

# Analyse, Classification et Indexation des données (ACID)

## Réduction de dimension, Partie 2 : LDA

Akka Zemmari

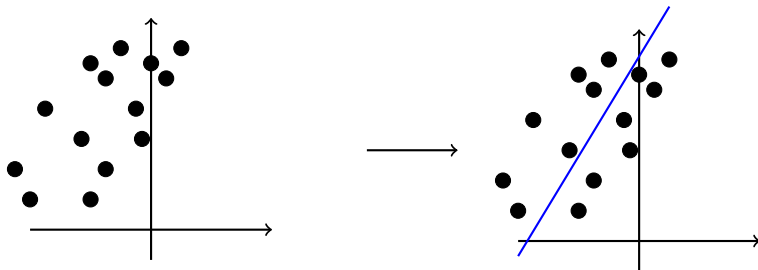
LaBRI, Université de Bordeaux

2023 - 2024

# Motivation

## Limites de l'ACP

- ▶ L'ACP est conçue pour représenter des données, et non pour les classifier,
  - ▶ elle préserve la variance autant que possible :

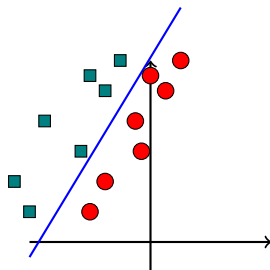
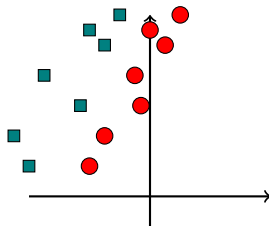


- ▶ si les directions à plus grandes variances coïncident avec les bons choix pour la classification alors elle peut servir.

## Motivation

### Limites de l'ACP

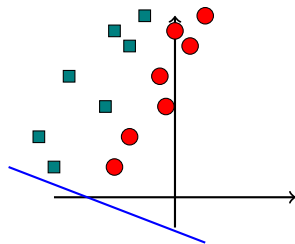
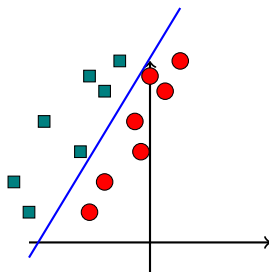
- ▶ L'ACP est conçue pour représenter des données, et non pour les classifier,
- ▶ En général, la direction conservant la plus grande variance peut ne pas être avantageuse pour la classification :



## Motivation

### Idée de base

- ▶ Préférer une projection sur une ligne concernant la séparation entre les classes :

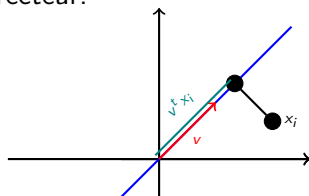


## Formalisation

- ▶ Supposons que l'on dispose d'un corpus avec  $n$  enregistrements  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , chacun de dimension  $d$ .
- ▶ Chaque élément  $x_i$  appartient à une classe.
- ▶ Le nombre de classes est 2 (classification binaire).
  - ▶  $n_1$  éléments appartiennent à la première classe,
  - ▶  $n_2$  éléments appartiennent à la seconde classe.

## Formalisation

- ▶ Supposons que l'on projette chaque élément  $x_i$  du corpus sur une droite passant par l'origine et ayant le vecteur unitaire  $v$  comme vecteur directeur.



- ▶ Le réel  $v^t x_i$  représente la distance entre la projection de  $x_i$  et l'origine,
- ▶  $v^t x_i$  est la projection de  $x_i$  sur un sous-espace de dimension 1.

## Que cherche-t-on à faire ?

### Questions

- ▶ Comment mesurer la qualité de la projection en terme de séparation des classes ?
  - ▶ Soit  $\mu_1$  et  $\mu_2$  les moyennes des éléments classés 1 et 2 resp.
  - ▶ Soit  $\tilde{\mu}_1$  et  $\tilde{\mu}_2$  leurs projections sur le nouvel axe :

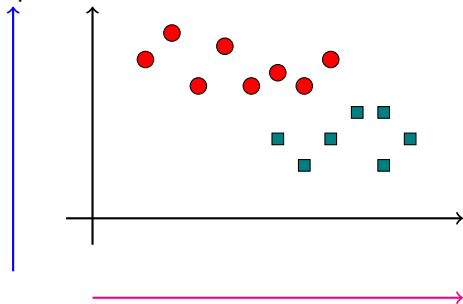
$$\tilde{\mu}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{x_j \in C_i} v^t x_j = v^t \left( \frac{1}{n_i} \sum_{x_j \in C_i} x_j \right) = v^t \mu_i$$

- ▶ Intuitivement, on a envie de choisir un axe tel que  $|\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2|$  soit la plus grande possible (pourquoi ?)

## A la recherche de la séparation ...

Est-ce toujours vrai ?

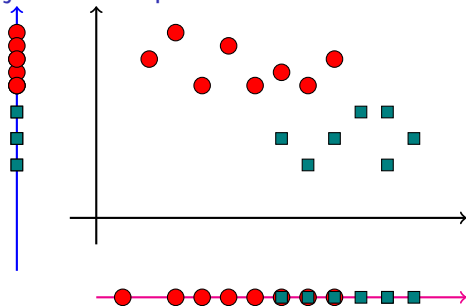
- ▶ Entre les deux axes suivants, lequel vous choisissez ? ( $D_1$ ) ou ( $D_2$ ) ? Pourquoi ?





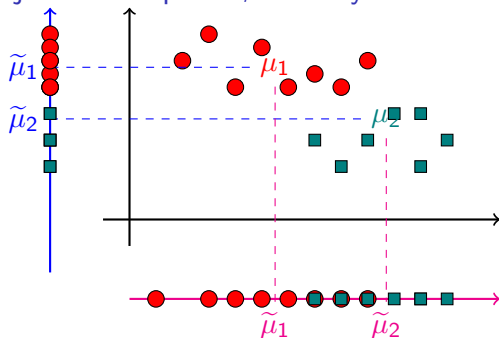
## A la recherche de la séparation ...

Voyons la projection des points ...



## A la recherche de la séparation ...

Voyons la projection des points, des moyennes et les distances :

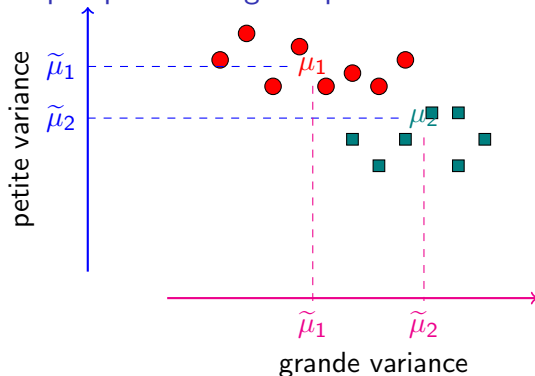


L'axe bleu semble meilleur que l'axe violet. Il préserve mieux la séparation des classes ... alors que les distances entre les projections des moyennes ne donnent pas cette impression.

Question : Qu'est-ce qu'on n'a pas pris en compte ?

## A la recherche de la séparation ...

Observons un peu plus le nuage de points



On doit normaliser (diviser) le terme  $|\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2|$  par un terme proportionnel à la variance

## Solution de Fisher

- ▶ On doit normaliser (diviser) le terme  $|\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2|$  par un terme proportionnel à la variance,
- ▶ Solution de Fisher : normaliser  $|\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2|$  en la divisant par la matrice de dispersion (scatter) :
  - ▶ Soit  $y_j = v^t x_j$  les projections des éléments du corpus,
  - ▶ la matrice de dispersion des projections des exemples de la classe  $C_i$  est donné par :

$$\tilde{s}_i^2 = \sum_{y_j \in C_i} (y_j - \tilde{\mu}_i)^2.$$

## Discriminant de Fisher

- ▶ On doit normaliser par la matrice de dispersion des deux classes
- ▶ La solution de Fisher est de projeter les éléments du corpus sur la ligne dans la direction  $v$  qui maximise :

$$J(v) = \frac{(\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2)^2}{\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2}$$

- ▶ Question : quelle est l'intuition ?

## Discriminant de Fisher

$$J(v) = \frac{(\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2)^2}{\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2}$$

Sur une figure :



## A la recherche de la meilleur direction

$$J(v) = \frac{(\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2)^2}{\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2}$$

- ▶ On doit exprimer  $J$  en fonction de  $v$  et chercher à la maximiser,
- ▶ On définit les matrices de dispersion de chacune des classes :

$$S_1 = \sum_{x_j \in C_1} (x_j - \mu_1)(x_j - \mu_1)^t, \quad S_2 = \sum_{x_j \in C_2} (x_j - \mu_2)(x_j - \mu_2)^t,$$

## A la recherche de la meilleur direction

$$J(v) = \frac{(\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2)^2}{\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2}$$

- ▶ On définit la matrice de dispersion intra-classes :

$$S_w = S_1 + S_2$$

- ▶ on montre que :

$$\tilde{s}_1^2 = v^t S_1 v \quad \text{et} \quad \tilde{s}_2^2 = v^t S_2 v$$

Ainsi :

$$\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2 = v^t S_w v$$



## A la recherche de la meilleur direction

$$J(v) = \frac{(\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2)^2}{\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2}$$

- ▶ On définit à présent la matrice de dispersion inter-classes :

$$S_B = (\mu_1 - \mu_2)(\mu_1 - \mu_2)^t$$

$S_B$  mesure alors la séparation entre les deux moyennes des classes (avant projection).

- ▶ on montre que :

$$(\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2)^2 = v^t S_B v.$$

Ainsi :

$$J(v) = \frac{v^t S_B v}{v^t S_w v}$$

## A la recherche de la meilleur direction

$$J(v) = \frac{v^t S_B v}{v^t S_w v}$$

- ▶ Il faut donc résoudre l'équation

$$\frac{d}{dv} J(v) = 0$$

- ▶ Comme pour l'ACP, on résout l'équation et on trouve que la meilleur direction est celle donnée par le vecteur :

$$v = S_w^{-1} (\mu_1 - \mu_2)$$

## Exemple

**Voir le jupyter notebook**