

Projet MOGPL : optimisation robuste dans l'incertain total

Karim ELLOUZE, Philipp HANUSSEK

28 novembre 2024

Chapitre 1

Linéarisation des critères maxmin et minmax regret

1.1 Programme linéaire *maxmin*

$$\begin{aligned} \max \quad & t \\ \text{sous contraintes} \quad & t \leq \sum_{i=1}^n v_{i,1} x_i \\ & t \leq \sum_{i=1}^n v_{i,2} x_i \\ & \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \\ & x_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Solution optimale trouvé avec Gurobi :

$$\begin{aligned} x^* &= [2, 3, 4, 7, 8, 9] \\ z(x^*) &= [66, 66] \end{aligned}$$

1.2 Programme linéaire *minmax regret*

$$\begin{aligned} \min \quad & t \\ \text{sous contraintes} \quad & t \geq z_1^* - \sum_{i=1}^n v_{i,1} x_i \\ & t \geq z_2^* - \sum_{i=1}^n v_{i,2} x_i \\ & \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \\ & x_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

z_i^* étant la meilleure valeur pour le scénario i

Solution optimale trouvé avec Gurobi :

$$\begin{aligned} x'^* &= [2, 3, 6, 7, 8, 9] \\ z(x_1^*, x_2^*) &= [112, 118] \\ z(x'^*) &= [62, 70] \end{aligned}$$

1.3 Représentation dans le plan

1.4 Analyse de performance

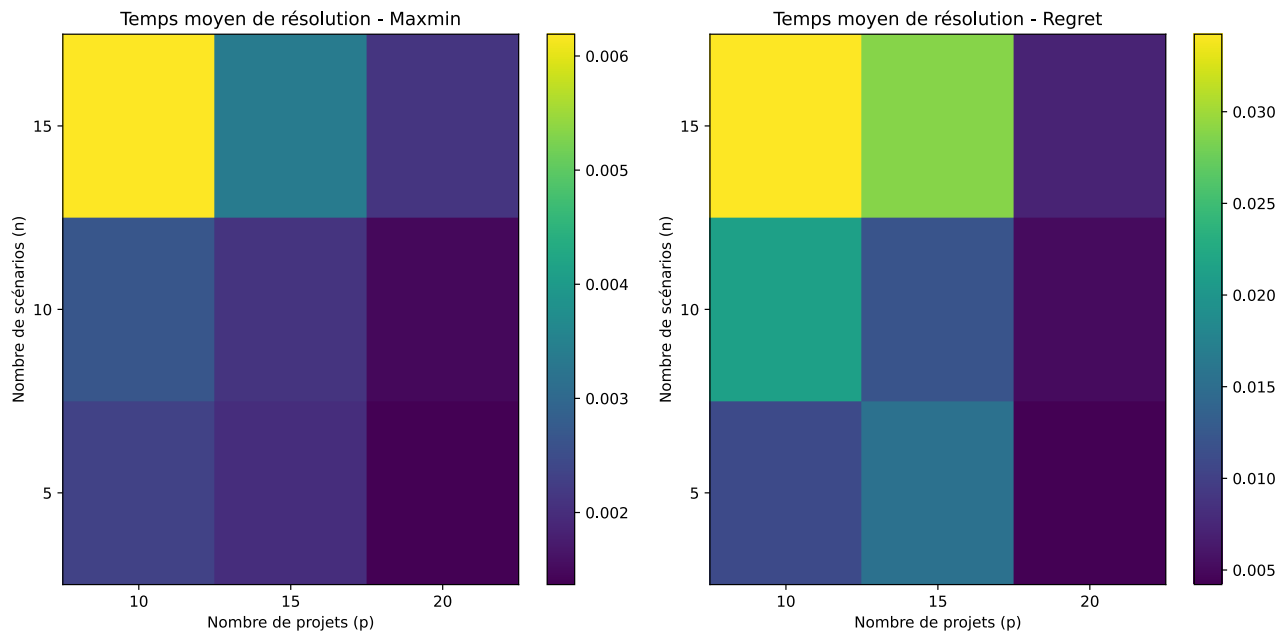


FIGURE 1.1 – Comparaison des temps d'exécution pour les modèles maxmin et minmax regret.

Chapitre 2

Linéarisation du critère *maxOWA*

2.1 $L_k(z)$ comme valeur optimale

Explication : Étant donné que le vecteur $(z_{(1)}, \dots, z_{(n)})$ est ordonné en ordre croissant, la somme $\sum_{i=1}^k z_{(i)}$ correspond à la somme des k plus petites valeurs de z_i et donc à la valeur optimale du programme linéaire.

2.2 Utiliser le dual pour trouver les composantes du $L(z)$

Primal :

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^n a_{ik} z_i \\ \text{s.c.} \quad & \sum_{i=1}^n a_{ik} = k \\ & 0 \leq a_{ik} \leq 1, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Dual :

$$\begin{aligned} \max \quad & k \cdot r_k - \sum_{i=1}^n b_{ik} \\ \text{s.c.} \quad & r_k - b_{ik} \leq z_i, \quad \forall i = 1, \dots, n \\ & b_{ik} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Trouver $L(z)$ avec $z = [2, 9, 6, 8, 5, 4]$ (voir le code pour calcul par programmation linéaire) :

$$\begin{aligned} L_1(z) &= 2 \\ L_2(z) &= 6 \\ L_3(z) &= 11 \\ L_4(z) &= 17 \\ L_5(z) &= 25 \\ L_6(z) &= 34 \end{aligned}$$

2.3 Réécrire l'OWA

Montrer que

$$\begin{aligned} g(x) &= \sum_{i=1}^n w_i z_{(i)}(x) \\ &= \sum_{k=1}^n w'_k L_k(z(x)) \end{aligned}$$

Explication :

par définition : $z_{(k)}(x) = L_k(z(x)) - L_{k-1}(z(x))$

$$\begin{aligned}
g(x) &= \sum_{i=1}^n w_i z_{(i)}(x) \\
&= w_1 z_{(1)} + w_2 z_{(2)} + \dots + w_n z_{(n)} \\
&= w_1 L_1(z(x)) + w_2 (L_2(z(x)) - L_1(z(x))) + \dots + w_n (L_n(z(x)) - L_{n-1}(z(x))) \\
&= (w_1 - w_2) L_1(z(x)) + (w_2 - w_3) (L_2(z(x))) + \dots + (w_{n-1} - w_n) L_n \\
&= \sum_{k=1}^n w'_k L_k(z(x))
\end{aligned}$$

2.4 Formulation *maxOWA* pour le problème SAD

$$\begin{array}{ll}
\max & \sum_{k=1}^n w'_k \left(k \cdot r_k - \sum_{i=1}^n b_{ik} \right) \\
\text{s.c.} & r_k - b_{ik} \leq z_i(x) \\
& b_{ik} \geq 0 \\
& \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W, \\
& x_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n.
\end{array}$$

Solution optimale trouvé avec Gurobi :

$$\begin{aligned}
x^* &= [2, 3, 4, 7, 8, 9] \\
z(x^*) &= [66, 66]
\end{aligned}$$

2.5 Formulation linéaire pour le critère de *minOWA*

Primal :

$L_k(z) = \sum_{i=1}^k r(x, s_{(i)})$, regret en ordre décroissant, donc :

$$\begin{array}{ll}
\max & \sum_{i=1}^n a_{ik} r(x, s_{(i)}) \\
\text{s.c.} & \sum_{i=1}^n a_{ik} = k \\
& 0 \leq a_{ik} \leq 1, \quad i = 1, \dots, n
\end{array}$$

$$r(x, s_{(i)}) = z_i^* - z_i(x)$$

Dual :

$$\begin{array}{ll}
\min & k \cdot r_k + \sum_{i=1}^n b_{ik} \\
\text{s.c.} & r_k + b_{ik} \geq r(x, s_{(i)}), \quad \forall i = 1, \dots, n \\
& b_{ik} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n
\end{array}$$

Formulation entière :

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{k=1}^n w'_k \left(k \cdot r_k + \sum_{i=1}^n b_{ik} \right) \\
& \text{s.c.} \quad r_k + b_{ik} \geq r(x, s_{(i)}), \quad i = 1, \dots, n \\
& \quad \quad b_{ik} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \\
& \quad \quad \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \\
& \quad \quad x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, n
\end{aligned}$$

Solution optimale trouvé avec Gurobi :

$$\begin{aligned}
x'^* &= [2, 4, 5, 7, 8, 9] \\
z(x_1^*, x_2^*) &= [112, 118] \\
z(x'^*) &= [62, 70]
\end{aligned}$$

2.6 Analyse de performance

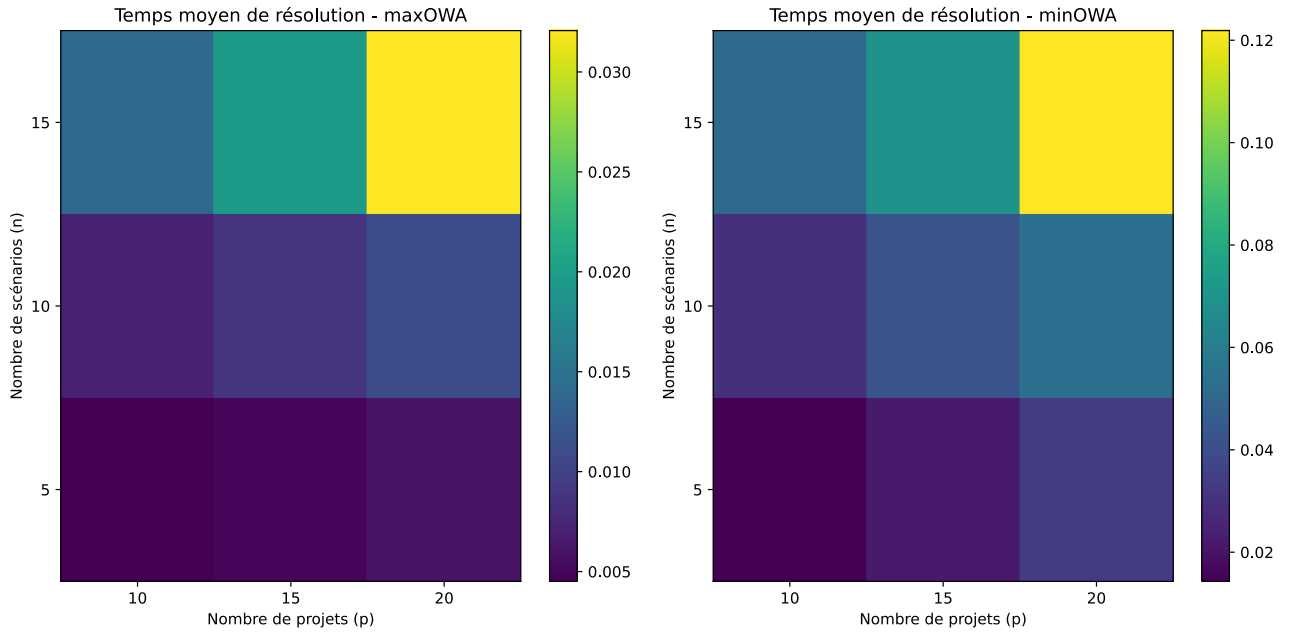


FIGURE 2.1 – Comparaison des temps d'exécution pour les modèles maxOWA et minOWA des regrets.

Chapitre 3

Application à la recherche d'un chemin robuste dans un graphe

3.1 Modélisation du problème de plus court chemin comme problème du flot de coût minimum

$G = (V, E)$, source : $s \in V$, puit : $t \in V$

$a(u, v)$: coût pour passer de u à v , $f(u, v) = 1$ si $(u, v) \in$ plus court chemin

Programme linéaire :

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{(u,v) \in E} a(u,v)f(u,v) \\ \text{s.c.} \quad & \sum_{(u,v) \in E} f(u,v) = \sum_{(v,w) \in E} f(v,w) \quad \forall v \in V \setminus \{s, t\} \quad , \text{ contrainte de conservation du flux} \\ & \sum_{s,v \in E} f(s,v) \geq 1 \quad , \text{ contrainte de flux sortant de la source} \\ & f(u,v) \in (0, 1) \quad \forall (u,v) \in E \end{aligned}$$

3.2 Application aux exemples

Solution optimale trouvée avec Gurobi pour l'instance 1 :

$$\begin{aligned} x_1^* &= [a, b, d, f] \\ x_2^* &= [a, c, d, f] \\ z(x^*) &= [8, 4] \end{aligned}$$

Pour l'instance 2 :

$$\begin{aligned} x_1^* &= [a, d, c, f, g] \\ x_2^* &= [a, c, e, g] \\ z(x^*) &= [5, 6] \end{aligned}$$

3.3 Programmes linéaires pour trouver un chemin robuste

x est une solution valide si :

$$\begin{aligned} \sum_{(u,v) \in E} f(u,v) &= \sum_{(v,w) \in E} f(v,w) \quad \forall v \in V \setminus \{s, t\} \quad , \text{ contrainte de conservation du flux} \\ \sum_{s,v \in E} f(s,v) &\geq 1 \quad , \text{ contrainte de flux sortant de la source} \\ f(u,v) &\in \{0, 1\} \quad \forall (u,v) \in E \end{aligned}$$

minmax

Comme on veut trouver le plus court chemin, on calcule le *min* des solutions maximales pour un chemin X .
Programme linéaire pour n scénarios :

$$\begin{aligned}
& \min \quad t \\
& \text{s.c.} \quad t \geq \sum_{(u,v) \in E} a_i(u,v) f(u,v) \quad i \in \{1, \dots, n\} \\
& \quad x \in X \\
& \quad f(u,v) \in \{0, 1\} \quad \forall (u,v) \in E
\end{aligned}$$

***minmax* des regrets**

Programme linéaire pour n scénarios :

$$\begin{aligned}
& \min \quad t \\
& \text{s.c.} \quad t \geq \sum_{(u,v) \in E} (a_i(u,v) f(u,v)) - z_i^* \quad i \in \{1, \dots, n\} \\
& \quad x \in X \\
& \quad f(u,v) \in \{0, 1\} \quad \forall (u,v) \in E
\end{aligned}$$

minOWA

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{k=1}^n w'_k \left(k \cdot r_k + \sum_{i=1}^n b_{ik} \right) \\
& \text{s.c.} \quad r_k + b_{ik} \geq z_i(x) \quad i = 1, \dots, n \\
& \quad x \in X \\
& \quad b_{ik} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n
\end{aligned}$$

***minOWA* des regrets**

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{k=1}^n w'_k \left(k \cdot r_k + \sum_{i=1}^n b_{ik} \right) \\
& \text{s.c.} \quad r_k + b_{ik} \geq r(x, s_{(i)}), \quad i = 1, \dots, n \\
& \quad b_{ik} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \\
& \quad x \in X
\end{aligned}$$

Résultats

minMax et minMax des regrets

| Instance | Méthode | Chemin | Valeur de la fonction objectif | Vecteur $_z$ |
|------------|--------------------|---------|--------------------------------|---------------|
| Instance 0 | minmax | a,b,d,f | 9 | [8, 9] |
| | minMax des regrets | a,b,e,f | 3 | [11, 7] |
| Instance 1 | minmax | a,b,e,g | 10 | [10, 10] |
| | minMax des regrets | a,b,e,g | 5 | [10, 10] |

TABLE 3.1 – Comparaison des résultats des méthodes minmax et minMax des regrets.

| Méthode | Instance | k | Chemin | Vecteur_z | Valeur de la fonction objectif |
|--------------------|----------|-----|---------|-----------|--------------------------------|
| minOWA | 0 | 2 | a,b,d,f | [8, 9] | 26 |
| | | 4 | a,b,d,f | [8, 9] | 44 |
| | | 8 | a,b,d,f | [8, 9] | 80 |
| | | 16 | a,b,d,f | [8, 9] | 152 |
| | 1 | 2 | a,b,e,g | [10, 10] | 30 |
| | | 4 | a,b,e,g | [10, 10] | 50 |
| | | 8 | a,b,e,g | [10, 10] | 90 |
| | | 16 | a,b,e,g | [10, 10] | 170 |
| minOWA des regrets | 0 | 2 | a,b,e,f | [11, 7] | 9 |
| | | 4 | a,b,e,f | [11, 7] | 15 |
| | | 8 | a,b,e,f | [11, 7] | 27 |
| | | 16 | a,b,e,f | [11, 7] | 51 |
| | 1 | 2 | a,d,f,g | [6, 12] | 13 |
| | | 4 | a,b,e,g | [10, 10] | 24 |
| | | 8 | a,b,e,g | [10, 10] | 44 |
| | | 16 | a,b,e,g | [10, 10] | 84 |

TABLE 3.2 – Comparaison des méthodes minOWA et minOWA des regrets.

| Instance | z^* |
|----------|--------|
| 0 | [8, 4] |
| 1 | [5, 6] |

TABLE 3.3 – Valeurs de z^* pour chaque instance

minOWA et minOWA des regrets

3.4 Analyse de performance

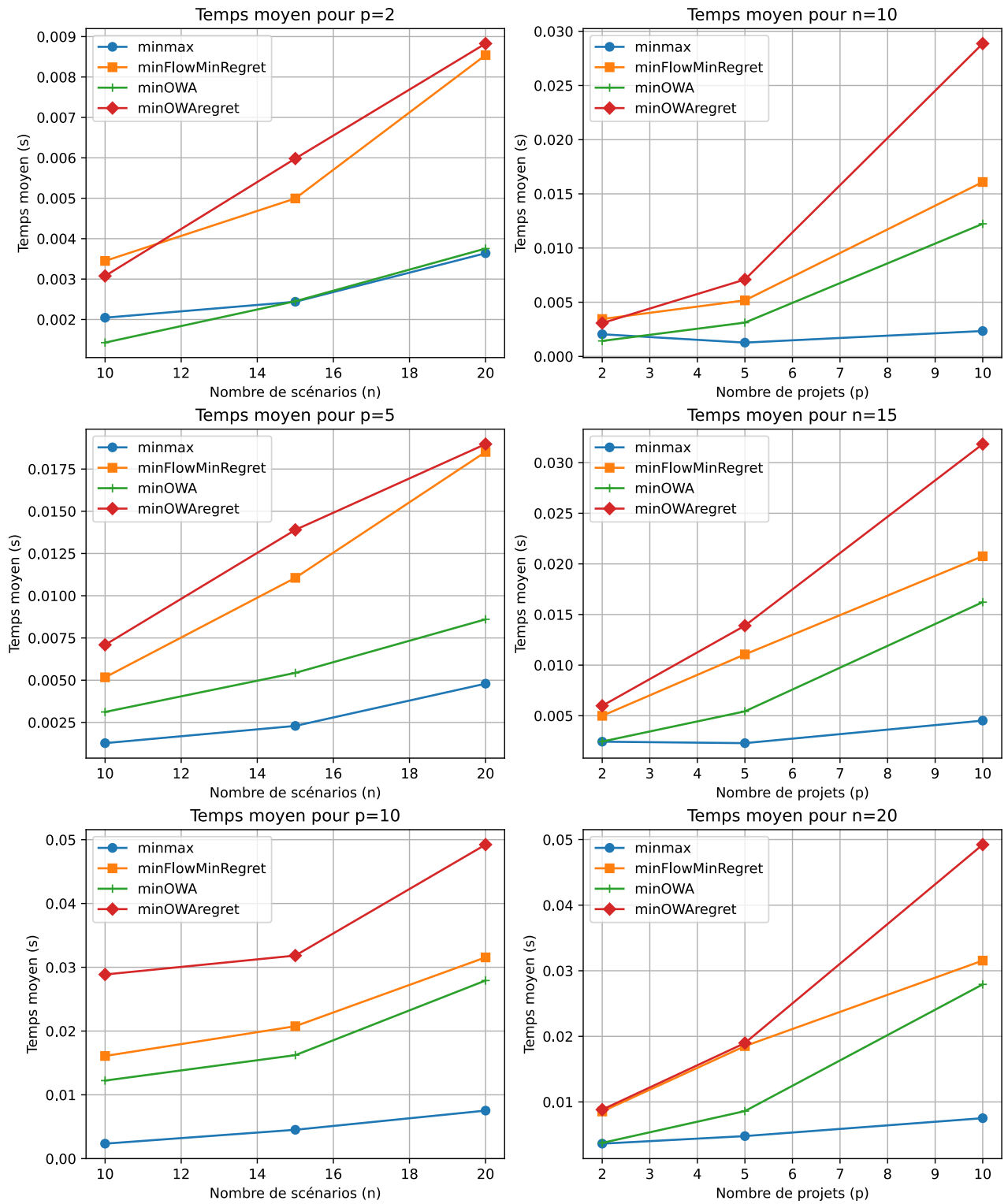


FIGURE 3.1 – Comparaison des temps d'exécution pour les modèles minMax, minMaxRegret, minOWA et minOWA des regrets.