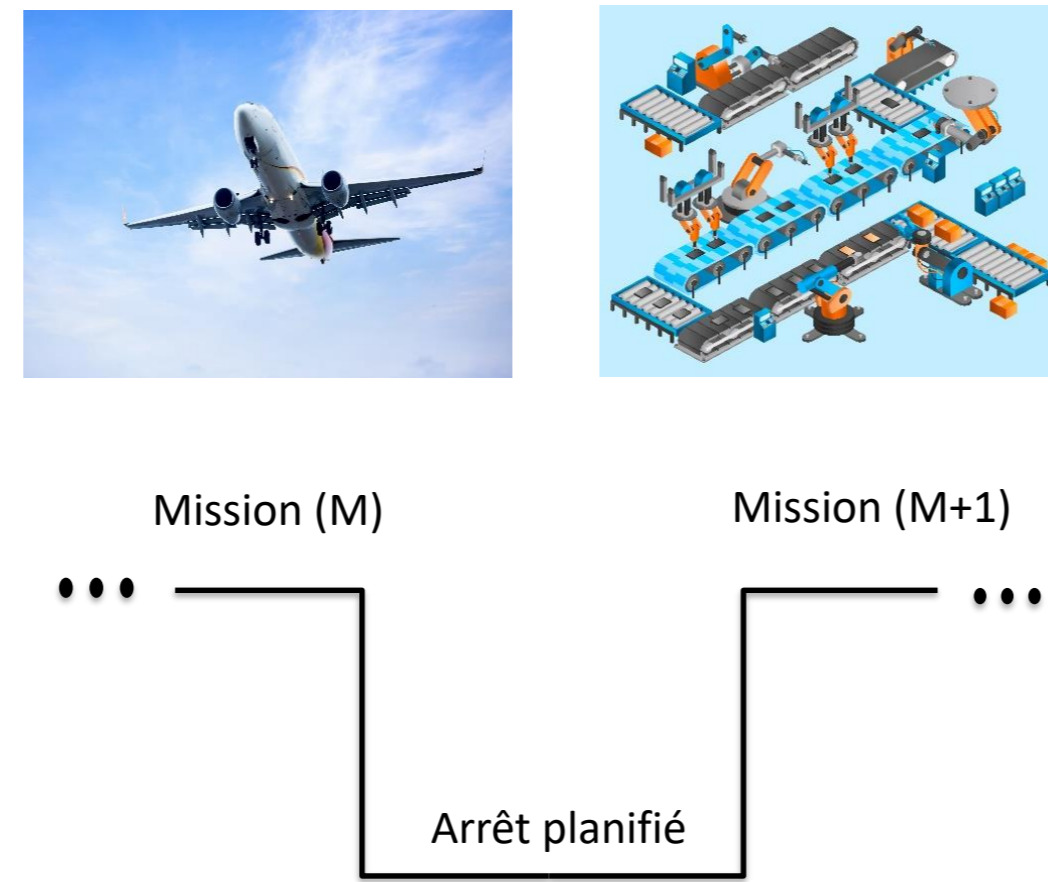


Doctorante : Kenza Chaabane, Directeurs de thèse : Abdelhakim Khatab, Sofiene Dellagi
 Laboratoire de génie informatique, de production et de maintenance de Metz (LGIPM)
 (kenza.chaabane@univ-lorraine.fr, abdelhakim.khatab@univ-lorraine.fr, sofiene.dellagi@univ-lorraine.fr,)

Contexte

- Afin d'améliorer la fiabilité des systèmes à exécuter les missions, les composants doivent être maintenus **durant les arrêts planifiés**.
- Les ressources en maintenance sont généralement **limitées** → tous les composants ne peuvent être maintenus lors de l'arrêt.
- Un **nombre limité** de composants sera **choisi** pour des actions de maintenance
- Principe de la **MAINTENANCE SÉLECTIVE**.



Problématique

Tâches de maintenance

Affectation

Réparateurs

Développer des modèles d'**optimisation conjointe** de la maintenance sélective et de l'allocation des tâches de maintenance aux réparateurs

Objectif : Maximisation des critères de performance tel que la fiabilité
 Minimisation des coûts engendrés par la maintenance, et l'allocation des tâches aux réparateurs.

Contraintes: Ressources limitées (temps des arrêts programmés, budget, disponibilité des réparateurs...)

Description du problème

Problème d'optimisation conjointe de la maintenance sélective et l'affectation des actions de maintenance aux réparateurs pour un système effectuant plusieurs missions

Prise en compte de :

- Systèmes complexes
- Plusieurs missions consécutives planifiées sur un horizon fini de temps.
- Plusieurs niveaux de maintenance imparfaite

- Qualifications des réparateurs : professionnel, standard, stagiaire
- Coûts fixes et variables selon la qualification et relatifs aux actions de maintenance effectuées par l'agent et à son embauche → Dépendances économiques entre les composants

Modélisation mathématique

Fonction objectif :

- Minimiser les coûts relatifs à la maintenance

Contraintes :

- Assurer un seuil de fiabilité pour chaque mission R_0
- Respecter le temps de pause

Le modèle permet de :

- Sélectionner le composant à maintenir
- Attribuer le niveau de maintenance imparfaite à appliquer sur le composant sélectionné
- Choisir la pause durant laquelle l'action de maintenance sera effectuée
- Déterminer le nombre optimal d'agents à recruter durant cette pause
- Assigner cette tâche à l'agent approprié

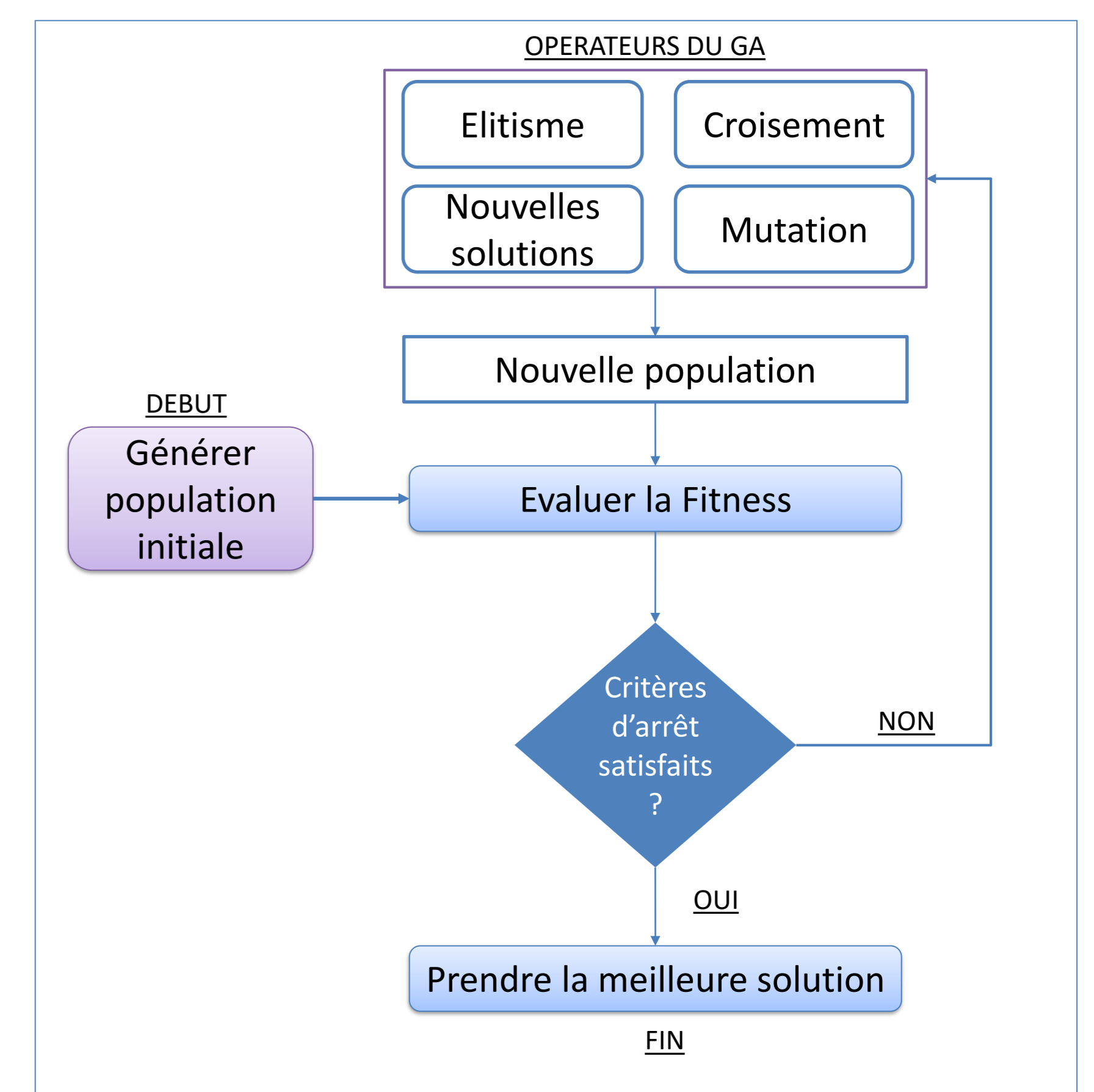
Modèle d'optimisation mixte non-linéaire (MINLP) et complexe (NP-Difficile)

Solution exacte difficile à obtenir par les méthodes classiques

Recours aux métaheuristiques

Algorithme génétique

Méthode de résolution



Application numérique

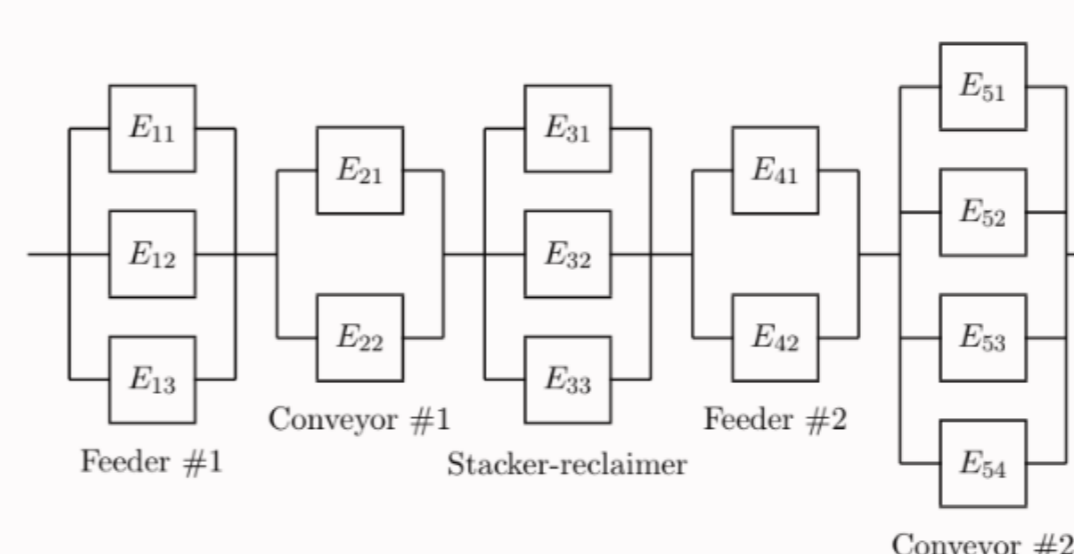
Comparaison entre la solution exacte obtenue par énumération et la solution donnée par l'algorithme génétique

- Durées des missions et des arrêts constantes pour chaque instance
- Quatre niveaux de maintenance Imparfaites
- Réparations minimales autorisées durant les missions uniquement

| Nbre de missions successives | Solution exacte | | | Algorithme génétique | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------|------------------------------|---------------------|
| | Coût de la solution | Temps de calcul (s) | Coût de la meilleure solution | Coût moyen sur dix essais | Coût de la plus mauvaise solution | Ecart type | Coefficient de variation (%) | Temps de calcul (s) |
| 2 | 392,25 | 13 | 392,25 | 392,25 | 392,25 | 0,0 | 0,0 | 8,2 |
| 3 | 637,23 | 7653 | 637,23 | 637,23 | 637,23 | 0,0 | 0,0 | 26,9 |
| 4 | - | >10800 | 869,37 | 878,34 | 895,52 | 9,2 | 1,04 | 112,3 |

Les résultats montrent que les solutions obtenues avec la métaheuristique sont très proches des solutions exactes obtenues par les méthodes exhaustives.

Application pour un système de grande taille: système de transport de charbon sur un horizon de dix missions.



| R_0 (%) | Coût de la meilleure solution | Coût moyen sur dix essais | Coût de la plus mauvaise solution | Ecart type | Coefficient de variation (%) | Temps de calcul (s) |
|-----------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------|------------------------------|---------------------|
| 85 | 5020,22 | 5242,73 | 5475,28 | 125,39 | 2,30 | 284 |
| 80 | 4393,72 | 4528,79 | 4712,11 | 103,46 | 2,20 | 240 |
| 75 | 3741,10 | 3866,90 | 3968,70 | 78,80 | 2,04 | 123 |
| 70 | 3438,33 | 3604,36 | 3693,20 | 64,16 | 1,78 | 341 |

| Arrêt m | Agent de maintenance | | | Plan de maintenance |
|---------|----------------------|-------|-------|---|
| | T | S | P | |
| 1 | | ✓(×1) | | $E_{21}(2), E_{32}(3)$ |
| 2 | | ✓(×1) | | $E_{21}(2), E_{31}(1)$ |
| 3 | ✓(×1) | | ✓(×1) | $E_{12}(2), E_{33}(3), E_{42}(2)$ |
| 4 | | ✓(×2) | | $S_1: E_{11}(2), E_{21}(2), E_{32}(2)$ $S_2: E_{42}(3), E_{51}(3)$ $S_3: E_{22}(4)$ |
| 5 | | ✓(×2) | ✓(×1) | $S_2: E_{33}(2), E_{53}(4)$ $E_{12}(4), E_{31}(3)$ $S_1: E_{12}(2)$ |
| 6 | ✓(×1) | | ✓(×1) | $S_2: E_{21}(2), E_{33}(3), E_{42}(3)$ $E_{21}(4)$ |
| 7 | | ✓(×1) | ✓(×1) | $E_{42}(3), E_{51}(3)$ $E_{13}(4), E_{31}(4)$ $S_1: E_{22}(4)$ $S_2: E_{33}(1)$ |
| 8 | | ✓(×2) | ✓(×1) | $E_{12}(3), E_{41}(4), E_{54}(2)$ $S_1: E_{21}(3)$ $S_2: E_{31}(4)$ |
| 9 | | ✓(×1) | ✓(×1) | $E_{42}(3), E_{53}(4)$ $E_{21}(2), E_{31}(1)$ |
| 10 | | ✓(×2) | ✓(×1) | $E_{12}(2), E_{32}(4)$ $S_1: E_{21}(2), E_{42}(3)$ $S_2: E_{33}(4)$ $E_{12}(4)$ |

Conclusion et perspectives

Conclusion:

- Un modèle mathématique intégrant l'affectation des tâches aux réparateurs à la maintenance sélective sur un horizon de plusieurs missions

Perspectives: prise en compte de

- la disponibilité des agents de maintenance
- Des incertitudes liées à la qualité des actions de maintenance et aux profils des missions

Publications

- [1] "Outsourcing selective maintenance problem in failure prone multi-component systems" 16ème symposium de l'IFAC (11 juin 2018, Bergame, Italie).
- [2] "Integrated imperfect multimission selective maintenance and repairpersons assignment problem" soumis au journal : Reliability Engineering and System Safety (19 Août 2019-En cours de révision, révisions mineures)