

Une approche d'apprentissage automatique pour la recharge intelligente des véhicules électriques

Karol Lina López
karol-lina.lopez.1@ulaval.ca

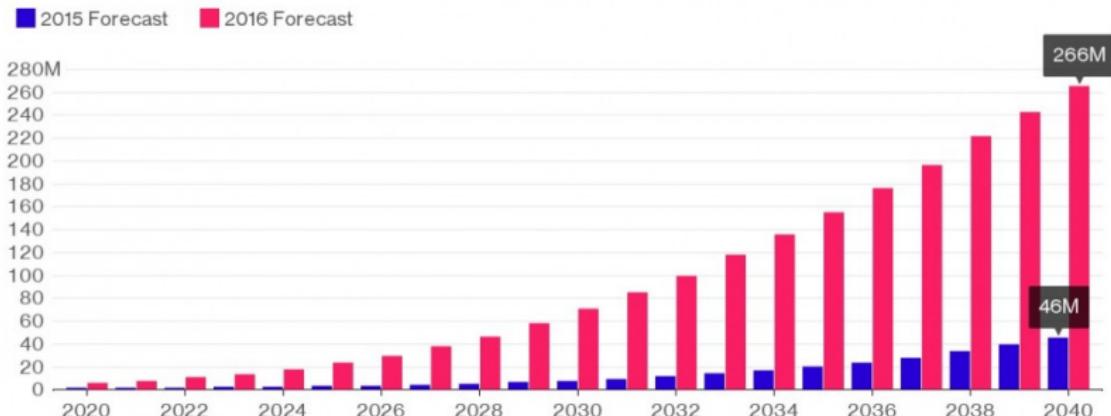
22 jan 2019



Véhicules électriques : portrait de la situation

Growing Expectations

OPEC's electric vehicle forecast grew by almost 500% last year



Source: Bloomberg New Energy Finance

Bloomberg

Source: Bloomberg, 2017

Véhicules électriques : portrait de la situation

Engagements des constructeurs quant à leur offre de véhicules électriques

Tirés du rapport 2018 de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)

Rang	Marque	Nombre de modèles	Pourcentage (%) des ventes
1	Toyota	10 en 2020	-----
2	Volkswagen	80 en 2025	25 % en 2025
3	Mercedes-Benz	10 en 2025	15-25 % en 2025
4	GM	20 en 2023	-----
5	Ford	40 en 2022	-----
6	Honda	-----	15 % en 2030
7	BMW	25 en 2025	15-25 % en 2025
8	Renault-Nissan	12 en 2022	20 % en 2022
9	Hyundai-Kia	12 en 2020	-----
10	PSA	27 en 2023	-----

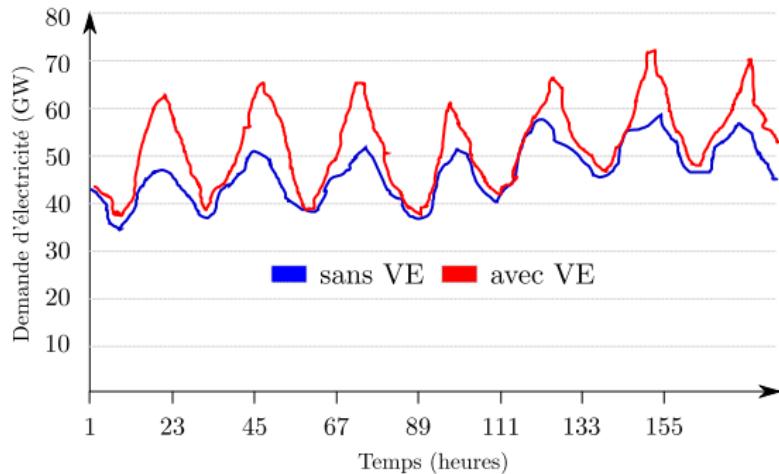


Intégrer les véhicules électriques dans le réseau électrique



Source: Inauguration of the European Interoperability Centre for Electric Vehicles and Smart Grids

Intégrer les véhicules électriques dans le réseau électrique



Source: Report on the Economic and Environmental Impacts of Large-Scale Introduction on EV/PHEV. Shakoor & Aunedi, 2011

Stratégies pour la gestion de la demande

	Orienté grille	Orienté utilisateur
<i>Objectifs</i>	<ul style="list-style-type: none">• Réduire la demande pic en puissance• Réduire les coûts de production	<ul style="list-style-type: none">• Assurer la disponibilité du véhicule• Réduire le coût d'opération
<i>Requis</i>	<ul style="list-style-type: none">• Données de consommation globales• Infrastructure de communication complexe	<ul style="list-style-type: none">• Données spécifiques à l'utilisateur• Infrastructure de communication minimale

Stratégies pour la gestion de la demande

Contrôle direct



Stratégies pour la gestion de la demande

Contrôle direct



Tarification dynamique



ES

Hydro-Québec va offrir des tarifs variables selon l'heure du jour



PARTAGEZ SUR FACEBOOK



PARTAGEZ SUR TWITTER



AUTRES



PIERRE COUTURE

Jeudi, 26 avril 2018 01:00

MISE À JOUR Jeudi, 26 avril 2018 01:00

Hydro-Québec offrira dès l'hiver prochain des tarifs d'électricité variables selon les heures de la journée à ses clients.

« On ira de l'avant comme prévu, et ce, sur une base volontaire et progressive », a confirmé hier au *Journal* un porte-parole d'Hydro-Québec, Marc-Antoine Pouliot.

Optimiser la recharge de véhicules électriques avec une perspective utilisateur

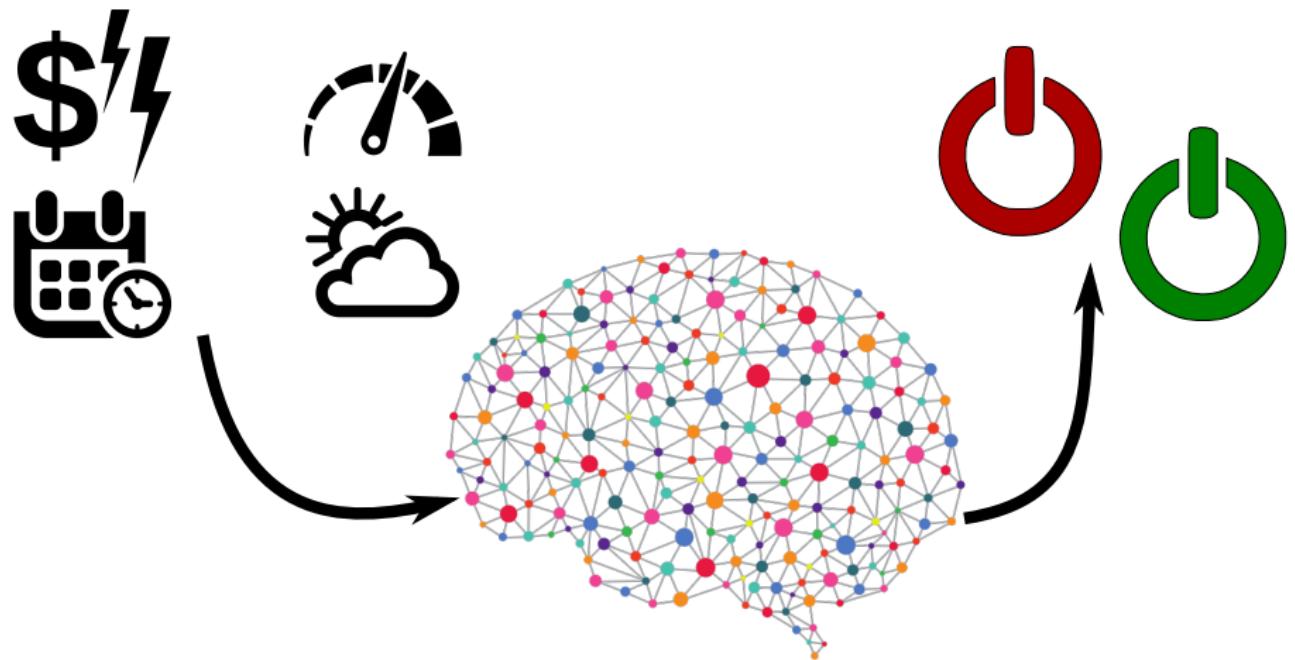
Données disponibles



Approches d'apprentissage disponibles



Méthodologie générale

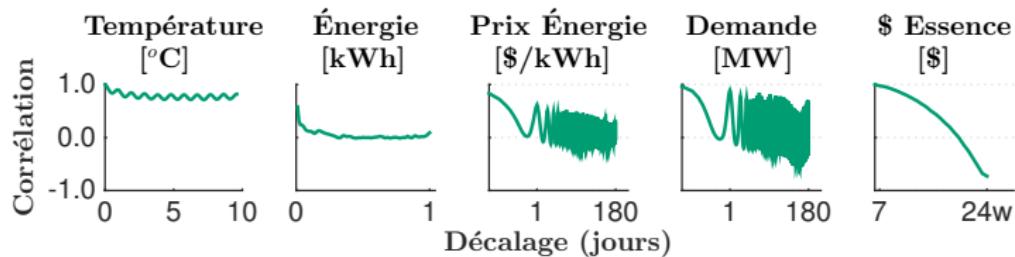


Méthodologie générale

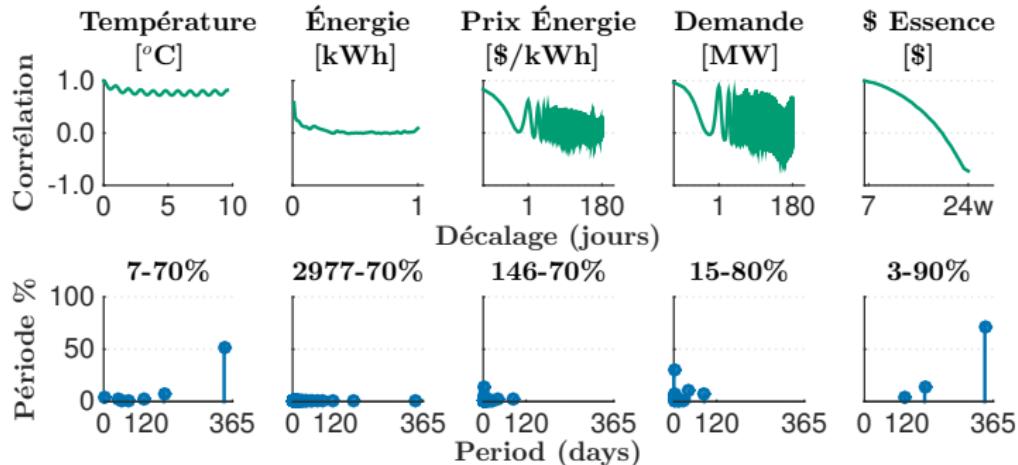
- ① Obtenir et analyser les données pertinentes
- ② Déterminer les décisions optimales correspondantes
- ③ Proposer une méthode d'apprentissage capable d'approcher les décisions optimales

Obtenir et analyser les données pertinentes

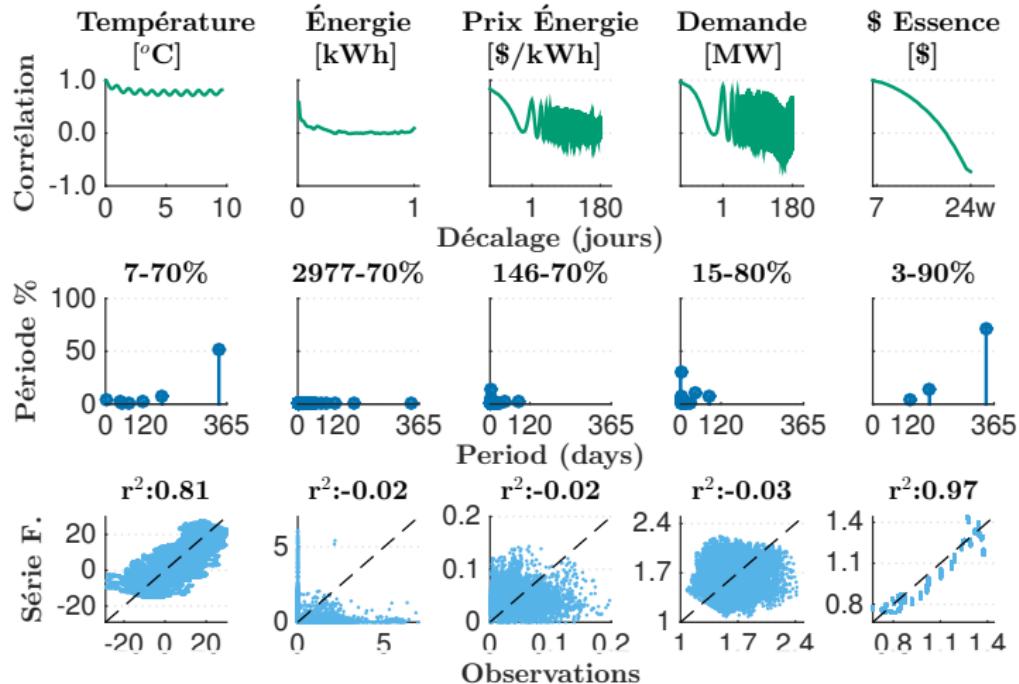
Analyses univariées des données



Analyses univariées des données



Analyses univariées des données



Analyses multivariées des données - Corrélation et ACP

	Température	Énergie consommée	Prix de l'essence	HOD	HOEP
Température	1.00	0.02	0.81	-0.02	0.15
Énergie consommée		1.00	0.02	0.06	0.06
Prix de l'essence			1.00	-0.00	0.17
HOD				1.00	0.71
HOEP					1.00

Analyses multivariées des données - Corrélation et ACP

	Température	Énergie consommée	Prix de l'essence	HOD	HOEP
Température	1.00	0.02	0.81	-0.02	0.15
Énergie consommée		1.00	0.02	0.06	0.06
Prix de l'essence			1.00	-0.00	0.17
HOD				1.00	0.71
HOEP					1.00

	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
Température	0.57	-0.41	-0.01	-0.06	0.71
Énergie consommée	0.08	0.08	0.99	0.01	0.00
Prix de l'essence	0.58	-0.40	-0.02	-0.10	-0.71
HOD	0.35	0.63	-0.07	-0.69	0.03
HOEP	0.47	0.52	-0.09	0.71	-0.01

Définition du Système d'Information

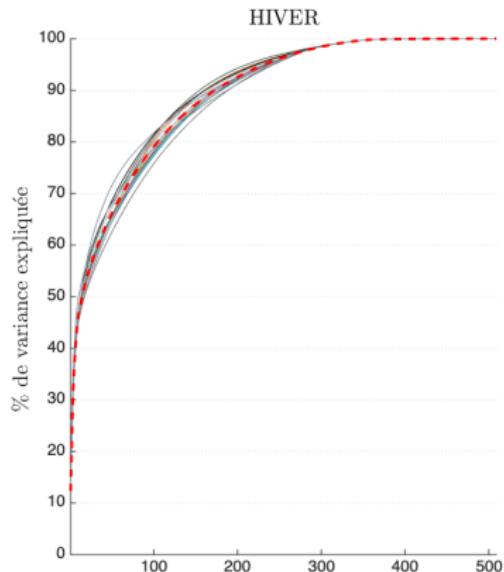
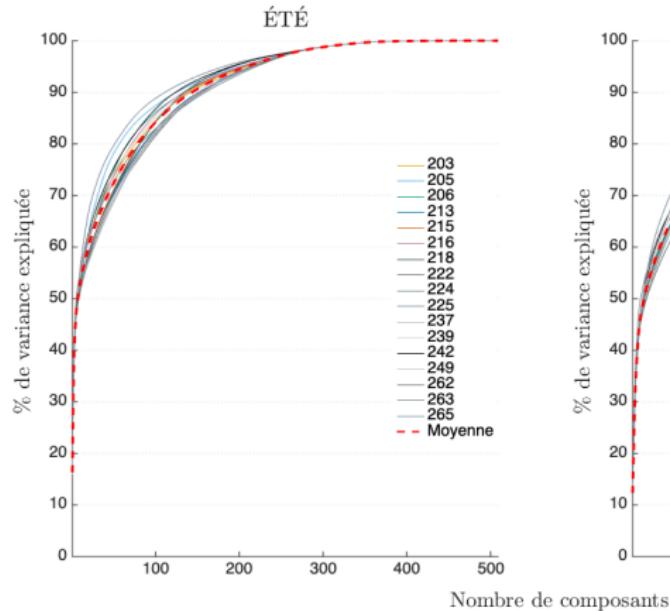
- HOEP (x^1), HOD (x^2), et température extérieur (x^3) with 101 décalages.
- énergie consommée (x^4) avec 199 décalages.
- variables scalaires :
 - w_1 : jour de la semaine,
 - w_2 : heure;
 - w_3 : $C_{el}(t - 1) - C_{el}(t)$ différence du prix de l'électricité,
 - w_4 : $C_{el}(t)$ prix de l'électricité au temps t [\$/kWh],
 - w_5 : $C_{fuel}(t)$ prix de l'essence au temps t [\$/l],
 - w_6 : $dis(t)$ distance parcourue au temps t [km].

Définition du Système d'Information

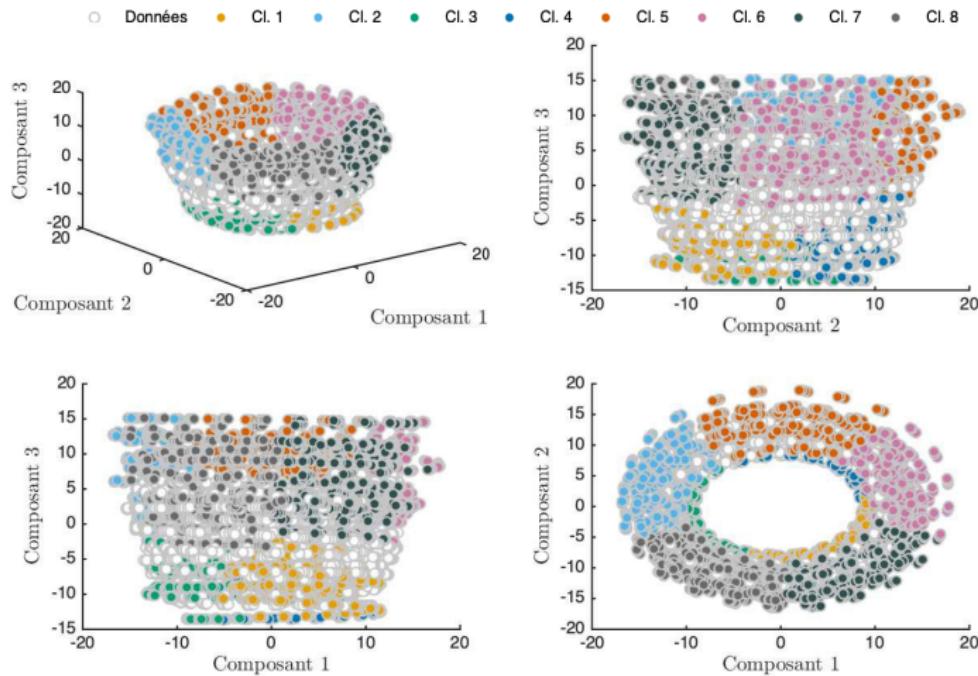
- HOEP (x^1), HOD (x^2), et température extérieur (x^3) with 101 décalages.
- énergie consommée (x^4) avec 199 décalages.
- variables scalaires :
 - w_1 : jour de la semaine,
 - w_2 : heure;
 - w_3 : $C_{el}(t - 1) - C_{el}(t)$ différence du prix de l'électricité,
 - w_4 : $C_{el}(t)$ prix de l'électricité au temps t [\$/kWh],
 - w_5 : $C_{fuel}(t)$ prix de l'essence au temps t [\$/l],
 - w_6 : $dis(t)$ distance parcourue au temps t [km].

... et l'état de charge du véhicule ainsi que les décisions optimales obtenues avec la programmation dynamique.

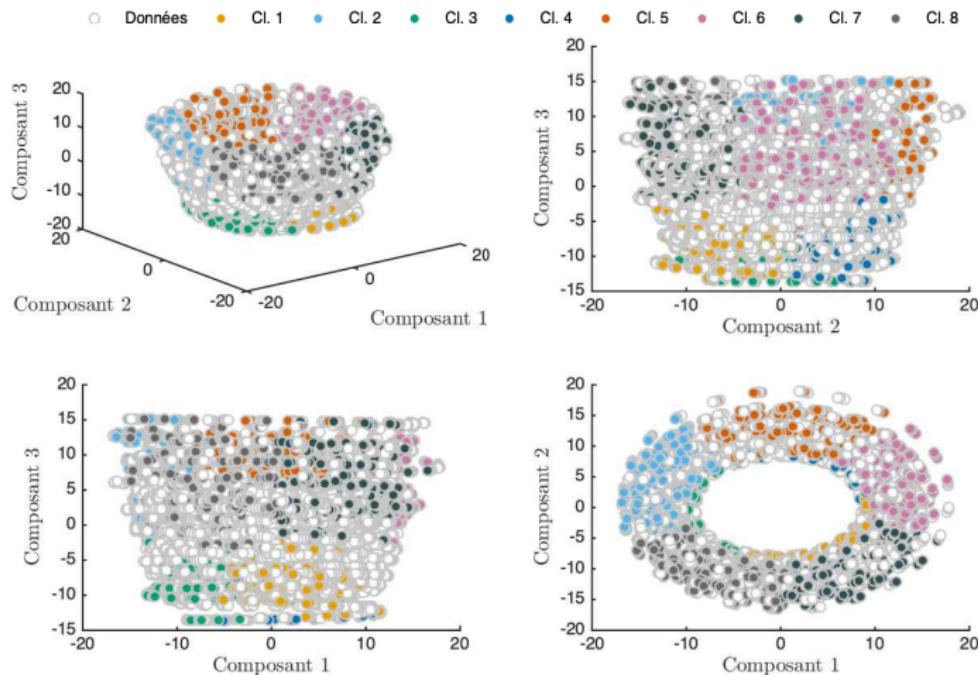
ACP du Système d'Information



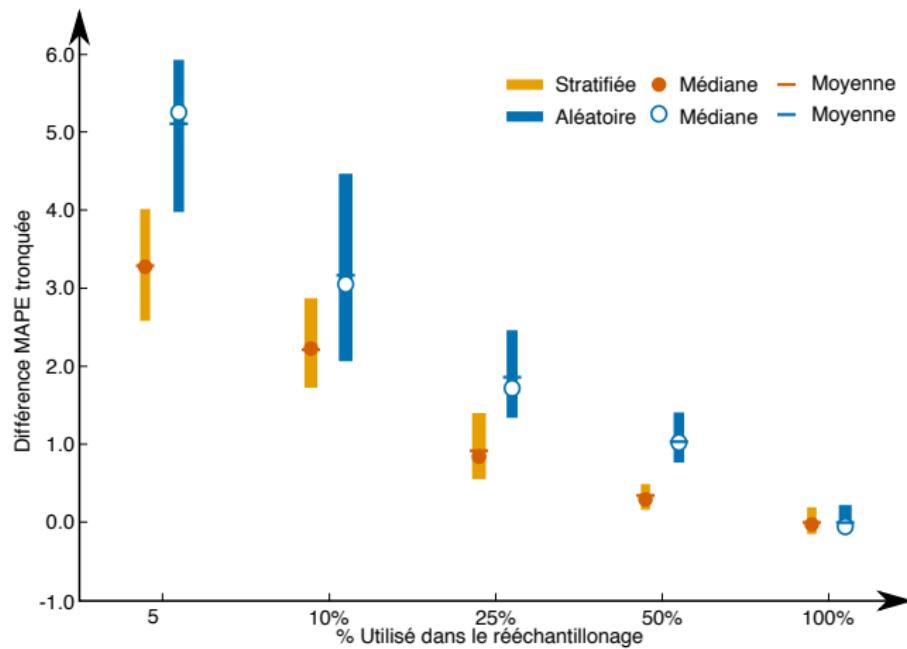
Stratification des données



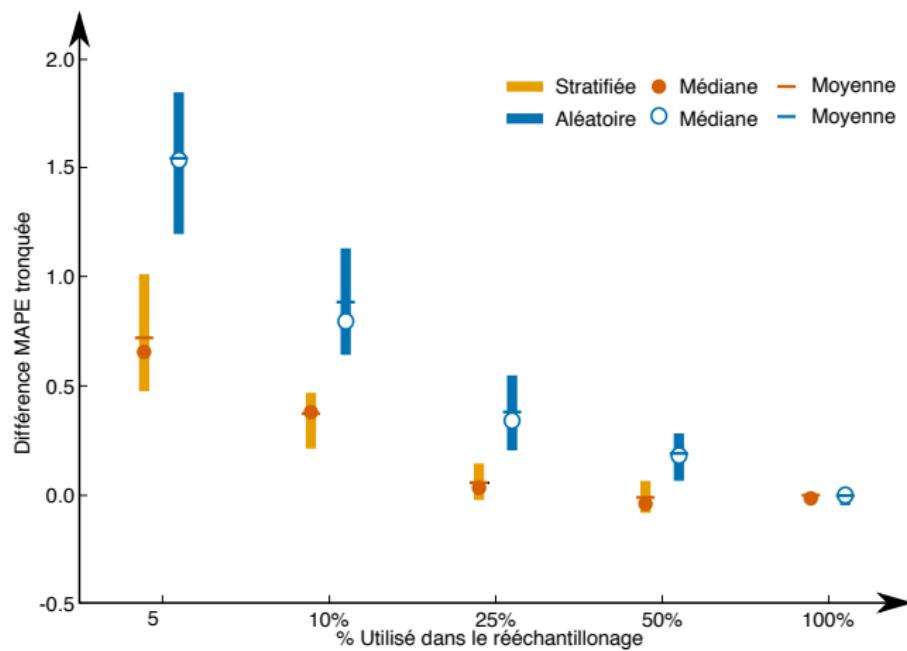
Stratification des données



Stratification dans un problème de régression avec réseau de neurones

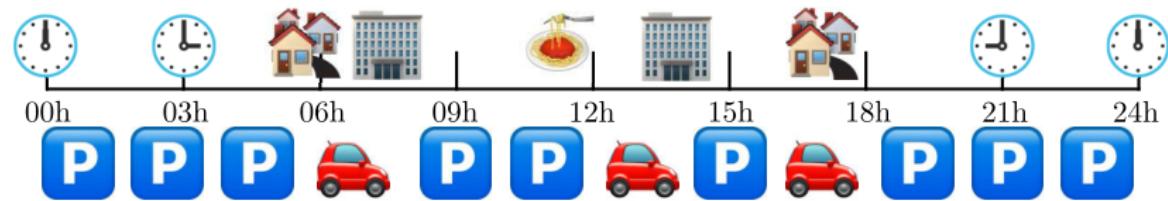


Stratification dans un problème de régression avec machines à vecteurs de support

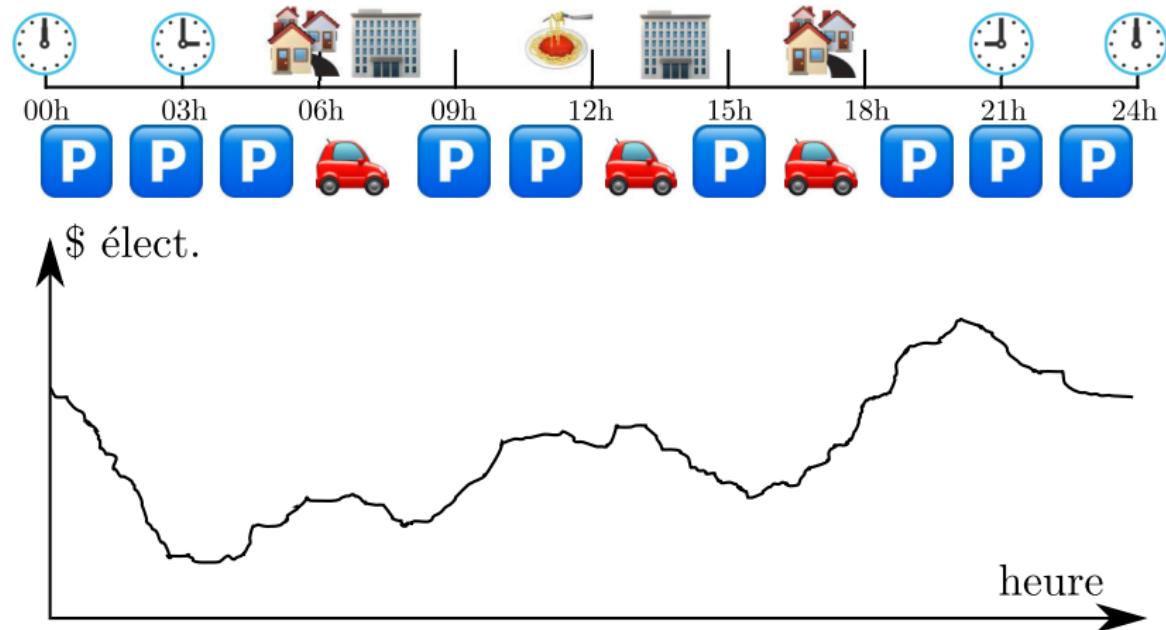


Déterminer les périodes de recharge optimales

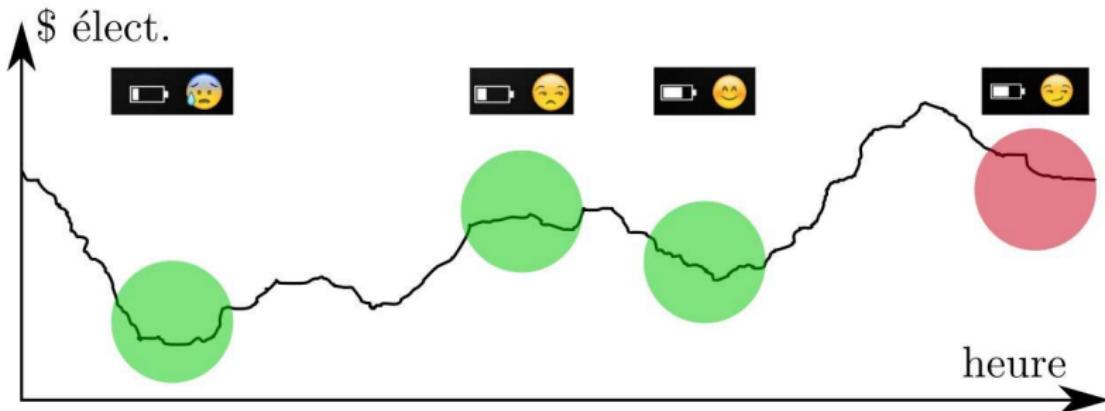
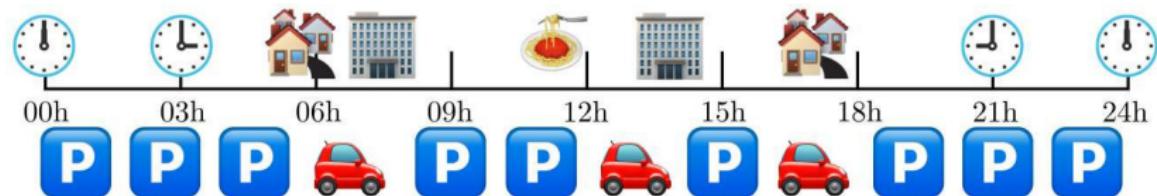
Programmation des périodes de recharge



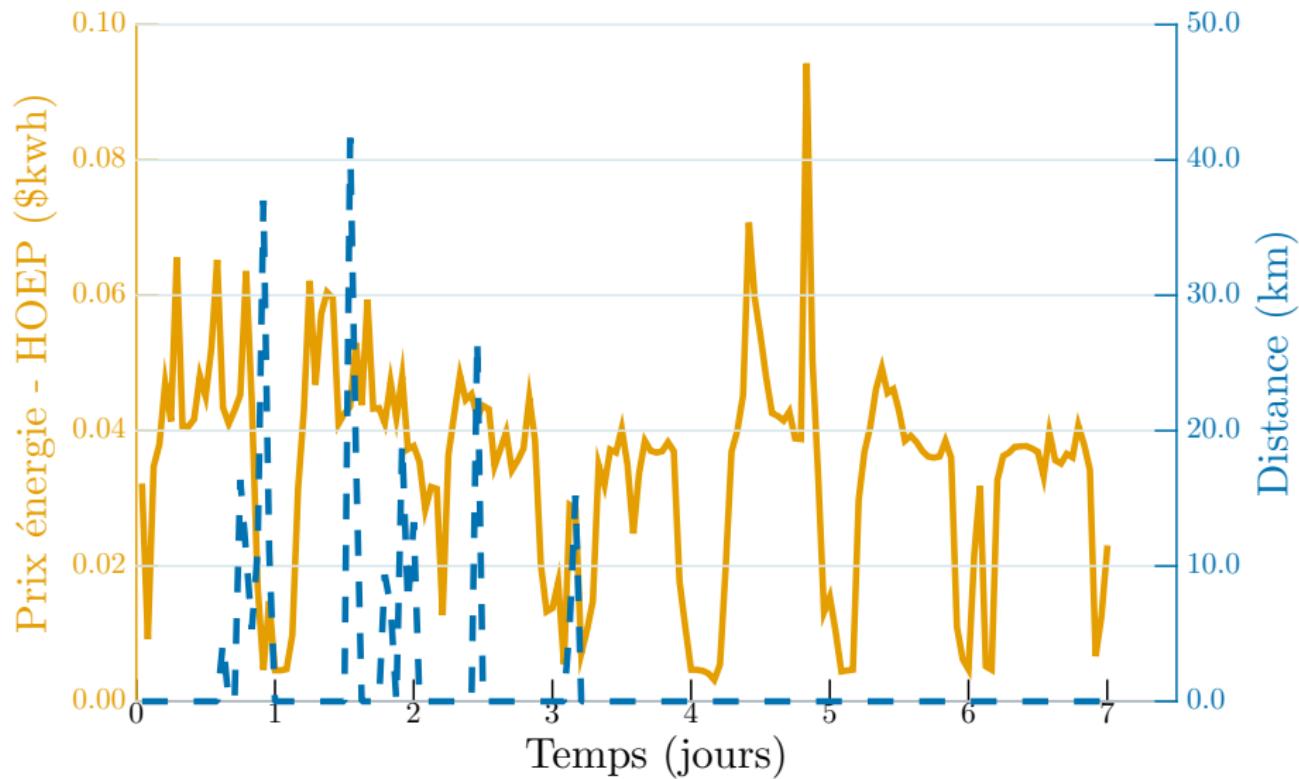
Programmation des périodes de recharge



Programmation des périodes de recharge



Si on suppose qu'on connaît le futur?



Formulation du problème

- Discrétisation de la journée et des états de charge
- À chaque temps t , le véhicule peut être branché ($z(t) = 1$) ou non branché ($z(t) = 0$)
- Si branché, on peut charger ou non ($a(t) = \{0, 1\}$)

$$S_p(t) = a(t) \cdot C_{el}(t) \cdot \frac{E_{ch}(SoC(t))}{\eta} \quad (1)$$

- Sinon, on ne peut que consommer de l'énergie

$$S_u(t) = C_{fuel}(t) \cdot \max(F_c(SoC(t)), 0) \quad (2)$$

- Objectif : minimiser le coût d'utilisation

$$\min_{\{a(t)\}_{t=1}^T} \sum_{t=1}^T [z(t) \cdot S_p(t) + (1 - z(t)) \cdot S_u(t)] \quad (3)$$

Processus de décision Markovien

- Les états :

$$s(t) = \frac{\lfloor SoC(t) \cdot B \rfloor + 0.5}{B} \quad (4)$$

- Les actions ($a = 0, a = 1$)
- La fonction de transition (modèle de batterie)
- La fonction de récompense :

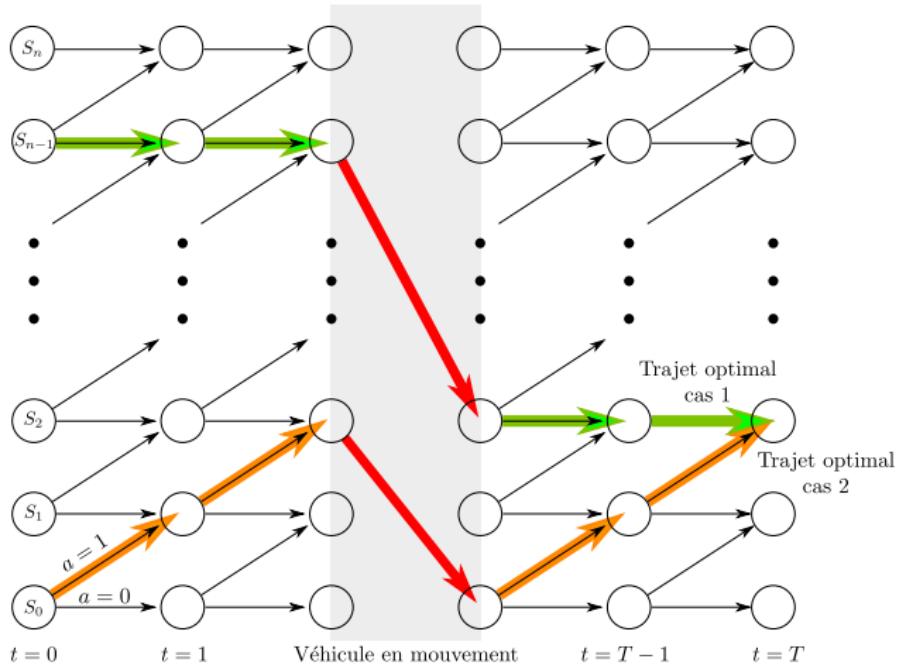
$$r(s(t), a) = \begin{cases} 0 & \text{si } z(t) = 1 \text{ et } a = 0 \\ -C_{el}(t) \cdot \frac{E_{ch}(SoC(t))}{\eta} & \text{si } z(t) = 1 \text{ et } a = 1 . \\ -C_{fuel}(t) \cdot F_c(SoC(t)) & \text{si } z(t) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Optimisation basée sur la Programmation Dynamique

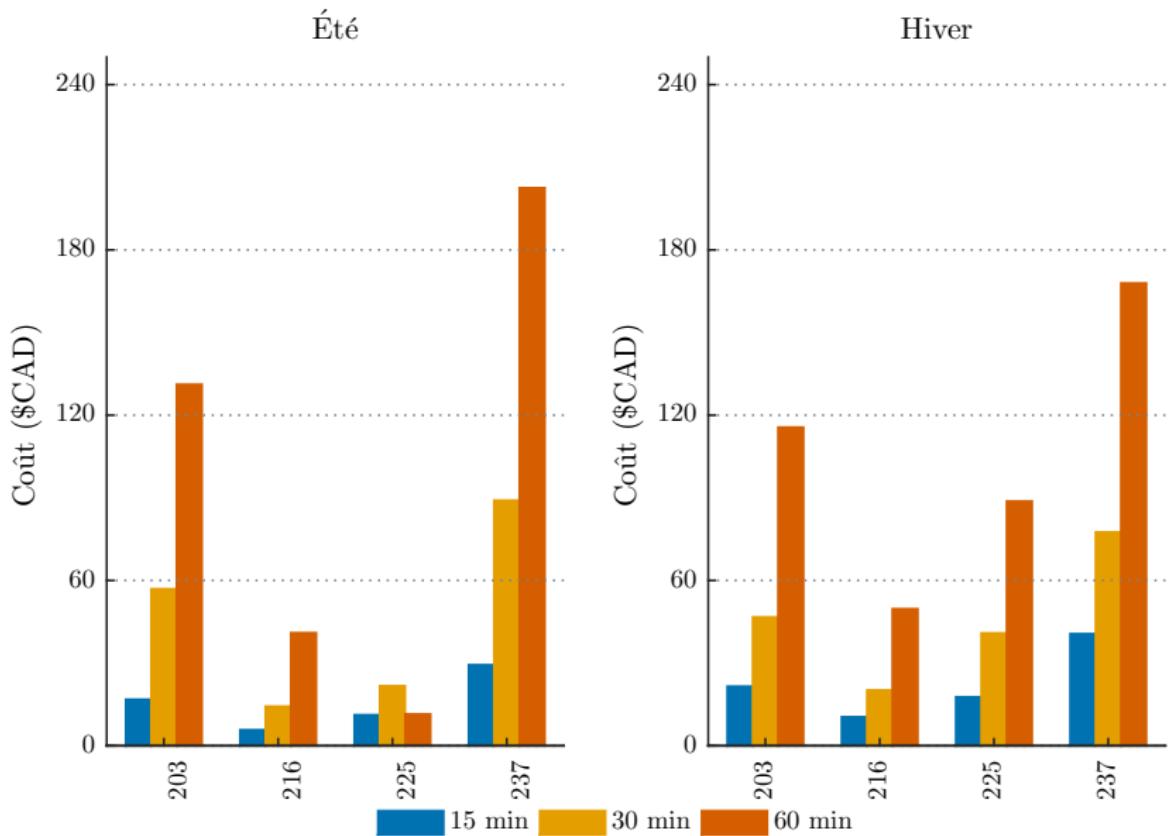
$$Q(s(t), a) = r(s(t), a) + \max_{a \in \mathcal{A}} Q(s(t + 1), a) \quad (6)$$

$$a^*(t) = \operatorname{argmax}_{a \in \mathcal{A}} Q(s(t), a). \quad (7)$$

Prise de décisions avec la programmation dynamique (Exemple illustratif)



Analyse de l'intervalle de temps

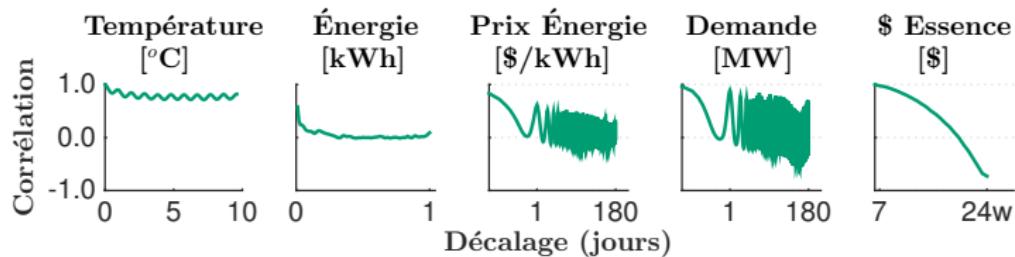


Résultats

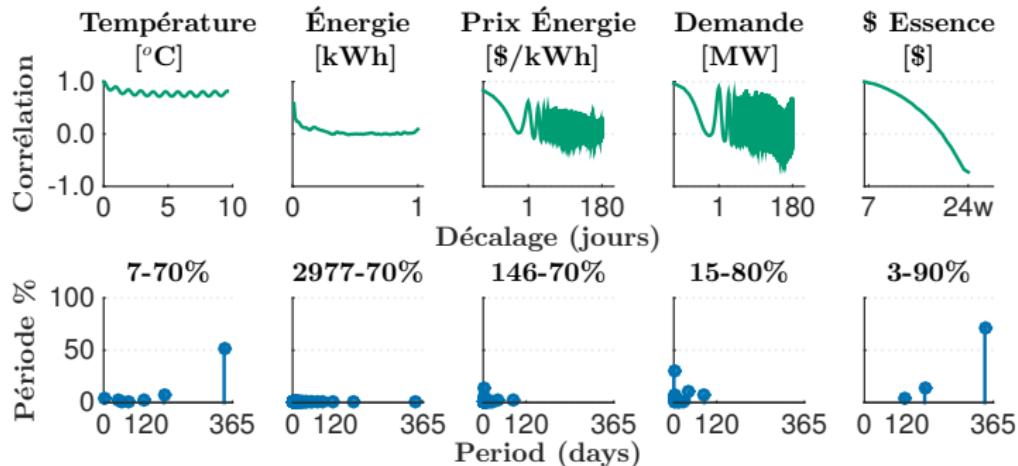
Essence	Prog. dynamique		Charge toujours		RD		
	\$	\$	%	\$	%	\$	%
Moyenne	62.1	9.6	87	31.7	52	33.9	50
Médiane	58.8	6.4	88	24.6	56	25.2	54

Essence	Prog. dynamique		Charge toujours		RD		
	\$	\$	%	\$	%	\$	%
Moyenne	120.8	21.5	88	62.6	58	67.5	57
Médiane	93.0	3.3	96	24.7	68	23.9	70

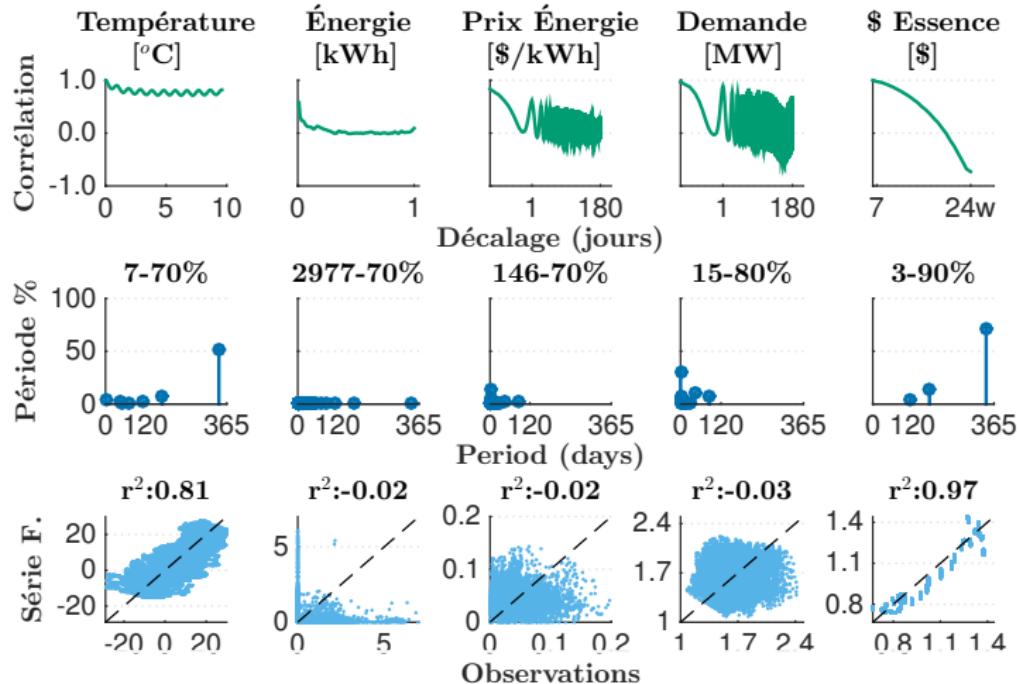
Analyses univariées des données



Analyses univariées des données



Analyses univariées des données



Analyses multivariées des données - Corrélation et ACP

	Température	Énergie consommée	Prix de l'essence	HOD	HOEP
Température	1.00	0.02	0.81	-0.02	0.15
Énergie consommée		1.00	0.02	0.06	0.06
Prix de l'essence			1.00	-0.00	0.17
HOD				1.00	0.71
HOEP					1.00

Analyses multivariées des données - Corrélation et ACP

	Température	Énergie consommée	Prix de l'essence	HOD	HOEP
Température	1.00	0.02	0.81	-0.02	0.15
Énergie consommée		1.00	0.02	0.06	0.06
Prix de l'essence			1.00	-0.00	0.17
HOD				1.00	0.71
HOEP					1.00

	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
Température	0.57	-0.41	-0.01	-0.06	0.71
Énergie consommée	0.08	0.08	0.99	0.01	0.00
Prix de l'essence	0.58	-0.40	-0.02	-0.10	-0.71
HOD	0.35	0.63	-0.07	-0.69	0.03
HOEP	0.47	0.52	-0.09	0.71	-0.01

Définition du Système d'Information

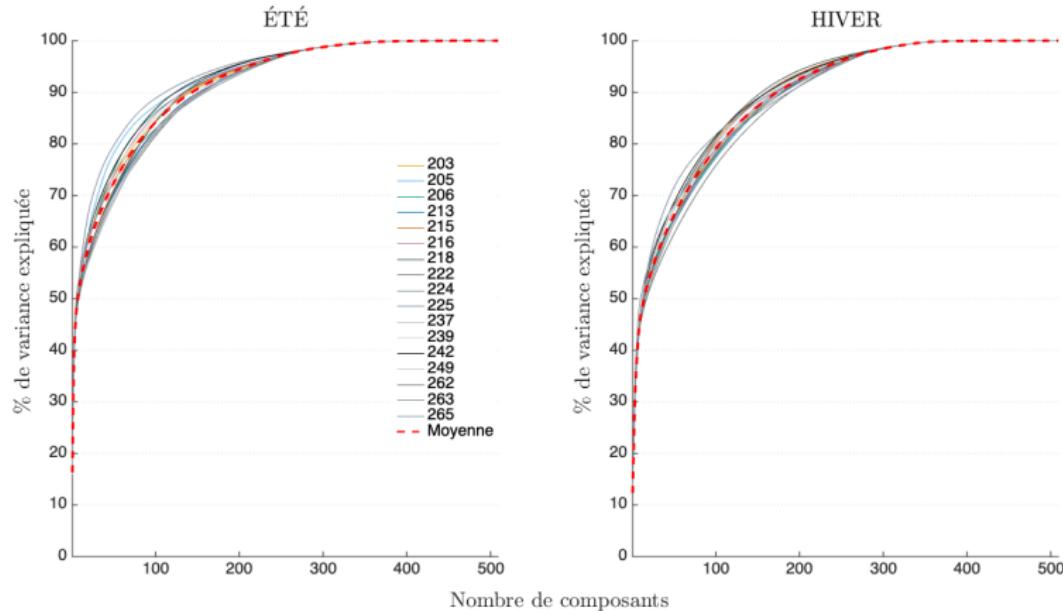
- HOEP (x^1), HOD (x^2), et température extérieur (x^3) with 101 décalages.
- énergie consommée (x^4) avec 199 décalages.
- variables scalaires :
 - w_1 : jour de la semaine,
 - w_2 : heure;
 - w_3 : $C_{el}(t - 1) - C_{el}(t)$ différence du prix de l'électricité,
 - w_4 : $C_{el}(t)$ prix de l'électricité au temps t [\$/kWh],
 - w_5 : $C_{fuel}(t)$ prix de l'essence au temps t [\$/l],
 - w_6 : $dis(t)$ distance parcourue au temps t [km].

Définition du Système d'Information

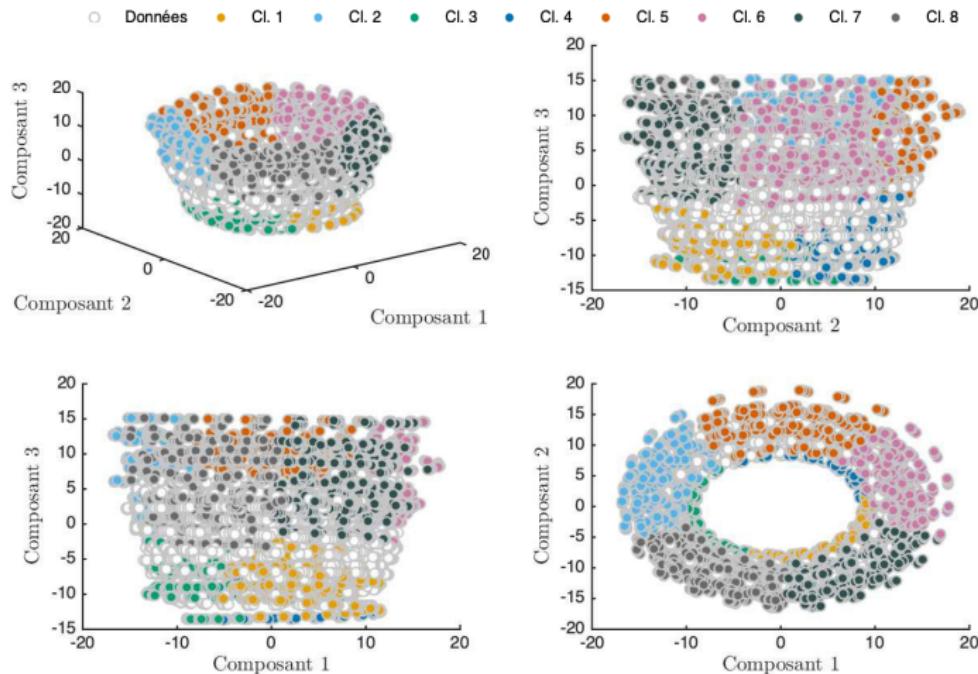
- HOEP (x^1), HOD (x^2), et température extérieur (x^3) with 101 décalages.
- énergie consommée (x^4) avec 199 décalages.
- variables scalaires :
 - w_1 : jour de la semaine,
 - w_2 : heure;
 - w_3 : $C_{el}(t - 1) - C_{el}(t)$ différence du prix de l'électricité,
 - w_4 : $C_{el}(t)$ prix de l'électricité au temps t [\$/kWh],
 - w_5 : $C_{fuel}(t)$ prix de l'essence au temps t [\$/l],
 - w_6 : $dis(t)$ distance parcourue au temps t [km].

... et l'état de charge du véhicule ainsi que les décisions optimales obtenues avec la programmation dynamique.

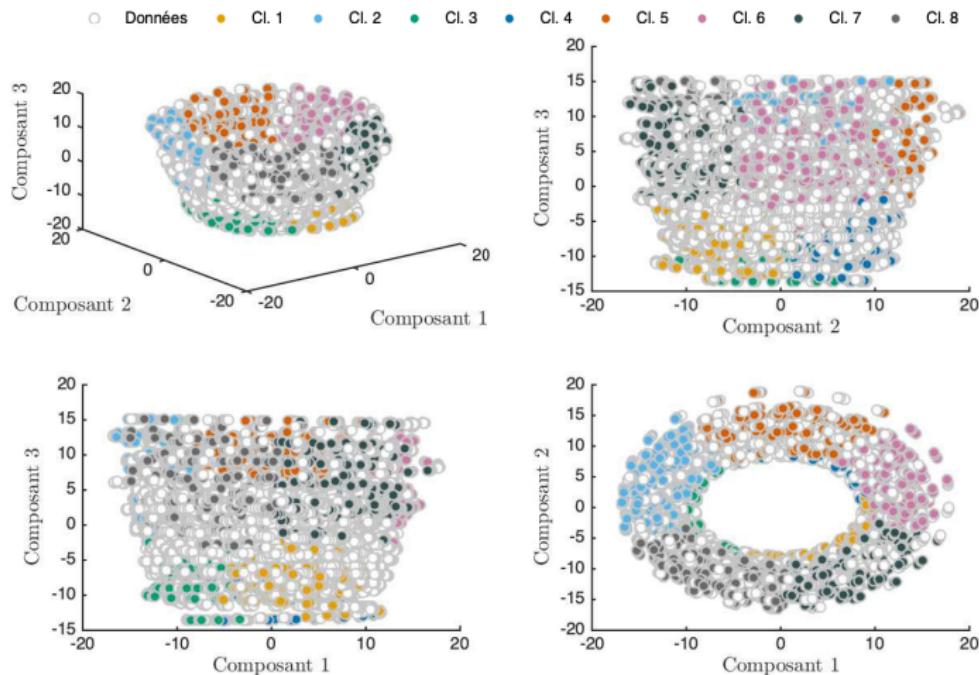
ACP du Système d'Information



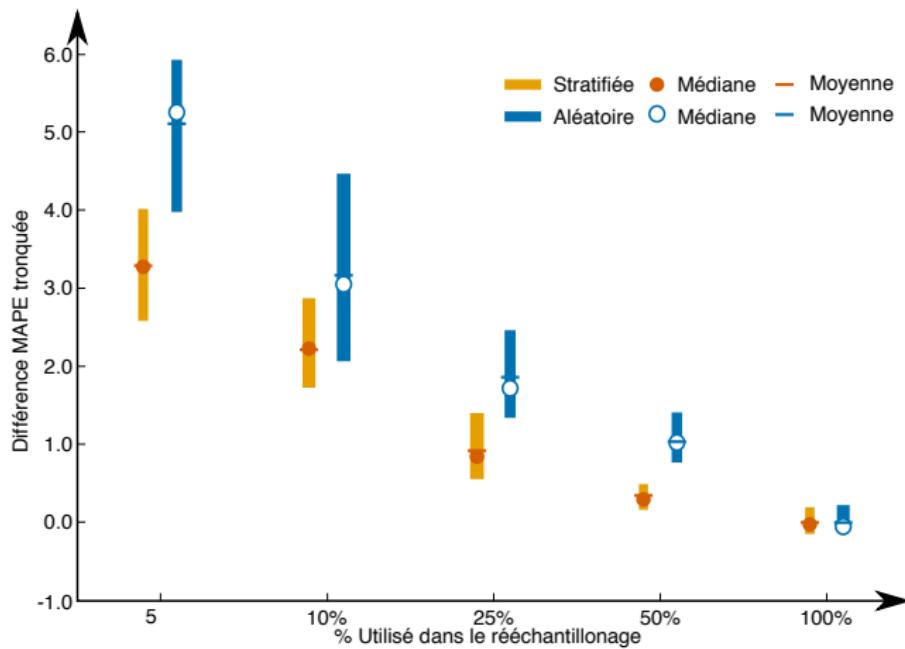
Stratification des données



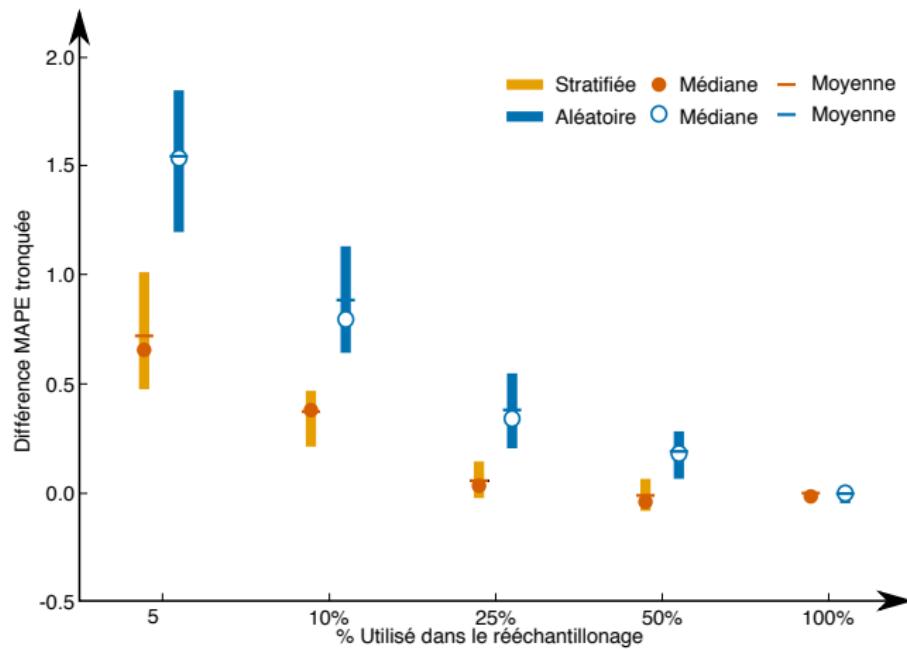
Stratification des données



Stratification dans un problème de régression avec réseau de neurones



Stratification dans un problème de régression avec machines à vecteurs de support



Considérations importantes

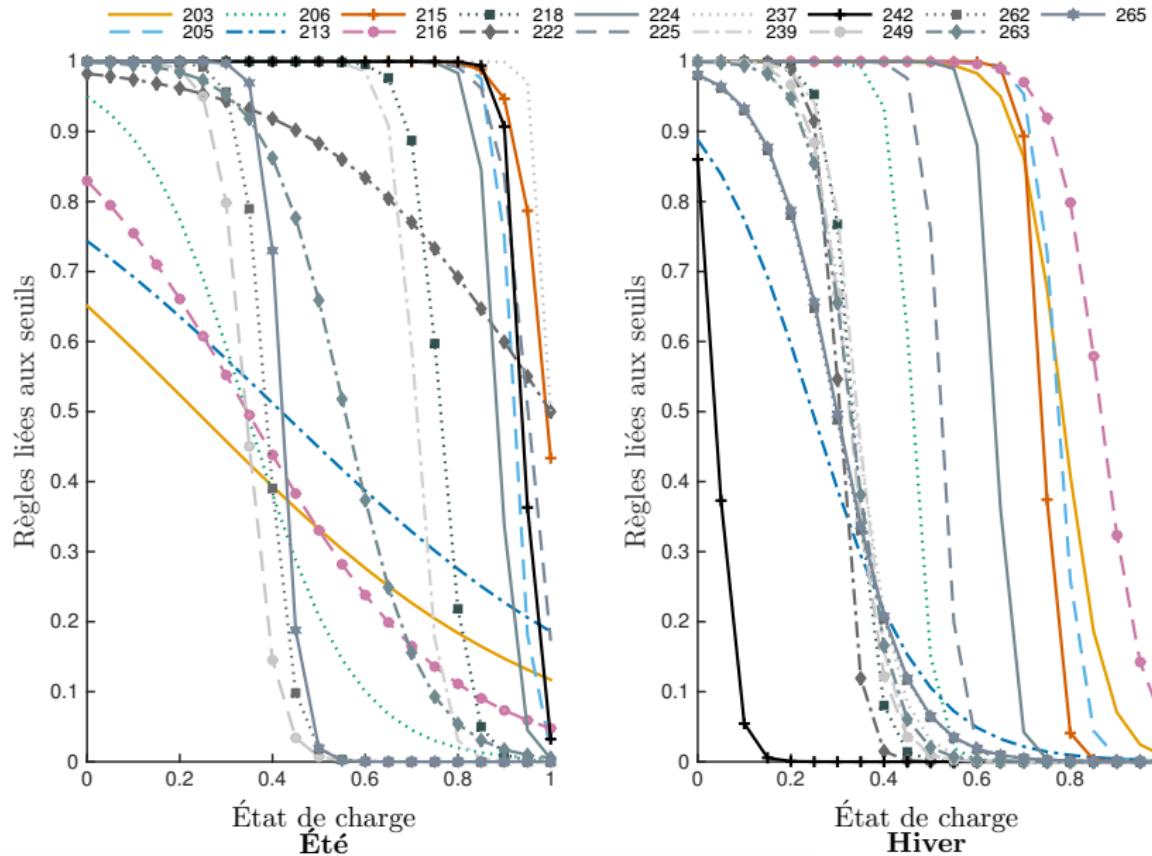
- Aucune hypothèse nécessaire sur les modèles utilisés
 - Voiture hybride rechargeable / 100% électrique
 - Caractéristiques de la batterie
 - Caractéristiques du chargeur
 - Incitatifs supplémentaires (e.g. vente d'électricité)
- La solution obtenue est *globalement optimale*

Apprendre les décisions optimales

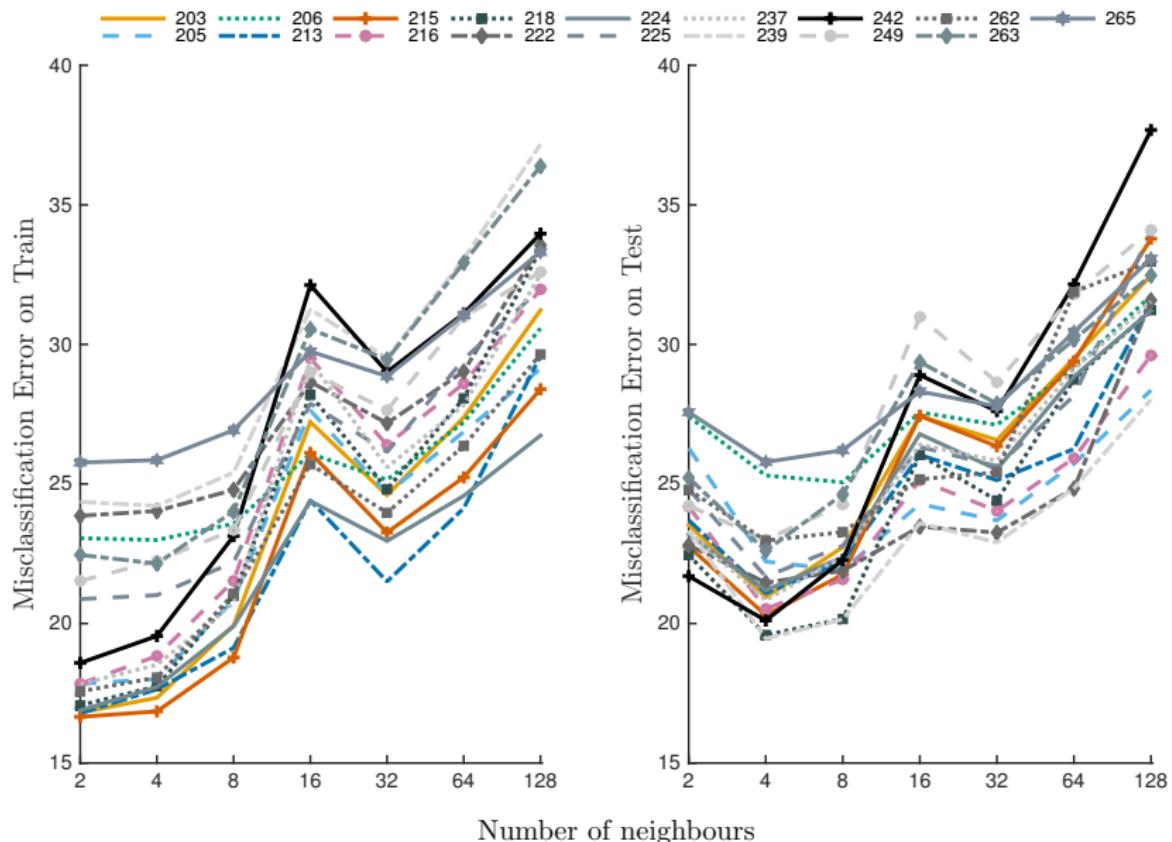
Pipeline d'apprentissage automatique

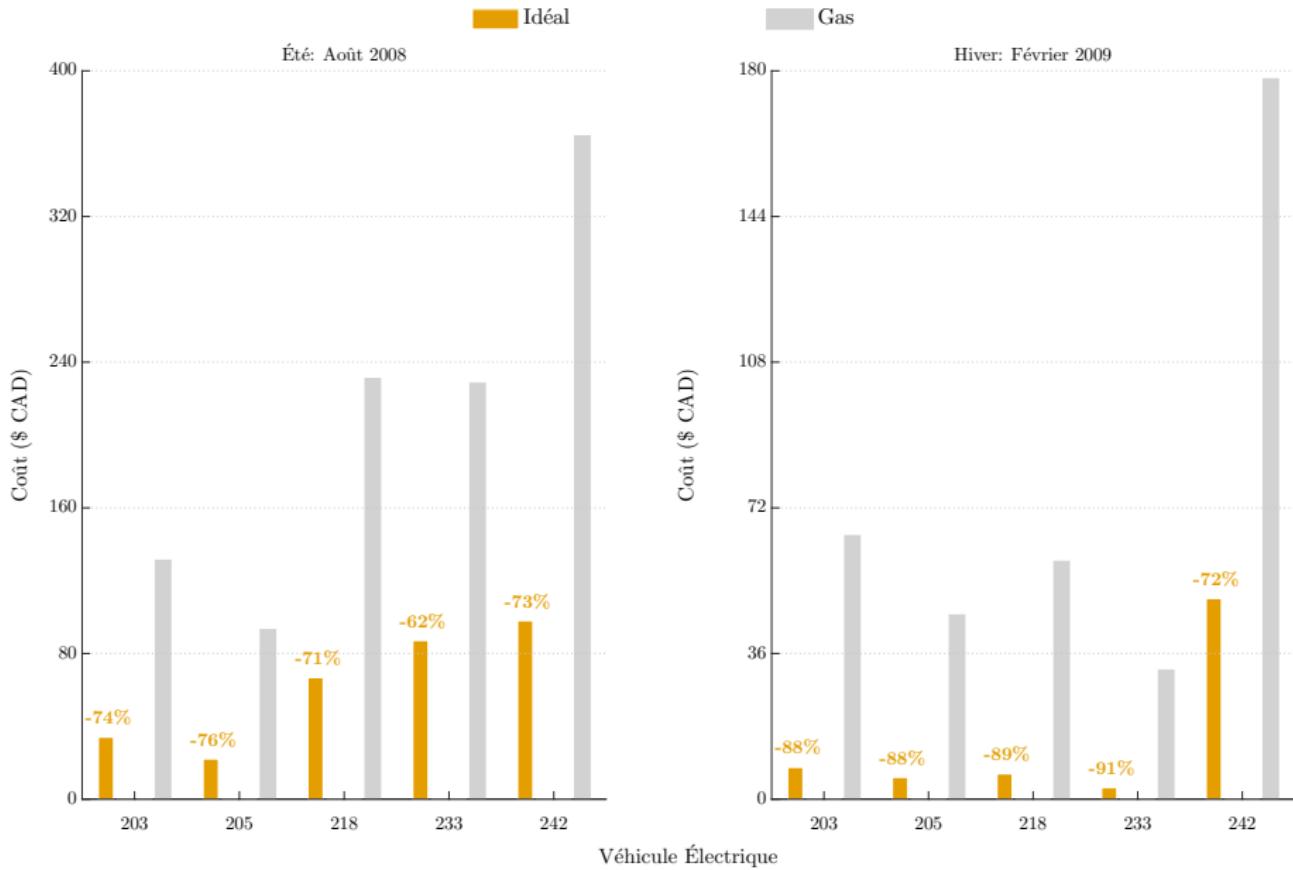
- Mêmes données d'entrée, sans connaître le futur
- Vérité terrain donnée par la programmation dynamique
- Techniques comparées :
 - Système de règles à base de seuils
 - k-plus proches voisins
 - Réseaux de neurones avec de données stratifiés
 - Réseaux de neurones profonds

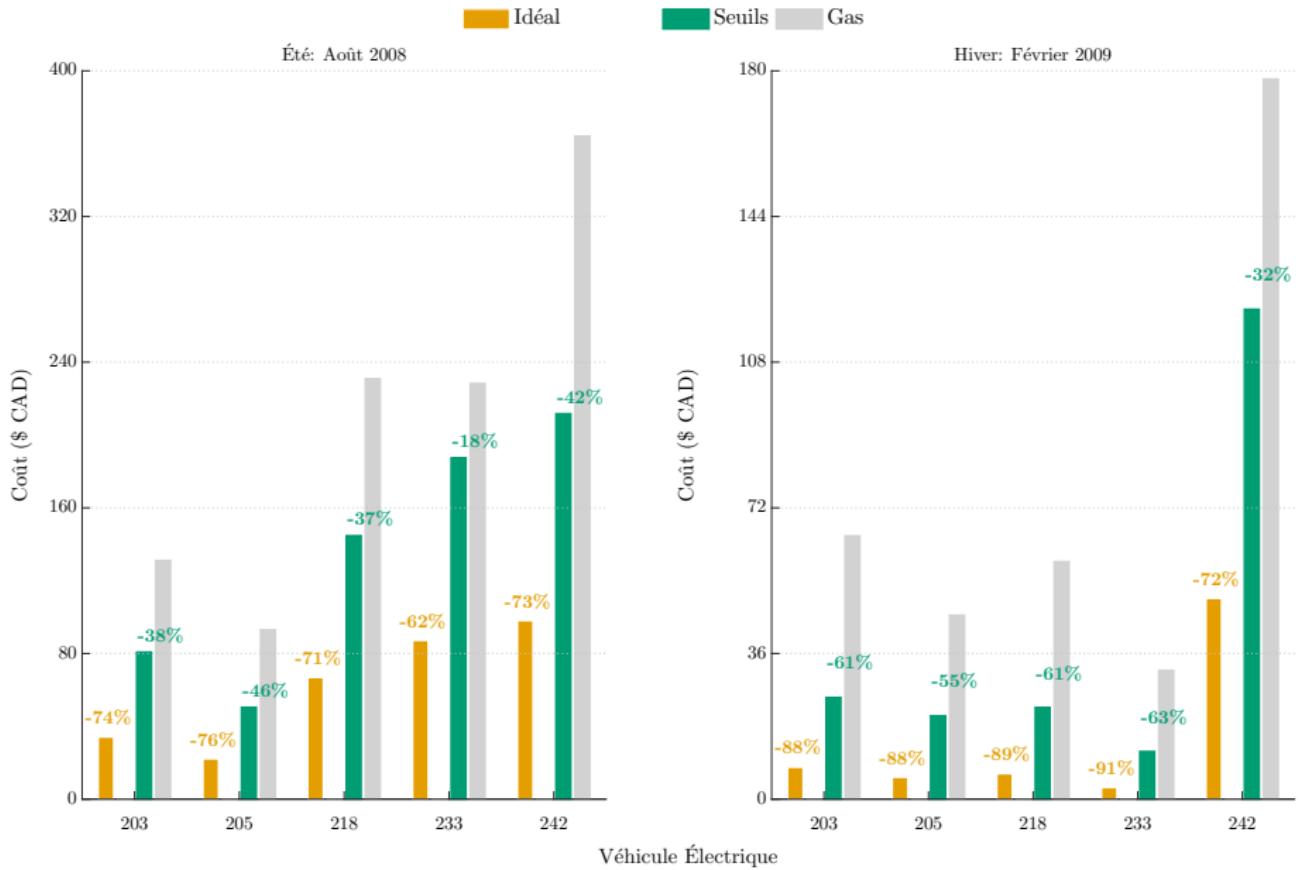
Système de règles à base de seuils

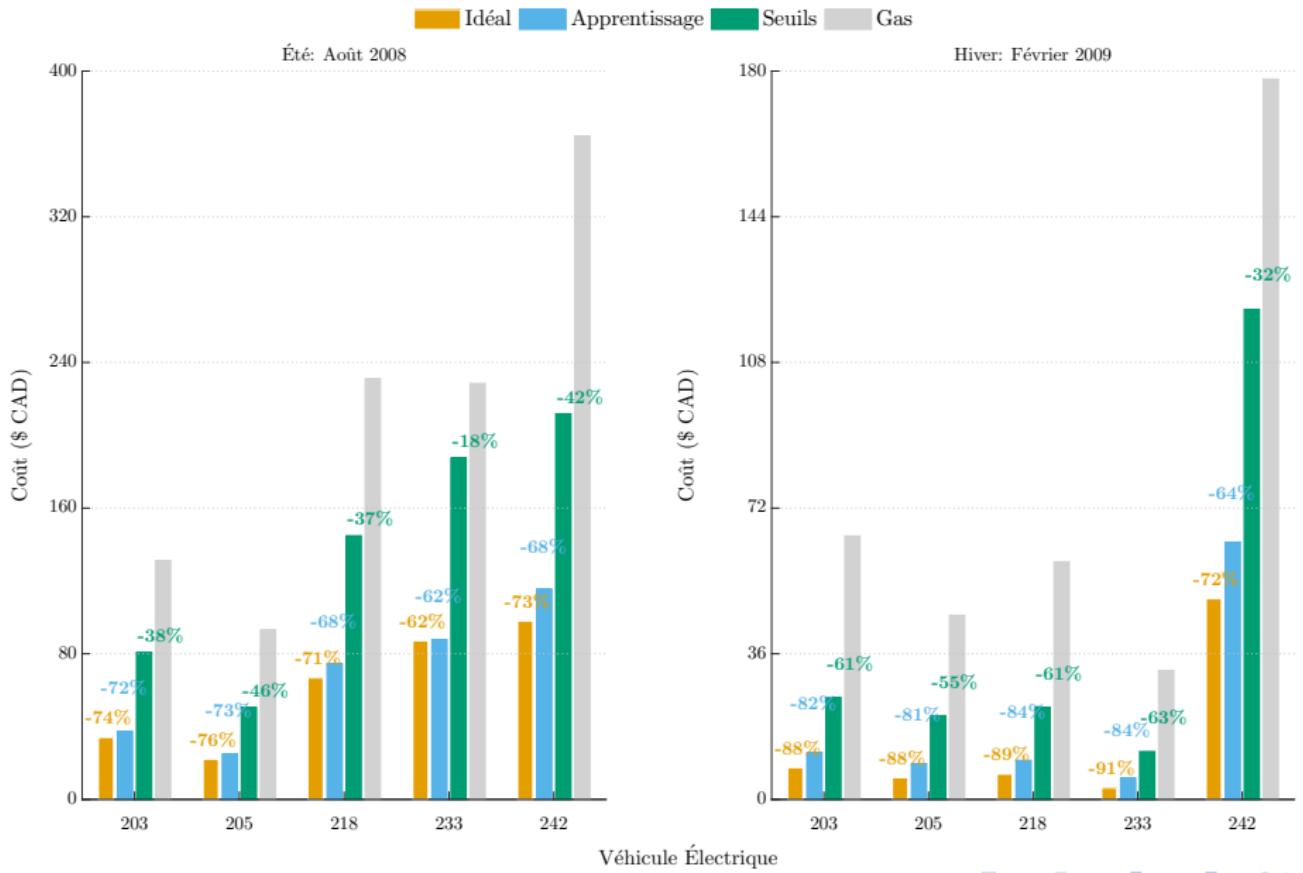


k-plus proches voisins

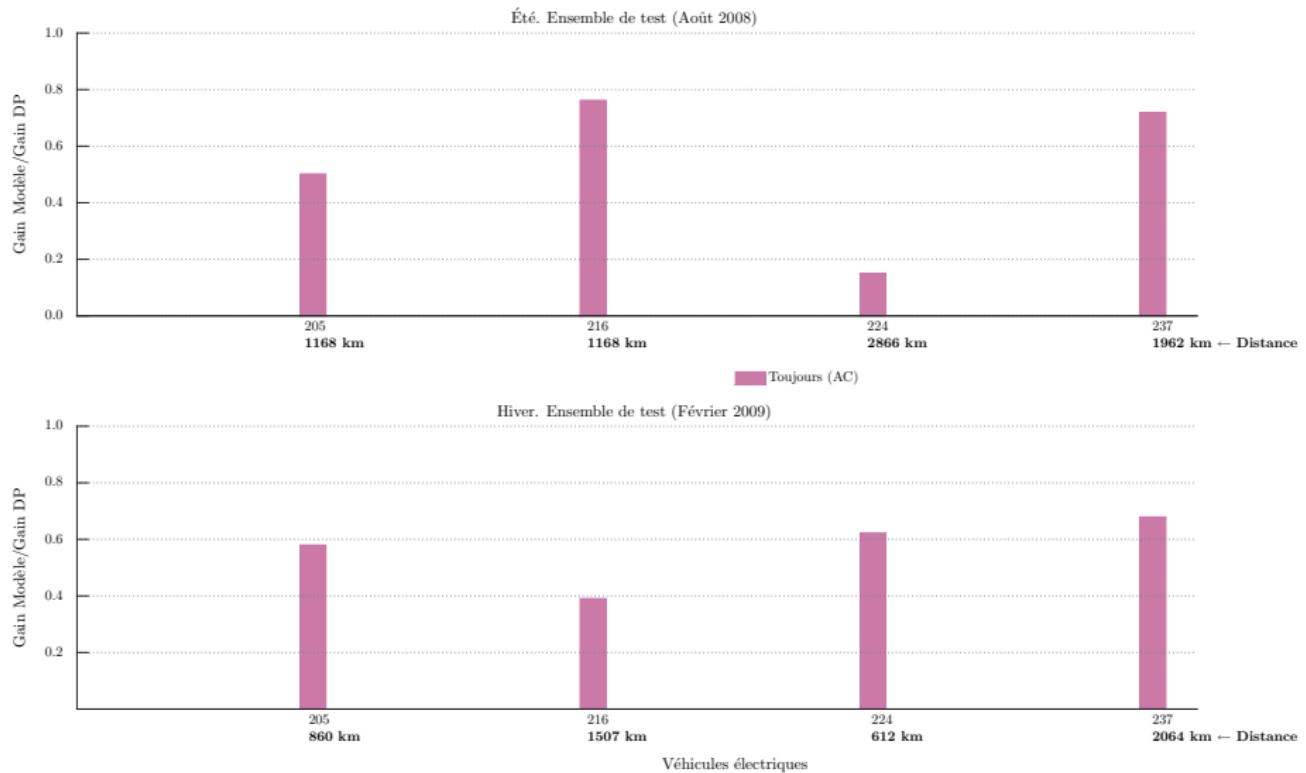




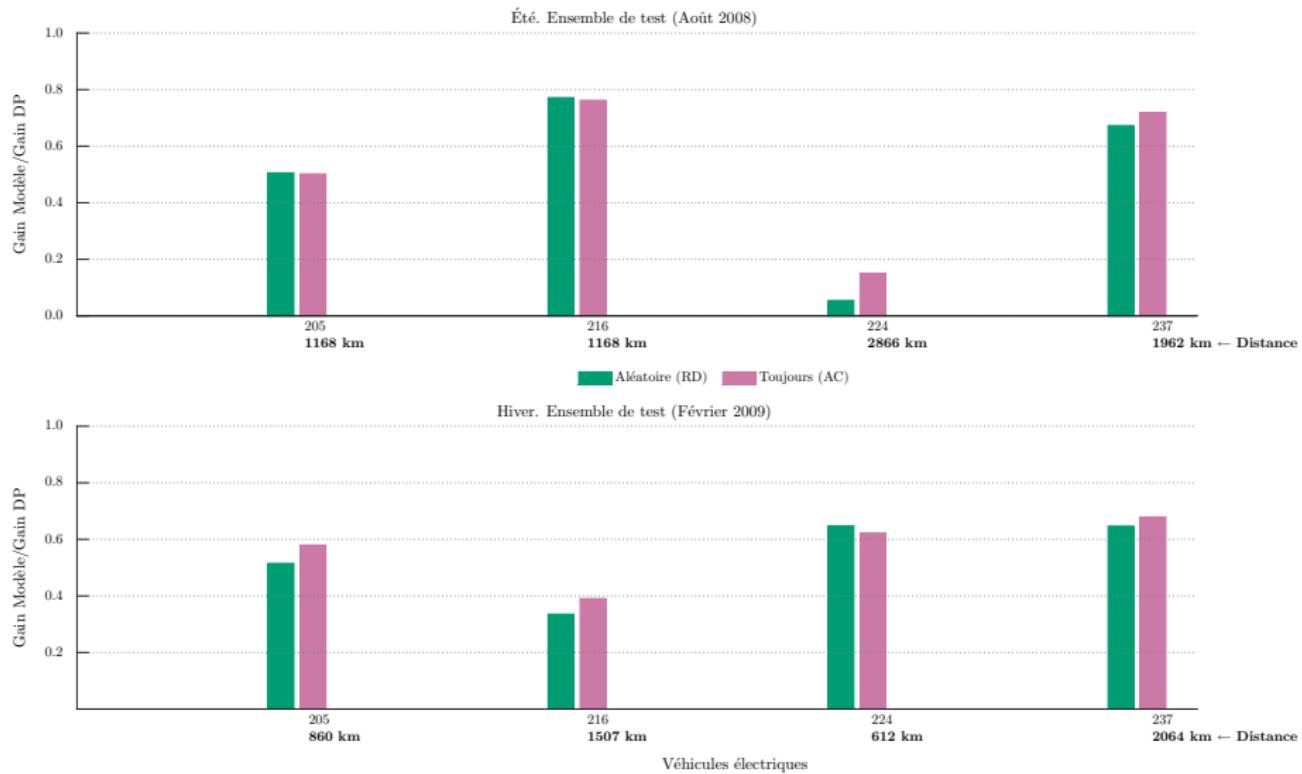




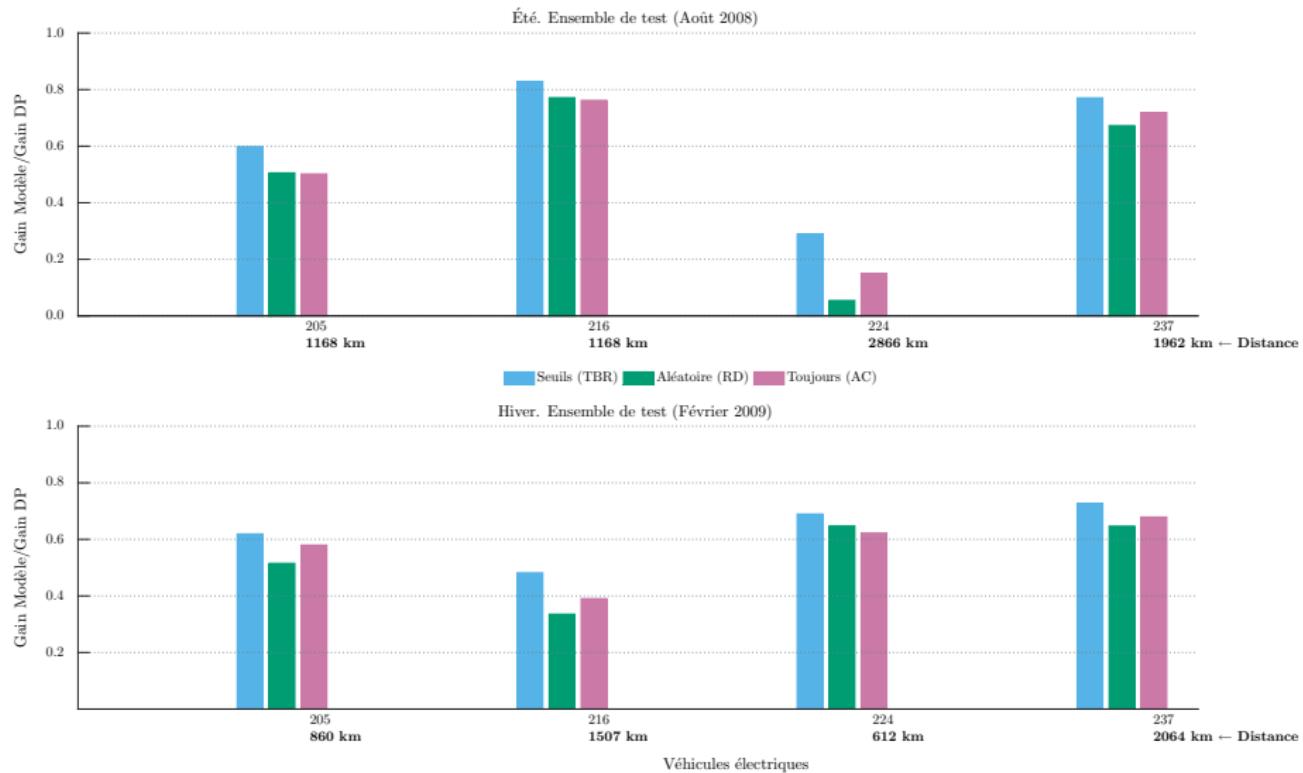
Résultats



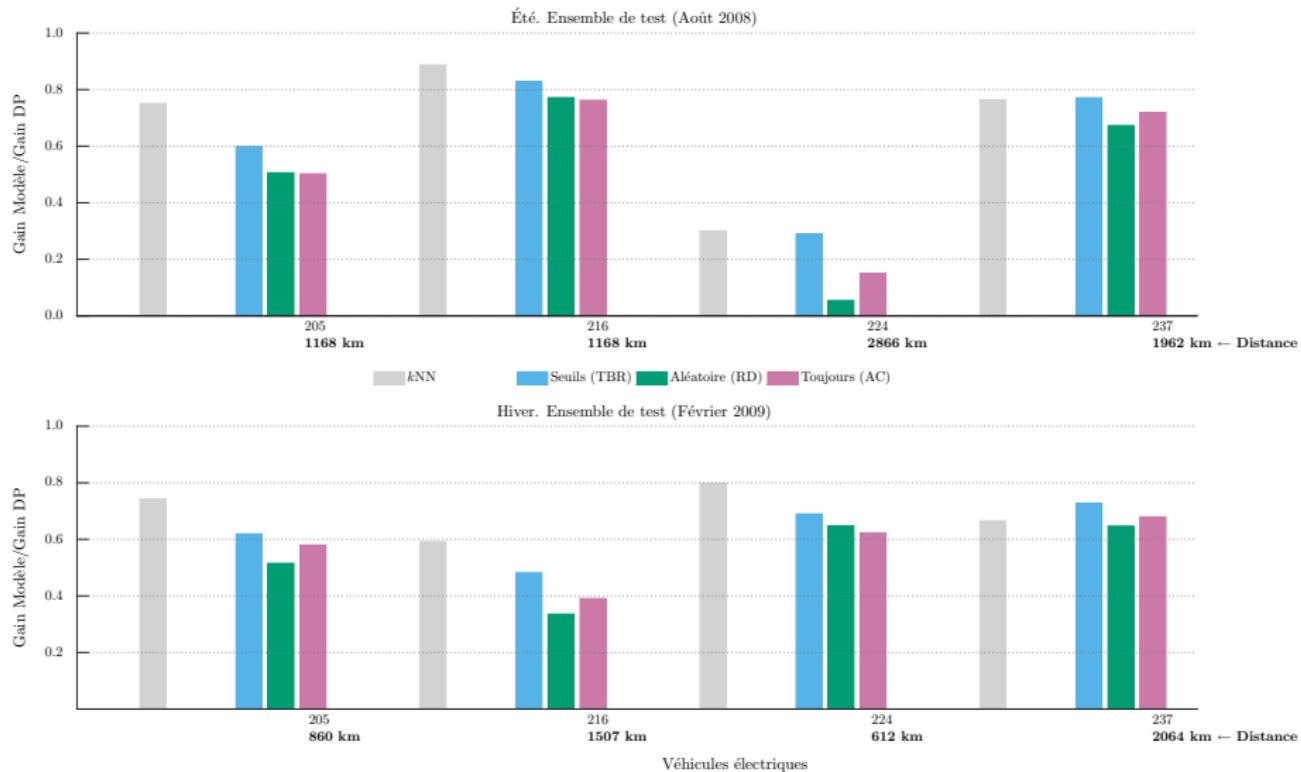
Résultats



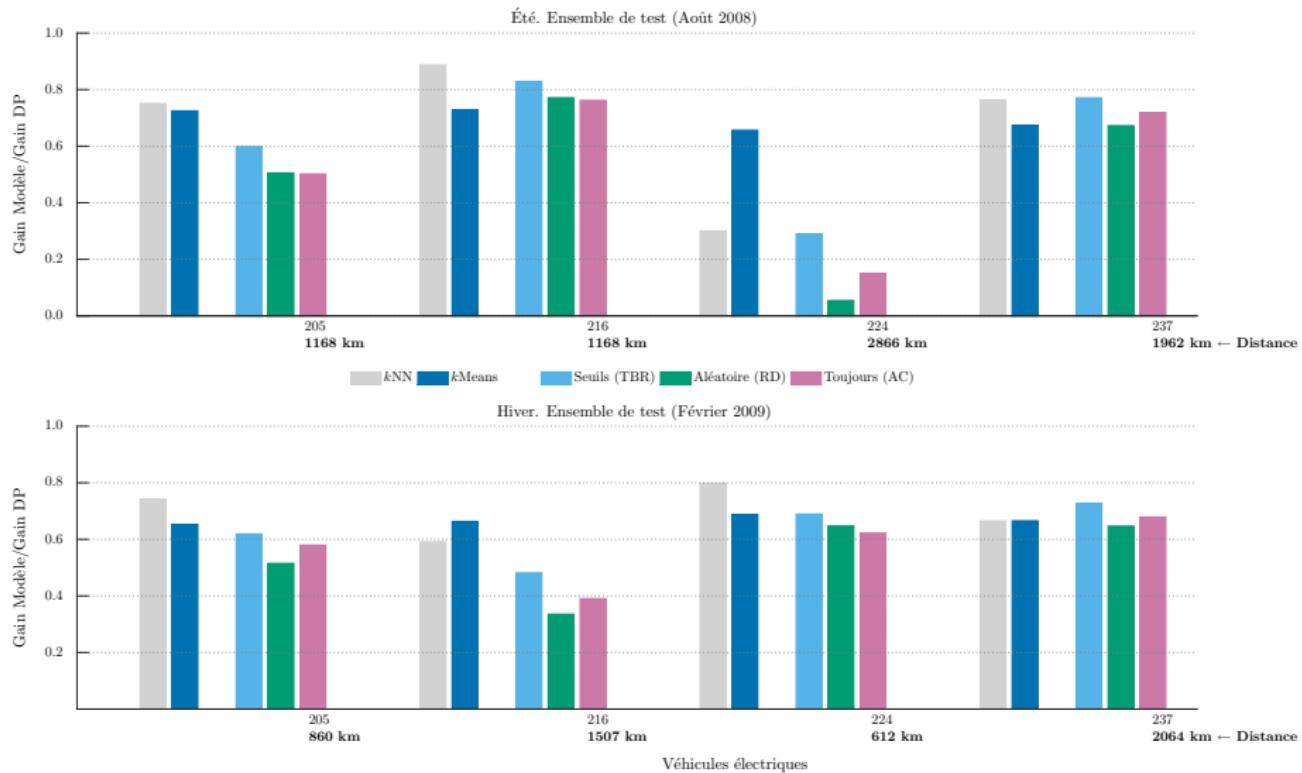
Résultats



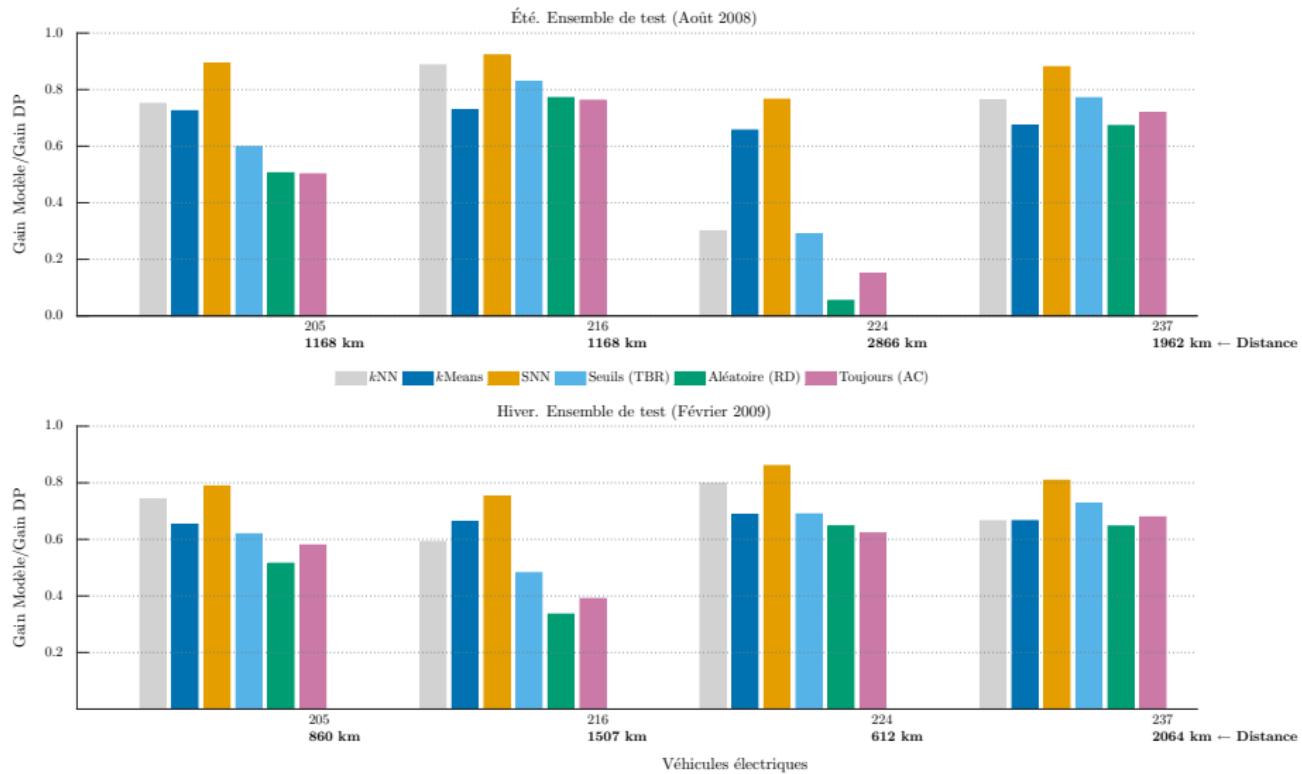
Résultats



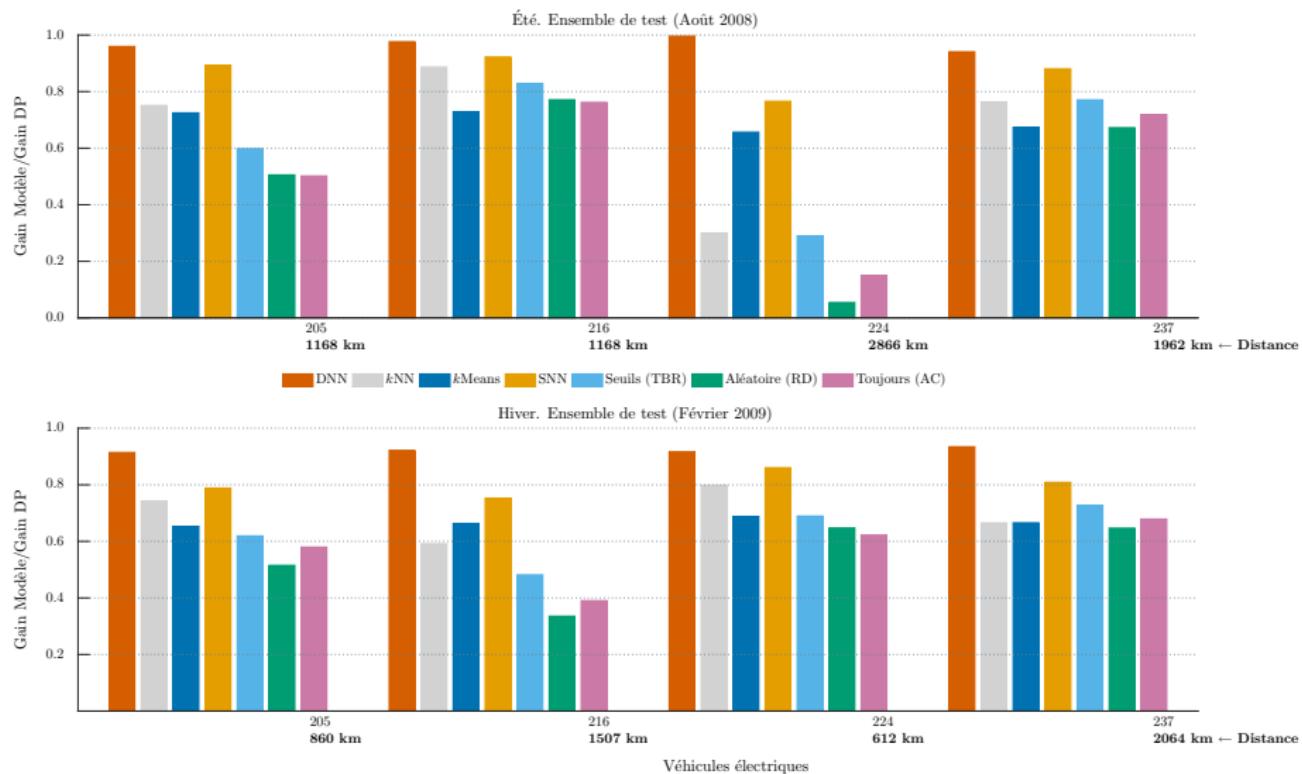
Résultats



Résultats



Résultats



Contributions

- Définition de la recharge comme un problème de prise de décisions en temps réel
- Développement des algorithmes d'apprentissage pour la recharge intelligente de VE
- Analyse des données
- Convergence de méthodes déterministes et de l'apprentissage automatique

Bénéfices de la recharge décentralisée des VE à tarifs dynamiques

- Aplatir la courbe de charge
- Régulation de fréquence
- Réduire le coût de production de l'énergie électrique
- Optimiser l'efficacité générale du système



Merci de votre attention!