

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée à l'Université Paris-Dauphine

The economic potential of Demand Response in liberalised
electricity markets: a quantitative assessment for the
French power system

École Doctorale de Dauphine — ED 543

Spécialité Sciences économiques

Soutenue le **19.03.2018**
par **Antoine VERRIER**

Dirigée par **Jan Horst KEPPLER**

COMPOSITION DU JURY :

M. Cédric CLASTRES
Maître de Conférence HDR, U.Grenoble
Rapporteur

M. Rudi HAKVOORT
Professeur Associé, TU Delft
Rapporteur

M. Dominique FINON
Directeur de Recherche CNRS, CIRED
Membre du jury

M. Patrice GEOFFRON
Professeur, Université Paris Dauphine
Président du jury

M. Olivier MASSOL
Professeur Associé, IFP School
Membre du jury

Andreas EHRENMANN
Dr. Chef Analyste, Engie - Invité

M. Jan Horst KEPPLER
Professeur, Université Paris Dauphine
Directeur de thèse

Résumé – Summary

Dans l'industrie électrique, le progrès technologique apporté par les réseaux intelligents vient défier l'idée selon laquelle les consommateurs ne pourraient pas réagir aux prix des marchés de gros. L'intégration des Effacements de Demande (ED) dans le système électrique se heurte néanmoins à la question de leur efficacité économique.

Cette thèse évalue la valeur économique des ED en s'appuyant sur un modèle de marché de l'énergie sous incertitude permettant de calculer les profits d'un agrégateur, par classe de consommateur et d'usage final. Le modèle appartient à la classe des problèmes linéaires stochastiques à plusieurs périodes. Sa résolution s'appuie sur Stochastic Dual Dynamic Programming.

Il semble qu'en France, les secteurs rentables sont le load-shedding industriel et le load-shifting du ciment et du papier. Le load-shifting du chauffage électrique n'est pas profitable pour le tertiaire et le résidentiel. De plus, la valeur capacitaire des ED est déterminante. Dans l'ensemble, les ED deviennent viables mais le développement de leur potentiel semble conditionné à une baisse des coûts fixes dans les technologies de réseau intelligent.

Mots-clefs : Effacements de Demande ; Agrégateur ; Marchés de l'électricité ; Incertitude ; Stochastic Dual Dynamic Programming.

In liberalised power markets the inability of consumers to adapt their demand in accordance to wholesale prices is increasingly challenged. Nowadays technical progress within the smart grid industry constitutes promising changes for the integration of end-users into the power system, but the deployment of Demand Response (DR) still faces the challenge of its economic viability.

This thesis aims to assess the economic value of DR. We rely on an energy-only market model under uncertainty in order to quantify the revenues of DR aggregators, classified by category of consumers and end-uses of electricity. The model is formulated as a multi-stage stochastic linear problem and solved by Stochastic Dual Dynamic Programming.

It appears that in France, industrial load-shedding and load-shifting of cement, paper, and pulp are profitable. For residential and tertiary consumers, load-shifting of electric heating is not profitable. We also show that the capacity value of DR is crucial. Overall, results show that DR is beginning to become economically attractive, but that fixed costs of smart grid technologies still need to come down further to fully develop its potential.

Key words: Demand Response; Aggregator; Electricity markets; Uncertainty; Stochastic Dual Dynamic Programming.