

# Projet – Planification pour la maintenance d'éoliennes

Remise avant le 6 decembre à 23h59 sur Moodle.

## Consignes

- Le projet doit être réalisé seul ou par binôme (de préférence par binôme).
- Soumettez un document (format pdf) reprenant votre devoir, ainsi que votre modèle MiniZinc (fichier .mzn).
- Indiquez vos noms et matricules dans le titre des fichiers soumis.
- Veillez à rendre un rapport **structuré, clair et concis**. Les lacunes de forme seront pénalisées.
- L'utilisation d'une IA générative est **STRICTEMENT INTERDITE**.

## Situation

On nous demande de planifier la maintenance d'un parc éolien. Des tâches demandant l'arrêt des éoliennes doivent être menées dans le but de contrôler l'état des structures et éventuellement de les réparer. La difficulté du problème provient du fait que le nombre de techniciens est limité et que l'on souhaite minimiser la perte de production liée à l'arrêt des éoliennes. Les prévisions météorologiques indiquent la production espérée de chaque éolienne, permettant ainsi de planifier les arrêts de production aux moments les moins gênants.

On souhaite effectuer la planification de  $\mathcal{I}$  tâches sur  $\mathcal{N}$  semaines, avec  $\mathcal{K}$  techniciens.

- Chaque semaine est découpée en 5 jours de travail. Chaque jour comporte 3 périodes, les deux périodes de travail matin et après-midi durant 4 heures chacune, et la période "repos" (cette dernière symbolise la nuit entre 2 journées de travail, et la fin de semaine pour le jour 5).
- Chaque tâche  $i \in \mathcal{I}$  se déroule sur une éolienne  $e_i$ , dure  $d_i$  périodes de travail et requiert un technicien. Une tâche ne peut pas être interrompue, et deux tâches ne peuvent pas être en cours en même temps sur la même éolienne. Une tâche de longueur 2 peut être commencée un après-midi, elle se terminera donc le lendemain matin ; cependant, la tâche est toujours considérée en cours pendant la période repos et l'éolienne ne peut donc pas produire pendant 3 périodes.
- Chaque technicien  $k \in \mathcal{K}$  ne peut travailler que sur une tâche à la fois.
- On cherche à maximiser la production d'énergie totale sur les  $\mathcal{N}$  semaines grâce aux prévisions de production individuelle de chaque éolienne. Une éolienne ne peut produire que si elle n'est pas occupée par une tâche. La production totale est la somme des productions de chaque éolienne à chaque période.

Le cas 1 est un exemple simple pour vérifier votre modèle. Le cas 2 vise à étudier de nombreuses tâches de routine sur une semaine avec plusieurs techniciens. Le cas 3 quant à lui étudie la planification de tâches plus lourdes mais moins nombreuses sur une plus longue période avec uniquement les techniciens les plus qualifiés.

# 1 Modélisation et implémentation

## 1.1 Programmation linéaire en nombres entiers (8 pts)

1. Proposez une modélisation sous la forme d'un programme linéaire en nombres entiers. Formalisez mathématiquement les données, les variables de décisions, la fonction objectif ainsi que les contraintes.
2. Résolvez le problème à l'aide d'une implémentation MiniZinc pour les 3 instances. Donnez en annexe la solution complète obtenue avec un temps d'exécution maximal de 300 secondes. Présentez un tableau reprenant la valeur de votre fonction objectif pour les différentes instances, le temps d'exécution, ainsi qu'une indication si la solution est prouvée optimale ou non. Choisissez un solveur adapté et indiquez lequel vous avez utilisé.

## 1.2 Programmation par contraintes (8 pts)

1. Proposez une modélisation en utilisant la programmation par contraintes. Formalisez mathématiquement les données, les variables de décisions, la fonction objectif ainsi que les contraintes. Attention, la programmation par contraintes n'est pas très efficace pour gérer les variables binaires, évitez donc d'en utiliser. L'utilisation de contraintes globales est encouragée.
2. Résolvez le problème à l'aide de MiniZinc pour les 3 instances avec un temps d'exécution maximal de 300 secondes. Présentez un tableau reprenant la valeur de votre fonction objectif pour les différentes instances, le temps d'exécution, ainsi qu'une indication si la solution est prouvée optimale ou non. Choisissez un solveur adapté et indiquez lequel vous avez utilisé. Si vous obtenez une solution différente de la PLNE, donnez-la également en annexe.

Comparez vos deux modélisations et vos résolutions.

Combien de variables comportent vos modèles PC et PLNE dans les différents cas ? De contraintes ? Lequel des 2 cas difficiles devrait être plus rapide à résoudre ? Si ce n'est pas le cas, essayer d'expliquer pourquoi à votre avis

## 2 Complexification (4 pts)

Les modèles établis précédemment sont assez simplifiés et le parc éolien a d'autres attentes et questions auxquelles on vous propose de répondre. Choisissez l'implémentation de votre choix (PC ou PLNE) pour compléter le modèle

### 2.1 Temps de travail hebdomadaire maximum

Le travail étant particulièrement difficile, un syndicat arrive à obtenir de meilleures conditions de travail pour les techniciens grâce à un volume horaire maximum de 34 heures par semaine. Les solutions déterminées précédemment sont-elles toujours possibles ? Si non, résoudre à nouveau. Quel impact cela a-t-il sur la production ?

### 2.2 Nombre de techniciens

On s'intéresse pour cette question uniquement au cas 2. Combien de périodes ne sont pas travaillées chez les techniciens au total ? Pourrait-on en mobiliser un de moins ? Dans quel cas cela serait-il rentable ? Donnez une condition sur  $S$  le salaire hebdomadaire d'un technicien et  $E$  le prix unitaire de vente de l'énergie produite.

### 2.3 Qualifications des techniciens

Tous les techniciens n'ont pas les mêmes qualifications et ne peuvent pas faire toutes les tâches ; indiquer comment intégrer cette contrainte à votre modèle et l'implémenter puis résoudre et reporter les solutions dans un tableau similaire à la partie 1 pour les cas 2 et 3. (Regardez la définition de `n_skills`, `skills` et `skills_req` dans `cas2.dzn` et `cas3.dzn`.)

### 2.4 Plus loin

Imaginez 2 autres contraintes qui pourraient rentrer en compte dans une situation réelle. Expliquer ce que vous pourriez faire pour l'intégrer au modèle (ne rentrez pas dans les détails de la modélisation et ne l'implémentez pas).