



Rapport d'élève ingénieur  
Projet de deuxième année  
Filière : Systèmes d'Information et Aide à la Décision

## Etude des problèmes de Group-shop

Présenté par : **Aymen BENBANI et Maryam MOUSTAGHFIR**

*Responsable ISIMA :*  
Philippe LACOMME

*Date de la soutenance :*  
4 mars 2024

*Responsable entreprise :*  
Damien LAMY

*Durée du projet :*  
60h par élève

Campus des Cézeaux : 1 rue de la Chebarde. TSA 60125 . 63178 Aubière CEDEX

## - Introduction :

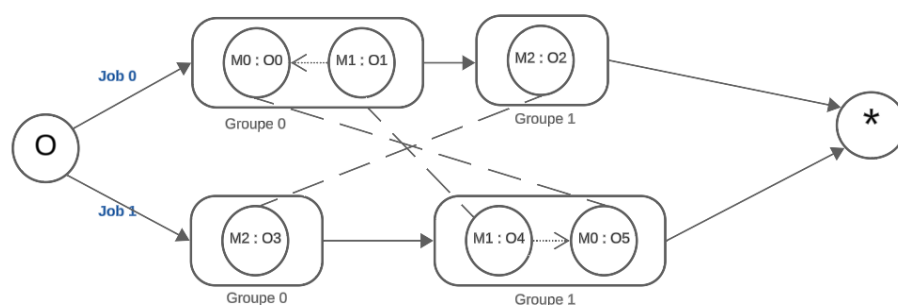
Au fil des dernières années, l'attention portée à la réduction de la consommation énergétique des systèmes de production a considérablement augmenté, étant donné leur responsabilité dans plus de 50 % de l'énergie consommée dans le monde (Administration américaine de l'information sur l'énergie, 2016). Cette préoccupation découle du constat que ces systèmes sont responsables d'une part importante de la consommation énergétique mondiale. Outre les avancées technologiques, l'intégration de la gestion de la consommation énergétique dans les opérations constitue une stratégie efficace pour réduire les gaspillages d'énergie. Parmi les différentes mesures d'efficacité énergétique en matière de planification, on trouve notamment la réduction de la consommation énergétique totale, la tarification en fonction des heures d'utilisation et la limitation de la puissance de crête.

Ce travail se concentre spécifiquement sur la contrainte de puissance de crête, qui vise à empêcher le dépassement des seuils de puissance convenus entre l'usine et son fournisseur d'énergie. Cette contrainte a pour objectif d'éviter le traitement simultané de plusieurs opérations à forte consommation d'énergie. Bien que la littérature existante sur la planification avec des contraintes énergétiques se penche principalement sur la consommation énergétique totale et la tarification en fonction des heures d'utilisation, peu de travaux ont été consacrés aux limitations de puissance de crête.

Dans ce contexte, notre étude examine dans quelle mesure une organisation plus flexible de l'atelier, notamment l'utilisation d'un atelier groupé, peut améliorer la productivité tout en tenant compte de ces limitations de puissance. Le Problème d'Ordonnancement d'Atelier Groupé (GSP) est au cœur de notre analyse, car il généralise à la fois le Problème d'Ordonnancement d'Atelier (JSP) et le Problème d'Ordonnancement d'Atelier Ouvert (OSP).

Le projet vise à trouver une solution optimale pour la planification des opérations de production, en tenant compte des contraintes énergétiques telles que les limitations de puissance de crête. Il utilise une approche basée sur la modélisation mathématique et l'optimisation algorithmique pour améliorer les solutions. Les résultats seront visualisés à l'aide d'un diagramme de Gantt pour une analyse visuelle de la planification des opérations dans le temps.

Pour ce qui est de la présentation de notre projet, nous débuterons par exposer l'organisation générale et le déroulement de la tâche réalisée. Ensuite, nous approfondirons les détails de notre solution en justifiant nos choix technologiques. Enfin, nous conclurons en citant nos sources et en dressant un bilan global du projet.



# Table des matières

1.	Déroulement du projet : .....	4
2.	Choix des technologies : .....	5
3.	Résultats : .....	6
4.	Synthèse : .....	7
5.	Conclusion : .....	8
6.	Références bibliographiques : .....	9

## 1. Déroulement du projet :

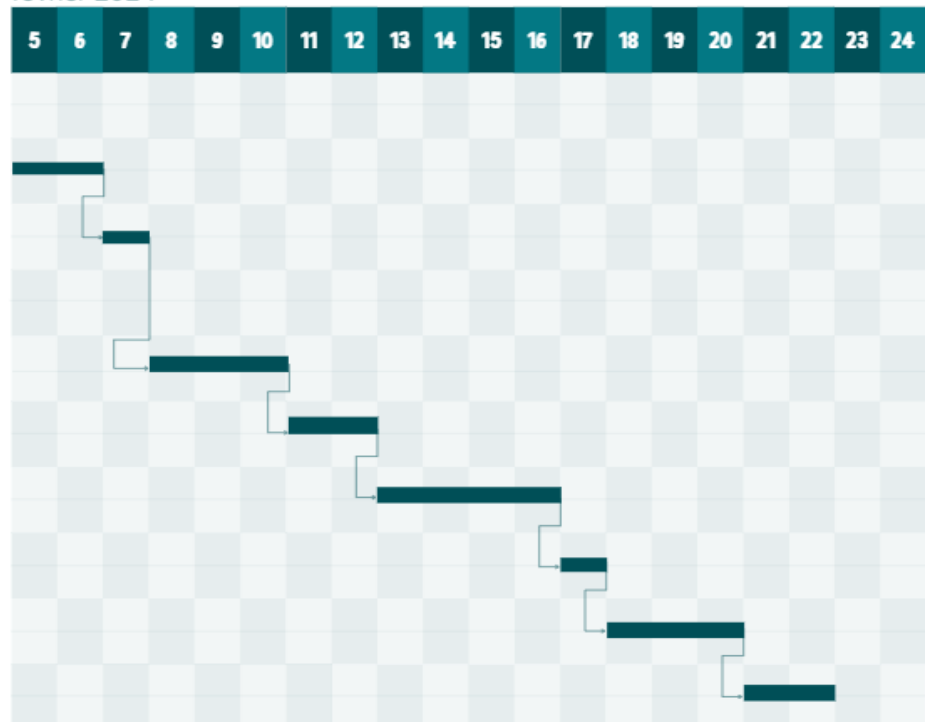
Dans notre projet, nous adoptons une approche agile pour une résolution efficace du problème de l'atelier groupé. Des réunions régulières avec notre tuteur sont prévues pour réviser nos avancées, identifier les erreurs et recueillir ses commentaires pour une meilleure qualité de travail tout au long du processus. Les principales étapes de notre projet sont les suivantes :

- Définir mathématiquement le problème de l'atelier groupé afin de le représenter formellement et créer des instances du problème en tenant compte des contraintes de puissance spécifiques à chaque situation.
- Élaborer une première solution en utilisant un processus aléatoire basé sur le flux physique des opérations dans l'atelier et générer une solution avec exigences de puissance : Nous adaptons la solution précédente pour intégrer les exigences de puissance et éviter les dépassements de seuils.
- Améliorer la solution avec une recherche locale pour optimiser la solution et réduire les coûts énergétiques, utiliser l'algorithme GRASP pour affiner davantage la solution, générer les diagrammes de Gantt (python) pour visualiser les résultats.

### GANTT CHART

<b>CONCEPTION</b>	05/02 → 07/02
ANALYSE DU BESOIN	
CHOIX DES TECHNOLOGIES	
<b>DÉVELOPPEMENT</b>	08/02 → 22/02
MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DE GSSP	
GÉNÉRATION DES INSTANCES AVEC EXIGENCES DE PUISSANCE	
GÉNÉRATION D'UNE SOLUTION ALÉATOIRE SANS EXIGENCES DE PUISSANCE	
GÉNÉRATION D'UNE SOLUTION ALÉATOIRE AVEC EXIGENCES DE PUISSANCE	
AMÉLIORATION DE LA SOLUTION AVEC LA RECHERCHE LOCALE ET GRASP	
GÉNÉRATION DES DIAGRAMMES DE GANTT	

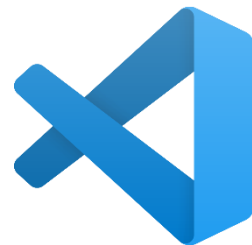
février 2024



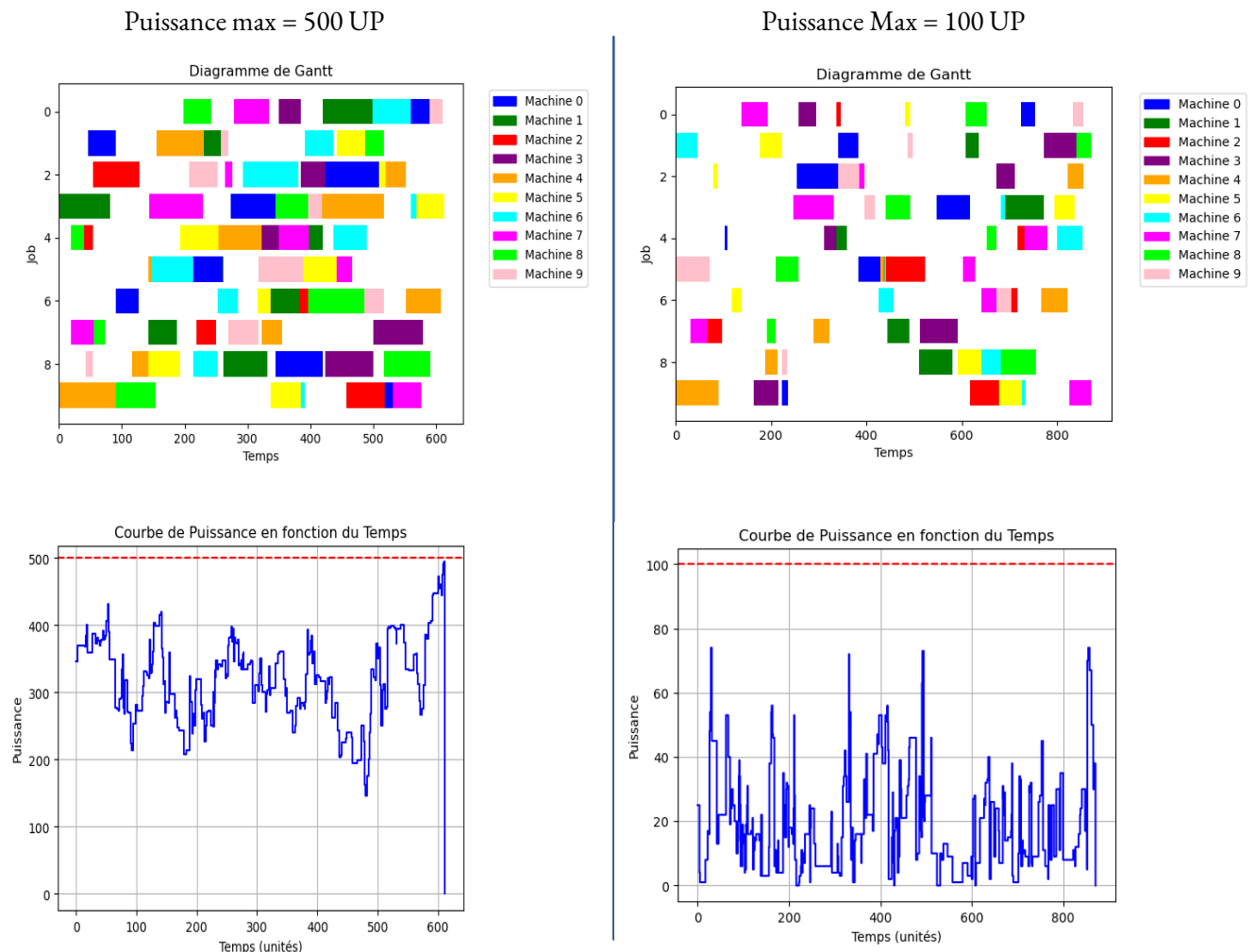
## 2. Choix des technologies :

Dans le cadre de notre projet sur les problèmes de group-shop, nous avons délibérément opté pour le langage de programmation C++ afin de répondre à divers aspects de notre travail. En premier lieu, nous avons choisi C++ pour sa capacité à traiter efficacement les fichiers d'instances du problème, à générer des solutions et à mettre en œuvre des algorithmes d'amélioration et d'optimisation. Cette décision découle de la robustesse et de la flexibilité intrinsèques de C++, qui permettent de manipuler aisément de grandes quantités de données et de résoudre des problèmes d'optimisation complexes de manière efficace. De plus, la performance accrue de C++ par rapport à d'autres langages en fait un choix idéal pour traiter des ensembles de données de taille importante tout en maintenant des temps d'exécution raisonnables.

Pour la visualisation des diagrammes de Gantt, nous avons fait le choix du langage de programmation Python. Python est réputé pour ses bibliothèques riches et ses outils de visualisation de données puissants, offrant une gamme étendue de fonctionnalités pour créer des représentations graphiques claires et informatives. En utilisant Python, nous avons pu générer des visualisations dynamiques de nos solutions, permettant une compréhension aisée et détaillée des plannings produits. L'association de C++ pour la résolution des problèmes de group-shop et de Python pour la visualisation des résultats a ainsi permis de conjuguer efficacement performances, flexibilité et qualité de présentation dans notre projet.



### 3. Résultats :



La Figure ci-dessus compare le temps d'exécution total (makespan) d'une instance GSP. Le côté gauche présente le diagramme de Gantt de la solution optimale avec une puissance initiale de 500 unités de puissance, tandis que le côté droit montre la solution optimale de la même instance GSP mais cette fois-ci avec une limite initiale de 100 unités de puissance. L'instance du côté gauche a un temps d'exécution total de 612 contre 871 pour le côté droit. Cette étude montre l'impact de la puissance initiale sur le placement des tâches et donc le temps d'achèvement total.

## 4. Synthèse :

Dans notre projet, nous avons choisi d'explorer en profondeur les problèmes de Group-shop [1], dans le cadre de l'objectif plus large de réduire la consommation énergétique des systèmes de production. Cette décision découle d'une reconnaissance claire de l'impact significatif de ces systèmes sur la consommation énergétique mondiale, une prise de conscience cruciale dans un contexte où la durabilité et l'efficacité énergétique sont devenues des priorités majeures.

Notre objectif principal était double : premièrement, nous voulions étudier comment une réorganisation de l'atelier, en mettant notamment en place un atelier groupé, pourrait non seulement améliorer la productivité, mais aussi tenir compte des contraintes de puissance, un aspect souvent négligé mais crucial pour une gestion durable des ressources énergétiques.

Pour atteindre cet objectif, nous avons abordé le Problème d'Ordonnancement d'Atelier Groupé (GSP), une généralisation complexe qui englobe à la fois le Problème d'Ordonnancement d'Atelier (JSP) et le Problème d'Ordonnancement d'Atelier Ouvert (OSP) [2]. Notre approche méthodologique était basée sur la modélisation mathématique rigoureuse et l'utilisation d'algorithmes d'optimisation avancés pour trouver des solutions efficaces tout en tenant compte des contraintes énergétiques spécifiques, en particulier les limitations de puissance de crête.

Les différentes étapes de notre projet ont été soigneusement planifiées et exécutées avec attention. Nous avons entamé par la définition mathématique précise du problème [3], un préalable essentiel pour établir une base solide. Ensuite, nous avons développé des solutions initiales en utilisant un processus aléatoire basé sur le flux physique des opérations, une approche qui nous a permis d'explorer diverses possibilités et de générer des idées novatrices. Par la suite, nous avons affiné ces solutions en utilisant une recherche locale, une étape cruciale pour optimiser la planification et réduire les coûts énergétiques, tout en assurant une efficacité opérationnelle maximale.

En ce qui concerne les technologies choisies, nous avons opté pour une combinaison de C++ et de Python. Cette décision stratégique découle de la nature complémentaire de ces langages : C++ a été privilégié pour sa robustesse et ses performances dans la résolution des problèmes de group-shop [4], tandis que Matplotlib a été choisi pour sa flexibilité et ses capacités de visualisation avancées, notamment pour la création de diagrammes de Gantt dynamiques [5].

Notre projet a mis en lumière l'efficacité de l'approche de l'atelier groupé dans la réduction du temps d'achèvement des opérations (makespan), en particulier dans des plannings contraints par la puissance. Pour l'avenir, nous envisageons de développer des approches basées sur d'autres métaheuristiques pour résoudre des instances plus complexes du GSSP et pour mieux refléter les conditions réelles de production, telles que l'intégration de profils de puissance plus réalistes et la prise en compte des incertitudes associées aux temps de traitement des opérations.

## 5. Conclusion :

Ce projet examine le problème de minimisation du temps d'exécution dans un problème d'ordonnancement de group-shop avec des exigences en puissance et une limitation de puissance (GSPPR). Le group-shop offre une certaine flexibilité dans l'ordre de traitement des opérations d'une tâche, ce qui permet de réduire significativement le temps d'exécution par rapport au Job-shop classique dans le contexte des horaires contraints par la puissance. Par exemple, une opération nécessitant peu de puissance peut être planifiée au moment opportun, lorsque la puissance disponible n'est pas utilisée par d'autres opérations.

Étant donné que les méthodes traditionnelles peuvent avoir des limitations pour résoudre des instances de grande taille du group-shop avec des exigences en puissance et une limitation de puissance (GSPPR), les recherches futures pourraient se concentrer sur le développement de métaheuristiques et d'approches de programmation contrainte pour aborder ce problème. De plus, il serait intéressant d'étendre le modèle GSPPR pour inclure des profils de puissance plus réalistes, ainsi que pour tenir compte des incertitudes liées au temps de traitement des opérations, ce qui pourrait nécessiter la conception de plannings robustes pour éviter les dépassements de limites de puissance.

Notre projet a abouti à des résultats prometteurs. Nous avons démontré que l'atelier groupé peut significativement réduire le makespan (temps d'achèvement de toutes les opérations) dans des plannings contraints par la puissance, offrant ainsi des perspectives encourageantes pour une gestion plus efficace des processus de production. De plus, nous avons identifié des pistes pour adapter notre modèle à des cas plus complexes de Group-shop, notamment en envisageant le développement de métaheuristiques et d'approches de programmation contrainte pour résoudre des instances plus difficiles du problème.

En conclusion, notre projet représente une contribution significative à la recherche sur la gestion des Group-shop, en intégrant les considérations énergétiques pour une production plus durable et efficace. Les leçons apprises et les défis surmontés tout au long de ce projet constituent une expérience précieuse qui nous servira dans notre parcours académique et professionnel.



## 6. Références bibliographiques :

[1] Kemmoé-Tchomté, S., Féniès, P., Lamy, D., & Tchernev, N. (2018). *A Multi-start Multi-level ELS for the Group-Shop Scheduling Problem*. IFAC PapersOnLine, 51(11), 1299-1304.

[2] Vinot, M. (2017). *Résolution conjointe de problèmes d'ordonnancement et de routage (Thèse de doctorat)*. Université Clermont Auvergne, École doctorale des Sciences Pour l'Ingénieur de Clermont-Ferrand. Numéro d'ordre EDSPIC : 815.

[3] Lamy, D., & Thevenin, S. (2021). *The Group Shop Scheduling Problem with power requirements*. In 17th International Workshop on Project Management and Scheduling (PMS 2020/2021), Toulouse, France. [HAL Id: emse-03208622]

[4] C++, *C++ Programming Language*, 2024, [Online].  
Disponible sur <https://devdocs.io/cpp/> [Consulté le : 07-fév-2024]

[5] Matplotlib, *Matplotlib: Visualization with Python*, 2024, [Online].  
Disponible sur <https://matplotlib.org/> [Consulté le : 20-fév-2024]