Planification de la production d'une ligne d'assemblage de panneaux solaires

1 Description

Votre entreprise assemble des panneaux solaires pour le compte d'un grand groupe international. Votre carnet de commande est parfaitement connu plusieurs mois à l'avance, mais présente néanmoins une forte variabilité, en raison notamment du caractère saisonnier des installations et des possibilités de soutien gouvernemental évoluant différemment selon les pays. Votre objectif consiste à optimiser le planning de fabrication de votre entreprise, tout en optimisant l'utilisation de ses ressources humaines.

Votre entreprise planifie sa production sur un horizon de T semaines. Pour chaque semaine s, on dispose de la quantité à produire demande(s) (où $1 \le s \le T$). La production d'un panneau solaire requiert

- vune certaine liste de matériaux (composants, modules, éléments structuraux, etc.), dont vous possédez d'une quantité suffisante (coût de stockage nul et réapprovisionnement permanent); chaque panneau produit entraîne un coût en matériaux égal à cout_materiaux (tous les coûts sont exprimés en euros),
- ♦ l'assemblage par un ouvrier, nécessitant duree_assemblage minutes par panneau.

Votre entreprise dispose actuellement d'un certain nombre d'ouvriers nb_ouvriers, payés à un salaire horaire cout_horaire (en euros par heure). Chaque ouvrier reçoit une rémunération de base à la semaine, correspondant à un nombre fixe d'heures nb_heures_remunerees (indépendamment du nombre d'heures effectivement prestées pour la fabrication de panneaux).

Un ouvrier peut consacrer au maximum sept heures par jour à l'assemblage de panneaux (car certaines autres tâches de rangement, d'entretien ou de maintenance occupent le reste de son temps), et travaille cinq jours par semaine.

Afin de faire face à la variabilité de son carnet de commande, votre entreprise dispose de plusieurs options :

- ⋄ Il est possible de constituer un stock de panneaux assemblés, par exemple durant les périodes creuses; néanmoins, le stockage d'un panneau une semaine entraîne un coût unitaire de stockage de cout_stockage
- ⋄ Il est possible de livrer votre client une semaine en retard; ceci entraîne néanmoins un surcoût (une pénalité) de penalite_1semaine par panneau. Un retard de deux semaines peut également être envisagé, mais entraîne une pénalité supérieure penalite_2semaines. Un retard de plus de deux semaines n'est pas permis.
- ⋄ Il est possible de demander des heures supplémentaires aux ouvriers. Chaque heure supplémentaire coûte cout_heure_sup, et un ouvrier peut en effectuer au plus nb_max_heure_sup par semaine. Les fractions d'heures supplémentaires sont autorisées.
- ♦ En cas de nécessité absolue, il est possible de sous-traiter une partie de la production à un autre producteur; celui-ci exige un montant (élevé) de cout_sous_traitant par panneau, et peut vous fournir au maximum nb_max_sous_traitant panneaux par semaine.
- ⋄ Il est possible d'engager des ouvriers supplémentaires au début de chaque semaine (toute personne engagée l'est pour la durée complète de la semaine), ce qui occasionne un coût d'embauche de cout_embauche par ouvrier (coût est comptabilisé une fois, et s'ajoute à celui du salaire). De même, il est également possible de procéder à des licenciements, au coût de cout_licenciement par ouvrier. Enfin, la capacité de votre ligne d'assemblage limite le nombre d'ouvriers à un maximum

de nb_max_ouvriers.

Sachant que le stock initial de votre entreprise est égal à **stock_initial** unités, et qu'un stock identique doit être reconstitué à la fin de l'horizon de planification, comment planifier votre production et gérer vos ressources humaines de façon à satisfaire la demande prévue tout en minimisant l'ensemble des coûts de votre ligne d'assemblage?

2 Première partie – ligne d'assemblage à personnel constant

Pour cette **première partie** du projet, on ignore la possibilité d'embaucher ou de licencier (on travaille à personnel constant). Tous les formulations proposées seront **purement linéaires** (continues, sans variables entières).

- Question 1 **Donnez** une formulation du problème de la planification de la ligne d'assemblage, en décrivant successivement variables, contraintes et fonction objectif. A ce stade, **précisez** si le fait de ne pas imposer l'intégralité des variables vous semble problématique.
- Question 2 **Démontrez** que, sous certaines hypothèses raisonnables, il est possible de garantir que votre modèle linéaire continu admette toujours une solution entière, c'est-à-dire ne comportant que des quantités produites entières chaque semaine. L'une de ces hypothèses est l'intégralité de la demande chaque semaine; **quelles** sont les autres?
 - Conseil: Reformulez l'entièreté du problème sous la forme d'un problème de **flot**. Représentez graphiquement le graphe utilisé (par exemple pour T=4 semaines).
- Question 3 Implémentez ce modèle linéaire continu dans le langage de programmation de votre choix, et calculez la solution correspondant aux données fournies sur *Moodle* à l'aide d'un solveur d'optimisation linéaire (p.ex. linprog sous MATLAB). Commentez l'allure de la solution obtenue.

 Note: un solveur d'optimisation linéaire continue peut être basé sur différents algorithmes (simplexe, point intérieur/barrière, etc.), et il est souvent possible de sélectionner lequel on souhaite utiliser. Veillez à faire un choix cohérent avec la conclusion de la Question 2 (ce n'est pas forcément l'algorithme proposé par défaut).
- Question 4 **Décrivez** une procédure permettant, avec le moins de nouveaux calculs possibles, d'évaluer les conséquences sur la fonction objectif d'une petite variation de la demande prévue.

 Plus précisément, analysez l'effet du remplacement du vecteur demande par le vecteur demande + epsilon * delta_demande où delta_demande est un vecteur de perturbation sur la demande, et epsilon est un paramètre scalaire dont la valeur est faible.
- Question 5 **Testez** la procédure du point précédent avec les données fournies. **Comparez** ensuite la prédiction obtenue par cette procédure avec la valeur obtenue en résolvant à nouveau complètement le modèle, et ce pour un échantillon de valeurs du paramètre **epsilon** comprises entre 0 et 1 (par exemple 0:.1:1). **Commentez**, en vous aidant d'un graphique.
- Question 6 **Décrivez** (sans l'implémenter) l'adaptation qu'il serait nécessaire d'apporter au modèle si le coût de l'heure supplémentaire pris en compte était variable. Plus concrètement, considérez qu'en sus des 5×7 heures d'une semaine classique deux heures supplémentaires peuvent être prestées à un coût horaire de 150% du coût standard, et qu'ensuite deux nouvelles (et dernières) heures supplémentaires peuvent être prestées à un coût horaire de 200% du coût standard.

Est-il toujours **possible** dans ce cas de formuler (ou reformuler) le problème sous forme linéaire? **Expliquez**. Serait-ce **différent** si le coût horaire des deux dernières heures supplémentaires tombait à 125% au lieu de 200% du coût standard? **Justifiez**.

Question 7 Pour terminer, pour rendre le modèle plus réaliste, on suppose à présent que le coût des matériaux utilisés évolue de semaine en semaine, et que l'entreprise peut stocker ces matériaux en quantité limitée. Soit cout_materiaux(s) le coût des matériaux nécessaires à la fabrication d'un panneau s'ils sont achetés au début de la semaine s (où $1 \le s \le T$), et soit stock_max_materiaux la quantité maximale de matériaux que vous pouvez stocker (exprimée en nombre de panneaux équivalents).

Décrivez (sans l'implémenter) l'adaptation qu'il serait nécessaire d'apporter au modèle pour prendre en compte cette situation. En adaptant votre réponse à la question 2 ci-dessus, tentez à nouveau de démontrer que votre modèle linéaire continu admet toujours une solution entière sous certaines hypothèses raisonnables, que vous préciserez.

3 Seconde partie – ligne d'assemblage avec gestion du personnel

L'énoncé détaillé de cette seconde partie sera communiqué ultérieurement. Il ajoutera l'aspect gestion du personnel, ainsi que la résolution d'une formulation linéaire en nombres entiers.

4 Consignes

Consignes générales

- 1. Le projet se réalise par groupe de trois étudiants. Il est divisé en deux parties.
- 2. Les données mentionnés dans l'énoncé sont fournies dans le fichier LINMA1702-projet-2018.zip disponibles sur le site MOODLE https://moodleucl.uclouvain.be/course/view.php?id=9200.
- 3. La première partie du projet est à remettre au plus tard le **dimanche 8 avril**, sur Moodle : un rapport (au format PDF) décrivant le travail effectué et répondant aux questions de l'énoncé, et l'ensemble des codes utilisés. Ces productions seront notées, et un feedback individuel par groupe vous sera communiqué à la rentrée (début S9).
- 4. Le rapport ne dépassera pas 10 pages (annexes comprises).
- 5. Les codes utilisés seront conçus de façon à ce qu'ils puissent être testés en lançant un unique script (ou une fonction) pour effectuer l'ensemble des calculs demandés aux questions 3 et 5 (un fichier README.txt précisera la commande à utiliser). Ceci implique que ce script devra commencer par lire le fichier de données (voir l'exemple en MATLAB fourni). Ces codes seront remis sur Moodle dans une archive compressée, conjointement avec le rapport.
- 6. La date limite pour la remise du rapport complet sur les deux parties du projet sera le mercredi 16 mai (S13).
- 7. Les groupes peuvent échanger leurs réflexions, partager leurs idées et comparer leurs résultats. Ils ne peuvent pas copier les solutions obtenues ou les programmes informatiques. L'utilisation de toute information ou aide extérieure doit obligatoirement être mentionnée dans le rapport, en citant la source.

8. Vous pouvez poser vos questions sur le projet par email (emilie.renard@uclouvain.be) ou de vive voix (après prise de rendez-vous) à Emilie Renard (bâtiment Euler, ICTEAM/INMA). Plusieurs permanences seront également organisées durant le quadrimestre (voir Moodle).

Changelog

- \diamond 9/3/2018 (v1.0) : publication de la première partie du projet, version initiale présentée au cours.
- ♦ 14/3/2018 (v1.1) : précision quant à la rémunération des ouvriers (montant fixe par semaine pour horaire de base, comportant au maximum 5 × 7 heures de fabrication de panneaux) et le fonctionnement des heures supplémentaires (s'ajoutent aux heures de la semaine); mention plus claire du fait que la première partie ne concerne que des modèles linéaires (continus, sans variables entières); précision quant à la lecture des données par le code; correction de coquilles
- \diamond 16/3/2018 (v1.2) : précision à la Question 3 quant à la sélection de l'algorithme de résolution utilisé par le solveur