

# Prévision de pertes RTE

Pia CHANCEREL, Louis HEMADOU, François MEDINA

Mai 2020

- 1 Introduction
- 2 Récupération des données
- 3 Modèles de prédiction
- 4 Sélection de variables
- 5 Conclusion

## Section 1

### Introduction

# Contexte

- RTE : gestion du réseau haute tension français
- 2,5% de la consommation perdue : 500 M€
- Objectif : modèle de prédiction de pertes

# Problématique

- 35 variables explicatives
- Prédiction à long terme (1 an)

# Ressources

- Base de données : 35 variables et pertes horaires
- Rapport de stage sur la prédiction de pertes

# Objectif

- Identifier les variables significatives
- Identifier et paramétrer un algorithme de prédiction efficace

## Section 2

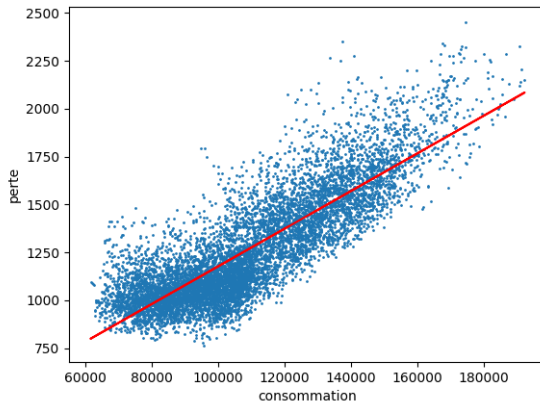
# Récupération des données



# Réception

- Activité du réseau (consommation, production, énergie) :  
eco2mix
- Pertes relevées : portail client RTE

# Visualisation



# Description

- date/heure : représentatif de l'activité et du climat
- consommation, prévisions : charge et imprévus
- production : régimes d'activation et de charge du réseau
- échanges : charge supplémentaire sur des points individuels

## Traitement des fichiers

- encodage utf-8, comma separated values
- colonnes en snake\_case
- dates/heures numériques

pertes au même format que les données de consommation/production/échanges :

- élimination des lignes parasites (commentaires)
- un fichier par an
- une ligne par heure (colonnes jour/mois pour accès facile en observation)

## Section 3

# Modèles de prédiction

# Validation d'un modèle

- Validation croisée pour éviter le sur-apprentissage.
- Coefficient de détermination  $R^2$  pour expliquer la proportion de variance des pertes expliquée par un modèle.
- Entraînement des modèles avec des données normalisées, standardisées ou orthogonalisées.

# Régression linéaire

Dépendance linéaire à déterminer :

$$f(x, \epsilon) = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x^j + \epsilon$$

Problème d'optimisation à résoudre :

$$\min_{\beta \in \mathbb{R}^{p+1}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{x}_i \beta)^2 + \lambda \|\beta\|_2$$

# Régression linéaire

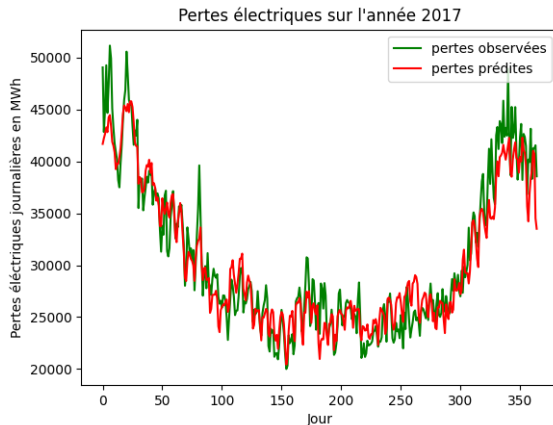
Résultats selon le pré-traitement des données :

<b>traitement</b>	<b><math>R^2</math></b>
normalisation	0.80
standardisation	0.83
orthogonalisation	-1.9



# Régression linéaire

De bons résultats en standardisant ou en normalisant les données :



# Machine à noyau

Passage au problème dual et introduction du kernel:

$$\max_{\alpha \in \mathbb{R}^n} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\alpha_i y_i - \frac{\alpha_i^2}{4}) - \frac{1}{2\lambda n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j \varphi(x_i) \cdot \varphi(x_j)$$

On pose  $K(x_i, x_j) = \varphi(x_i) \cdot \varphi(x_j)$

Noyaux communément utilisés:

- Noyau gaussien:  $K(x_i, x_j) = \exp(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2})$
- Noyau polynomial:  $K(x_i, x_j) = (1 + x_i \cdot x_j)^q$

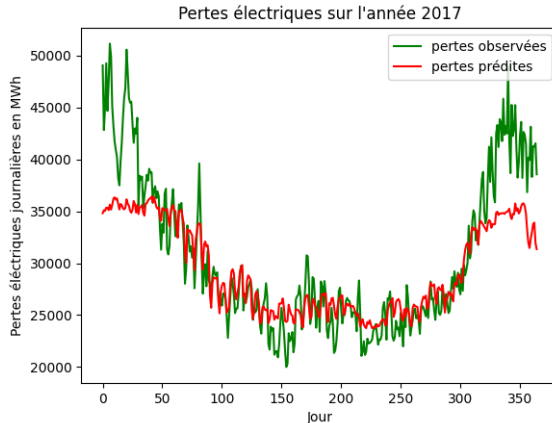
# Machine à noyau

Coefficient de détermination selon le prétraitement :

<b>traitement</b>	<b><math>R^2</math></b>
normalisation	0.63
standardisation	0.61
orthogonalisation	-0.17

# Machine à noyau

Résultats avec la machine à noyau, données standardisées :



# Réseau de neurones

- Utilisation des bibliothèques Keras et Tensorflow
- La complexité se trouvait dans la recherche d'une bonne architecture
- structure de réseau retenue:

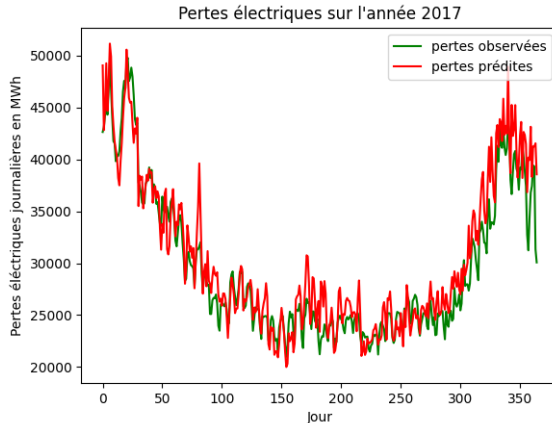
neurones	activation
400	sigmoïde
400	sigmoïde
100	ReLU
1	linéaire (sortie)

# Réseau de neurones

<b>traitement</b>	$R^2$
normalisation	0.86
standardisation	0.83
orthogonalisation	0.48

# Réseau de neurones

Résultats avec un réseau de neurones, données normalisées



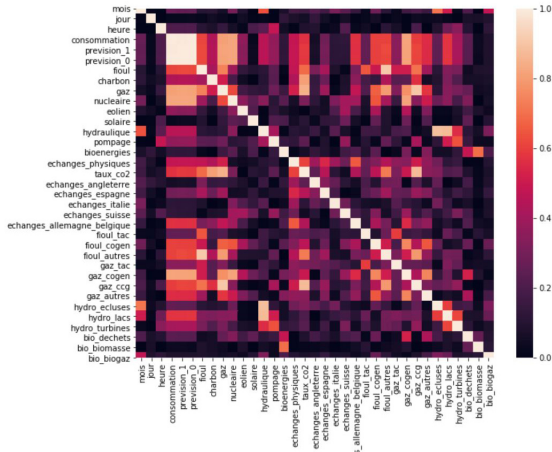
## Section 4

### Sélection de variables



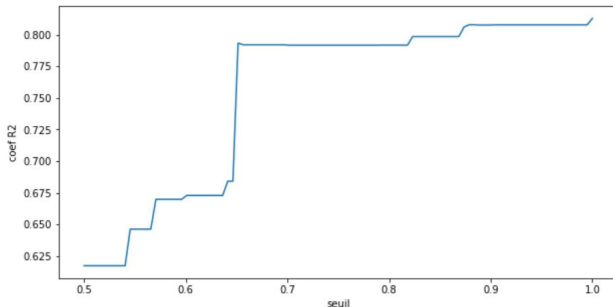
# Élimination des doublons

Corrélation de Pearson :  $\rho(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$



## Élimination des doublons

Coefficient de détermination selon le seuil d'élimination :



seuil à  $0.8 > 0.65$ , supprimant consommation, prevision\_0, fioul, gaz, hydraulique, hydro\_lacs, taux\_co2, 1.4% de perte

## Sélection des variables explicatives

La corrélation de Pearson ne suffit plus pour l'explication des pertes :

- sensibilité aux valeurs extrêmes
- relations non linéaires

On cherche donc d'autres méthodes.

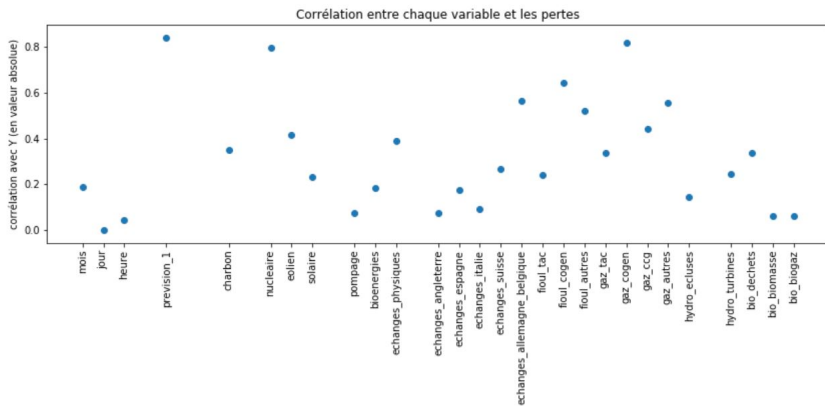
# Sélection des variables explicatives

Méthodes de filtrage :

- matrices de corrélation (de Pearson)
- PCA (Principal Component Analysis)

# Corrélation avec les pertes

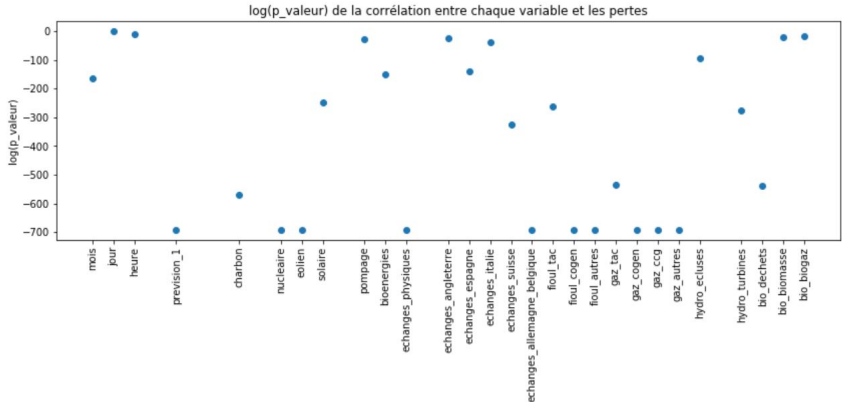
Corrélation de chaque variable avec les pertes :



Beaucoup de variables peu significatives ( $-0.5 < \rho < 0.5$ )

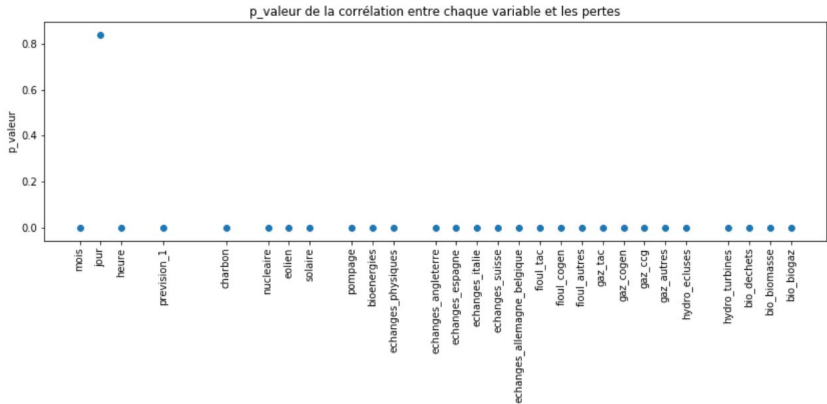
# P-value

p-valeur avec `scipy.stats` : probabilité du même  $\rho$  dans un système décorrélé



# P-value

Sans le log on trouve un outlier :



variation des pertes à des échelles plus courtes ou moins longues  
qu'un jour

## Corrélation avec les pertes

mois, jour, solaire, echanges\_italie, echanges\_suisse, bio\_biomasse et bio\_biogaz :

- Corrélation à 0
- Pas de relation linéaire : exclues pour la régression linéaire
- En les excluant :  $R^2$  de 0.3805 à 0.799, soit 0.7%
- Comparé au doublons : 2 fois moins de perte, même nombre d'éliminés



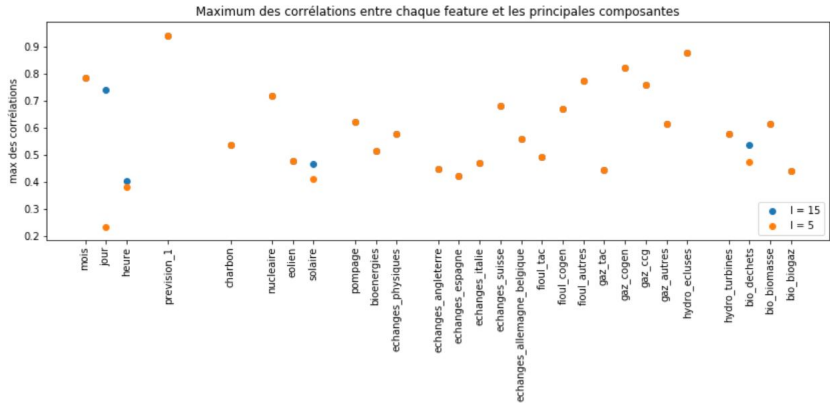
# Analyse en composantes principales

Variables  $x_i$ , covariance  $K$ , composantes principales  $c$  et valeurs propres  $\lambda$  associées aux vecteurs  $e$ . Corrélation entre variable et composante principale :

$$\text{Corr}(c^l, x^j) = \frac{\sqrt{\lambda_l} e_l^j}{K_{i,i}} \quad (1)$$

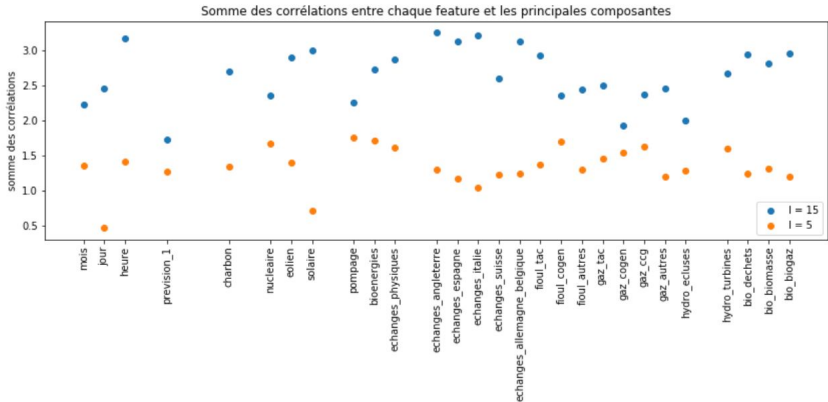
# PCA

max des corrélations par variable :



# PCA

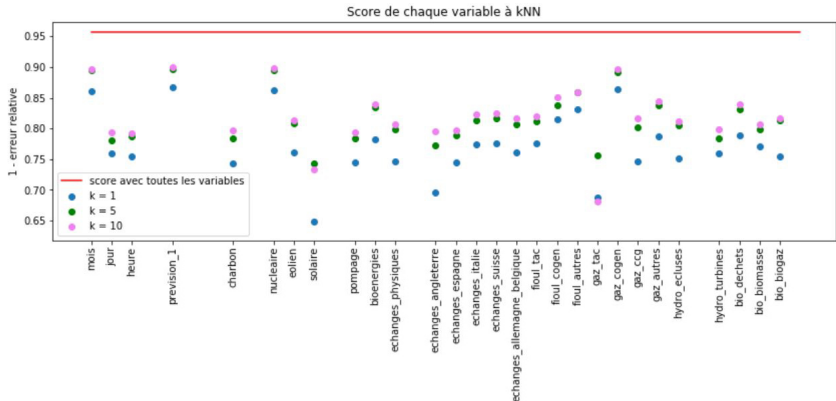
somme des corrélations par variable :



# PCA

- La consommation a un maximum très élevé pour une somme faible : elle est presque à elle seule une composante principale
- heure, solaire et certains échanges disparaissent en restreignant le nombre de composantes.

# k Nearest Neighbors

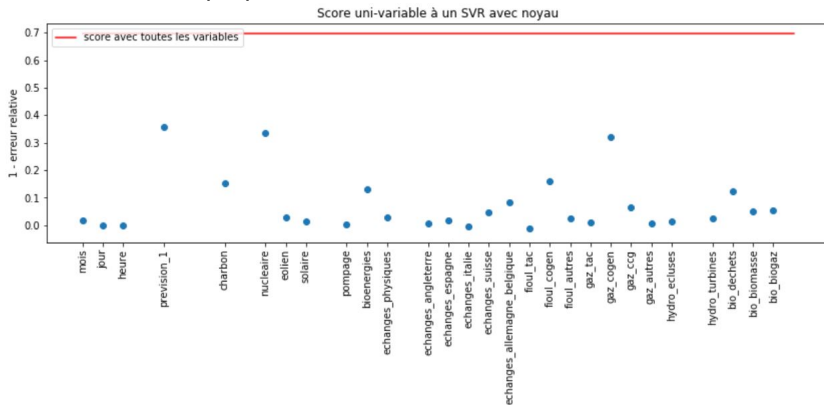


## k-NN

- mois, prevision\_1, nucléaire et gaz\_cogen sont performantes, même avec peu de voisins
- solaire et gaz\_tac sont peu performantes
- Les autres dans une bande moyennée entre 0.75 et 0.9 : non concluant

# Support Vector Regressor

Noyau gaussien de paramètre 0.001 et constante de tradeoff 1, entraîné sur 10 époques et 100 observations.

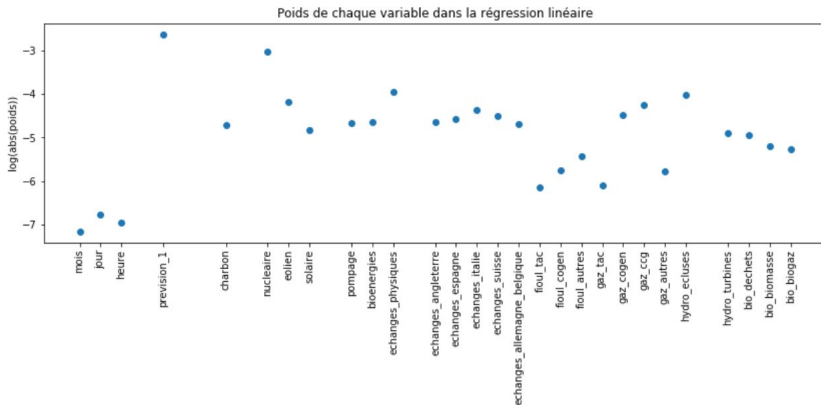


# SVR

- On retrouve `prevision_1`, `nucleaire` et `gaz_cogen` performants
- Quelques  $R^2$  négatifs : susceptibles de fausser les prédictions  
`jour`, `echanges_angleterre`, `echanges_italie`,  
`fioul_tac`, `gaz_tac`



# Poids de la régression linéaire



Les différences de poids peuvent être dues aux différences d'échelle

## Test de Student sur les poids

$$f(x, \varepsilon) = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x^j + \varepsilon$$

On suppose que les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et suivent une  $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$ .

Hypothèses nulle et alternative:

$$H_0 = \{\beta_j = 0\}, H_1 = \{\beta_j \neq 0\}$$

## Test de Student sur les poids

Le test de Student consiste à rejeter  $H_0$  si on a :

$$\left| \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 \rho_j}} \right| > t_{n-p-1, 1-\alpha/2}$$

- $\rho_j$  est le j-ième coefficient diagonale de la matrice  $(X^T X)^{-1}$
- $t_{n-p-1, 1-\alpha/2}$  est le quantile d'ordre  $1 - \alpha/2$  d'une loi de student à  $n-p-1$  degrés de liberté.
- $\hat{\beta}$  et  $\hat{\sigma}$  sont des estimateurs de  $\beta$  et  $\sigma$ .
- $\alpha$  quantifie le niveau du test (erreur de type I)

# Test de Student sur les poids

Résultats:

- On fixe  $\alpha = 5\%$ .
- Le test de Student élimine 12 variables explicatives.
- Réseau de neurones avec données normalisées:  $R^2 = 0.86 \rightarrow R^2 = 0.85$ .

## Section 5

### Conclusion

# Difficultés

- différentes installation python : contournement avec jupyter notebook, organisation du code
- factorisation difficile : beaucoup de paramètres entrent en jeu
- travail à distance

# Résultats

- Élimination de nombreuses variables inutiles ou redondantes, en lien avec intuitions
- Résultats très satisfaisants avec certains modèles

<i>Variables conservées</i>	<i><math>R^2</math> de la prédiction obtenue</i>
Toutes	0.865
Test de Student	0.858
Test de Student inverse	0.501
Doublons	0.849
Toutes méthodes considérées	0.833

## Pour aller plus loin

- Évolution de la relation entre variables explicatives potentielles et pertes
- Transformation préalable des variables (périodicité notamment)



# Remerciements

- Aboubakr MACHRAFI (stagiaire RTE)
- Valentin CADORET, Virginie DORDONNAT (RTE)
- Gabriel STOLTZ (ENPC)
- David PICARD (ENPC)