

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

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

22 jan 2019

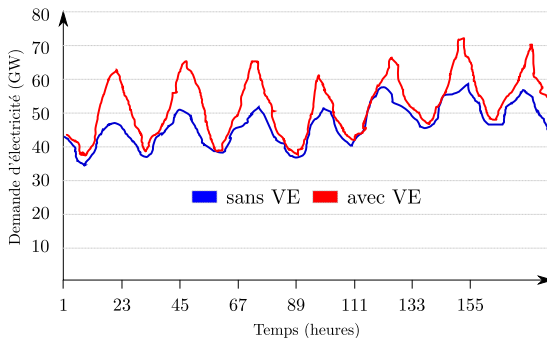


Effets de la recharge sur le réseau électrique



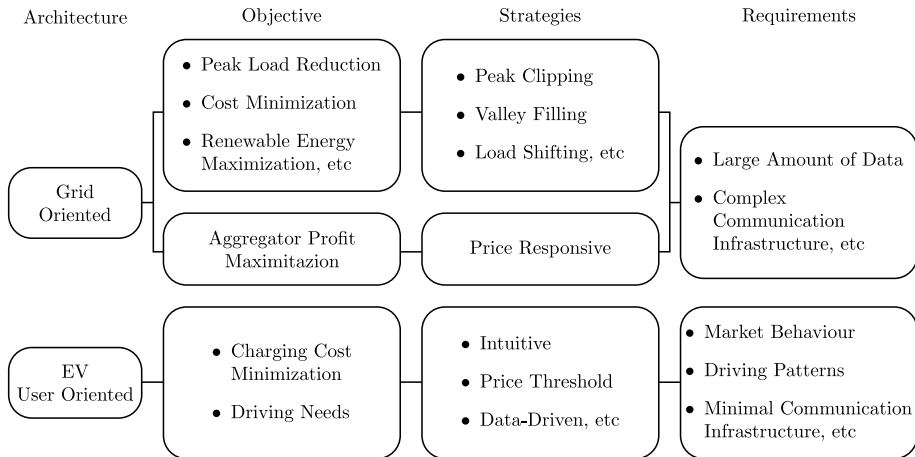
Source: Inauguration of the European Interoperability Centre for Electric Vehicles and Smart Grids

Effets de la recharge sur le réseau électrique



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

Comment faciliter la recharge intelligente de VE ?



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



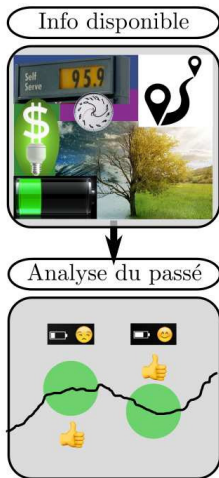
PIERRE COUTURE

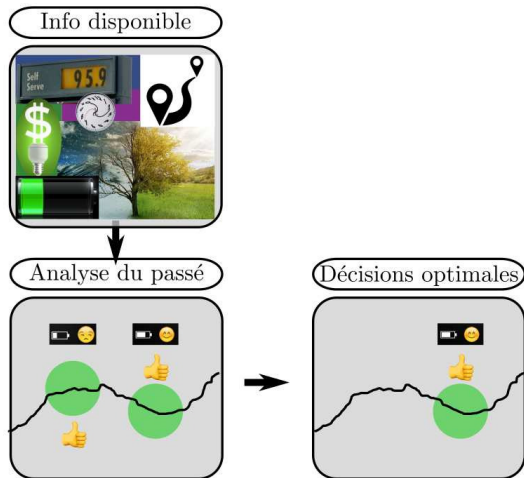
Judi, 26 avril 2018 01:00

MISE à JOUR Judi, 26 avril 2018 01:00

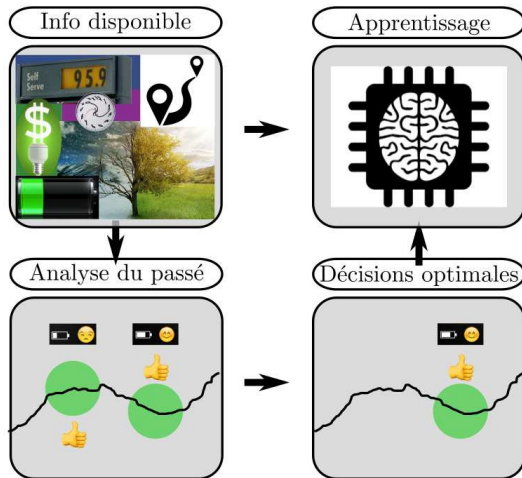
Hydro-Québec offrira dès l'hiver prochain des tarifs d'électricité variables selon les heures de la journée à ses clients.

« 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.

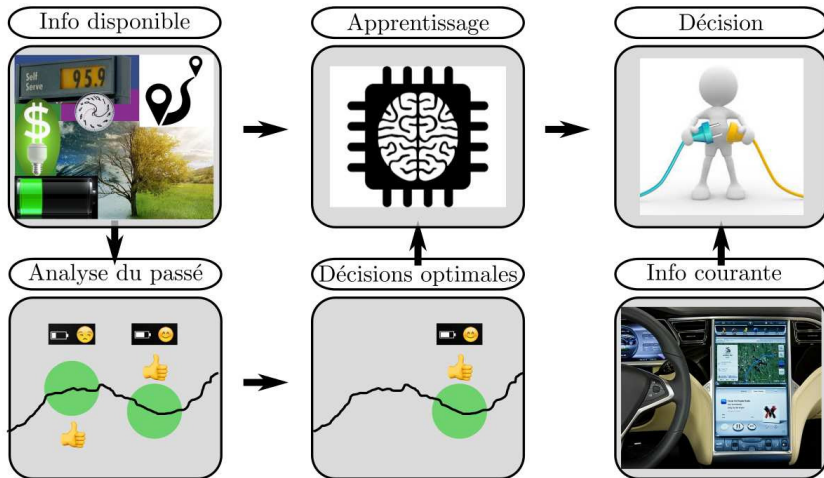




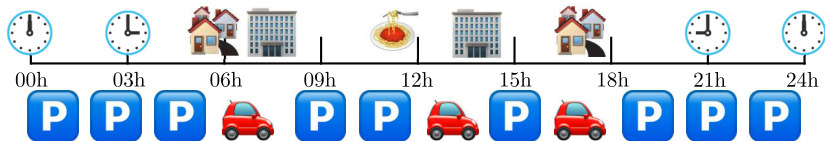
Méthodologie



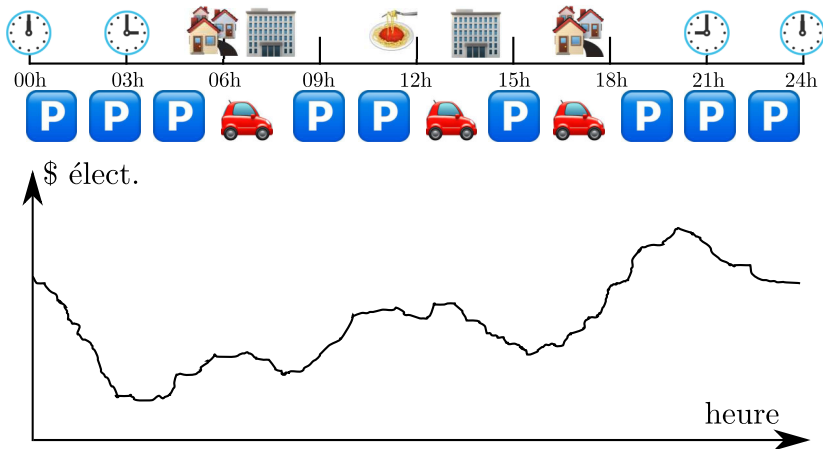
Méthodologie



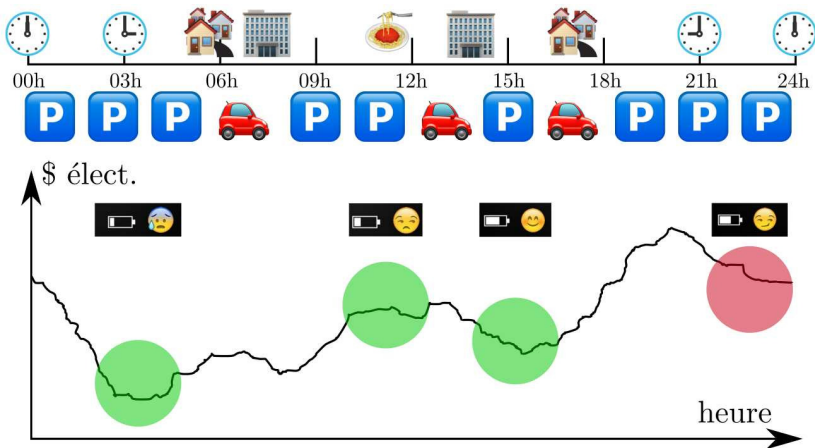
Programmation des périodes de recharge



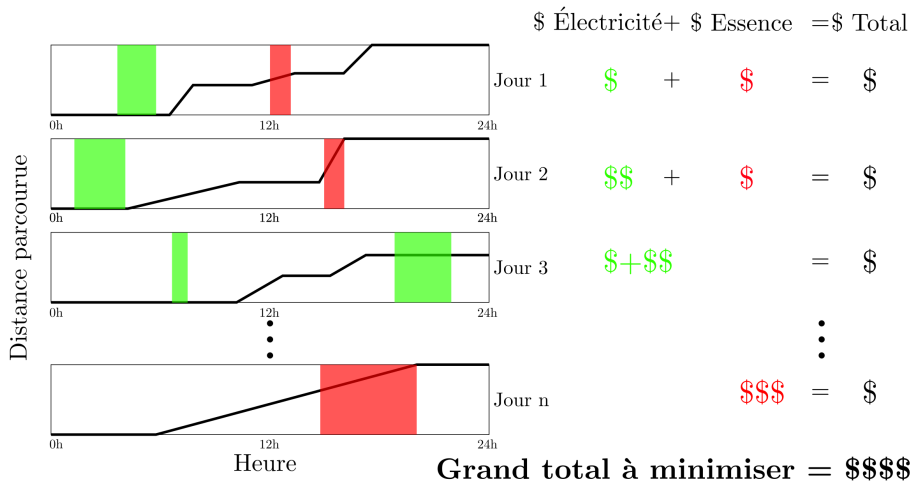
Programmation des périodes de recharge



Programmation des périodes de recharge



Objectif: Minimiser le coût en énergie du VE



Objectif: Minimiser le coût en énergie du VE

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

$$S_p(t) = a(t) \cdot C_{el}(t) \cdot \frac{E_{ch}(SoC(t))}{\eta}, \quad (2)$$

$$S_u(t) = C_{fuel}(t) \cdot \max(F_c(SoC(t)), 0), \quad (3)$$

- Les états :

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

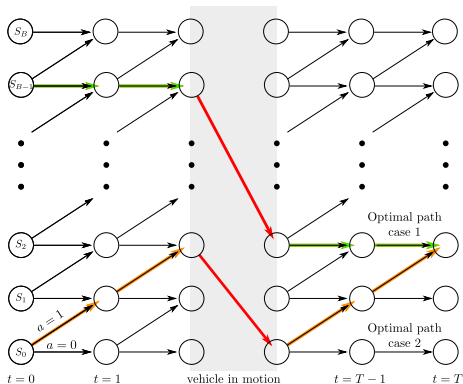
- Les actions ($a = 0, a = 1$)
- La fonction de transition (modèle de batterie)
- La fonction de récompense :

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

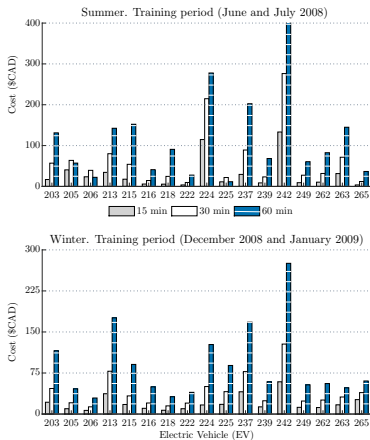
$$Q(s(t), a) = r(s(t), a) + \max_{a \in \mathcal{A}} Q(s(t+1), a) \quad (6)$$

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

Exemple illustrative de la programmation dynamique pour prise de décisions



Analyse de l'intervalle de temps



Comparaison de la programmation dynamique avec des techniques de base

EV	GAS	Summer						GAS	Winter					
		DP		AC		RD			DP		AC		RD	
		\$	%	\$	%	\$	%		\$	%	\$	%	\$	%
203	131.2	34.0	74	91.0	31	93.7	29	65.1	7.9	88	29.1	55	30.1	54
205	93.0	22.1	76	57.4	38	57.1	39	45.5	5.4	88	22.2	51	24.8	45
206	52.4	1.5	97	16.4	69	14.6	72	34.9	5.5	84	20.5	41	21.4	39
213	187.4	15.7	92	60.6	68	60.4	68	66.5	7.4	89	27.2	59	28.7	57
215	230.8	66.8	71	165.6	28	184.1	20	58.8	6.3	89	24.6	58	25.2	57
216	93.2	3.3	96	24.7	73	23.9	74	79.2	19.4	76	55.8	29	59.1	25
218	81.0	3.2	96	21.4	74	20.7	74	40.5	4.2	90	18.3	55	18.8	53
222	66.5	3.0	95	21.0	68	21.9	67	42.9	4.6	89	19.3	55	20.8	52
224	228.4	87.1	62	207.2	9	220.8	3	31.9	2.8	91	13.8	57	13.1	59
225	64.4	1.4	98	17.7	73	15.8	75	66.0	8.4	87	28.1	57	29.9	55
237	156.8	17.3	89	56.5	64	63.0	60	108.3	14.2	87	44.4	59	47.4	56
239	72.2	2.5	97	23.3	68	22.0	70	64.2	7.4	88	26.4	59	28.5	56
242	364.3	98.0	73	232.5	36	287.3	21	178.0	49.6	72	133.8	25	150.1	16
249	122.1	5.0	96	34.9	71	32.9	73	36.1	3.6	90	15.1	58	15.9	56
262	20.8	0.4	98	6.2	70	5.8	72	61.8	6.4	90	25.8	58	27.2	56
263	32.0	2.3	93	9.6	70	8.3	74	52.8	7.2	86	23.0	56	24.7	53
265	57.7	1.6	97	17.3	70	15.7	73	23.8	2.4	90	10.9	54	11.1	53
Mean	120.8	21.5	88	62.6	58	67.5	57	62.1	9.6	87	31.7	52	33.9	50
Median	93.0	3.3	96	24.7	68	23.9	70	58.8	6.4	88	24.6	56	25.2	54

Analyses univariées des données - Corrélacion et ACP

Analyses multivariées des données - Corrélation et ACP

	Temperature	Energy used	Gasoline price	HOD	HOEP
Temperature	1.00	0.02	0.81	-0.02	0.15
Energy used		1.00	0.02	0.06	0.06
Gasoline price			1.00	-0.00	0.17
HOD				1.00	0.71
HOEP					1.00

Analyses multivariées des données - Corrélation et ACP

	Temperature	Energy used	Gasoline price	HOD	HOEP
Temperature	1.00	0.02	0.81	-0.02	0.15
Energy used		1.00	0.02	0.06	0.06
Gasoline price			1.00	-0.00	0.17
HOD				1.00	0.71
HOEP					1.00

	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
Temperature	0.57	-0.41	-0.01	-0.06	0.71
Energy used	0.08	0.08	0.99	0.01	0.00
Gasoline price	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

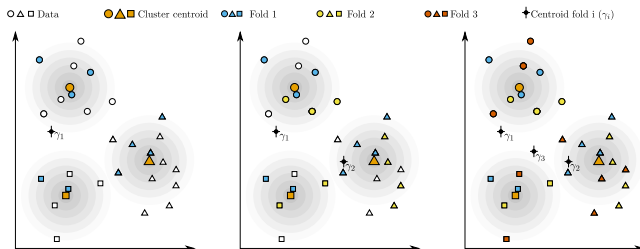
- HOEP (\mathbf{x}^1), HOD (\mathbf{x}^2), and air temperature (\mathbf{x}^3) with 101 lags.
- Energy consumed (\mathbf{x}^4) with 199 lags.
- Scalar variables (converted into real values when necessary and normalized in the range $[0, 1]$):
 - w_1 : weekdays;
 - w_2 : hour;
 - w_3 : $C_{el}(t-1) - C_{el}(t)$ is the difference in electricity price;
 - w_4 : $C_{el}(t)$ is the electricity price [\$/kWh] at time t ;
 - w_5 : $C_{fuel}(t)$ is the gasoline price [\$/l] at time t ;
 - w_6 : $dis(t)$ is the distance traveled [km] at time t .

Définition du Système d'Information

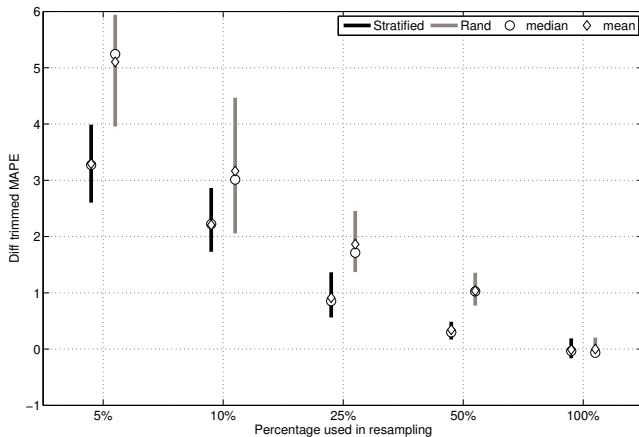
- HOEP (\mathbf{x}^1), HOD (\mathbf{x}^2), and air temperature (\mathbf{x}^3) with 101 lags.
- Energy consumed (\mathbf{x}^4) with 199 lags.
- Scalar variables (converted into real values when necessary and normalized in the range $[0, 1]$):
 - w_1 : weekdays;
 - w_2 : hour;
 - w_3 : $C_{el}(t-1) - C_{el}(t)$ is the difference in electricity price;
 - w_4 : $C_{el}(t)$ is the electricity price [\$/kWh] at time t ;
 - w_5 : $C_{fuel}(t)$ is the gasoline price [\$/l] at time t ;
 - w_6 : $dis(t)$ is the distance traveled [km] at time t .

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

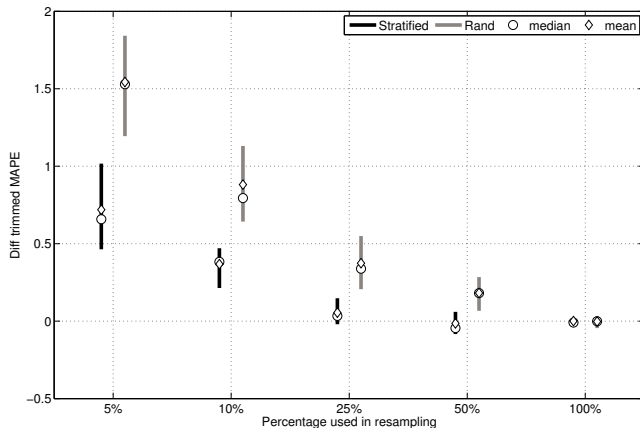
Stratification des données

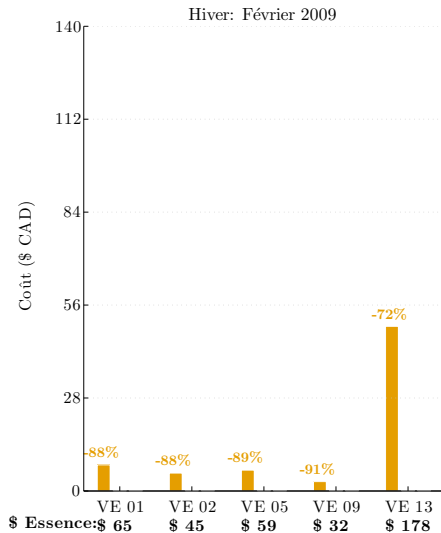
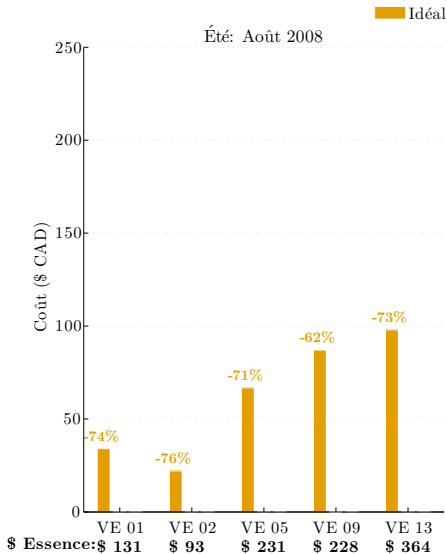


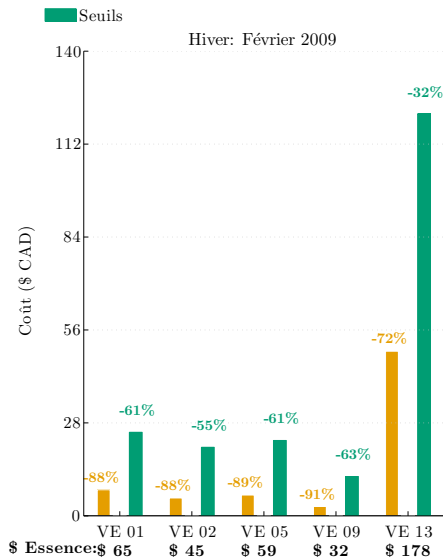
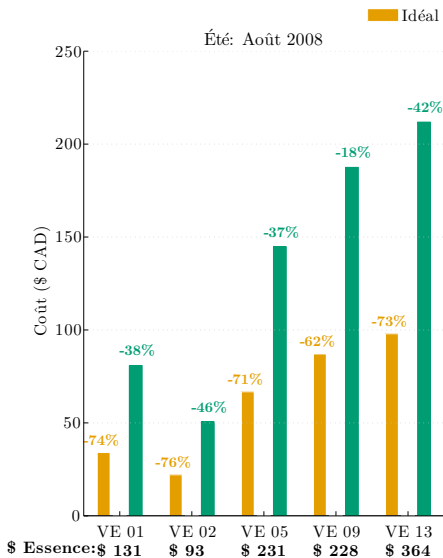
Stratification dans un problème de régression avec réseau de neurones

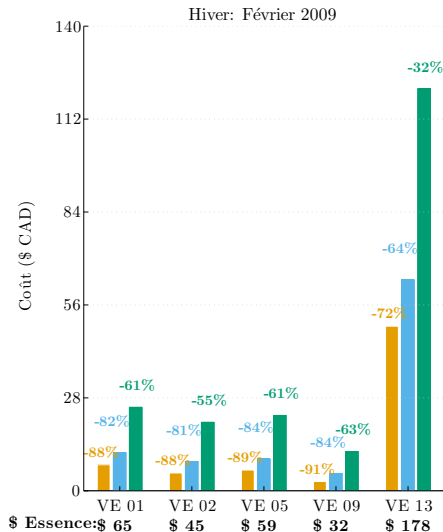
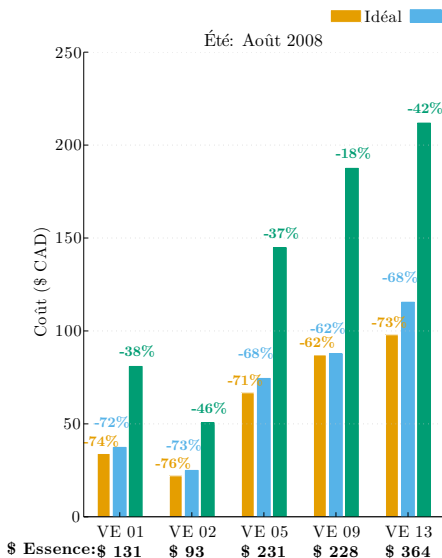


Stratification dans un problème de régression avec machines à vecteurs de support









- 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!