

S4 1 Methodes multidimensionnelles 1 : ACP, SPH, ACPf

Table of contents

1	Introduction	1
2	Principe des composantes principales	2
3	Utilisations en statistiques	10
4	Plan sur lequel les points sont des variables plutôt que des sujets	10
5	Représentation en sphère	12
6	En d'autres termes :	14
7	Conclusion	15
8	Références	15

1 Introduction

En Data Science : Y = la variable **à prédire**

→ On cherche + à expliquer qu'à prédire

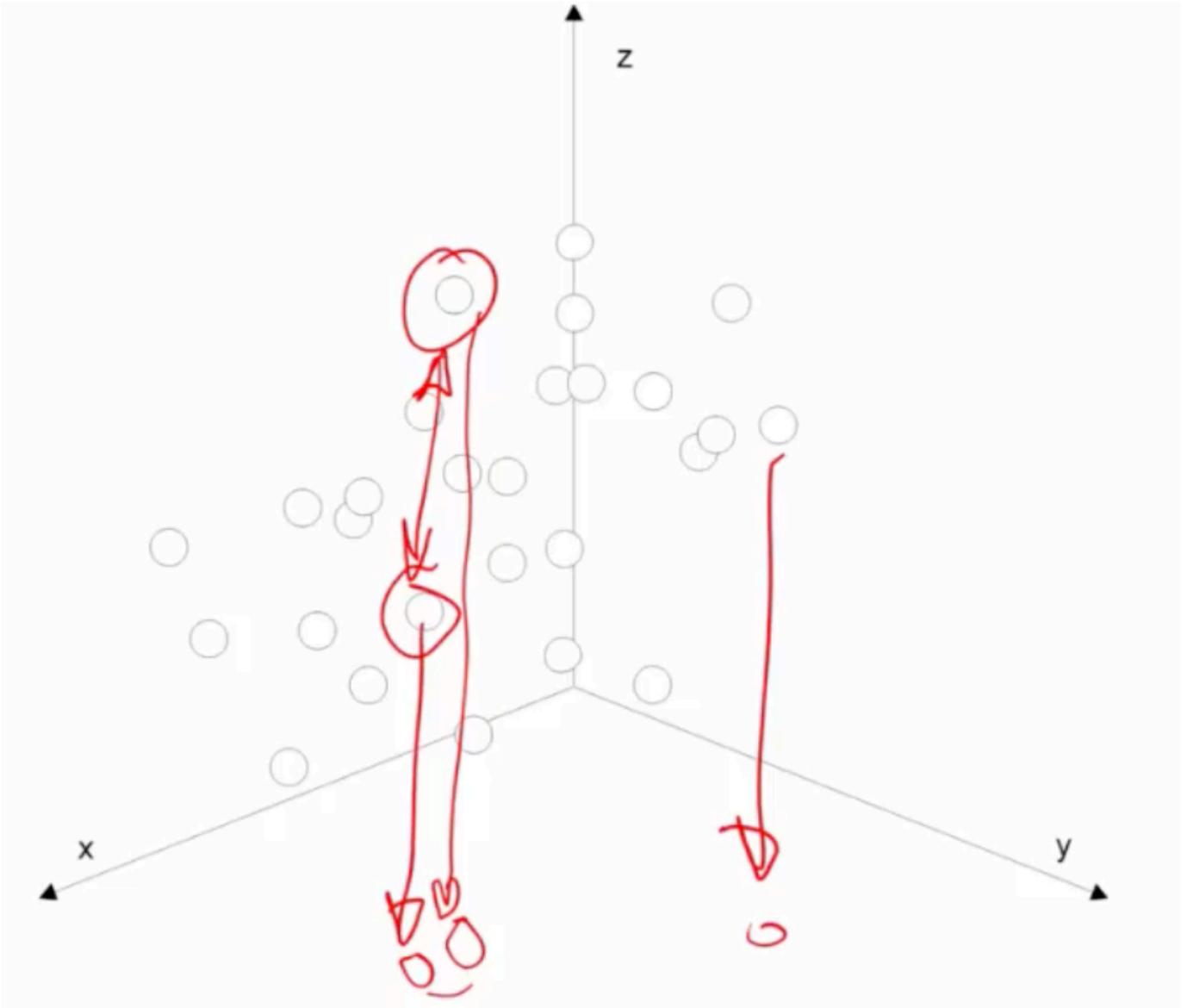
Objectif des méthodes multidimensionnelles = **réduire le nombre de dimensions**

- Dimensions = variables explicatives (X_1, X_2, \dots, X_k)
- Objectif : voir en "moins de dimensions" (2D, 3D) ce qui se passe dans un espace à k dimensions

Une méthode : projeter dans un espace de dimension inférieure !

2 Principe des composantes principales

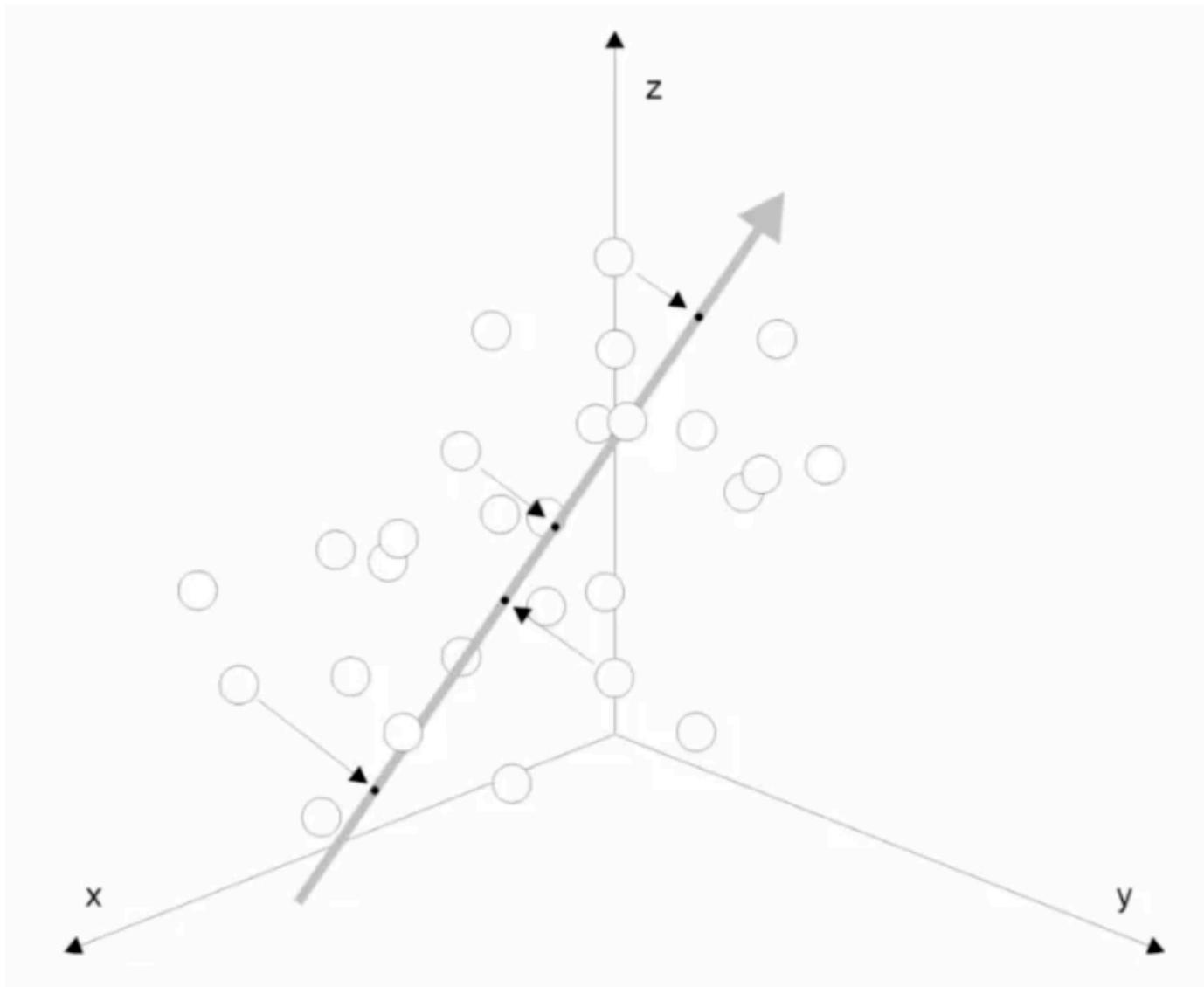
Mais réduction des dimensions = **distorsion** !



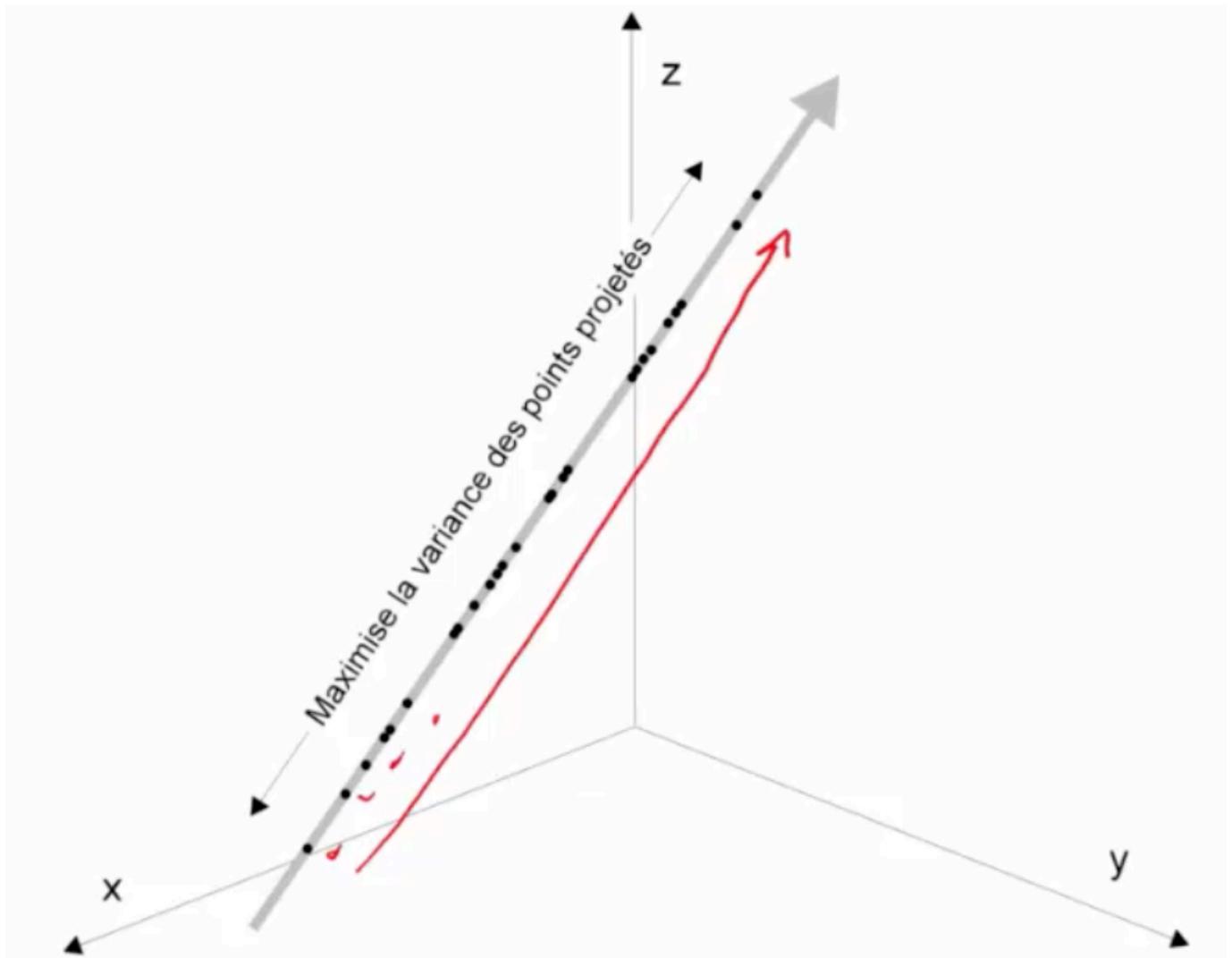
Une méthode : trouver une droite sur laquelle la variance des points projetés est la plus grande possible.

En gros : c'est la droite selon laquelle les points sont le plus étalés.

avec variance = dispersion des points autour de la moyenne

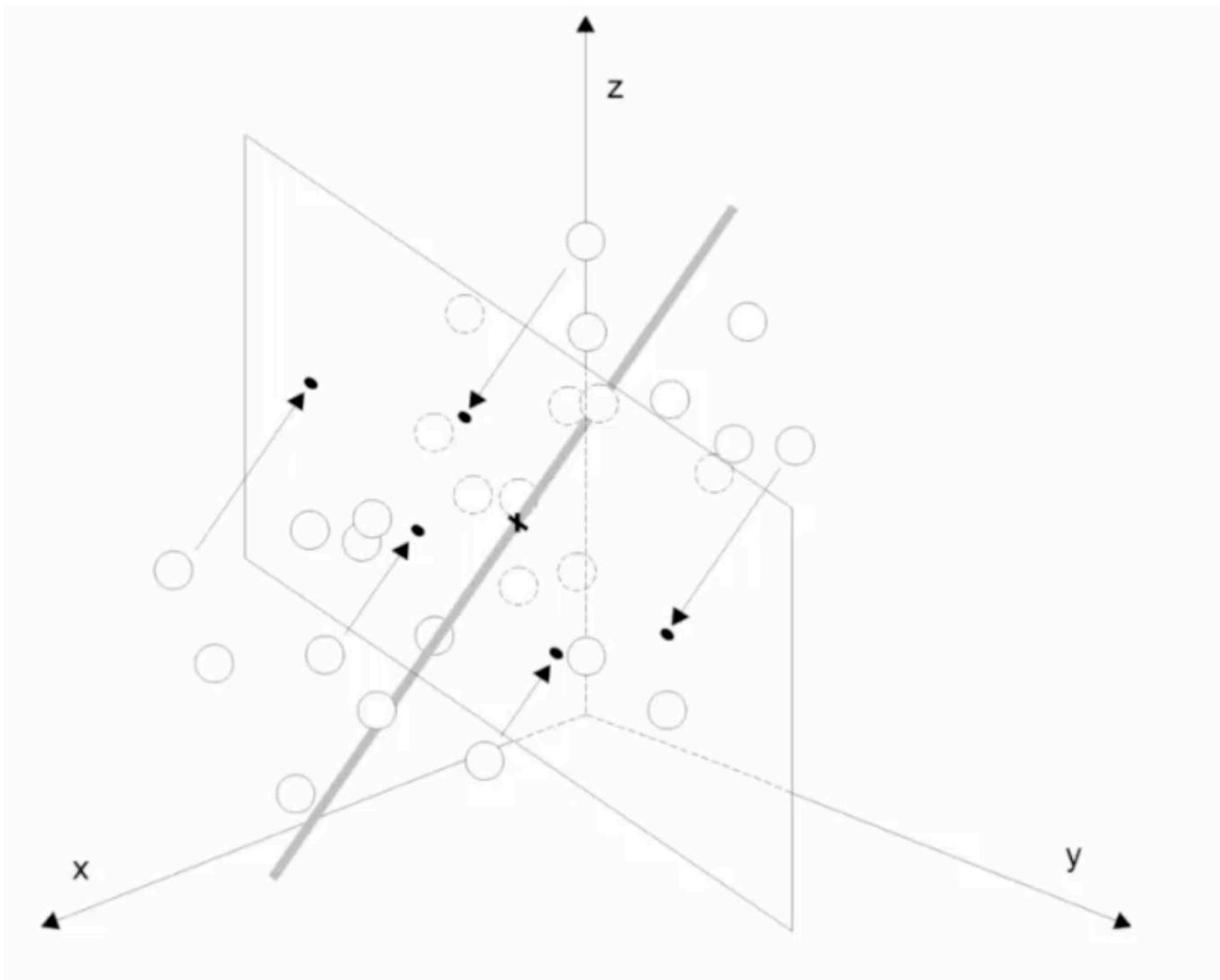


La droite qui maximise la variance des points projetés est la **1ère composante principale (PC1)**

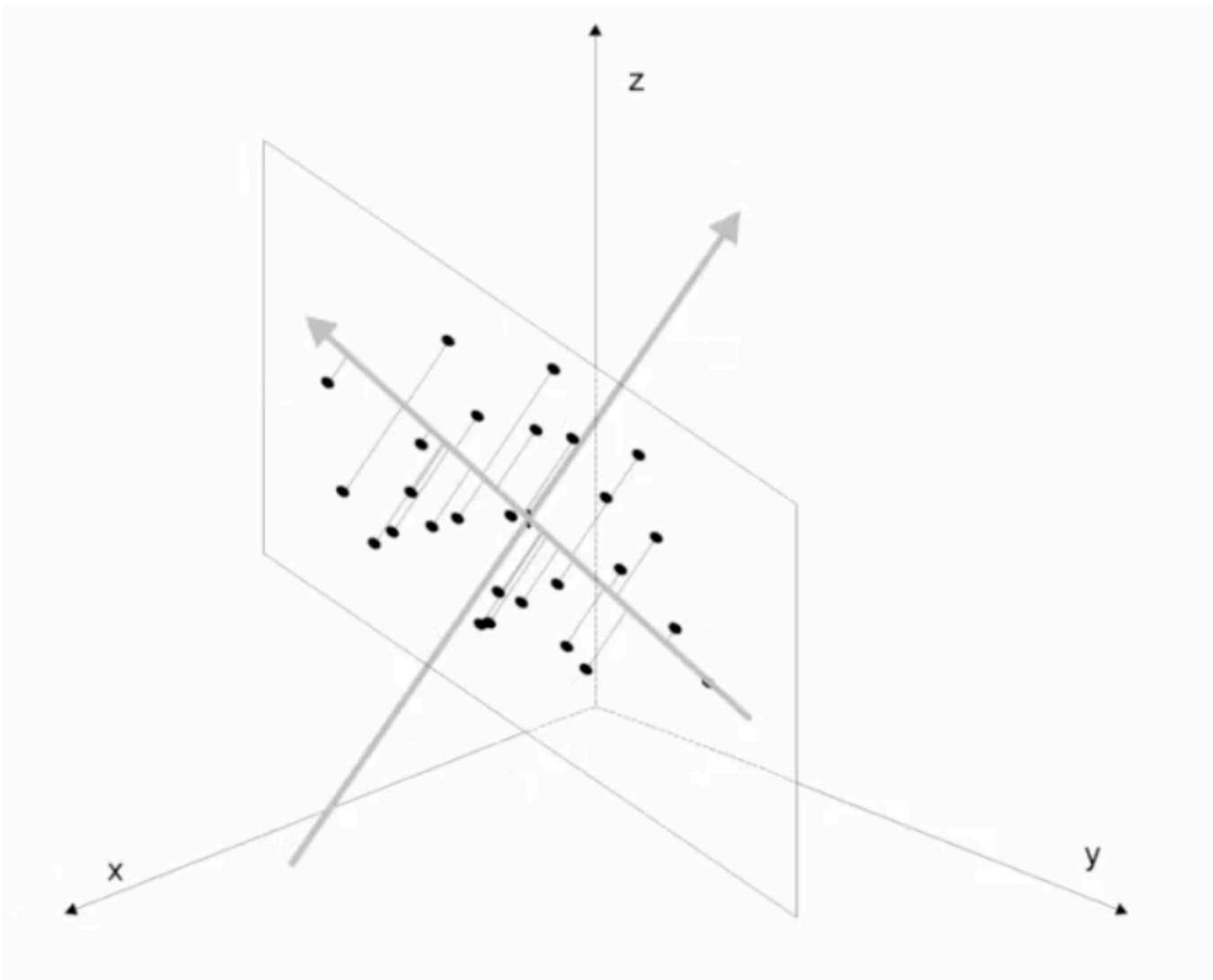


Ensuite :

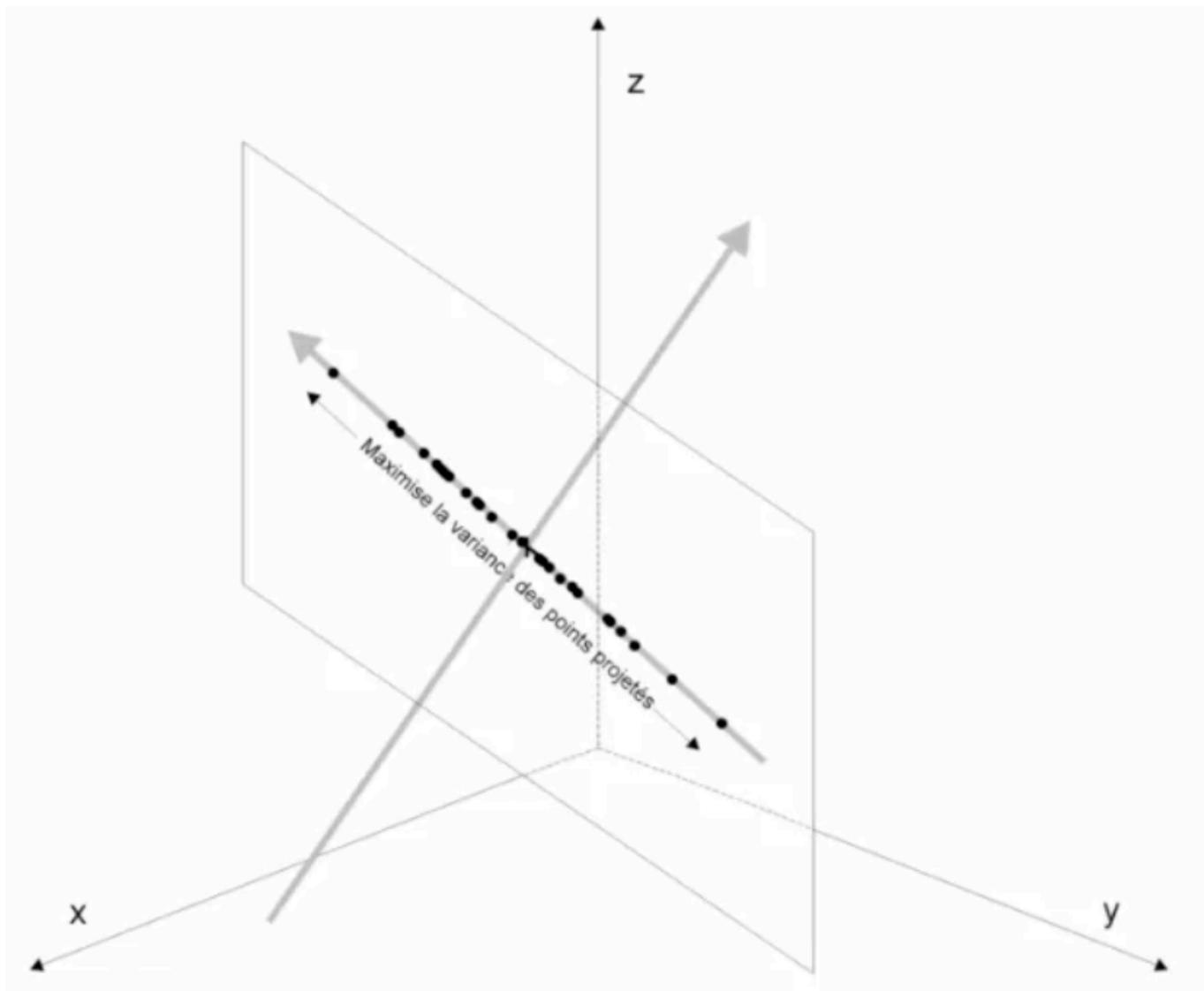
- prendre le plan perpendiculaire à la première composante principale
- et projection des points sur le plan
- On obtient un nouveau nuage de points sur ce plan



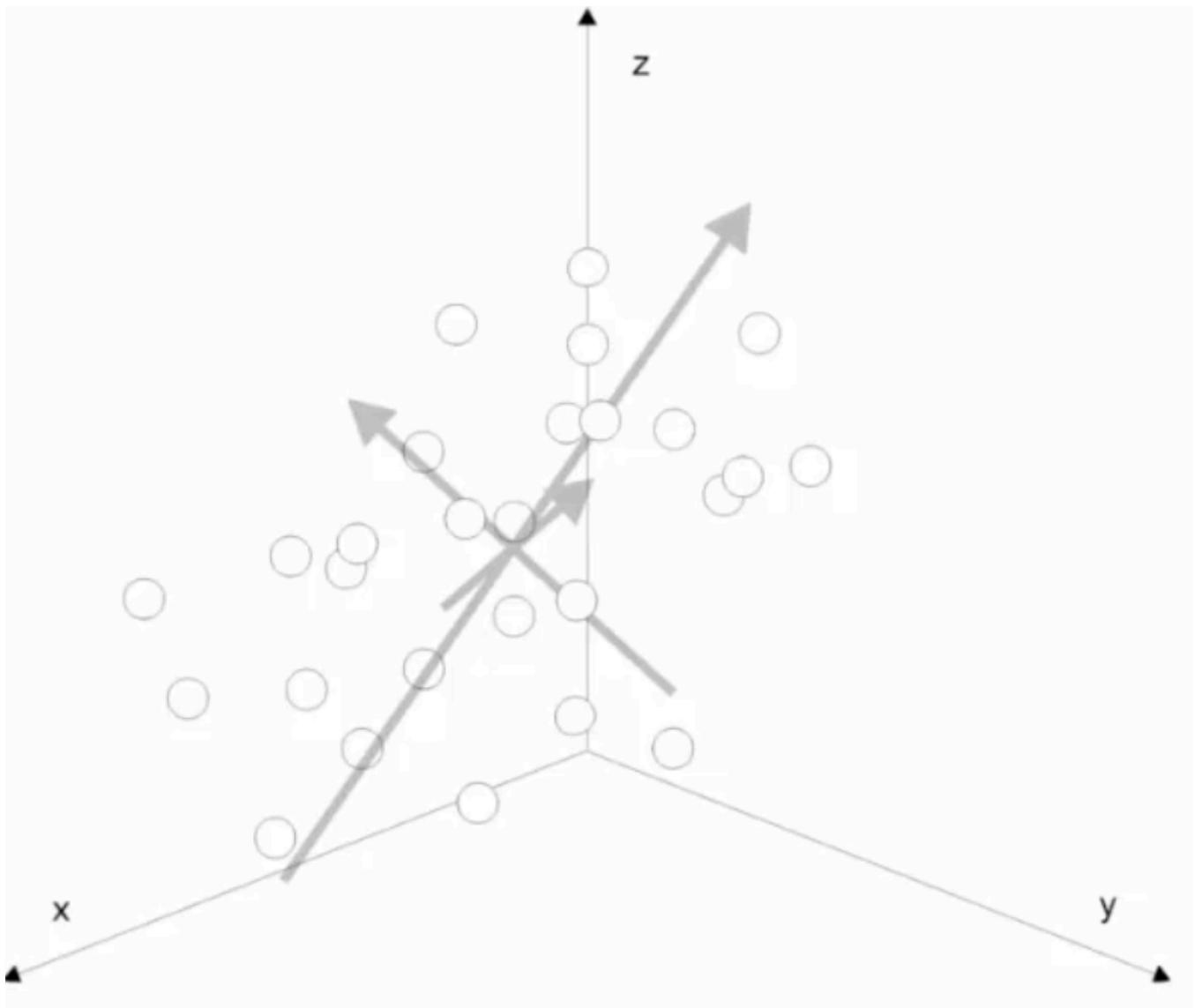
Ensuite on cherche la 1ère composante principale (ACP1) de ce nouveau plan : càd la droite par laquelle la variance des points projeté est maximale



On obtient les deux premières composantes principales.



Donc la 3e composante principale est celle qui est perpendiculaire aux 2 premières :

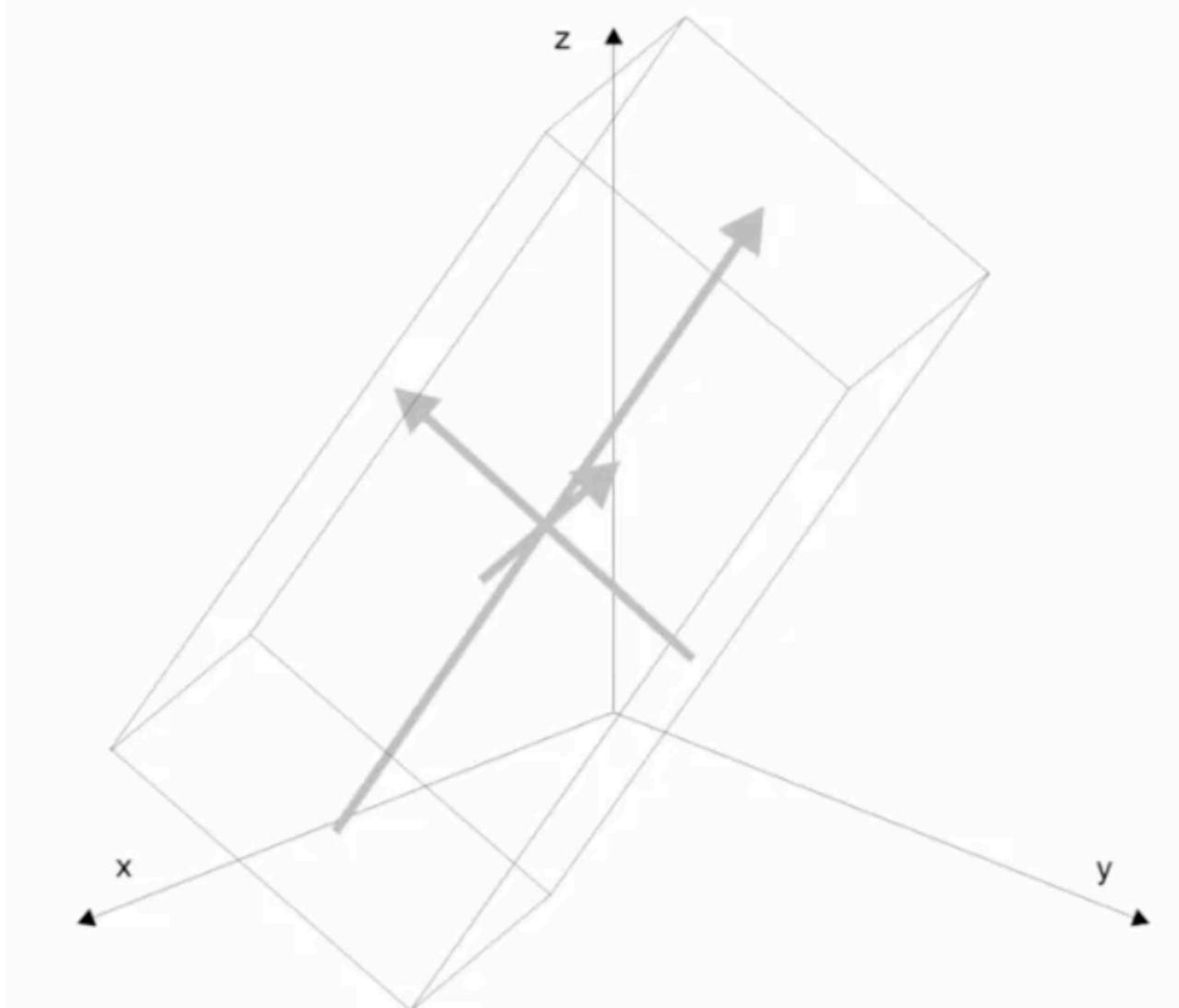


En résumé :

- **1ère composante principale (PC1) :**
 - droite qui maximise la variance des points projetés (le nuage de points s'étire le plus possible)
 - et plan sur lequel le "pied" ou le "résidu" des points projetés est le plus petit possible (distance entre le point et sa projection sur la droite)
 - Et comme les points projetées ont un résidu faible, ils sont les plus proches possible des points d'origine
 - C'est donc ce qui déforme le moins
- **2ème composante principale (PC2) :** droite perpendiculaire à PC1 qui maximise la variance des points projetés sur le plan perpendiculaire à PC1 (dans ce qui est perpendiculaire à PC1, PC2 est la droite selon laquelle les points sont le plus étirés)
- **3ème composante principale (PC3) :** droite perpendiculaire à PC1 et PC2 qui maximise la

variance des points projetés sur le plan perpendiculaire à PC1 et PC2

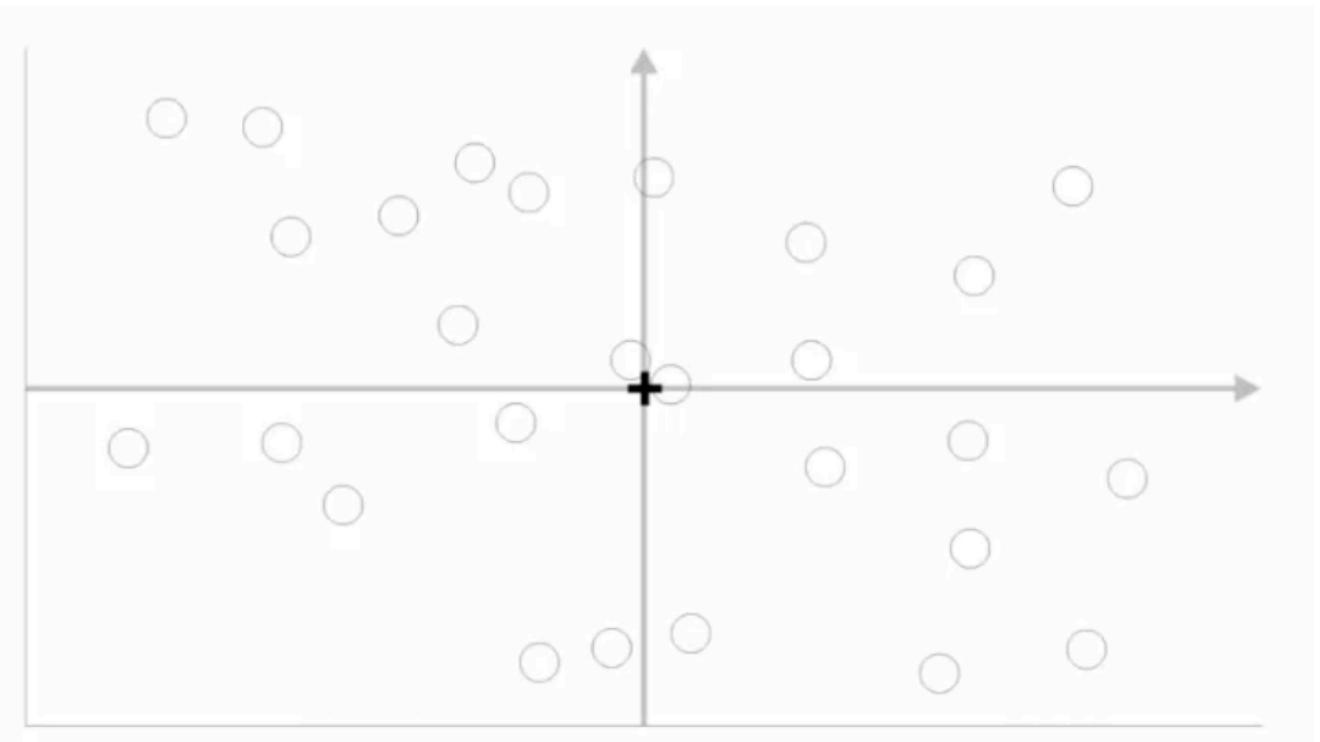
Si on représente les composantes principales dans une longueur qui correspond à la variance des points projetées, on obtient une boîte !



Questions :

- Si jamais il y a deux droites pour lesquelles on obtient la même variance → ça n'arrive jamais !
- Algébriquement : on passe par des **matrices** à 3×3 car 3 dimensions qu'on diagonalise (diagonalisation = trouver les vecteurs propres et valeurs propres)
 - Vecteurs propres = directions des composantes principales
 - Valeurs propres = variances des points projetés sur les composantes principales

A la fin :



Retenir :

- On a des points dans un espace à k dimensions
- On cherche des droites (composantes principales) qui maximisent la variance des points projetés (directions selon lesquelles les points sont le plus étirés)

3 Utilisations en statistiques

- Visualisation de données multidimensionnelles
- Prendre les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) et faire un graphique 2D

4 Plan sur lequel les points sont des variables plutôt que des sujets

En reprenant un dataframe classique :

X correspondent à des variables

Sujet	X1	X2	X3	X..	X40
S1	2	5	3		3
S2	4	3	6		6

Sujet	X1	X2	X3	X..	X40
S3	1	4	8		8
S...					
S1000	1	4	8		2

Ici :

- 1000 points
- Dans un espace à 40 dimensions

Si on projète sur le premier plan principal : projections sur 2 variables Z1 et Z2 (rajoutées dans le dataframe)

Si on renverse le jeu de données, ça donne un dataframe :

Variable	S1	S2	S3	...	S1000
X1	2	4	1		
X3	3	6	8		
X..					
X40	3		6	8	

Et donc ici :

- 40 points
- Dans un espace à 1000 dimensions

et X1 est un point dans un espace à 1000 dimensions.

En réalité :

- 2 points dans un espace à 3 dimensions : 2 points sur une droite donc en réalité, 2 points dans un espace à 1 dimension
- Idem dans 1000 dimensions : y a plein de dimensions qui ne servent à rien

NB : il faut “normaliser” = centrer et réduire les données avant de faire une ACP ! → C'est à dire soustraire la moyenne et diviser par l'écart-type

Comme on normalise les variables :

- Moyenne de $X_i = 0$
- Ecart-type de $X_i = 1$ et variance de $X_i = 1$ (car variance = écart-type au carré)

*Pourquoi la moyenne = 0 ?

- En soustrayant la moyenne de l'ensemble des valauers à chacune des valeurs, on centre les données autour de 0
 - Par exemple : $5 + 10 + 15 = 30 / 3 = 10$ (moyenne) ;
 - et en soustrayant 10 à chaque valeur : $-5 + 0 + 5 = 0$

Mais pourquoi centrer et réduire ?

- Si on ne centre pas et réduit pas : les variables avec la plus grande variance vont dominer les composantes principales
- En centrant et réduisant : on met toutes les variables sur le même pied d'égalité

5 Représentation en sphère

Pourquoi, à la fin, les variables centrées-réduites forment une sphère dans l'ACP ?

- Imaginons p variables (par exemple $p = 40$).
- L'ACP cherche p composantes principales (PC_1, PC_2, \dots, PC_p) : c'est à dire p nouvelles dimensions perpendiculaires entre elles.
- Pour chaque variable d'origine (par ex "âge", "créatinine", "CRP"...), on peut mesurer dans quelle direction la variable pointe dans ce nouvel espace (c'est à dire dans quelle direction la variable "âge" pointe dans l'espace défini par les composantes principales).
- Ces directions sont données par les corrélations entre la variable et chaque composante principale.

Exemple : - $\text{corr}(\text{age}, PC_1) = 0.8$

- $\text{corr}(\text{age}, PC_2) = 0.5$

Alors la variable "âge" est représentée par la flèche allant $(0.8, 0.5)$.

Représentation en sphère car les longueurs des flèches = 1

- Variables centrées-réduites et avec longueur des flèches = variance
 - Moyenne = 0 (point d'origine des flèches)
 - Variance = 1 (longueur des flèches)

$$\text{corr}^2(X, PC_1) + \text{corr}^2(X, PC_2) + \dots + \text{corr}^2(X, PC_p) = 1$$

C'est un résultat direct du fait que l'ACP décompose entièrement la variance initiale.

Toutes les variables — sans exception — se transforment en flèches de longueur 1.

Elles ne peuvent donc exister que sur une surface dont tous les points sont à distance 1 du centre.

Pourquoi cette surface est une SPHÈRE (et un cercle quand en 2D) ?

Une sphère = ensemble des points dont la distance au centre = 1.

Exemples :

- en 1D ☐ deux points : -1 et +1
- en 2D ☐ un cercle
- en 3D ☐ une sphère
- en p dimensions ☐ une hypersphère

Comme toutes tes flèches ont une longueur = 1, leurs extrémités se trouvent toutes à distance 1 du centre.

Donc : dans l'espace complet (p dimensions) ☐ c'est une hypersphère

```

library(psy)
# Jeu de données fictif pour illustration
set.seed(123)
df_fake <- data.frame(
  age = rnorm(100, 50, 10),
  rs = rnorm(100, 100, 15),
  ed = rnorm(100, 12, 2),
  dr = rnorm(100, 5, 1)
)

# ACP plane (cercle)
mdspca(df_fake)

```

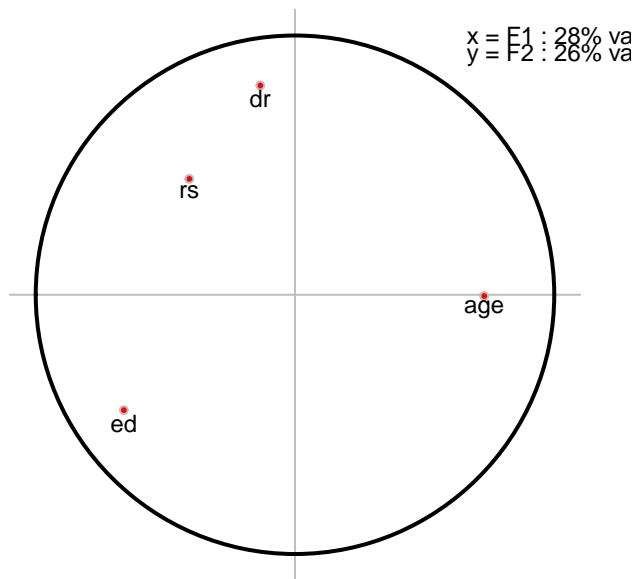


Figure 1: Représentation en sphère des variables dans une ACP

```

# ACP sphérique (variables sur la sphère unité)
sphpca(df_fake, v = 55)

```

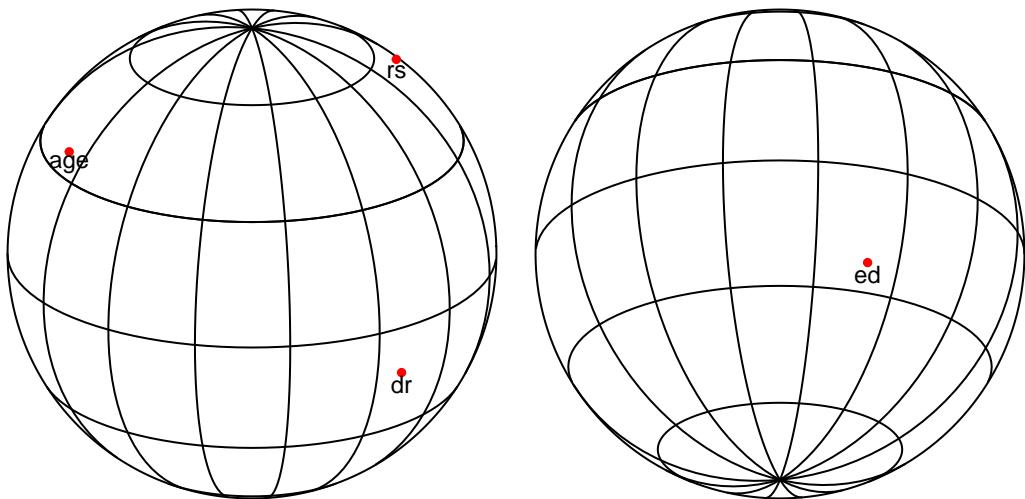


Figure 2: Représentation en sphère des variables dans une ACP

6 En d'autres termes :

1. Centration-réduction

Chaque variable est transformée pour avoir :

- une moyenne = 0 (centrée)
- une variance = 1 (réduction)

Cela garantit que toutes les variables ont le même poids dans l'ACP. Et surtout : la variance totale à "répartir" pour chaque variable est exactement 1. □

2. L'ACP décompose cette variance

L'ACP fabrique des axes perpendiculaires entre eux (PC1, PC2, PC3...).

Chaque variable d'origine est représentée dans ce nouvel espace comme une flèche (un vecteur), dont les coordonnées sont les corrélations entre la variable et chaque composante principale.

- La longueur de la flèche est égale à 1 (car variance = 1)
- et les coordonnées de la flèche sont les corrélations entre la variable et chaque composante principale.
 - $\text{corr}(X, \text{PC}1)$ □ la position de la variable sur l'axe PC1
 - $\text{corr}(X, \text{PC}2)$ □ la position sur l'axe PC2

Relation entre variance et corrélation :

- Variance(X) = somme des corrélations² entre X et chaque composante principale
- Si on représentait sur l'ensemble des composantes principales (mais c'est pas possible pour l'oeil humain), toutes corrélations seraient à 1.
- Ce qu'on voit en 2D, c'est une projection partielle de cette sphère dans un plan.

5. Interprétation :

- Variables proches entre elles = variables corrélées (deux variables proches \Leftrightarrow corrélées positivement)
- Deux variables opposées par $180^\circ \Leftrightarrow$ corrélation négative
- Deux variables perpendiculaires \Leftrightarrow corrélation ≈ 0
- Longueur = qualité de représentation dans le plan (c'est à dire qu'elle est bien représentée par les deux composantes principales)

7 Conclusion

- Centration-réduction : force chaque variable à avoir une variance = 1
- ACP : exprime exactement cette variance comme la somme des carrés de ses corrélations aux composantes principales
- La longueur de chaque vecteur-variable = 1 (car variance = 1)
- Chaque variable est projetée selon sa corrélation aux composantes principales
- La corrélation = coordonnée de la variable dans le plan des composantes principales
- Donc les variables proches entre elles sont corrélées

8 Références

Vidéo Falissard :

- [Blog larmarange](#)
- [Webin-R](#)
- [Site ministère](#)