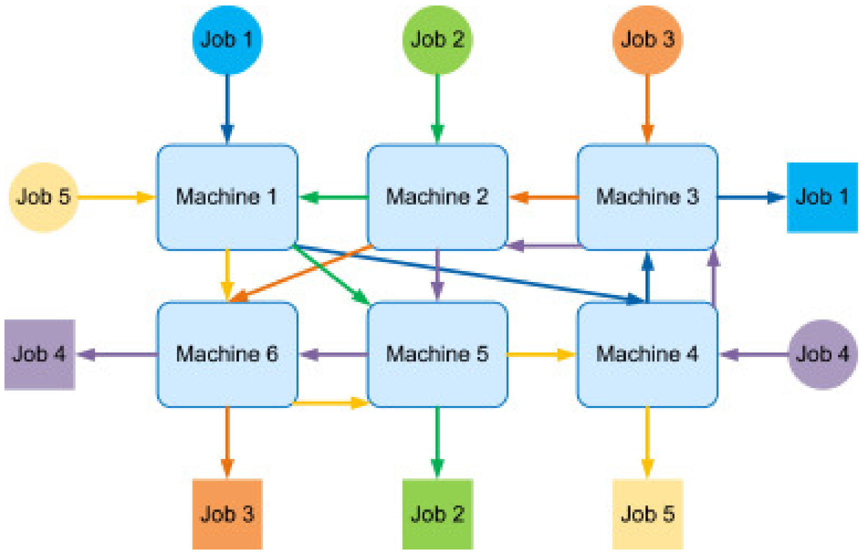
TP

Aide à la décision - JS



CLIQUOT Théo
CHASSAGNOL Rémi

Professeur: LACOMME Philippe

November 4, 2022

Contents

1 Introduction **2**
- 1.1 Enoncé du problème . . . 2
- 1.2 Structure et Choix d'implémentation . . . 2

2 Implémentation **2**
- 2.1 Lecture Dans un fichier . . . 2
- 2.2 Évaluation d'un graphe . . . 3
  - 2.2.1 Calcul du hash . . . 4
- 2.3 Recherche locale . . . 5
  - 2.3.1 Raisonnement . . . 5
  - 2.3.2 Implémentation . . . 5
- 2.4 GRASP . . . 6

3 Conclusion **9**
- 3.1 Présentation des résultats . . . 9
- 3.2 Analyse de ces derniers . . . 9

1 Introduction

1.1 Enoncé du problème

On cherche à résoudre un problème de **Job Shop**. Un **Job Shop** correspond à une séquence de passages dans des machines pour un ensemble de pièces. Chaque pièce passe dans chaque machine mais dans des ordres et pendant des durées différentes. Notre but est de minimiser le temps nécessaire pour que toutes les pièces aient fini leur processus.

1.2 Structure et Choix d'implémentation

Il nous faut stocker plusieurs informations tout au long de notre étude du job shop. Pour cela nous avons séparé nos données en 2 structures distinctes:

- Une structure `instance_t` qui va contenir:
  - Le nombre de Machines et de Pièces
  - Un tableau 2D qui va nous renvoyer la machine correspondante à la pièce (1^{er} argument) et au numéro d'ordre (2^{nd} argument). (On peut linéariser le tableau afin d'avoir une meilleure optimisation).
  - De la même façon, un tableau 2D qui va nous renvoyer cette fois-ci le temps que va passer la pièce n°i pour l'opération n°j (`T[i][j]`).
- Une structure `solution_t` avec:
  - Le coût de cette solution
  - Le temps pour une pièce et une opération donnée.
  - L'opération **père** pour une pièce et une opération donnée (l'opération `pere[i][j]` est l'opération qui précède l'opération de la pièces **i** sur la machine **j**).
  - Le **père** de notre élément étoile (le dernier élément, lorsque toute nos opérations sont finies).
  - Le **vecteur de Bierwith** qui a donné cette solution.
  - Le `hash` de cette solution. (utile pour le GRASP).

2 Implémentation

2.1 Lecture Dans un fichier

Nous avons déjà un choix de représentation des données du job shop si on suit la **formalisation de Brunel**. Cette représentation est sous la forme:

- Une première ligne donnant le nombre de machines et de pièces
- Chaque ligne n°i suivante contient la suite d'opération (couple [machine coût]) pour la pièce n°i.

On peut donc récupérer toutes les informations de ce fichier avec une simple boucle `for` comme on peut le voir dans le code ci-dessous:

```
fichier >> instance.nbPieces >> instance.nbMachines;

for (int i = 1; i <= instance.nbPieces; ++i) {
  for (int j = 1; j <= instance.nbMachines; ++j) {
    fichier >> machine;
    instance.machines[i][j] = machine + 1; // on compte    partir de 1
    fichier >> instance.coutPieceMachine[i][j];
  }
 }
}
```

Listing 1: Boucle de parcours du fichier

2.2 Évaluation d'un graphe

L'évaluation nécessite d'avoir au préalable généré un **vecteur de Bierwith** avec la fonction éponyme. Le but de l'évaluation est de trouver les dates au plus tôt pour un vecteur de Bierwith donné, et donc de mettre à jour les tableaux `dates` et `pere` de `solution` et le coût de la solution. La fonction permet aussi de trouver le père du nœud * on en a besoin par la suite. Enfin, à la fin de l'évaluation, on calcule aussi le **hash** de la solution, ce **hash** sera utilisé par la suite lors de la fonction `GRASP`.

Le fonctionnement de la fonction est le suivant:

On traite les pièces suivant leur apparition dans le vecteur de Bierwith. On a donc une boucle qui parcourt le vecteur. A chaque tour de boucle, on met à jour `pieceActuelle` qui correspond au numéro de la pièce courante, et `rangPiece` qui correspond au rang de la pièce. Pour trouver le rang, on utilise un tableau `occurencePiece` qui compte l'apparition des pièces.

```
// parcours du vecteur de bierwith et mise    jour de solution
for (int i = 1; i <= instance.nbMachines * instance.nbPieces; ++i) {
  pieceActuelle = solution.bierwith[i];
  rangPiece = ++occurencePiece[pieceActuelle];

  // ...
 }
```

Listing 2: Boucle principale de l'évaluation.

On commence par mettre à jour la date (et le père) suivant le lien horizontal. Ici, on modifie la date si $date(piecePrecedente) + cout(piecePrecedente) > date(pieceActuelle)$. A noter que le lien horizontal n'est mis à jour que pour les pièces de rang supérieur à 1 puisqu'une pièce de rang 1 n'a pas de père (le nœud **0** ne compte pas).

```
if (occurencePiece[pieceActuelle] > 1) {
  oldDate =
    solution.dates[pieceActuelle][rangPiece - 1]; // date du noeud pr c dent (
    horizontalement)

  if (oldDate + instance.coutPieceMachine[pieceActuelle][rangPiece - 1]
      > solution.dates[pieceActuelle][rangPiece]) {
    // mise    jour de la solution
```

```
  }
 }
```

Listing 3: Traitement de l'arc horizontal.

Ensuite on traite le lien disjonctif. Ici le principe est le même sauf qu'on regarde la pièce qui est passée en dernier sur la machine courante et la date est modifiée si $pieceSurMachine + cout(pieceSurMachine) > cout(piece)$.

```
machineCourrante = instance.machines[pieceActuelle][rangPiece];

if (ordreSurMachine[machineCourrante][0] != 0) {
  numeroPieceMachine = ordreSurMachine[machineCourrante][0];
  rangPieceMachine = ordreSurMachine[machineCourrante][1];
  oldDate = solution.dates[numeroPieceMachine][rangPieceMachine];

  if (oldDate + instance.coutPieceMachine[numeroPieceMachine][rangPieceMachine]
      > solution.dates[pieceActuelle][rangPiece]) {
    // mise    jour de la solution
  }
 }
```

Listing 4: Traitement de l'arc disjonctif.

À la fin, on met à jour la pièce sur la machine ainsi que le coût de la solution si besoin.

```
// mise    jour de l'ordre de passage sur les machines
ordreSurMachine[machineCourrante][0] = pieceActuelle;
ordreSurMachine[machineCourrante][1] = rangPiece;

// si on traite le dernier noeud (*), on met    jour le cout de la solution
// et le p re du dernier noeud.
if (rangPiece == instance.nbMachines) {
  if (solution.dates[pieceActuelle][rangPiece]
      + instance.coutPieceMachine[pieceActuelle][rangPiece] > solution.count) {
    // mise    jour du cout et du p re de '*'
  }
 }
}
```

Listing 5: Mise à jour de la pièce sur la machine et du coût

2.2.1 Calcul du hash

Dans les parties suivantes, on aura besoin de pouvoir tester si un solution a déjà été traitée, pour ce faire on aura besoin d'identifier les solutions via un `hash`. La fonction de hachage suit la formule suivante:

$h = \sum_{d \in dates} (d^2 \% k)$ ou k est le nombre d'éléments de la table de hachage.

```
static inline int hachage(t_solution &solution, t_instance &instance) {
  unsigned long int h = 0;
  unsigned long int dateCourrante;

  for (int i = 1; i <= instance.nbPieces; ++i) {
    for (int j = 1; j <= instance.nbMachines; ++j) {
      dateCourrante = solution.dates[i][j];
      h = (h + (dateCourrante * dateCourrante)) % k;
    }
  }

  if (h > k)
    exit(-1);
  return h;
}
```

La fonction utilise le mot clé `inline` pour avoir un code plus rapide.

2.3 Recherche locale

2.3.1 Raisonnement

Le but de cette fonction est de nous retourner la meilleure solution au niveau local, c'est à dire qu'on va prendre en argument une solution actuelle, et on va chercher toutes les modifications locales possibles améliorant notre solution. Les modifications locales correspondent à une permutation entre 2 opérations sur la même machine mais avec des pièces différentes (et on ne s'intéresse qu'au chemin critique étant donné que c'est celui ci qui nous limite, le chemin critique est trouvé en parcourant les pères, en commençant par le nœud étoile).

La logique de cet algorithme est donc de parcourir notre chemin critique en sens inverse (jusqu'à arriver au nœud 0, le nœud de début), et durant le parcours du chemin, si on a un arc disjonctif, on va évaluer de nouveau notre solution en permutant cette fois-ci les deux opérations à l'origine de cet arc. Si la solution ainsi trouvée est meilleure ont repart du nœud de fin (étoile) et on recommence. Sinon (arc non disjonctif ou pire coût) on continue notre parcours du chemin critique.

2.3.2 Implémentation

Pour pouvoir permuter nos 2 nœuds dans le vecteur, on doit d'abord connaître leurs positions. C'est le but de notre fonction `recherchePosition` qui va prendre la pièce et le rang de notre nœud courant et précédent et va nous renvoyer leurs positions dans le vecteur de bierwith. Pour cela on parcours le vecteur en sens inverse et dès qu'on voit notre pièce, on décrémente son rang. Dès qu'on atteint le bon rang, on a trouvé notre index. Une optimisation apportée est de séparer le `while` en deux, en effet une fois qu'on a trouvé notre nœud courant, plus besoin de le chercher on peut se concentrer seulement sur le précédent.

```
while (!trouve) { // cour
  if (solution.bierwith[i] == pieceCour) {
    if (rangICour == rangCour) {
      indexCour = i;
      trouve = true;
    }
    rangICour -= 1;
  }
```

```
   if (solution.bierwith[i] == piecePred) {
     rangIPred -= 1;
   }
   --i;
 }
trouve = false;
while (!trouve) { // pred
   if (solution.bierwith[i] == piecePred) {
     if (rangIPred == rangPred) {
       indexPred = i;
       trouve = true;
     }
     rangIPred -= 1;
   }
   --i;
```

Listing 6: Squelette de la fonction

Une fois cette fonction écrite, nos parties se résument à:

```
// Si arc disjonctif
if (machineCour == machinePred) {
  solutionPrime = solution;

  recherchePosition(solution, instance, pieceCour, rangCour, rangPred,
        piecePred, indexCour, indexPred);
  permuter(solutionPrime, indexCour, indexPred);

  // evaluation de la nouvelle solution
  evaluer(solutionPrime, instance);

  // si on am liore la solution
  if (solutionPrime.count < solution.count) {
    // On repart du noeud  toile  et on change notre solution
  } else {
    // On avance
  }
 } else {
  // On avance.
 }
```

2.4 GRASP

Le but de cet algorithme est de s'approcher au maximum de la meilleure solution du problème. Pour ce faire, on suit le schéma suivant:

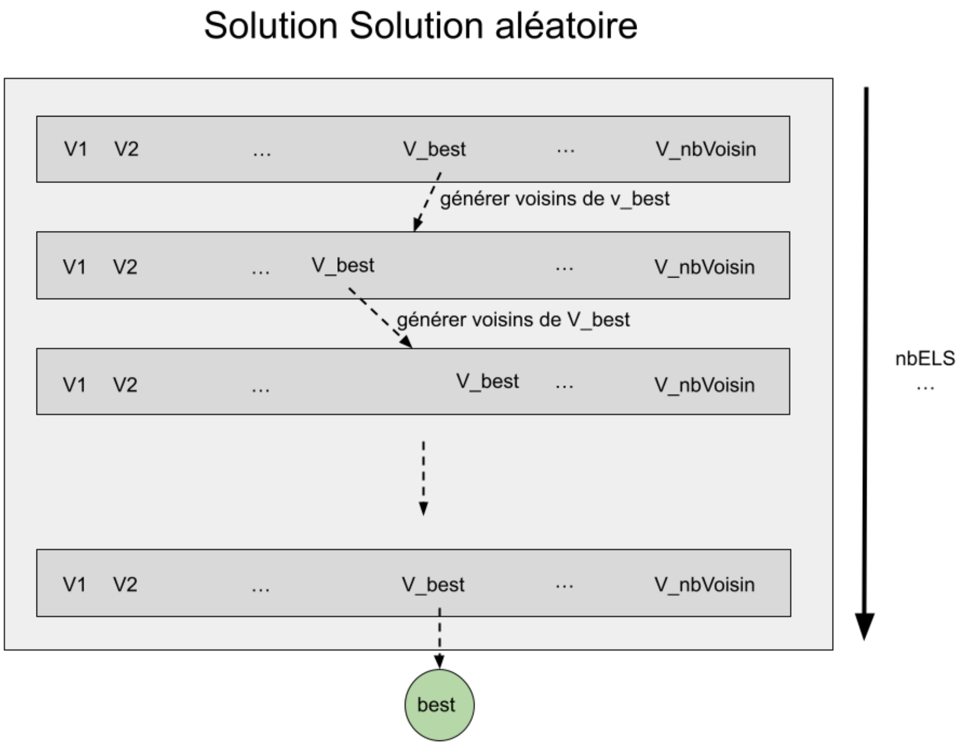


Figure 1: Principe du GRASP.

On commence par générer une solution aléatoire. On utilise une table de hachage pour s'assurer que les solutions que l'ont traite n'ont jamais été explorées.

```
do {
  genererVecteurBierwith(solution, instance);
  evaluer(solution, instance);
  rechercheLocale(solution, instance, 1000000);
 } while (T[solution.h] == 1);
T[solution.h] = 1; // marquage de la solution
```

Listing 7: Recherche d'une solution aléatoire non traitée.

Ensuite on génère `nbVoisin` voisins de la solution trouvée précédemment. Pour chaque voisin, on l'évalue, on fait une recherche locale, si le voisin n'est pas traité, on teste si le coût est plus faible que celui de la meilleure solution trouvée jusqu'ici. On met à jour la meilleure solution si c'est le cas.

```
for (int j = 1; j <= nbELS; j++) {
  int         nbv = 0;
  t_solution tmpBest;
  tmpBest.count = inf;

  // g n ration des voisins de la solution de d part + sauvegarde du
  // meilleur
  while ((nbv < nbVoisin && iter < 1000) || nbv == 0) {
    voisin = genererVoisin(solDepartELS, instance);
    evaluer(voisin, instance);
    rechercheLocale(voisin, instance, 1000000);
    if (T[voisin.h] == 0) {
      if (voisin.count < tmpBest.count)
  tmpBest = voisin;
      nbv++;
      T[voisin.h] = 1;
    }
    iter++;
  }
  solDepartELS = tmpBest; // on repart de la meilleure solution

  // sauvegarde du meilleur
  if (tmpBest.count < bestSolution.count)
    bestSolution = tmpBest;
 }
```

A noter que le nombre de voisins trouvé est incrémenté uniquement lorsque le voisin généré n'a pas été traité. De ce fait, on laisse une condition de sécurité pour éviter une boucle infinie dans le cas ou on n'arrive pas à générer `nbVoisin`.

On répète les étapes précédentes `nbIter` fois et on met à jour `bestSolution` à chaque fois. À la fin, `solution` prend la valeur de la meilleure solution trouvée.

3 Conclusion

3.1 Présentation des résultats

Voici un exemple des résultats qu'on obtient:

Table 1: Tableau des résultats

Num de test	Nombre de Pièces	Nombre de Machines	Résultat optimal	Résultat obtenu
la01	10	5	666	666
la02	10	5	655	663
la03	10	5	597	619
la04	10	5	590	598
la05	10	5	593	593
la06	15	5	926	926
la07	15	5	890	890
la11	20	5	1222	1222
la16	10	10	945	???
la20	10	10	902	???

3.2 Analyse de ces derniers

On remarque que nos solutions sont très proches, et si on relance de façon aléatoire on obtient les bons résultats la plupart du temps. Cependant pour les cas `la16` et `la20` le temps d'exécution est extrêmement long. Il nous faudrait faire des optimisations plus complexes pour avoir des temps de calcul plus raisonnables sur ces deux solutions.

Comme dit précédemment on peut linéariser les tableaux 2D afin d'avoir une meilleure optimisation, au prix d'une implémentation et d'une compréhension plus compliquées. Cependant, on constate tout de même que nos algorithmes sont relativement efficaces et trouvent de bonnes solutions pour des problèmes simples relativement rapidement.