

Gestion opérationnelle optimale d'un système hybride de production d'électricité déconnecté du réseau central

Nicolas Abergel¹, Anna Robert², Sami Ghazouani², Antoine Monterrat²

¹ nico.abergel@gmail.com

² TotalEnergies Technical and R&d lines, Paris-Saclay, France

{anna.robert,sami.ghazouani,antoine.monterrat}@totalenergies.com

Mots-clés : *Systèmes hybrides, photovoltaïque, batterie, turbines à gaz, opérations, MILP*

1 Contexte industriel

Dans un objectif de décarbonation de la production d'énergie, et dans notre cas, d'électricité, les producteurs se tournent aujourd'hui vers l'intégration de sources renouvelables, comme l'énergie solaire ou éolienne, aux systèmes de production existants. De tels systèmes faisant intervenir plusieurs actifs de production, chacun basé sur une technologie différente, sont appelés *systèmes hybrides* dès lors qu'ils intègrent au moins une source d'énergie renouvelable. TotalEnergies opère des sites industriels de grande taille, très consommateurs d'énergie, et nécessitant une fourniture extrêmement fiable. Bien souvent, la production de l'électricité nécessaire au site se trouve sur place, et est intégralement dédiée à celui-ci. Historiquement, il s'agit de centrales thermiques, utilisant les énergies fossiles (charbon, pétrole ou gaz). De plus, l'emplacement géographique de ces sites (e.g. production d'hydrocarbures, liquéfaction de gaz naturel, raffineries) ne permet pas de se raccorder au réseau d'approvisionnement national, la production locale, sur site, doit donc parfaitement répondre à la demande. Aujourd'hui TotalEnergies s'oriente résolument vers l'hybridation de ces centrales par l'apport de sources renouvelables. Ici nous considérons un système hybride composé de turbines à gaz, de panneaux photovoltaïques (PV), et d'éléments de stockage comme des batteries. Dans le travail présenté, le dimensionnement du système est fixé et l'on cherche à opérer de manière optimale ses éléments, selon un critère d'émission de CO_2 liée à l'utilisation des turbines à gaz. La demande (ou *charge*) est également supposée donnée (et déterministe). Le système peut être représenté comme suit (cf. FIG. 1) :

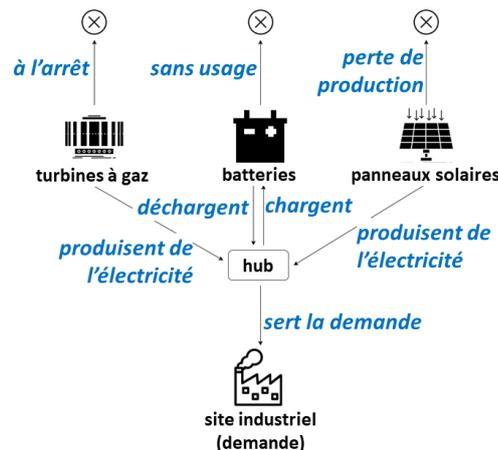


FIG. 1 – Système hybride considéré et relations entre ses éléments

2 Problème d'optimisation opérationnelle traité

Dans le système considéré, la production des PV est subie et l'on ne peut agir que sur les opérations relatives aux turbines et aux batteries. Dans cette étude, nous considérons un horizon

de 4 jours, divisé en pas de temps de 10 min.

2.1 Leviers de décision

Les turbines à gaz. Elles peuvent être dans un état *en opération* (allumées et opérationnelles), *en phase de chauffe* (allumées mais non-encore opérationnelles), ou *éteintes*. Les décisions de contrôle sont donc d'*allumer* une turbine, de l'*éteindre*, ou de *ne rien faire*, sachant qu'au pas de temps considéré, prendre la décision d'allumer une turbine à l'instant t ne permet pas d'utiliser sa production instantanément, l'ordre de grandeur de la durée de la phase de chauffe est de 30 minutes. Une fois la turbine dans l'état d'opérabilité, on pilote son facteur de charge dans un intervalle de puissance fixé (typiquement entre 50% et 100% de sa puissance nominale). De ce facteur de charge dépendront les émissions de CO_2 à minimiser. En outre, la variation du facteur de charge entre 2 pas de temps est contrainte à la hausse comme à la baisse.

Les batteries. Leur état correspond à leur niveau de charge à chaque instant. Les décisions de contrôle sont de *charger* ou *décharger* une batterie, sachant que ces 2 opérations ne peuvent être prises simultanément, ou encore de *ne rien faire*. Une batterie a une capacité maximale de charge. L'énergie que l'on peut charger (resp. décharger) à chaque instant est bornée.

2.2 Modélisation du problème d'optimisation déterministe

Le travail proposé ici est en fait une étape préliminaire à des travaux qui seront conduits dans l'avenir. De manière très simplifiée, et pour appréhender le problème, nous considérons une version déterministe dans laquelle la production des PV est connue. Nous proposons une formulation linéaire en variables mixtes du problème, intégrant les contraintes du *unit commitment problem*[3] pour les turbines et des contraintes d'équilibre et de bornes classiques pour la satisfaction de la demande, et l'usage des turbines et des batteries. La fonction objectif est considérée linéaire pour les émissions de CO_2 sur l'intervalle d'opération des turbines autorisé. Nous présenterons des résultats numériques pour la résolution de ce problème, puis ouvrirons sur une modélisation robuste des incertitudes liées aux PV, fortement inspirée des travaux de Bertsimas et Sim [1], et Billionnet *et al.*[2]

3 Conclusions et perspectives

Dans ce travail, nous nous intéressons à la résolution d'un problème d'optimisation portant sur le pilotage d'un système hybride de production d'électricité comprenant des turbines à gaz, des PV, et des batteries, afin de servir la demande en énergie d'un site industriel. Il s'agit d'une variante déterministe d'un problème très clairement stochastique, notamment compte tenu de l'intermittence de la production photovoltaïque. Nous formulons un MILP résolu par un solveur commercial. Dans les prochains mois, nos travaux porteront sur la poursuite de dérivation de ce premier travail vers un modèle tenant compte des incertitudes. Le modèle envisagé sera implémenté et des expérimentations numériques seront menées pour évaluer son efficacité qualitative et quantitative.

Références

- [1] Dimitris Bertsimas and Melvyn Sim. The price of robustness. *Operations Research*, 52 :35–53, 02 2004.
- [2] Alain Billionnet, Costa Marie-Christine, and Pierre-Louis Poirion. Robust optimal sizing of a hybrid energy stand-alone system. *European Journal of Operational Research*, 254 :565–575, 04 2016.
- [3] Kai Pan, Yongpei Guan, Jean-Paul Watson, and Jianhui Wang. Strengthened milp formulation for certain gas turbine unit commitment problems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(2) :1440–1448, 2016.