)
- Calcul critère arrêt

Big Data Analytics

Gradient de l'erreur

Gradient et mise à jour

$$y = a.x + b$$

$$E_{\Omega} = \frac{1}{2n} \sum_{i=[1..n]} (\hat{y}_i - y_i)^2$$

$$E_{\Omega} = \frac{1}{2n} \sum_{i=[1..n]} (\hat{y}_i - (a.x_i + b))^2$$

...

$$\frac{\partial E_{\Omega}}{\partial a} = \frac{1}{n} \sum_{i=[1..n]} (a.x_i + b - \hat{y}_i).x$$

$$\frac{\partial E_{\Omega}}{\partial b} = \frac{1}{n} \sum_{i=[1..n]} (a.x_i + b - \hat{y}_i)$$

$$U^2' = 2U' * U$$

M.A.J :

$$a \leftarrow a - \gamma \cdot \frac{\partial E_{\Omega}}{\partial a}$$

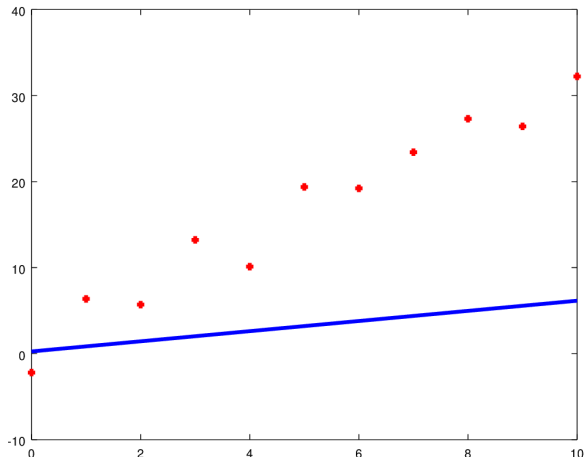
$$b \leftarrow b - \gamma \cdot \frac{\partial E_{\Omega}}{\partial b}$$

où $1 > \gamma > 0$ (learning rate)

Gradient et mise à jour

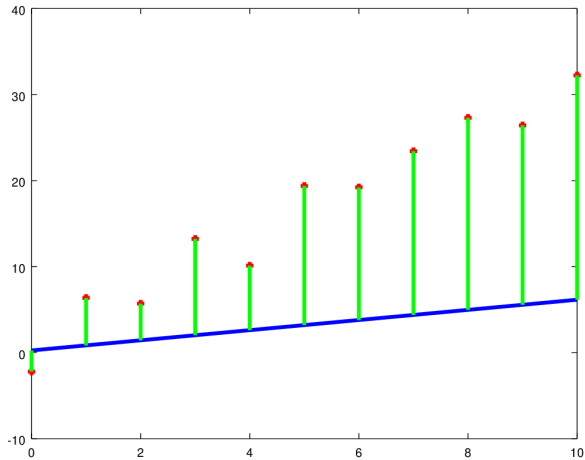
initialisation au hasard ($\gamma = 0.01$)

- $a = 0.58$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.25$ ($\hat{b} = 0.5$)



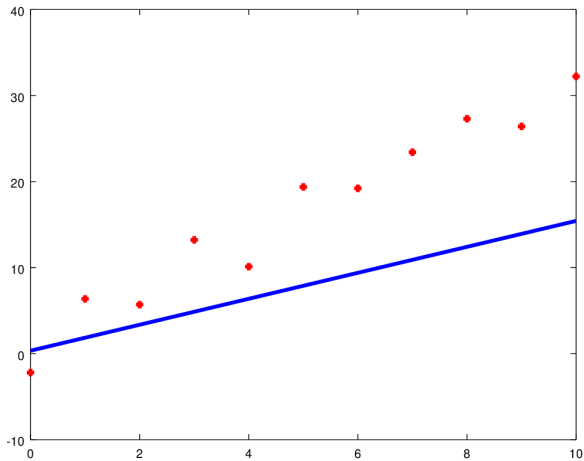
Gradient et mise à jour

- $a = 0.58$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.25$ ($\hat{b} = 0.5$)



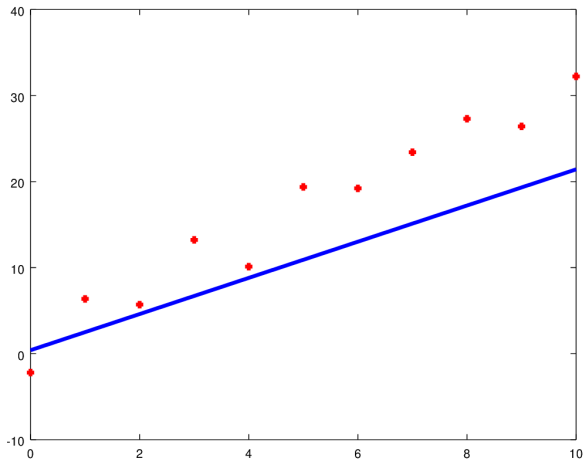
Gradient et mise à jour

- $a = 1.50$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.35$ ($\hat{b} = 0.5$)



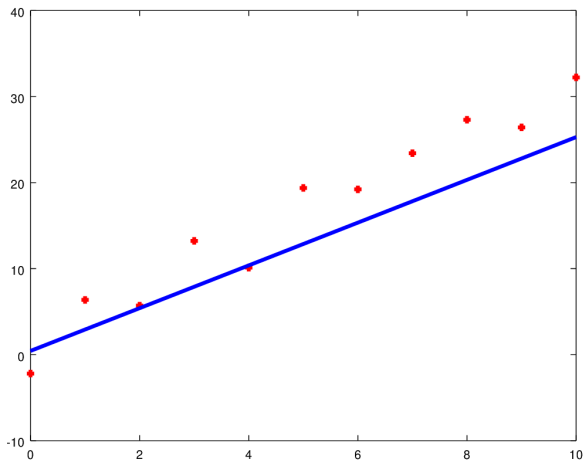
Gradient et mise à jour

- $a = 2.10$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.40$ ($\hat{b} = 0.5$)



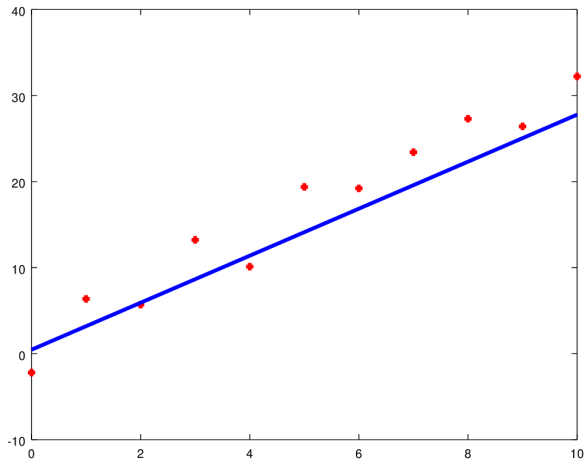
Gradient et mise à jour

- $a = 2.48$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.43$ ($\hat{b} = 0.5$)



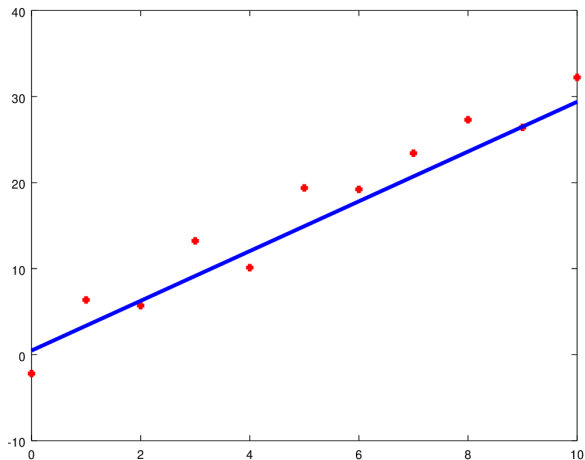
Gradient et mise à jour

- $a = 2.73$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.46$ ($\hat{b} = 0.5$)



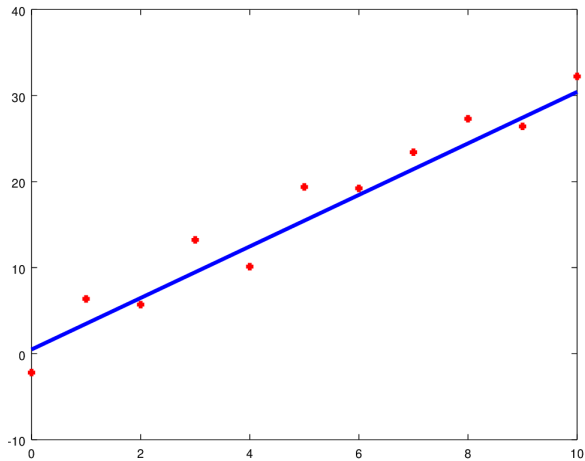
Gradient et mise à jour

- $a = 2.89$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.47$ ($\hat{b} = 0.5$)



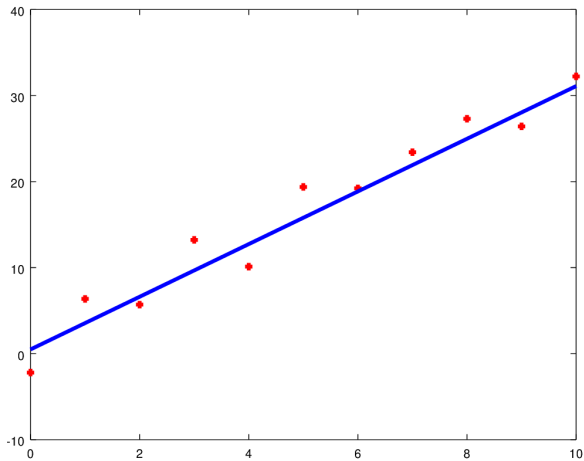
Gradient et mise à jour

- $a = 2.99$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.48$ ($\hat{b} = 0.5$)



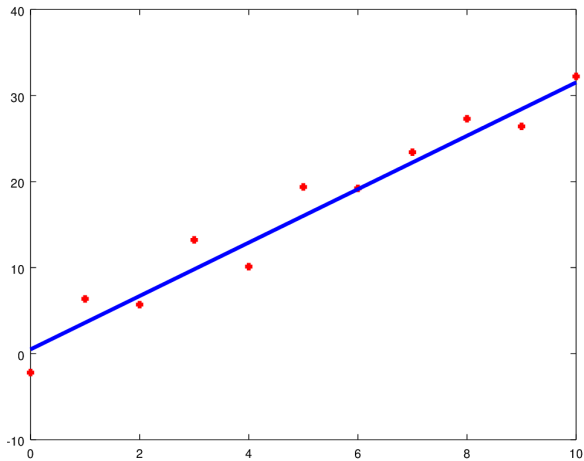
Gradient et mise à jour

- $a = 3.06$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.49$ ($\hat{b} = 0.5$)



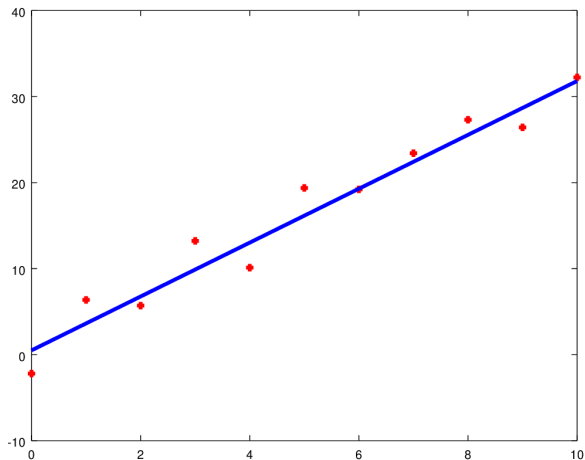
Gradient et mise à jour

- $a = 3.10$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.49$ ($\hat{b} = 0.5$)



Gradient et mise à jour

- $a = 3.13$ ($\hat{a} = 3.0$)
- $b = 0.50$ ($\hat{b} = 0.5$)

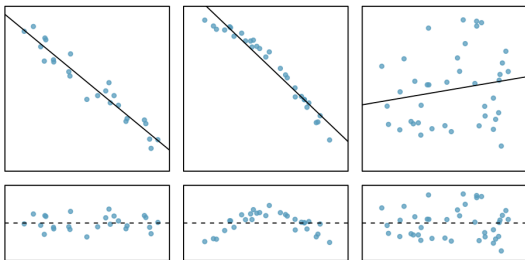
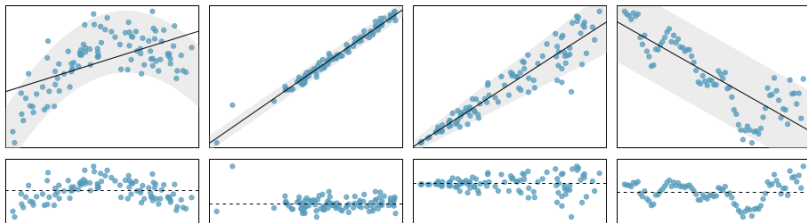


Big Data Analytics

Régression Polynomiale

Regression Polynomiale

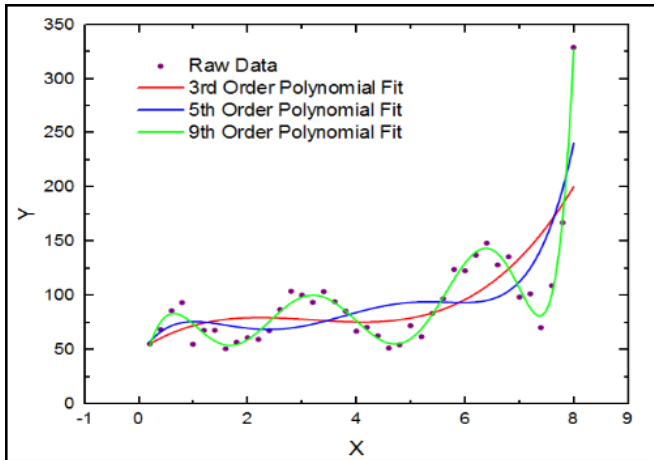
Limites de la regression linéaire



Régression Polynomiale

$$Y = a_0 + a_1 * X + a_2 * X^2 + a_3 * X^3 + \dots + a_n * X^n$$

$$Y = \sum_{k \in [0..n]} a_k * X^k$$



$$Y = \sum_{k \in [0..n]} a_k * X^k$$

$$E_{\Omega} = \frac{1}{2n} \sum_{i=[1..n]} (\hat{Y}_i - Y_i)^2$$

$$\frac{\partial E_{\Omega}}{\partial a_k} = \frac{1}{n} \sum_{i=[1..n]} (Y_i - \hat{Y}_i) \cdot X^k$$

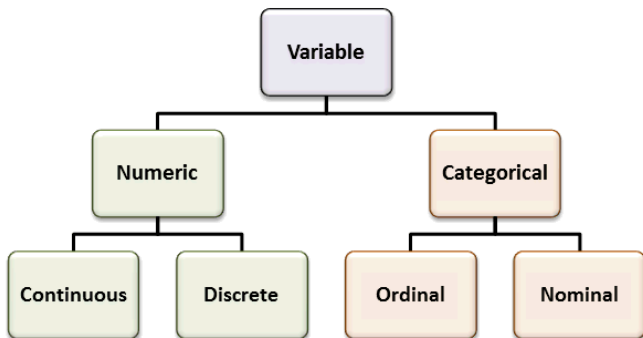
M.A.J :

$$a_k \leftarrow a_k - \gamma \cdot \frac{\partial E_{\Omega}}{\partial a_k}$$

où $1 > \gamma > 0$ (learning rate)

Big Data Analytics

Régression Logistique



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	4	1	3	1	8	0	8
0	1	0	5	5	5	7	8	4	3
0	1	0	4	3	3	1	9	1	8
0	0	6	8	5	4	1	8	1	2
0	1	2	9	5	0	2	8	8	5

Régression Logistique



[001.ak47](#)



[002.american-flag](#)



[003.backpack](#)



[004.baseball-bat](#)



[005.baseball-glove](#)



[006.basketball-hoop](#)



[007.bat](#)



[008.bathtub](#)



[009.bear](#)



[010.beer-mug](#)



[011.billiards](#)



[012.binoculars](#)

\approx Distance entre la sortie et la cible ?

Sortie :

0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

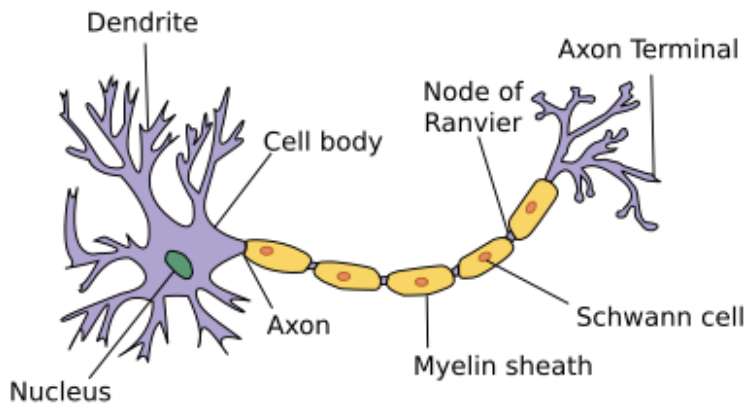
Cible :

0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

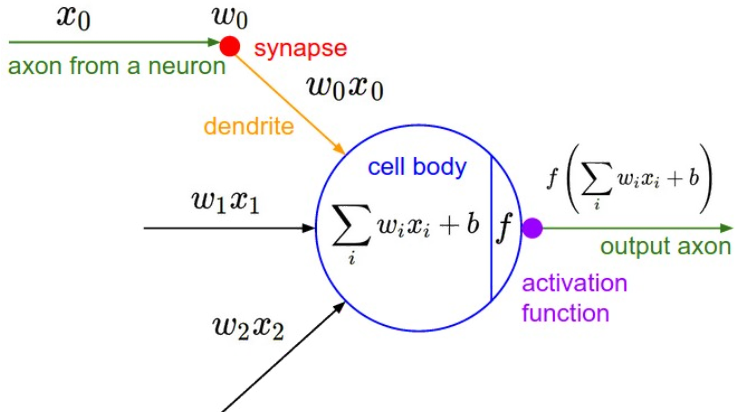
Machine Learning

Réseau de Neurones

Réseau de Neurones



Réseau de Neurones



Réseau de Neurones

$$\sigma \left(\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_d \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{d1} & w_{d2} & \dots & w_{dn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & \dots & b_n \end{bmatrix} \right) \\ = \begin{bmatrix} o_1 & o_2 & \dots & o_n \end{bmatrix}$$

où :

X est une donnée en entrée de dimension \mathbf{d} ,

w et b sont les paramètres à trouver des \mathbf{n} neurones de notre modèle.

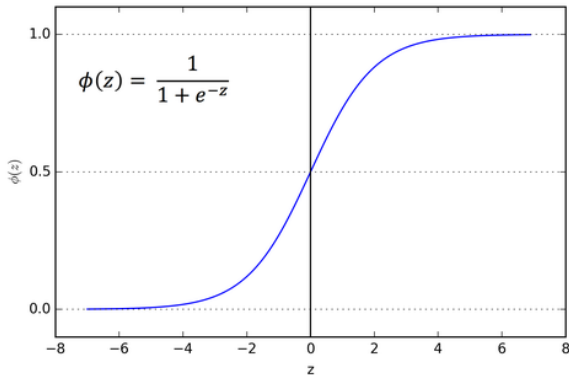
σ la fonction d'activation et

O la sortie du réseau

- Sigmoidé
- Tanh
- Softmax
- ReLU
- ...

Réseaux de neurones : Fonction d'activation σ

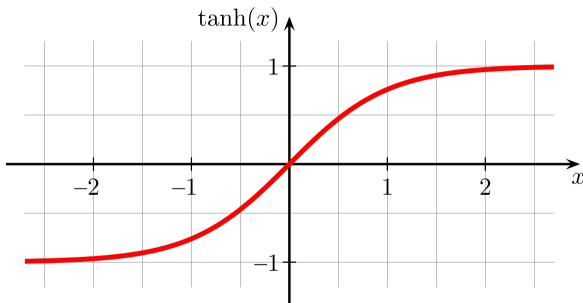
Sigmoïde



$$\frac{\partial \phi(x)}{\partial x} = \phi(x) * (1 - \phi(x))$$

Réseaux de neurones : Fonction d'activation σ

$$\tanh(x) = \frac{1 - \exp -2 * x}{1 + \exp -2 * x}$$



$$\frac{\partial \tanh(x)}{\partial x} = 1 - \tanh^2(x)$$

Réseaux de neurones : Fonction d'activation σ

$$\text{Softmax}(x_j) = \frac{\exp x_j}{\sum_{i=1}^n \exp x_i}$$

donc :

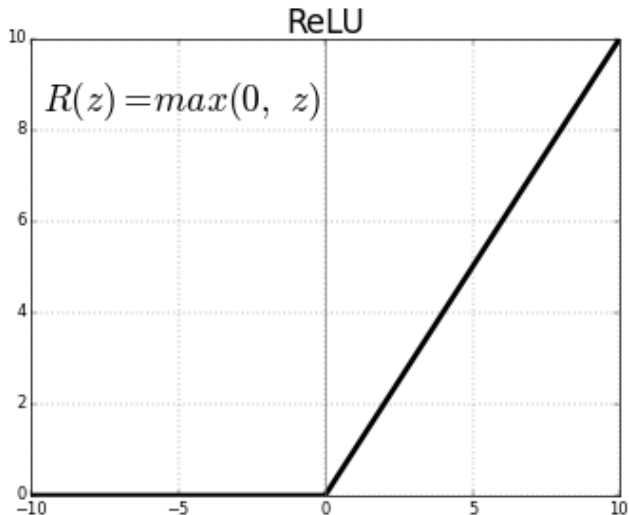
$$\sum_{j=1}^n \text{Softmax}(x_j) = 1$$

dérivée (ou jacobien car le softmax est une fonction de $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$) :

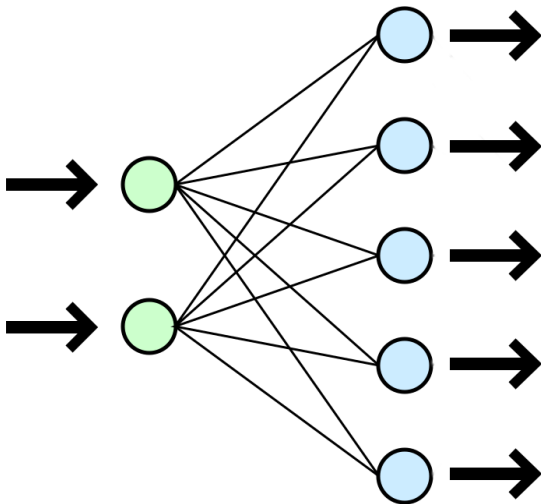
$$D_j S_i = S_i(\delta_{ij} - S_j)$$

où $D_j S_i$ est la dérivée partielle de la i -ième sortie par rapport à la j -ième entrée

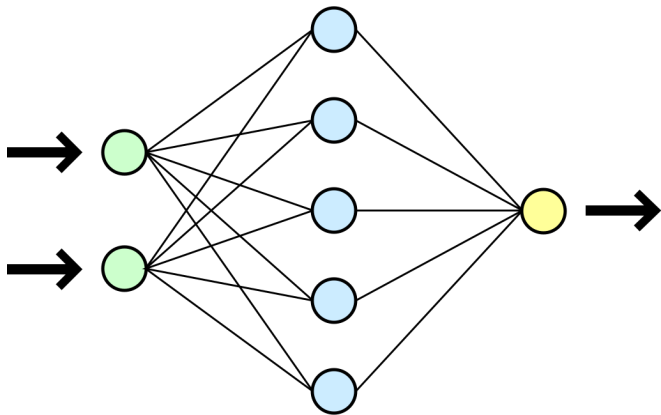
δ_{ij} est le delta de Kronecker



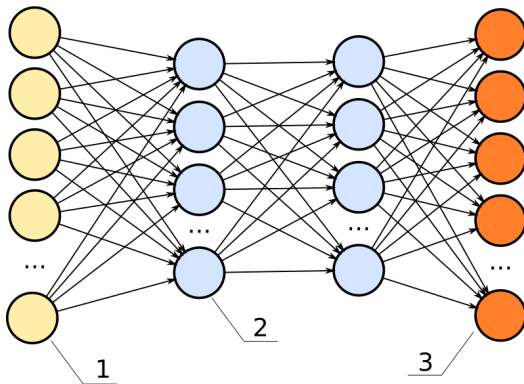
Réseau de Neurones



Réseau de Neurones



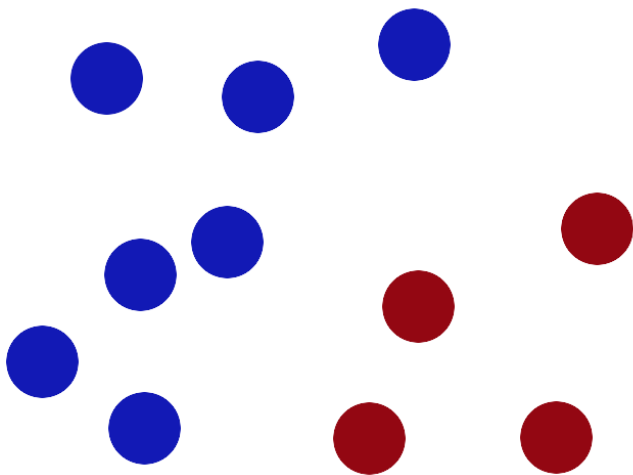
Réseau de Neurones



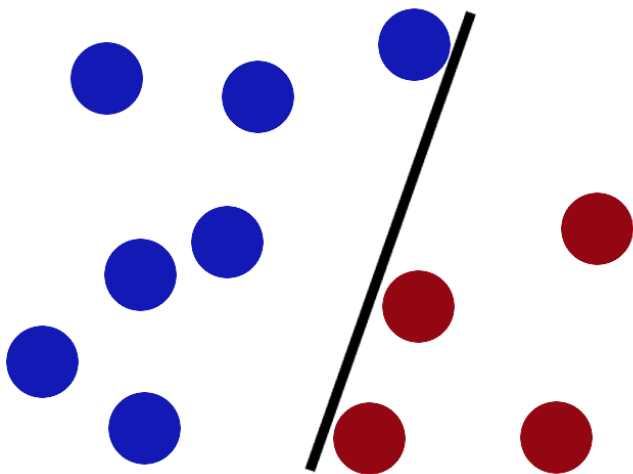
Big Data Analytics

Support Vector Machine

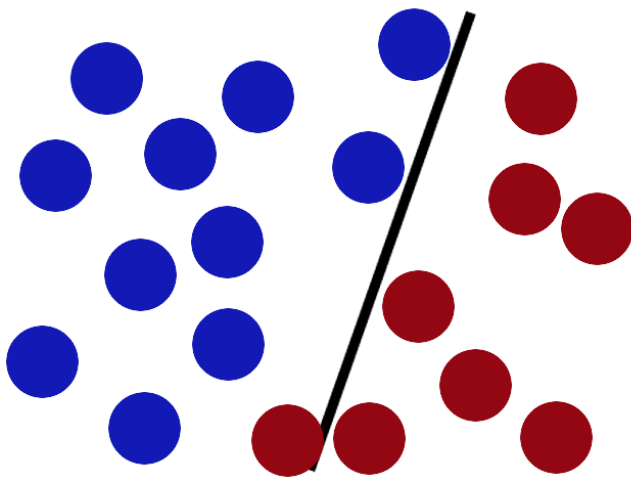
Support Vector Machine



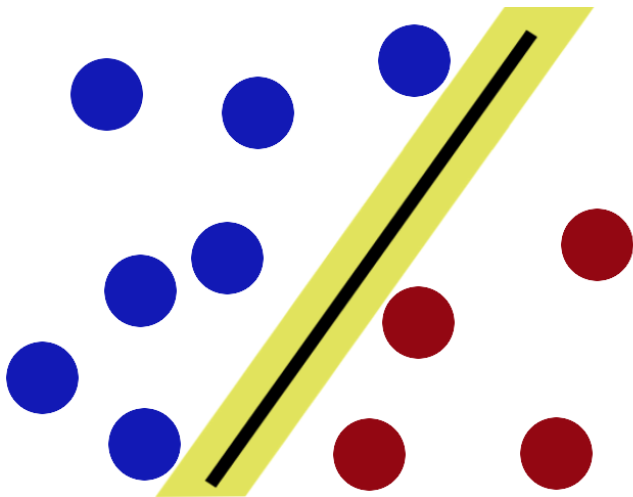
Support Vector Machine



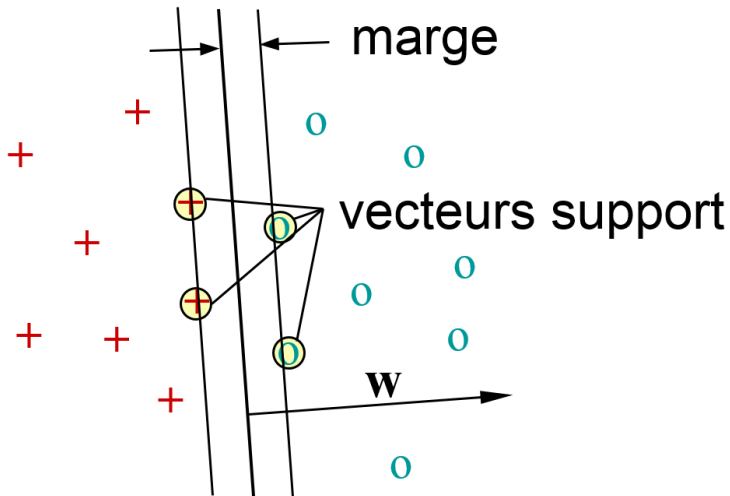
Support Vector Machine



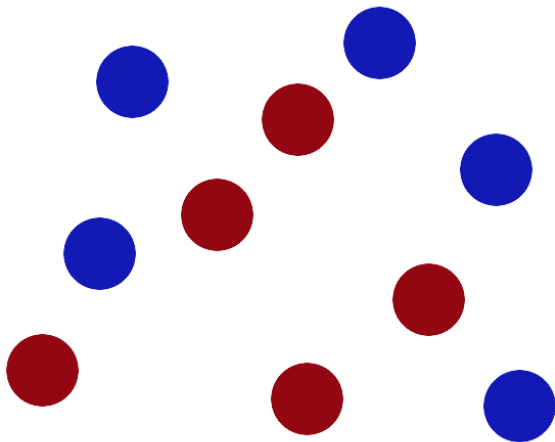
Support Vector Machine



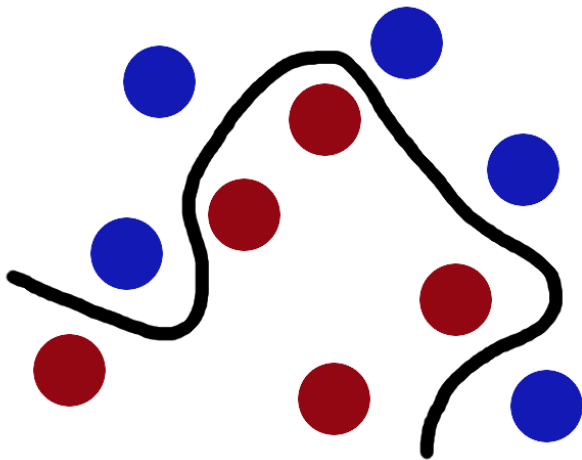
Support Vector Machine



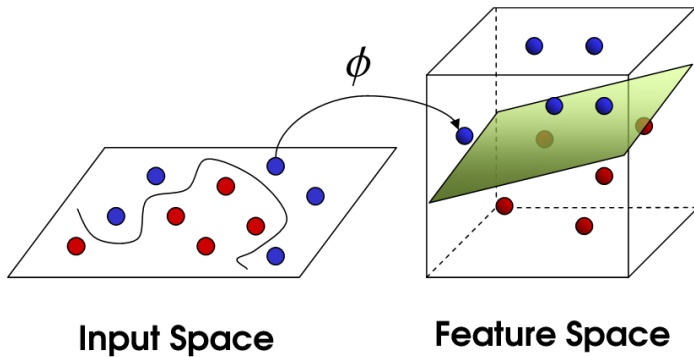
Support Vector Machine



Support Vector Machine



Support Vector Machine



Généralisation à un problème de régression logistique à $K > 2$ classes :

- One Vs All : K modèles. Agrégation par meilleur score.
- One Vs One : $\frac{K(K-1)}{2}$ modèles. Vote majoritaire.

Avez-vous des questions ?

Travaux Pratiques

Apprentissage Supervisé

Régression Linéaire - TP

Régression Polynomiale - Tutoriel

Regression Logistique - TP

SVM Tutoriel

[Random Forest - Tutoriel](#)

[Random Forest - TP](#)