Optimisation robuste du câblage d'un parc éolien sous contraintes de load flow

Cédric Bentz, Marie-Christine Costa, Pierre-Louis Poirion, Thomas Ridremont, Camille Zakhour

▶ **To cite this version:**

Cédric Bentz, Marie-Christine Costa, Pierre-Louis Poirion, Thomas Ridremont, Camille Zakhour. Optimisation robuste du câblage d'un parc éolien sous contraintes de load flow. ROADEF 2019, Feb 2020, Montpellier, France. hal-02475426

HAL Id: hal-02475426
https://hal.science/hal-02475426

Submitted on 12 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Optimisation robuste du câblage d'un parc éolien sous contraintes de load flow

Cédric Bentz[1], Marie-Christine Costa[1,2], Pierre-Louis Poirion[3], Thomas Ridremont[4], Camille Zakhour[5]

[1] CEDRIC-CNAM, Paris, France
{cedric.bentz,marie-christine.costa}@cnam.fr
[2] ENSTA IP Paris, UMA, Palaiseau , France
[3] RIKEN Center for Advanced Intelligence Project, Tokyo, Japan
[4] ARTELYS, Paris, France
thomas.ridremont@artelys.com
[5] EDF – Power Systems Engineering Center, Saint-Denis, France
camille.zakhour@edf.fr

Mots-clés : *Optimisation discrète, robustesse, réseau, câblage, parc éolien.*

1 Introduction

Nous considérons un parc d'éoliennes en mer défini par l'emplacement des éoliennes et la quantité d'énergie fournie par éolienne, ainsi que par l'emplacement de la station centrale chargée de redistribuer l'énergie collectée vers les utilisateurs sur le réseau électrique. Connaissant les capacités et coûts des câbles qu'il est possible d'utiliser, il s'agit de déterminer un câblage de moindre coût permettant de router l'énergie fournie par les éoliennes vers la station centrale. Ce câblage doit respecter les contraintes de capacité sur les câbles ainsi que les contraintes électriques de *Load Flow* définie en chaque nœud du réseau. Dans un deuxième temps, nous chercherons un câblage qui soit également robuste en cas de pannes d'un ou plusieurs câbles, la notion de robustesse étant ici vue comme la protection dans le pire des cas d'occurrence de k pannes, pour k fixé. Ce travail a été mené en collaboration avec EDF Energies renouvelables.

On peut trouver une revue des problèmes d'optimisation rencontrés dans le design de parcs éoliens dans [4]. En particulier, le design du câblage de parcs éoliens a été étudié par [1, 2, 3, 5], mais à notre connaissance sans prendre en compte simultanément des contraintes de load flow et de robustesse.

2 Etude du problème sans panne sous contraintes de load flow

Nous modélisons le problème avec un graphe dans lequel la station centrale est représentée par la racine, chaque sommet représente soit une éolienne soit un nœud de jonction entre des câbles, et l'ensemble des arêtes représente les liaisons sur lesquelles on peut installer un câble. Dans le cas d'un réseau en mer, le graphe est du type grille complété par des arêtes diagonales entre certains nœuds à distance 2. Il est par ailleurs souhaitable que deux câbles ne se croisent pas, ce qui implique certaines incompatibilités entre arêtes sélectionnées. Il y a différents types de câbles possibles, définis par leur capacité et leur coût linéaire et on connait pour chaque type de câbles le coût entre chaque paire de nœuds.

Nous expliquons rapidement ce que sont les contraintes de load flow (voir [6]). Les puissances injectées en chaque nœud étant connues ainsi que la susceptance (caractéristique électrique)

de chaque câble. Nous expliquons comment certaines hypothèses faites habituellement par les électriciens nous permettent de réécrire ces contraintes sous forme simplifiée.

Nous montrons ensuite que les contraintes de flots que doit vérifier toute solution sont en fait déjà prises en compte par les contraintes de load flow. Nous donnons enfin un modèle mathématique du problème prenant en compte l'ensemble des contraintes de capacité, de load flow, de types de câbles et d'incompatibilité entre certaines arêtes, sous forme d'un programme quadratique en variables mixtes qui peut être linéarisé et résolu à l'aide de CpleX.

3 Etude du problème robuste

Nous supposons maintenant que k câbles peuvent tomber en panne. Il s'agit de construire un réseau qui permettra de router l'énergie fournie dans le pire cas de pannes, c'est-à-dire que les k câbles qui défaillent sont ceux qui diminuent le plus la capacité globale du réseau à router les énergies produites par les éoliennes. Nous étudions tout d'abord le cas $k = 1$ pour lequel nous montrons que l'on peut obtenir à nouveau un modèle mathématique qui est un programme linéaire en variables mixtes. Nous proposons ensuite un programme mathématique bi-niveau pour le cas d'occurrence du pire cas de $k \geq 1$ pannes.

4 Résultats obtenus et conclusion

Nous donnons des tableaux des résultats obtenus. Le problème est très difficile : nous avons résolu des instances de taille significative seulement dans le cas $k = 1$ pour lesquelles des solutions approchées sont obtenues avec des sauts d'intégrité de moins de 5 % pour des réseaux de 50 nœuds.

Remerciements
Ces travaux ont été menés avec le soutien du Programme Gaspard Monge pour l'optimsation, la recherche opérationnelle et leurs interactions avec les sciences des données.

Références

[1] Cédric Bentz, Marie-Christine Costa, Pierre-Louis Poirion et Thomas Ridremont. Formulations for designing robust networks. An application to wind power collection. *INOC Lisbonne, Portugal, Series ENDM*, 64 (DOI : 10.1016/j.endm.2018.02.011), 365–374, 2018.

[2] Constantin Berzan, Kalyan Veeramachaneni, James McDermott et Una-May O'Reilly. Algorithms for cable network design on large-scale wind farms. *Massachusetts Institute of Technology*, 1–24, 2011.

[3] Alain Hertz, Odile Marcotte, Asma Mdimagh, Michel Carreau et Francois Welt. Optimizing the design of a wind farm collection network. *INFOR : Information Systems and Operational Research*, 50(2) :95–104, 2012.

[4] Peng Hou Jiang, sheng Zhu, Kuichao Ma, Guangya Yange, Weihao Hu et Zhe Chen. A review of offshore wind farm layout optimization and electrical system design methods. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(5) :975—986, 2019.

[5] A.C. Pillai, J. Chick, L. Johanning, M. Khorasanchi et V. de Laleu. Offshore wind farm electrical cable layout optimization. *Engineering Optimization*, 47(12) :1689–1708, 2015.

[6] Hossein Seifi et Mohammad Sadegh Sepasian. *Electric Power System Planning : Issues, Algorithms and Solutions*. Power Systems, Vol 49, Springer, 2011.