



CES Centre Efficacité énergétique des Systèmes

21 mai 2014 ■ ■

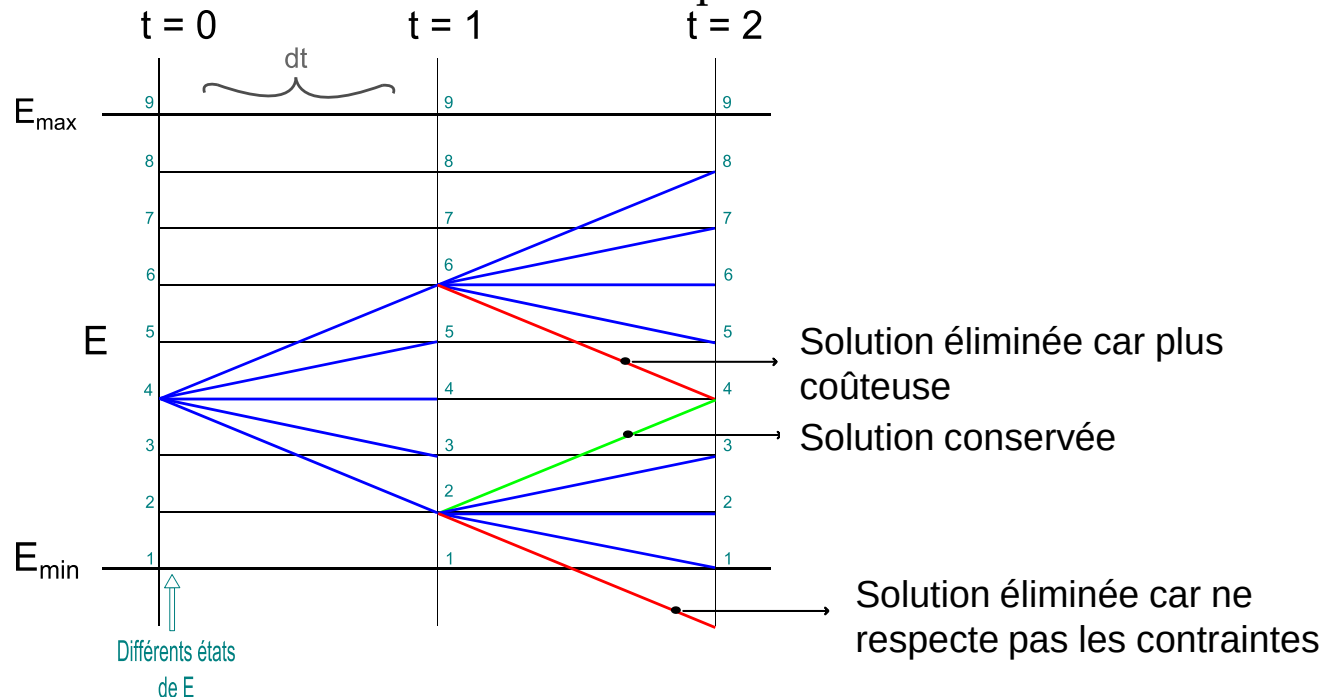
■ Elaboration de lois heuristiques à partir de la programmation dynamique:

Application à l'effacement de la consommation électrique de pointe dans les bâtiments performants

Maxime Robillart, Patrick Schalbart, Bruno Peuportier

- Contexte :
 - Régulation énergétique du bâtiment: utilisation de méthodes d'optimisation (programmation dynamique)
 - Limites: méthodes coûteuses en temps de calcul
- But : **réduire les temps de calcul**
 - Dédire une **stratégie opérationnelle** à partir de la **stratégie optimale** élaborée par la **programmation dynamique**
- Méthodologie :
 - **Identification** de lois reliant le choix d'une action à des **variables explicatives**
 - Utilisation d'un **modèle linéaire généralisé**
- Cas d'application :
 - **Période hivernale** (Effacement de la consommation électrique de pointe)

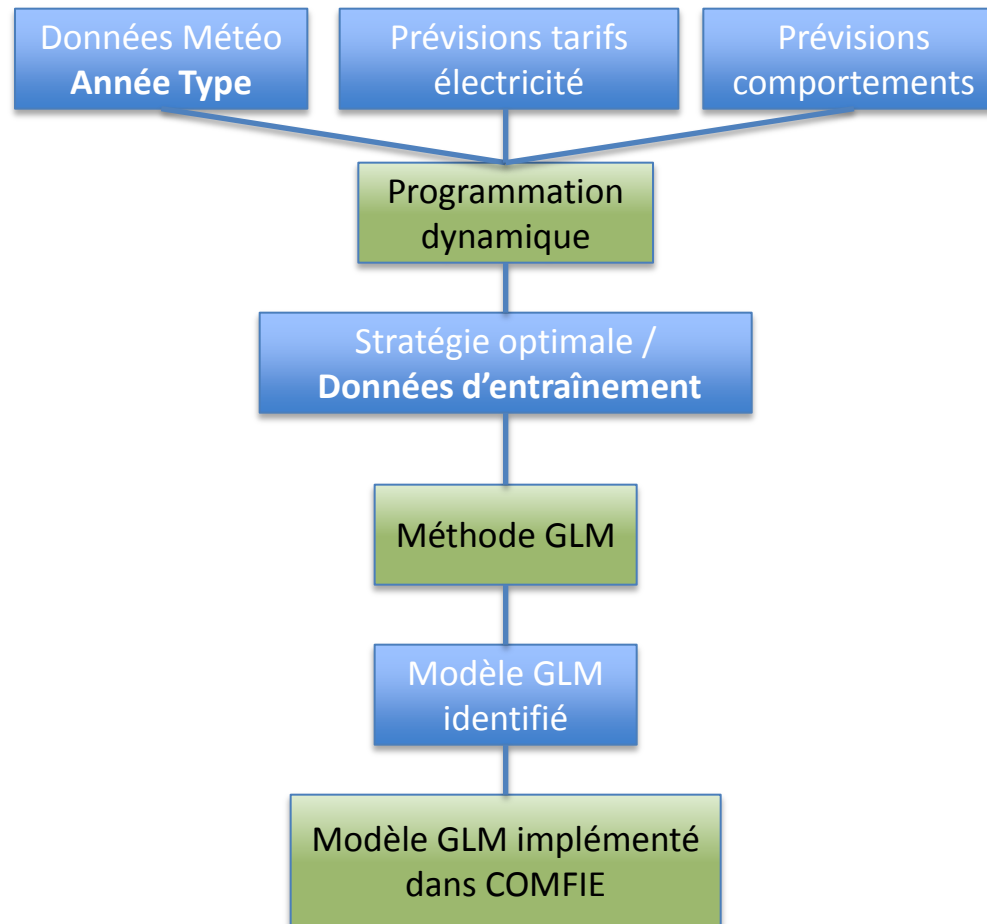
- Méthode :
 - Programmation dynamique (PD)
- Principe de Bellman [Bellman, 1957] :
 - « Une politique optimale ne peut être formée que de sous-politiques optimales »
 - Réduction du nombre d'alternatives à comparer



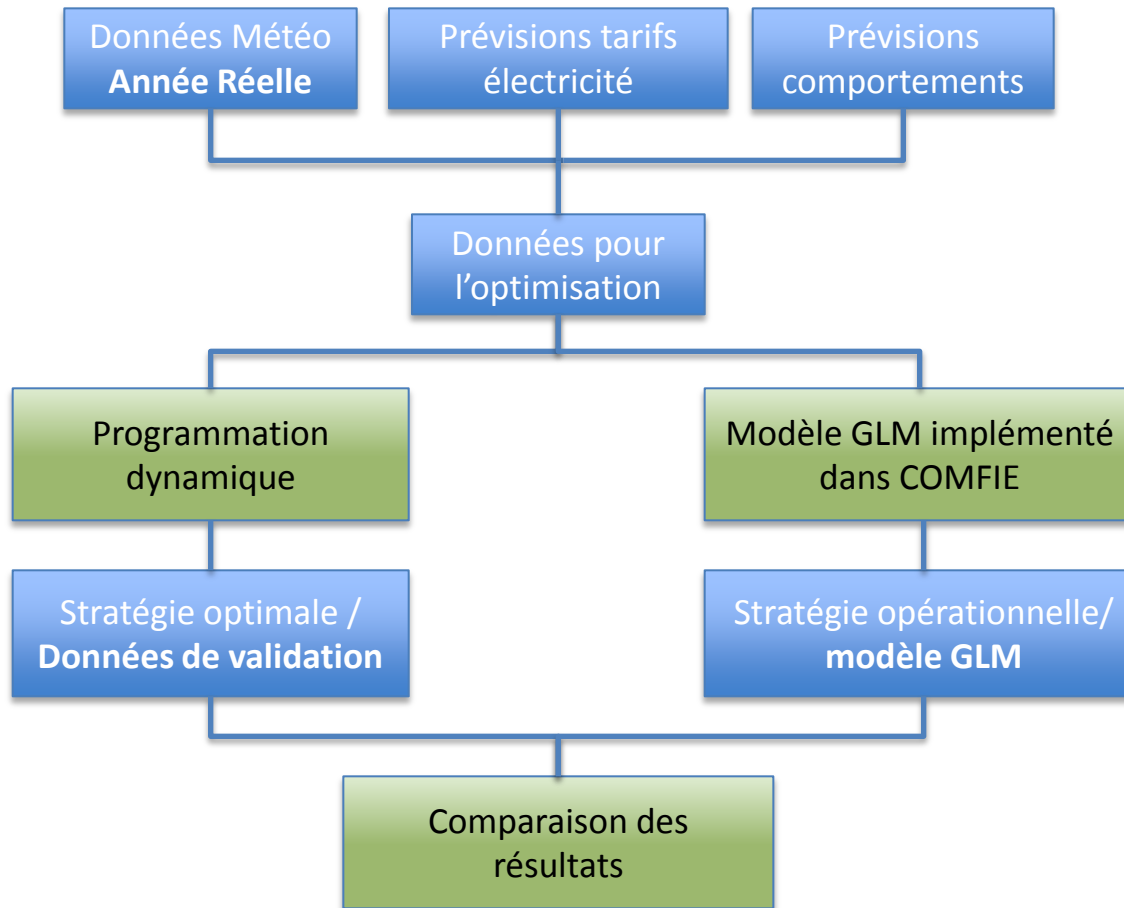
- Méthode :
 - Identification de lois heuristiques à partir d'un modèle linéaire généralisé (GLM pour Generalised Linear Model)
- Principe :
 - Permet d'étudier la liaison entre une réponse Y et un ensemble de variables explicatives $X_1, \dots, X_j$.
 - Une fonction lien $f()$ est utilisée : $f(E(Y)) = a_1X_1 + \dots + a_jX_j + b$
 - Paramètres estimés par maximum de vraisemblance (AIC)
- Application :
 - Fonction de lien utilisée : **fonction logit**, $f(x) = \ln(x/(1-x))$
 - On obtient alors :

$$\ln\left(\frac{E(Y)}{1 - E(Y)}\right) = a_1X_1 + \dots + a_jX_j + b$$

- Principe général: identification des modèles



- Principe général: comparaison des stratégies



- Données météo :
 - Année type : données TRNSYS Chambéry (janvier et février)
 - Année réelle : données de l'aéroport du Bourget du Lac (janvier et février)
- Paramètres de l'optimisation :
 - Bâtiment monozone
 - Durée de l'optimisation: 34 jours (du 15 janvier au 17 février)
 - Commande : chauffage avec un maximum de 5000W
 - Occupation : famille standard de 4 personnes
 - Températures minimale/maximale : 19°C / 26°C
 - Grille tarifaire pour l'électricité :

	Heures creuses	Heures pleines	Heures de pointe
Horaire	0h-9h	9h-17h 22h-0h	17h-22h
Prix du kWh (€)	0,0864	0,1275	0,255

- Evaluation des résultats :
 - Indicateur EMR (Ecart Moyen Relatif)
 - Puissance Moyenne
 - Coût cumulé
 - % d'heures de pointe effacées
 - % d'heures pleines effacées
 - Taux d'inconfort
 - T_{min} : Durée (en %) où $T_{zone}(t) \leq T^{\circ}_{min}$
 - T_{max} : Durée (en %) où $T_{zone}(t) \geq T^{\circ}_{max}$

- Variable à prédire :
 - Puissance de chauffage au pas de temps $t+\Delta t$
- Variables explicatives utilisées :
 - **Variable explicatives au pas de temps $t+\Delta t$** (température extérieure, rayonnement solaire global horizontal, tarif de l'électricité)
 - **Variables explicatives au pas de temps t** (température de la zone, puissance de chauffage, énergie stockée dans le bâtiment)
- Modèles développés : données d'entraînement = DE

	Heures creuses	Heures pleines	Heures de pointe
GLM_1	DE	DE	DE
GLM_2	DE	DE	-
GLM_3	DE	-	-
GLM_4	DE	DE	DE
GLM_5	DE	DE	DE

	GLM_1	GLM_2	GLM_3	GLM_4	GLM_5	PD
Puissance moyenne (W)	2113	2060	896	2060	1747	907
Coût cumulé (€)	219	173	63	173	123	65
Heures de pointe effacées (%)	0	100	100	100	100	99.4
Heures pleines effacées (%)	0	0	100	0	100	89
Tlmin (%)	0	0	20 (écart moyen -0,3°C)	0	0	0
Tlmax (%)	96 (écart moyen 4,6°C)	95 (écart moyen 4,1°C)	0	95 (écart moyen 4,1°C)	69 (écart moyen 1,8°C)	0
T°min / T°max (°C)	20,8/32,6	20,8/32,3	17,9/22,2	20,8/32,3	19,8/30,9	19/23,3
EMR (%)	-133	-127	1	-127	-93	-

- But :
 - Activation du contrôleur dès que la température de la zone ne respecte pas les contraintes de confort
- Loi de contrôle (contrôleur de type proportionnel) :

$$P(t + \Delta t) = \begin{cases} K(T^{\circ}_{\min} - T(t)) & T(t) \leq T^{\circ}_{\min} \\ GLM_3 & T^{\circ}_{\min} < T(t) < T^{\circ}_{\max} \\ 0 & T(t) \geq T^{\circ}_{\max} \end{cases}$$

Résultats : application d'un contrôleur (2/2)

	GLM_3 sans contrôleur	GLM_3 avec contrôleur	PD
Puissance moyenne (W)	896	913	907
Coût cumulé (€)	63	68	65
Heures de pointe effacées (%)	100	95,6	99,4
Heures pleines effacées (%)	100	93,5	89
Tl_{min} (%)	20 (écart moyen -0,3°C)	4 (écart moyen -0,07°C)	0
Tl_{max} (%)	0	0	0
$T^{\circ}min / T^{\circ}max$ (°C)	17,9/22,2	18,6/22,6	19/23,3
EMR (%)	1	-1	-

- Modèle GLM_3 : performances intéressantes
 - Effacement des heures de pointe (et pleines)
 - Respect en partie des contraintes de température
 - Coût cumulé
- Temps de calcul très intéressant
 - De l'ordre de 1s
 - 150 fois plus rapide que celui de la programmation dynamique sur un ordinateur de bureau
- Amélioration du modèle
 - Contrôleur activé dès que la température de la zone est inférieure à 19°C
 - Diminution du taux d'inconfort



CES Centre Efficacité énergétique des Systèmes



■ Merci de votre attention!

Contact:

maxime.robillart@mines-paristech.fr

Remerciements:

Projet ANR PRECCISION