



Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Mines-Paristech, PERSEE 

20 janvier 2017



Conten

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

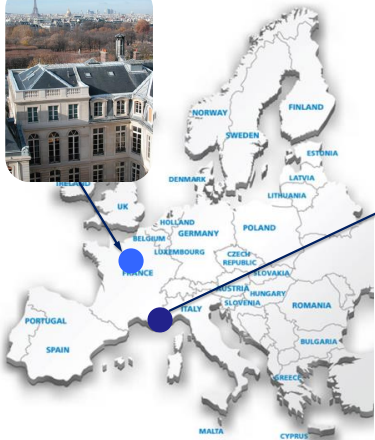
Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Mon centre de recherche aux MINES : PERSEE

Groupe ERSEI : Énergies renouvelables et système électrique intelligent ~ 20 personnes



PERSEE: Centre Procédés, Energies Renouvelables et Systèmes Energétiques.

- *Energies Renouvelables et Smartgrids*
- *Technologies et procédés durables*
- *Matériaux pour l'énergie*

MINES ParisTech @ Sophia Antipolis



Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

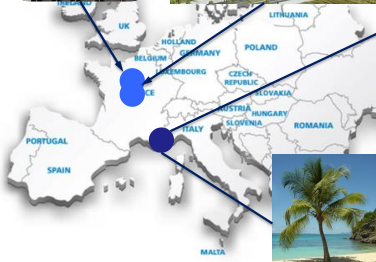
Mon centre de recherche aux MINES : PERSEE

Groupe ERSEI : Énergies renouvelables et système électrique intelligent ~ 20 personnes



PERSEE: Centre Procédés, Energies Renouvelables et Systèmes Energétiques.

- *Energies Renouvelables et Smartgrids*
- *Technologies et procédés durables*
- *Matériaux pour l'énergie*



MINES ParisTech @ Sophia Antipolis



Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Thème 1 : Prédiction à court terme

- ▶ production éolienne, PV (Projets FP5-6-7 Anemos-An.+ -Safewind, AMI NiceGrid). Prédiction de scénarios, méthodes spatio-temporelles
- ▶ consommation locale (BT-HTA) Projets H2020 Sensible,
- ▶ les prix de l'électricité,
- ▶ capacité thermique des lignes, ...

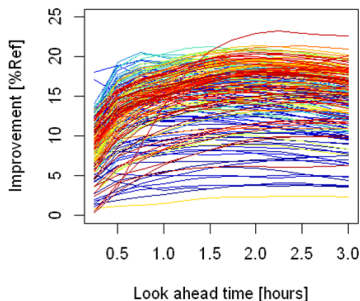


FIGURE – Amélioration de la prédiction par l'utilisation des centrales voisines comme stations de mesures.

Thème 2 : Optimisation pour la gestion et la planification

Problèmes pour le système électrique :

- ▶ Unit commitment, contraintes temporelles, stock, coups de démarrage durée min/max de fonctionnement ...
- ▶ Optimal power flow dans le réseau de transport, dans le réseau de distribution.
- ▶ Optimisation de l'investissement pour un producteur dans un marché à prix locaux.
- ▶ Capacity expansion planning...

Outils mathématiques :

- ▶ Programmation linéaire, nombres entiers
- ▶ décompositions-coordination (e.g. Bender)
- ▶ programmation dynamique
- ▶ cônes de second ordre (Relaxations et techniques coupes associées ...)
- ▶ réduction de problèmes à deux ou trois niveaux par KKT
- ▶ ...

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Thème 3 : Simulation / Big data pour l'énergie

- ▶ Simulation production (variabilité spatio-temporelles, modèles de centrales éolien/PV, [Projet ADEME 100% EnR](#))
- ▶ Simulation de la consommation d'électricité (méthode bottom-up [Projet MOSAIC avec ENEDIS](#))
- ▶ Simulation des erreurs de prédiction (échelle [Projet SmartReserve](#))
- ▶ Simulation (Production, Consommation) étude du gisement (éolien, PV, micro-step ~ 40GW de gisement en France, ...).

Utilisation de grandes bases/SIG comme :

- ▶ NASA, ECMWF, Météo France ... **Météo (réanalyses/observations)**
- ▶ INSEE : **foyers, tertiaire, activités, ...**
- ▶ IGN : **bâtiments, parcs, infrastructures, relief, ...**
- ▶ ENEDIS : **base Clients, réseau, mesures HTA, linky,...**
- ▶ Impots : **Majic**

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Content

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Quelques problèmes d'actualité

- ▶ Valeur du stockage aujourd'hui? dans le futur? (effet du spread)
- ▶ Impact sur les prix de décisions politiques (subvention des renouvelables, fermetures d'une centrale nucléaire, ...)
- ▶ Sortie du tarif d'achat et mécanisme de complément de revenu

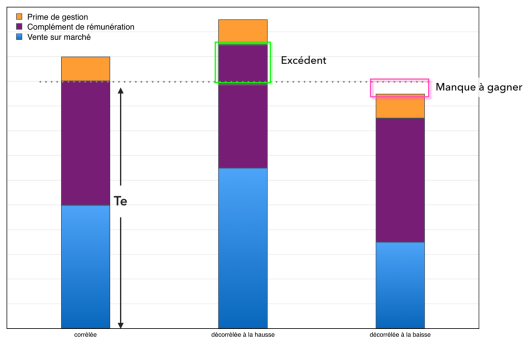
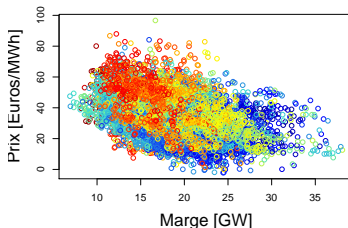
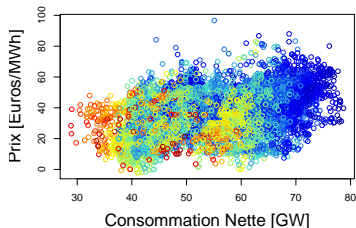


FIGURE –
Risques et opportunités du mécanisme de complément de revenu pour un producteur/aggrégateur.

Simulation prix : méthode statistique

- ▶ Conso Nette (CN) : Conso-EnR- exp+ imp-turb+pomp
- ▶ Marge (M) : CN - puissance disponible
- ▶ Learning 2013, test 2014.



Modèle	$lm(CN)$	$lm(CN+M)$	$RF(CN+M)$	$lm_h(CN+M)$	$lm_{h,wd}(CN+M)$
RMSE 2013	12.95	12.00	13.73	11.31	8.06
RMSE 2014	12.95	12.00	13.73	11.31	12.95
std (13.01)	6.15	5.57	5.536	8.28	12.33

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

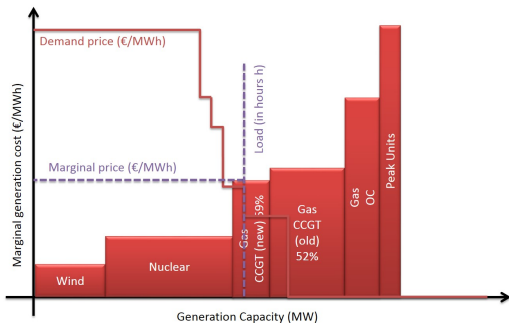
Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Simulation prix : méthode explicite

- ▶ Méthode statistique pas très robuste aux changements de mix électrique.
- ▶ Méthode explicite : simulation du "merit order"



Problème d'optimisation à chaque pas de temps t :

$$\min \sum_{i=1}^n \pi_{it} P_{it}$$

$$\sum_i P_{it} = NC_t$$

$$\forall i, 0 \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max}$$

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Modèle paramétrique sur les offres de prix (1/2)

- ▶ Idée : $(\pi_{i,t})_t = f(\theta_i, X_i)$ pas observé. Mais π_t^* observé.
- ▶ L'ordre de mérite donne : $\pi_t(\theta_1, \dots, \theta_n)$
- ▶ Minimisation de l'erreur

$$\hat{\pi}_t^* = \mathop{\text{Arg min}}_{\theta} \text{Err}(\pi(\theta_1, \dots, \theta_n), \pi^*)$$

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Modèle paramétrique sur les offres de prix (1/2)

- ▶ Idée : $(\pi_{i,t})_t = f(\theta_i, X_i)$ pas observé. Mais π_t^* observé.
- ▶ L'ordre de mérite donne : $\pi_t(\theta_1, \dots, \theta_n)$
- ▶ Minimisation de l'erreur

$$\hat{\pi}_t^* = \underset{\theta}{\text{Arg min}} \text{Err}(\pi(\theta_1, \dots, \theta_n), \pi^*)$$

- ▶ Quelques écueils à éviter
 - ▶ Un modèle par centrale : trop de paramètres \rightarrow un modèle par classe de centrales $(C_j)_{j=1, \dots, C} : (\pi_{i,t})_t = f(\theta_{cl(i)})$.
 - ▶ Un modèle fonction de P_{it} : optimisation difficile + pas très réaliste ou trop fin.
- ▶ On suppose que l'ordre de mérite au sein d'une classe est toujours le même.
- ▶ On définit pour une classe j à l'instant t : $i^*(j, t)$ le dernier moyen appelé de la classe et :

$$X_{jt} = \sum_{j < i^*(j, t); cl(j)=cl(i)} P_j^{\max \max}, \quad P_j^{\max \max} = \max_t P_{jt}^{\max}$$

Modèle paramétrique sur les offres de prix (1/2)

$\forall j = 1, \dots, C$ et $\forall t = 1, \dots, T$

- ▶ Modèle 1

$$f_1(\theta_j)_t = a_j X_{jt} + b_j M_t + c_j$$

- ▶ Modèle 2

$$f_2(\theta_j)_t = a_j X_{jt} + b_j M_t + c_j + g(h(t), wd(t))$$

- ▶ Modèle 1b, 2b :

$$f_b(\theta_j)_t = \min(\max(f_1(\theta_j), \pi_j^{\min}), \pi_j^{\max})$$

Modèle	$Im_h(\text{CN}+\text{M})$	f_1	f_2	f_{1b}	f_{2b}
RMSE 2013	10.80	11.81	8.7	11.92	8.78
RMSE 2014	11.31	13.25	10.53	12.49	10.15
std (13.01)	8.28	6.34	10.73	6.68	10.66

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Estimation du modèle

- ▶ Minimisation de l'erreur

$$\hat{\pi}_t^* = \text{Arg min } \text{Err}(\pi(\theta_1, \dots, \theta_n), \pi^*)$$

- ▶ Si l'erreur est additive dans le temps, et f n'est pas fonction de P_{it} , alors on peut partitionner le temps selon la classe de production qui fixe le prix :

$$[1 : T] = \bigcup_{j=1}^C \mathcal{T}_j(\theta) \quad (1)$$

- ▶ A l'intérieur d'une zone de θ qui laisse cette partition invariante il suffit de trouver un minimum local pour tout $j = 1, \dots, C$ à

$$\text{Err}^j = \sum_{t \in \mathcal{T}_j(\theta)} \text{Err}_t(f(\theta_j)_t, \pi_t^*) \quad (2)$$

- ▶ Algorithme pour minimiser l'erreur, alterner entre :
 - ▶ Estimation de l'ordre de mérite (Equation 1)
 - ▶ $\forall j = 1, \dots, C$ minimisation de Err^j (Equation 2)

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

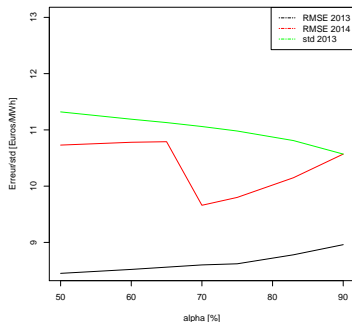
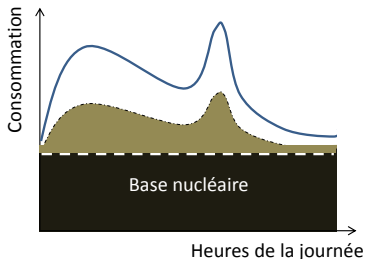
Introduction et modèle de référence
Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Modélisation de la base nucléaire

- ▶ Une partie importante du nucléaire Français ne transite pas par le marché day-ahead et fonctionne en base.
- ▶ Modèle choisi : la base représente $\alpha\%$ de la consommation minimale hebdomadaire
- ▶ Analyse de sensibilité des résultats en fonction de la base



Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

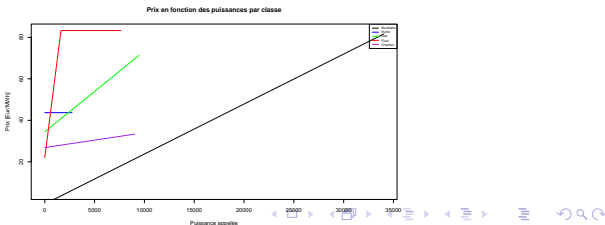
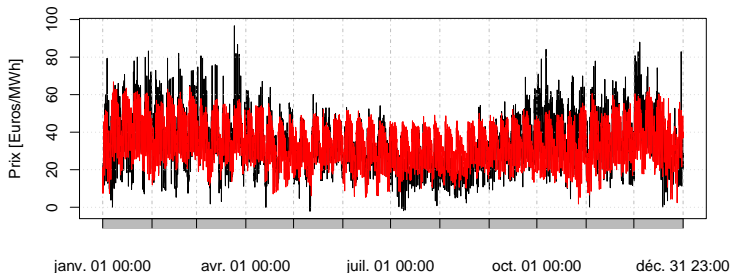
Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Résultats et limitations (1/2)



Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

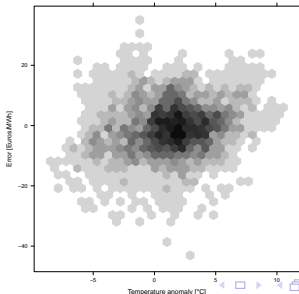
Introduction et modèle de référence
Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Résultats et limitations (2/2)

- ▶ Import/export
- ▶ Nucléaire Stock vendu à 50 euro/MWh (AREHN)
(modélisation de l'impact des évolutions de l'AREHN)
- ▶ contrainte de stock
- ▶ Phénomènes de pics de prix. Plusieurs solutions introduisant de nouvelles variables explicatives :
 - ▶ introduire les erreurs de prédiction long terme de demande/écarts à la normale saisonnière de température (cf graph ci-dessous, $r^2 = 2\%$).
 - ▶ introduire le caractère fortuit des maintenances de centrales.



Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Introduction et modèle de référence

Modèle des offres de prix

Estimation du modèle et résultats avancés

Un peu de programmation dynamique

Content

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman
Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Version générale du problème (gestion de stockage)

$$\begin{aligned} \min_{P \in \mathbb{R}^T} \quad & \sum_{t=1}^T C_t(P_t) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} lb_t \leq P_t \leq ub_t & t = 1, \dots, T \\ lbC_t \leq \sum_{j=1}^t P_j \leq ubC_t & t = 1, \dots, T \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

où $lbC, ulbC, lb$ et ub vecteurs de \mathbb{R}^T , et C_t ($t = 1 \dots, T$) fonctions de coût

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman
Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Version générale du problème (gestion de stockage)

$$\begin{aligned} \min_{P \in \mathbb{R}^T} \quad & \sum_{t=1}^T C_t(P_t) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} lb_t \leq P_t \leq ub_t & t = 1, \dots, T \\ lbC_t \leq \sum_{j=1}^t P_j \leq ubC_t & t = 1, \dots, T \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

où $lbC, ulbC, lb$ et ub vecteurs de \mathbb{R}^T , et C_t ($t = 1 \dots, T$) fonctions de coût

Résultat : Si les C_t sont linéaires par morceau et convexes on peut résoudre ce problème

- ▶ en un temps quasi-linéaire en T
- ▶ de manière exacte
- ▶ package R implémenté et dispo sur le CRAN.

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman
Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Applications utiles

- ▶ Optimisation de la participation au marché d'un simple stock
 $lbC_t = 0$ $lb_t = 0$, ou un stockage parfait.
- ▶ Optimisation d'un stockage au rendements γ_S γ_D

$$C_t(P_t) = \pi_t^* P_t \times \begin{cases} \gamma_S & \text{si } P_t \leq 0 \\ 1/\gamma_D & \text{sinon} \end{cases}$$

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Applications utiles

- ▶ Optimisation de la participation au marché d'un simple stock $lbC_t = 0$ $lb_t = 0$, ou un stockage parfait.
- ▶ Optimisation d'un stockage au rendements γ_S γ_D

$$C_t(P_t) = \pi_t^* P_t \times \begin{cases} \gamma_S & \text{si } P_t \leq 0 \\ 1/\gamma_D & \text{sinon} \end{cases}$$

- ▶ Résolution du problème de marché : g_t ci dessous est convexe linéaire par morceau.

$$g_t : z \rightarrow \begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^n \pi_{it} P_{it} \\ & \sum_i P_{it} = z \\ & \forall i, 0 \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max} \end{aligned}$$

La fonction $P_t \rightarrow g_t(NC_t - P_t) + \pi_t P_t$ l'est aussi.

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Équation de récurrence de type Bellman et Algorithme

Introduisons $D_k(z)$, défini pour $k \in \mathbb{N}_T^*$:

$$D_k(z) = \min \left(\sum_{t=1}^k C_t(P_t) \right) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} P_t \in [lbP_t; ubP_t] & t = 1, \dots, k \\ \sum_{j=1}^t P_j \in [lbC_t; ubC_t] & t = 1, \dots, k-1 \\ \sum_{j=1}^k P_j = z \end{cases}$$

- ▶ **Interprétation** : z niveau de stockage au pas de temps k
- ▶ Facile de trouver une équation de récurrence sur D_k
- ▶ **Algorithme** :
 - ▶ **Étape 1** Pour $k = 1..K$ calculer D_k par récurrence
 - ▶ **Étape 2** Pour $k = K..1$ calculer z_k^* l'état optimal du stockage à l'étape k

Formulation de l'équation de récurrence avec des opérations élémentaires

Équations de l'algorithme :

$$D_t(z) = (D_{t-1}[lbC_t, ubC_t]) \square (C_t[lbP_t, ubP_t])$$

$$f = \circlearrowleft [D_t[lbC_t, ubC_t], z_{t+1}^*] + C_{t+1}[lbP_{t+1}, ubP_{t+1}]$$

$$z_t^* = \text{Argmin} f$$

Opérations élémentaires :

$$\text{InfConv} : (f \square g)(x) = \min_{y \in \mathbb{R}} \{f(x - y) + g(y)\}$$

$$\text{Squeeze} : f[a, b](x) = \begin{cases} f(x) & \text{if } x \in [a, b] \\ +\infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{SWAP} : (\circlearrowleft[f, y])(x) = f(y - x)$$

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Le cas des fonctions convexes linéaires par morceau

- ▶ Les fonctions convexes linéaires par morceaux sont stables par ces opérations et peuvent être décrites par :
 - ▶ un vecteur de pentes (ou de différentiels de pentes)
 - ▶ un vecteur de points de rupture

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Le cas des fonctions convexes linéaires par morceau

- ▶ Les fonctions convexes linéaires par morceaux sont stables par ces opérations et peuvent être décrites par :
 - ▶ un vecteur de pentes (ou de différentiels de pentes)
 - ▶ un vecteur de points de rupture
- ▶ Toutes les opérations mentionnées peuvent être faites avec une faible complexité
 - ▶ SWAP, changement de l'offset et lecture des vecteurs dans le sens inverse **Complexité** : $O(1)$.
 - ▶ Sum(T, m), insertion de m points dans une chaîne ordonnée de n points **Complexité** : $O(m * \log(T))$.
 - ▶ Squeeze, deux insertions dans un vecteur de n points **Complexité** : $\log(T)$
 - ▶ InfConv, $f \square g = (f^* + g^*)^*$ la transformée de Legendre "*" est une inversion des pentes et des points de rupture. **Complexité** : $O(m * \log(T))$.

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman
Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Le cas des fonctions convexes linéaires par morceau

- ▶ Les fonctions convexes linéaires par morceaux sont stables par ces opérations et peuvent être décrites par :
 - ▶ un vecteur de pentes (ou de différentiels de pentes)
 - ▶ un vecteur de points de rupture
- ▶ Toutes les opérations mentionnées peuvent être faites avec une faible complexité

Package implémenté en R/Cpp ConConPiWiFun disponible sur le CRAN

Comparaison empirique avec CPLEX :

T	100	1000	5000	10^4	10^5	10^6
dyn.prog. [ms]	0.34	3.06	28.8	61.5	649.2	6285
CPLEX [ms]	4.31	724	63579	NC	NC	NC

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Conclusion, perspectives

Conclusions :

- ▶ Modèle de marché de l'électricité explicite, avec performances garanties
- ▶ Contribution à l'optimisation simple d'un stockage/stockage + groupes sans contraintes temporelles.
- ▶ Utilisation des techniques proche de la transformée de Legendre rapide pour optimiser un stockage en un temps quasi-linéaire
- ▶ Possibilité de simuler un futur avec + de renouvelables... travail à venir sur le mécanisme du complément de revenu.

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité

Conclusion, perspectives

Conclusions :

- ▶ Modèle de marché de l'électricité explicite, avec performances garanties
- ▶ Contribution à l'optimisation simple d'un stockage/stockage + groupes sans contraintes temporelles.
- ▶ Utilisation des techniques proche de la transformée de Legendre rapide pour optimiser un stockage en un temps quasi-linéaire
- ▶ Possibilité de simuler un futur avec + de renouvelables... travail à venir sur le mécanisme du complément de revenu.

Limitations/travaux à venir

- ▶ Intégration des STEP, des imports/export, de l'AREHN, ...
- ▶ analyse des résultats avec la contrainte de stock
- ▶ remplacer le modèle " f_2 " par des contraintes temporelles type "rampes".
- ▶ renforcement des résultats sur plus d'années
- ▶ sur le stockage implémenter le cas de la dimension 2.

Merci de votre attention ! Des Questions ?

robin.girard@mines-paristech.fr

Apprentissage statistique et optimisation pour la simulation des prix du marché de l'électricité

R. Girard, S. Billeau

Description de mon groupe de recherche

Apprentissage statistique pour la simulation du marché de l'électricité

Un peu de programmation dynamique

Description du problème d'optimisation et équation de Bellman

Les ingrédients algorithmiques à l'origine de la rapidité