Modèle DC et méthode de faisceaux pour l'Optimal Power Flow

Wim van Ackooij[1], Sophie Demassey[2], Paul Javal[1,2], Welington de Oliveira[2], Barghav Swaminathan[1]

[1] EDF R&D, Saclay, France
paul.javal@edf.fr
[2] CMA - Centre de mathématiques appliquées MINES ParisTech, PSL Research University Sophia Antipolis, France

Mots-clés : *Optimal Power Flow, incertitudes, optimisation non-convexe, méthode de faisceaux*

1 Introduction

Les récentes évolutions technologiques et réglementaires ont apporté de nouveaux défis à la gestion prévisionnelle court-terme des réseaux de distribution électriques. Dans le contexte français, en lien avec par exemple le Clean Energy Package européen, la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) fixe à 32% la part d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'énergie brute en 2030 (contre moins de 15% en 2017) et à 7 millions le nombre de points de charge pour véhicules électriques (contre environ 150.000 en 2017). L'apparition massive de ces nouveaux acteurs sur le réseau électrique augmente les incertitudes sur les capacités de production et sur la charge dans le cadre de la gestion prévisionnelle court-terme du réseau. Les méthodes de résolution, basées sur des modèles d'Optimal Power Flow (OPF), doivent en conséquence évoluer pour intégrer ces incertitudes. Nous proposons d'appliquer une méthode de faisceaux sur un modèle déterministe formulé comme un problème d'optimisation dont la fonction objectif et les contraintes sont des différences de fonctions convexes.

2 Notations

p_i	puissance active au noeud i du réseau
$V_i,\ I_i$	potentiel et intensité au noeud i du réseau, $I = Y\ V$ avec Y la matrice d'admittance
p	facteur de confiance

3 Optimal Power Flow

Dans notre travail, nous traitons un problème AC-OPF (en courant alternatif) modélisé en Bus Injection (voir [1]). Dans un premier temps nous considérons le cas déterministe, avant d'étudier l'extension au cas stochastique. Notre intérêt se porte principalement sur les contraintes d'équilibre des puissances électriques qui ont, pour les puissances actives, la forme suivante :

$$p_i = \mathrm{Re}(V_i\ I_i^\star) \quad \forall \text{ noeud } i \tag{1}$$

Nous relâchons ces contraintes, qui dans le cadre déterministe s'écrivent alors :

$$-\epsilon \leq \mathrm{Re}(V_i\ I_i^\star) - p_i \leq \epsilon \quad \forall \text{ noeud } i \tag{2}$$

avec $\epsilon > 0$ choisi en cohérence avec les contraintes légales de limites de tension et intensité.

4 Modèle DC et méthode de faisceaux

Bien que non-convexe par les contraintes (2), le problème obtenu possède une structure de Différence-de-Convexe (DoC). Une fonction f est dite DoC si nous avons f_1 et f_2 deux fonctions convexes telles que $f = f_1 - f_2$. Nous renvoyons à [2] pour plus de détails sur les propriétés des fonctions et problèmes DoC.

Nous proposons une approximation DoC explicite de l'AC-OPF, que nous formulons alors comme un problème DoC avec contraintes DoC (noté **P**). En s'inspirant de la méthode de faisceaux, nous nous ramenons à un problème DoC avec contraintes linéaires (noté **P'**). La résolution de ce dernier problème s'appuie sur les travaux de [3], pour obtenir un point candidat à être solution de **P'**.

Enfin nous proposons une analyse de ce point de convergence, ainsi que son intérêt pour le problème AC-OPF original **P**. Nous montrons, sous un ensemble d'hypothèses faibles et vérifiées dans notre cas d'étude, que ce point est un point *critique* pour la fonction objectif s'il est réalisable, et pour la contrainte DoC dans le cas contraire. Il vérifie une propriété plus forte de *d-stationnarité* en ajoutant d'autres hypothèses telles que la différentiabilité du second membre de la décomposition DoC des fonctions de notre problème.

5 Perspectives : extension au cas incertain

Nous considérons à présent le problème AC-OPF avec incertitudes, que nous modélisons avec des contraintes de probabilité. La contrainte (2) devient dans ce cas :

$$\mathbb{P}[-\epsilon \leq \mathrm{Re}(V_i\ I_i^\star) - p_i(\xi) \leq \epsilon] \ \geq \ p, \quad \forall i \text{ noeud} \tag{3}$$

avec ξ une variable aléatoire.

La méthode de résolution présentée s'applique à tout problème DoC non différentiable. Or le problème d'AC-OPF avec contraintes de probabilités peut être approximé par une instance de cette classe de problème : nous proposons une formulation explicite DoC de ce dernier grâce à un travail sur la contrainte (3). La contribution principale sera donc la résolution de ce dernier problème par notre méthode de faisceaux.

6 Conclusion

Nous présentons ici une méthode de faisceaux pour la résolution d'un problème d'optimisation DoC avec contraintes DoC. La première application est à un problème AC-OPF déterministe, et une extension au cas avec contraintes de probabilités est proposée. La méthode de faisceaux nous permet d'obtenir un point critique a minima. Dans notre cas d'étude, nous considérerons un réseau électrique basé sur celui l'article [4], et utilisons les données de l'Open Data d'Enedis pour créer un test réaliste.

Références

[1] Bose Subhonmesh, Steven H. Low, K. Mani Chandy. *Equivalence of Branch Flow and Bus Injection Models.* 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton 2012

[2] Hoàng Tuy. *Convex Analysis and Global Optimization.* Springer International Publishing, 2016

[3] Welington de Oliveira. *Proximal bundle methods for nonsmooth DC programming.* Journal of Global Optimization, 2019

[4] Mesut Baran and Felix Wu. *Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing.* IEEE Power Engineering Review, 1989.