



**HAL**  
open science

## Modélisation et planification de la maintenance préventive des centrales solaires

Marie Bouilloud, Michel Nakhla, Frédéric Turkisch

► **To cite this version:**

Marie Bouilloud, Michel Nakhla, Frédéric Turkisch. Modélisation et planification de la maintenance préventive des centrales solaires. ROADEF 2024:25ème édition du congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Mar 2024, Amiens, France. hal-04446305

**HAL Id: hal-04446305**

**<https://hal.science/hal-04446305>**

Submitted on 13 Feb 2024

**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.

Copyright

# Modélisation et planification de la maintenance préventive des centrales solaires

Marie Bouilloud<sup>1,2</sup>, Michel Nakhla<sup>1</sup>, Frédéric Turkisch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mines Paris PSL Centre de Gestion Scientifique (CGS) UMR 9217, CNRS 75006 Paris  
{marie.bouilloud, michel.nakhla}@minesparis.psl.eu

<sup>2</sup> Inetum

**Mots-clés :** *Energie Renouvelable, Centrale Photovoltaïque, Maintenance Préventive, Ordonnancement, Optimisation.*

## 1 Présentation du problème

Afin d'améliorer le fonctionnement des centrales photovoltaïques (Solaires), cet article vise à minimiser les pertes d'exploitation engendrées par la mise à l'arrêt des équipements pendant leur maintenance préventive. Une centrale photovoltaïque (CP) est un réseau dont les nœuds sont interdépendants (voir Figure 1) et sur la base duquel un modèle de programmation mixte en nombres entiers sera formulé. Dans ce réseau, il est possible d'arrêter un équipement de la centrale et toute la branche qui lui est reliée sans impacter le fonctionnement du reste de la centrale. Par exemple, une intervention sur le Poste De Livraison (PDL) coupe toute la centrale, tandis qu'une intervention sur le Poste de Transformation 1 (PT1) coupe uniquement les onduleurs et panneaux solaires reliés au PT1, à savoir les onduleurs 1 à  $k$ , et laissant PTs 2 à  $m$  fonctionner normalement. Concrètement, la planification est contrainte par un ensemble de

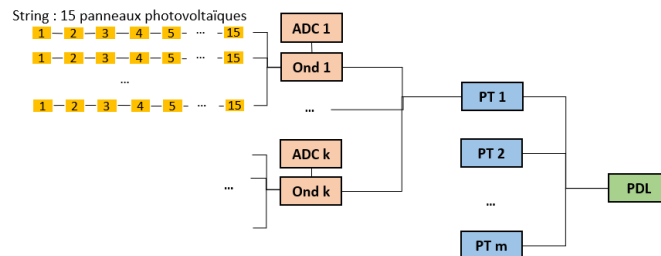


FIG. 1 – Schéma simplifié d'une CP au sol

règles métier et se fait à l'échelle d'une centrale. Elle vise à élaborer un planning de référence sans prise en compte des travaux curatifs ni des conditions météorologiques. Le nombre et la nature des tâches préventives sont directement induits par la topologie de la centrale. La durée des tâches est déterministe et l'unité de temps est la demi-journée. Les tâches sont non sécables. Les techniciens ont tous les mêmes capacités et sont donc interchangeables. Le nombre de techniciens embauchés par demi-journée est connu.

Les caractéristiques de ce type de maintenance préventive multi-tâches sur un réseau avec des nœuds interdépendants est particulièrement originale. L'optimisation porte sur la parallélisation stratégique des tâches afin de minimiser un critère de coût, à savoir les pertes liées à l'arrêt de la centrale. Ainsi, le critère à modéliser n'est donc pas la durée totale ou une fonction du retard, comme dans le cas des problèmes d'ordonnancement classiques ([1]).

Très peu de travaux à notre connaissance ont abordé ce type de planification et d'ordonnancement. Les principaux travaux concernent les centrales électriques de manière générale ([3]) ou

bien les tranches d'arrêt des centrales nucléaires ([2]), en se focalisant sur l'arrêt des centrales de façon indépendante.

## 2 Modélisation de la planification des interventions sur une CP

Le problème est formulé pour une seule CP, dont les composants sur lesquels portent les tâches sont interdépendants.

Nous avons modélisé le problème par un programme linéaire mixte (MILP) d'ordonnancement avec pour variable de décision les dates de début de chaque tâche ainsi que des variables binaires d'affectation d'une tâche à une demi-journée.

La particularité du modèle porte sur la formulation de la fonction objectif. Nous avons introduit des variables de décision auxiliaires, associées à chaque branche de la centrale, pour linéariser l'expression d'une fonction maximum. Ces variables peuvent prendre des valeurs réelles entre 0 et 1 et leur définition est conditionnée par une ou plusieurs contraintes relatives aux variables binaires d'affectation des tâches de la branche. Nous avons alors formulé la fonction objectif comme la somme, pour chaque pas de temps, des variables auxiliaires correspondant à la branche contenant toute la centrale.

La minimisation des pertes d'exploitation est soumise à plusieurs contraintes usuelles des problèmes d'ordonnancement : contraintes de réalisation de toutes les tâches exactement une fois, de non préemption des tâches, de respect des ressources disponibles (ici nombre de technicien) et de domaine des variables de décision. Les règles métier impliquent également des contraintes de précedence entre les tâches et le nombre de ressources que nécessite l'exécution de chaque tâche.

Une solution est un vecteur  $(s_1, s_2, \dots, s_N)$ , où  $N$  est le nombre de tâches d'une CP et  $s_i \in \mathbb{N}$  est la date de début de la tâche  $i$ , de manière à ce que les pertes d'exploitation impliquées par la réalisation de toutes les tâches de maintenance, sous contraintes énoncées précédemment, soient minimales.

Ce modèle a été testé sur des instances réelles à partir de données fournies par un partenaire industriel. Les données concernent 10 centrales et le solveur utilisé est IBM ILOG CPLEX.

Les résultats expérimentaux montrent que le modèle proposé peut proposer une planification optimale en peu de temps. La planification obtenue permet d'améliorer la planification existante et d'obtenir une réduction des pertes d'exploitation.

## Références

- [1] GOTHA. Les problèmes d'ordonnancement. *RAIRO-Operations Research*, 27(1) :77–150, 1993.
- [2] Celso M. F. Lapa, Cláudio M. N. A. Pereira and Antônio Carlos de A. Mol. Maximization of a nuclear system availability through maintenance scheduling optimization using a genetic algorithm. *Nuclear Engineering and Design*, 196(2) :219–231, 2000.
- [3] Neha Prajapat, Ashutosh Tiwari, Xiao-Peng Gan, Nadir Z. Ince and Windo Hutabarat. "Preventive Maintenance Scheduling Optimization : A Review of Applications for Power Plants", in *Advances in Through-life Engineering Services* (L. Reddings, R. Roy and A. Shaw, eds). Decision Engineering. Springer International Publishing :397–415, 2017.