

TER 2019 - Rapport

Maxime Gonthier - Benjamin Guillot - Laureline Martin

28 mai 2019

Table des matières

1 Introduction

2 Les données initiales

3 Objectif

- 3.1 Contraintes
 - 3.1.1 Entre deux cours
- 3.2 Métriques sur les contraintes
- 3.3 Objectif

4 Stratégies de résolution

- 4.1 Planification initiale
- 4.2 Les algorithmes
 - 4.2.1 L'algorithme glouton
 - 4.2.2 L'algorithme tabou dur
 - 4.2.3 L'algorithme tabou roulette
- 4.3 Données utilisées
 - 4.3.1 Le nombre de personnes par bus
- 4.4 L'emploi du temps
- 4.5 Les variables

5 Présentation et analyse des résultats

6 Conclusion

- 6.1 Pistes de réflexion abandonnées
- 6.2 Conclusion sur les objectifs initiaux
- 6.3 Ouverture

7 Annexes

- 7.1 Exemple d'utilisation
 - 7.1.1 Représentation des montées et descentes du bus
 - 7.1.2 L'emploi du temps
 - 7.1.3 Calcul de la congestion
- 7.2 Explication de la programmation
 - 7.2.1 Algorithme glouton
- 7.3 Algorithme tabou roulette
 - 7.3.1 Planification initiale

1 Introduction

Le projet décrit dans ce rapport est la réalisation d'Algorithmes d'optimisation pour un bureau des temps.

La mission d'un tel bureau est de permettre une décongestion des moyens et infrastructure de mobilité afin d'améliorer la qualité de vie des utilisateurs et de diminuer l'impact environnemental de ces structures. Il s'agira donc d'influer sur les causes de la congestion de mobilités en repensant les horaires d'activités.

Dans notre projet, les horaires d'activités sont celles de l'Université Versailles-Saint-Quentin, et plus précisément de l'UFR des Sciences, basé à Versailles. L'objectif sera ici de minimiser le nombre d'étudiants par bus pour ainsi éviter de fortes congestion. Pour cela, on influera sur les horaires de début de cours pour un emploi du temps journalier. Ainsi en repensant ces horaires, on pourra minimiser la congestion sur la ligne de bus R, allant de la gare transilien Versailles-Chantier à l'UFR.

Ce rapport a pour objectif de décrire dans un premier temps les données que nous allons utiliser dans notre projet. Ensuite, nous définirons les objectifs à atteindre et les stratégies de résolutions envisagées afin d'atteindre ces objectifs. Nous comparerons ensuite pour ces différentes stratégies les résultats obtenus afin d'identifier la meilleure stratégie.

Afin de faciliter la compréhension de ce rapport, nous allons expliciter les étapes sous la forme d'un exemple simple situé en annexes.

2 Les données initiales

Cette section fait l'état des données utilisées pour le bon fonctionnement de l'application.

Nous avons pour but de créer une planification pour un emploi du temps, c'est-à-dire un déroulement sur une journée des cours dans une université, ici l'UFR de Versailles.

L'idée étant de modifier un emploi du temps afin de minimiser la congestion dans les bus dûe aux arrivées d'étudiants au début de leurs cours. Il nous faut donc un emploi du temps de base sur lequel travailler.

Nos données initiales sont :

- Probabilité de lien entre deux cours (un lien est au moins un étudiant en commun entre deux cours)
- Le nombre cours
- Le nombre de salles
- Le type de chaque cours

- L'heure de début et de fin de journée
- Le lapse de temps entre la fin d'un cours et le début du suivant

La probabilité de lien entre deux cours est définis entre 0 et 1. Les cours sont considérés comme les sommets d'un graphe. Si nous voulons un degré moyen K dans notre graphe, alors on doit mettre une probabilité de lien de K/N avec N le nombre cours.

Une fois les liens générés, on représente le graphe sous la forme d'une matrice d'adjacence.

Cette représentation nous permet de facilement identifier quels cours ont des étudiants en communs.

	Cours 1	Cours 2	Cours 3
Cours 1	0	1	0
Cours 2	1	0	0
Cours 3	0	0	0

Dans cette exemple, nous pouvons voir que le cours 1 et le cours 2 ont au moins un étudiant en commun.

Nous avons besoin de cette information afin de pouvoir fournir une planification réaliste.

Le nombre de salle sera dans notre graphe le nombre couleur utilisé au maximum pour colorier les sommets. Chaque cours est également défini par son type :

- un CM
- un TD

Ces informations seront utilisées pour connaître le nombre d'élèves arrivés à chaque cours. En effet, chaque type de cours a un nombre différent d'élèves. L'heure de début de journée corespond à l'horaire minimale de début d'un cours.

Le lapse de temps entre deux cours correspond au temps laissé entre deux cours, dans notre cas on fixe cette valeur à 15 minutes.

ELEVES ARRIVE DANS LE BUS D AVANT QUAND LE BUS DE-PASSE 60 ON MET LES ELEVES DNAS LE BUS AVANT

3 Objectif

L'objectif de notre projet est de générer un emploi du temps, c'est-à-dire une planification qui respecte toutes les contraintes et dont la métrique est minimale.

3.1 Contraintes

3.1.1 Entre deux cours

1. Deux cours utilisent la même salle ne doivent pas avoir des horaires qui se chevauchent.
2. Deux cours qui ont des horaires qui se chevauchent ne doivent pas avoir d'élèves en commun.
3. Le temps laissé entre deux cours doit être de 15 minutes minimum.

3.2 Métriques sur les contraintes

Nous évaluons le dépassements du seuil de confort du bus. Dans notre cas d'étude, le seuil de confort est fixé à 50 personnes. Au delà de ce seuil, le score de congestion est incrémenté à chaque arrêt de bus. Le nombre d'étudiants dans un bus ne doit pas dépasser la capacité $capacité_{max}$ du bus. Cette capacité maximale est fixée à 60 dans notre cas d'étude. Ainsi s'il y a plus de 60 élèves pour un bus, le surplus d'élèves empruntera le bus précédent l'horaire du bus surchargé.

Pour calculer le nombre d'élèves par bus, on utilise l'emploi du temps des données initiales. Nous pouvons ainsi récupérer pour chaque tranche horaire le nombre d'étudiants censé arriver pour suivre leur cours.

Nous posons l'hypothèse que les élèves arrivent dans le bus précédant leur cours, de ce fait on peut savoir précisément le nombre d'élèves qu'il y aura dans un bus avant un cours.

On prend également en compte le fait que chaque bus comporte une part de non-étudiants, qui ne sera donc pas variable dans notre application. En effet, une modification de la planification ne changera pas leur nombre.

A partir de ces informations, nous pouvons savoir si un bus atteint son seuil de congestion.

3.3 Objectif

La métrique décrite dans le point précédent va nous permettre de donner un score à chaque planification que nous allons réaliser.

En effet, l'objectif étant de réduire la congestion des bus, nous aurons tendance à préférer une planification pour laquelle le score de congestion est faible.

C'est donc dans la modification de la planification que les contraintes vu plus haut interviennent.

Nous allons donc devoir trouver une planification qui minimise la congestion des bus tout en respectant les trois contraintes vu précédemment.

4 Stratégies de résolution

4.1 Planification initiale

Dans un premier temps, nous allons créer une planification initiale qui sera utilisée comme point de départ par chaque algorithme. Cette solution va simplement mettre le sommet initial à la première horaire de la journée puis placer les autres sommets en respectant les contraintes et en les mettant le plus tôt possible. Le sommet initial est le sommet de degré entrant nul d'indice le plus faible. Ces sommets sont les cours de la matrice d'adjacence vu dans le premier point de ce rapport.

4.2 Les algorithmes

4.2.1 L'algorithme glouton

A MIEUX EXPLIQUER LES 3 ALGOS Cet algorithme est basé sur une heuristique simple : à partir d'une planification initiale, on fait varier les cours un par un sur toutes les horaires possibles respectant les contraintes. Pour chaque modification on recalcule la congestion des bus. Si la congestion est améliorée, alors on définit cet horaire comme étant le nouvel horaire du cours.

On parcourt cependant toutes les horaires possibles afin de choisir celui qui améliore le plus la congestion. Si aucun n'améliore la congestion, le cours est placé à son horaire initial.

Une fois le premier sommet fixé, le sommet suivant est traité et ainsi de suite.

4.2.2 L'algorithme tabou dur

Cet algorithme est basé sur le même principe que pour l'algorithme glouton mais d'une façon différente.

Pour chaque cours, l'heure de début varie tout en respectant les contraintes et une nouvelle valeur pour la congestion est calculée. La meilleure modification pour chaque sommet est gardée en mémoire.

Après avoir effectué cette recherche sur tout les cours de la planification, le sommet ayant la meilleure amélioration de congestion est modifié.

Ce procédé est ensuite répété mais en interdisant l'optimisation d'un cours dont l'horaire a déjà été modifiée.

4.2.3 L'algorithme tabou roulette

Cet algorithme ressemble à l'algorithme tabou dur, à ceci près qu'il laisse une part de hasard dans le choix de la modification à apporter dans la planification.

En effet, cet algorithme traite toutes les horaires respectants les contraintes

pour tous les cours. La congestion est ensuite calculée pour chaque horaire. Ensuite, parmi toutes les solutions de tous les sommets, une seule est choisie aléatoirement. Cependant, plus une solution améliore la congestion, plus elle aura de chance d'être sélectionnée. C'est le même fonctionnement qu'une roulette dont les sous parties ne sont pas de tailles égales. L'opération est ensuite répétée tout en interdisant l'optimisation d'un cours déjà modifié, comme pour l'algorithme précédent.

4.3 Données utilisées

Voir l'exemple en annexe pour plus de clarté.

4.3.1 Le nombre de personnes par bus

Dans notre cas d'étude, nous considérons que tous les étudiants montent au premier arrêt (gare des chantiers) et descendent au terminus (l'université).

Nous allons aussi créer le nombre de montées et de descentes à chaque arrêt. Pour obtenir les données des arrêts intermédiaires nous choisirons une valeur aléatoire, choisie dans un intervalle différent en fonction de l'heure. L'objectif est de représenter la congestion forte des heures de pointes de manière un peu plus précise :

Horaire	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h
Montées	[5 :15]	[5 :15]	[3 :10]	[2 :8]	[1 :5]	[1 :5]	[1 :5]	[2 :8]	[3 :10]
Descentes	[0 :5]	[0 :5]	[1 :6]	[1 :6]	[1 :5]	[1 :5]	[0 :5]	[0 :5]	[1 :5]

4.4 L'emploi du temps

L'emploi du temps est un graphe dont les sommets sont des cours et les liens des étudiants en communs. Pour plus de clarté nous considérons ici que chaque professeur est disponible sur toute la durée de la journée.

Les sommets du graphe sont également coloriés, chaque couleur représentant une salle.

1. On crée un graphe non orienté en numérotant les sommets de 1 jusqu'au nombre de cours.
2. On relie les sommets entre eux lorsque qu'il y a une contrainte (étudiants en commun). Pour cela on crée une matrice d'adjacence avec un degré moyen choisit arbitrairement. Pour N sommets et K le degré moyen, la probabilité qu'il y ai une arête à insérer dans chaque case est K/N .
3. Les arêtes s'orientent, désormais des arcs, du sommet d'indice le plus faible au plus fort

4. Il y a obligatoirement un ou plusieurs sommets de degré entrant nul, ces sommets de notre DAG seront des points de départ possible pour notre planification.
5. Le graphe est colorié, chaque couleur représente une salle.
6. L'emploi du temps est agencé en respectant le fait que deux couleurs et deux sommets reliés par un arc ne peuvent pas être sur la même plage horaire. Par défaut le sommet duquel nous partirons est le sommet de degré entrant nul d'indice le plus faible.

Chaque cours possède un nombre d'étudiants choisis aléatoirement entre 16 et 32 pour un TD et entre 16 et 100 pour un cours magistral. les TDs représentent trois quart des cours.

Cependant comme nous avons dû les générer faute de données concrètes, nous inclurons également dans cette section l'ensemble des variables utilisées pour les générer.

4.5 Les variables

Les noms des variables sont simplifiés par rapport à leur nom réel dans l'application afin de les rendre plus explicite pour le lecteur.

- *probabilité de lien* : la probabilité qu'il y ai un lien entre 2 cours. Un lien entre 2 cours signifie qu'ils ont au moins un étudiant en commun, ils ne peuvent donc pas avoir lieu en même temps.
- *nombre de cours* : le nombre de cours que nous allons représenter lors du déroulement de l'application. C'est le nombre de cours que nous allons devoir modifier pour la planification.
- *le nombre de salles* : le nombre de salles disponibles pour les cours.
- *heure maximum* : l'heure limite à laquelle on peut placer un cours. Dans notre cas d'étude, nous représentons le temps par tranche de 15 minutes. Il va de 7h30 à 16h, on à donc 34 quart d'heure.

5 Présentation et analyse des résultats

Nous allons tester nos algorithmes en choisissant différentes valeurs de degré moyen. Nous fixons le nombre de cours à 40. Par exemple pour un degré moyen de 3 on calcule la probabilité de lien entre deux cours à utiliser : $40/3 = 0.075$. Le nombre de salles est fixé à 30. On itère les algorithmes tabou sur 10 itérations. Les valeurs affichées sont le nombre de bus totalement congestionnés.

Ce tableau représente le nombre de bus congestionnés par méthode. Le degré moyen du graphe est 1 (0.025 probabilité de lien entre deux cours).

Tirage numéro	Initiale	Algo glouton	Algo tabou dur	Algo tabou roulette
1	9	9	9	9
2	10	10	10	10
3	11	8	8	8
4	10	10	10	10
5	10	10	10	10
6	10	8	9	8
7	X	X	X	X
8	X	X	X	X
9	X	X	X	X
10	X	X	X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	X	X	X	X
14	X	X	X	X
15	X	X	X	X
Moyenne	X	X	X	X

Ce tableau représente le nombre de bus congestionés par méthode. Le degré moyen du graphe est 5 (0.125 probabilité de lien entre deux cours).

Tirage numéro	Initiale	Algo glouton	Algo tabou dur	Algo tabou roulette
1	13	6	11	7
2	11	9	7	8
3	12	7	7	7
4	10	9	8	8
5	14	9	10	8
6	12	7	7	8
7	13	8	9	6
8	12	10	12	10
9	11	8	9	8
10	X	X	X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	X	X	X	X
14	X	X	X	X
15	X	X	X	X
Moyenne	X	X	X	X

Ce tableau représente le nombre de bus congestionés par méthode. Le degré moyen du graphe est 7 (0.175 probabilité de lien entre deux cours).

Tirage numéro	Initiale	Algo glouton	Algo tabou dur	Algo tabou roulette
1	8	6	6	5
2	10	9	9	9
3	11	7	8	9
4	10	10	7	9
5	13	8	8	11
6	X	X	X	X
7	X	X	X	X
8	X	X	X	X
9	X	X	X	X
10	X	X	X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	X	X	X	X
14	X	X	X	X
15	X	X	X	X
Moyenne	X	X	X	X

Ce tableau représente le nombre de bus congestionés par méthode. Le degré moyen du graphe est 10 (0.25 probabilité de lien entre deux cours).

Tirage numéro	Initiale	Algo glouton	Algo tabou dur	Algo tabou roulette
1	12	8	7	7
2	13	8	8	8
3	11	7	6	8
4	13	8	10	9
5	12	8	9	7
6	10	8	6	6
7	X	X	X	X
8	X	X	X	X
9	X	X	X	X
10	X	X	X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	X	X	X	X
14	X	X	X	X
15	X	X	X	X
Moyenne	X	X	X	X

Comparer les algos, comparer en fct des données en entrées Moyenne de l'algo tabou roulette sur la meme horaire.

6 Conclusion

6.1 Pistes de réflexion abandonnées

Lors de nos recherches préliminaires, nous avons pensé représenter chaque élément (cours, étudiants, professeurs, salles) par des classes. Ainsi, un langage de programmation orienté objet nous semblait tout indiqué. Mais nous savions également que nous allions avoir besoin de fonctions procédurales (les algorithmes par exemple). Donc, nous avons opté pour l'utilisation du langage C++ qui est un langage hybride

Au cours de nos recherches, nous nous sommes rendu compte que nous pouvions modéliser notre problème en utilisant simplement des matrices, nous avons donc abandonnée l'idée de représenter les éléments du projets par des objets.

Cependant, comme nous avons déjà commencé à programmer une partie du projet, nous avons décidé de garder le C++ comme langage de programmation, son aspect hybride entre le procédural et l'orienté objet nous permettant de continuer à l'utiliser.

6.2 Conclusion sur les objectifs initiaux

Le problème d'optimisation pour un bureau des temps n'a pas de solution simple. Nous avons eu recours à différentes heuristique afin de pouvoir fournir des planifications viables.

Ce problème est donc assez coûteux en temps en fonction de l'heuristique choisie. De plus, nous ne pouvons pas affirmer à 100% que les planifications fournies soient les meilleures. Cependant, nous pouvons essayer de s'en approcher.

6.3 Ouverture

Nous avons quelques pistes de réflexions qui pourraient améliorer l'efficacité de notre application.

Il serait possible par exemple de donner aux algorithmes la possibilité d'inverser les arcs de la matrice d'adjacence des cours. Ainsi on ne serait pas limité à l'ordre établi lors de la planification initiale (à ré-expliquer mieux). Il serait également possible d'essayer d'utiliser d'autres heuristiques que celles que nous avons choisi. comme un recuit simulé par exemple (à expliquer), ou alors changer la variable de décision (à expliquer) de l'algorithme glouton.

7 Annexes

7.1 Exemple d'utilisation

7.1.1 Représentation des montées et descentes du bus

Nous considérons que tous les étudiants montent au premier arrêt (gare des chantiers) et descendent au terminus (l'université). On ajoute aussi à chaque arrêt les montées et descentes des non étudiants. Dans notre exemple nous avons :

Numéro de l'arrêt	1	2	3	4	5
montées	50	15	10	2	0
Descentes	0	5	10	8	54

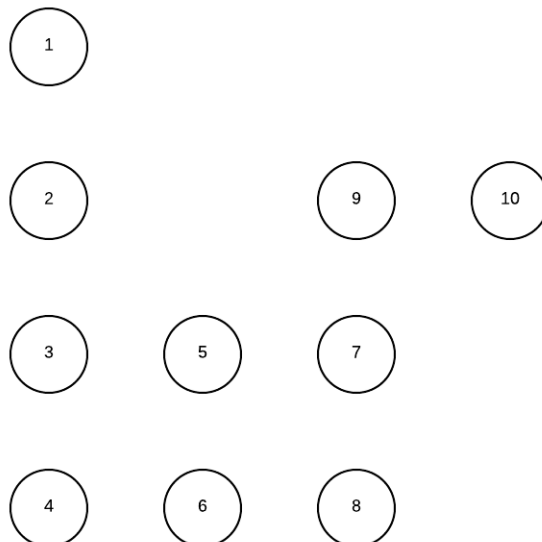
Pour obtenir les données des arrêts intermédiaires de montées et descentes nous choisirons une valeur aléatoire, choisis dans un intervalle différent en fonction de l'heure, l'objectif est de représenter la congestion forte des heures de pointes de manière un peu plus précise :

Horaire	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h
Montées	[5 :15]	[5 :15]	[3 :10]	[2 :8]	[1 :5]	[1 :5]	[1 :5]	[2 :8]	[3 :10]
Descentes	[0 :5]	[0 :5]	[1 :6]	[1 :6]	[1 :5]	[1 :5]	[0 :5]	[0 :5]	[1 :5]

7.1.2 L'emploi du temps

Voici un exemple de création de la planification initiale :

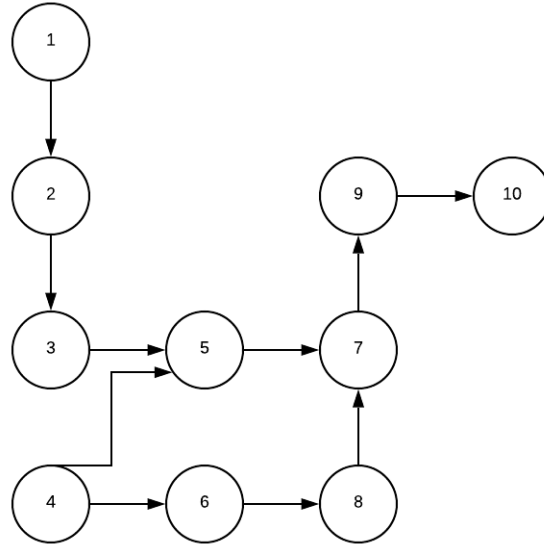
1. On créer un graphe non orienté en numérotant les sommets de 1 à 10.



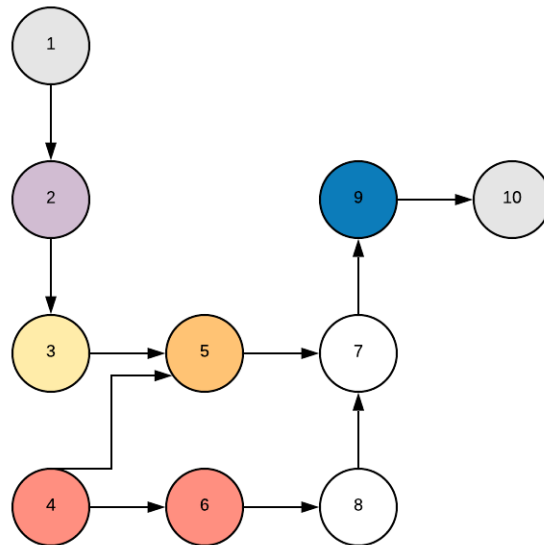
2. On relie les sommets entre eux lorsque qu'il y a une contrainte (même

étudiant sur des horaires qui se chevauchent). Pour cela on crée une matrice d'adjacence avec un degré moyen choisis arbitrairement. Pour N sommets et K le degré moyen, la probabilité qu'il y ait une arête à insérer dans chaque case est K/N .

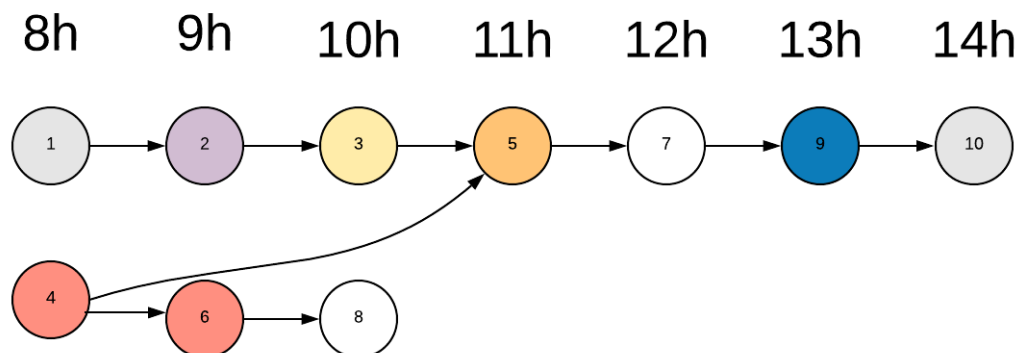
3. On oriente les arêtes désormais des arcs du plus faible au plus fort



4. On remarque dans notre exemple qu'il y a deux sommets de degré entrant nul, ces deux sommets de notre DAG seront des points de départs possible pour notre planification.
5. On colorie le graphe, chaque couleur représente une salle.



6. Nous agençons l'emploi du temps en respectant le fait que deux couleurs et deux sommets reliés par un arc ne peuvent pas être sur la même plage horaire. Par défaut le sommet duquel nous partirons est le sommet de degré entrant nul le plus faible, ici le numéro 1. C'est la planification initiale :



Chaque cours possède un nombre d'étudiants choisis aléatoirement entre 16 et 32 pour un TD et entre 16 et 100 pour un cours magistral. les TDs représentent trois quart des cours. Ainsi dans notre exemple nous avons :

Numéro du sommet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Type de cour	TD	CM	CM	TD	TD	TD	TD	TD	TD	CM
Nombre d'élèves	16	70	60	30	25	20	16	30	14	50

7.1.3 Calcul de la congestion

A l'aide du tableau ci dessus nous allons pouvoir déterminer à chaque horaire le nombre d'étudiants arrivé au terminus et donc en conclure à l'aide du tableau des montées et des descentes le nombre de personnes à chaque arrêt. On considère que les étudiants prennent le bus arrivant 15 min avant leurs premier cour de la journée. Dans notre exemple nous avons pour 8h le cours 1 et 4, ce qui représente 46 élèves. Ainsi le bus de arrivant a 7h45 ressemble à cela :

Numéro de l'arrêt	1	2	3	4	5
Différence montées/descentes	10	7	10	11	0
Nombre de personnes dans le bus	56	53	60	56	57

Ce tableau sera générés pour chaque bus. On mesurera dans chaque cas le dépassement à chaque arrêt en mettant un 1 si il y a dépassements, un 0 sinon. Sachant que la limite de confort est de 50 dans le bus que nous étudions, ce bus nous donne une valeur de congestion de 5.

A partir de la on applique l'algorithme glouton et les deux algorithmes génétiques pour essayer d'améliorer notre fonction objectif. Décrivons ces algos.

7.2 Explication de la programmation

7.2.1 Algorithme glouton

```
//N est le nombre de cours.
for (int i = 0; i < N; i++)
{
    //Horaires_glouton est un tableau contenant la planification
    //initiale. Chaque case representant l'horaire d'un sommet.
    //Meilleure solution et meilleure congestion representent
    //respectivement la meilleure horaire pour le sommet i et
    //la congestion associee a cette horaire.
    //Meilleure horaire signifie horaire qui minimise au plus la
    //congestion. Avant la boucle on les initialise a l'heure
    //deja attribue au sommet i.
    sommet_modifie = i;
    meilleure_solution = Horaires_glouton[sommet_modifie];
    meilleure_congestion = calcul_congestion_totale(
        Horaires_glouton, Nb_eleves,
        heure_max, N, TO);
    //Le while test tous les horaires possibles pour le sommet i.
    while(j < heure_max - 1)
    {
        Horaires_glouton[sommet_modifie] = j;
        //Si l'horaire j est valide
        if (test_solution_valide(Horaires_glouton, N, couleur,
            Type, TO) == true)
        {
            temp = calcul_congestion_totale(Horaires_glouton,
                Nb_eleves, heure_max, N, TO);
            //Si la congestion a l'horaire j est meilleure
            //que la meilleure congestion du sommet i,
            //alors on remplace la meilleure congestion et
            //la meilleure horaire par j.
            if(temp < meilleure_congestion)
            {
                meilleure_solution =
                    Horaires_glouton[sommet_modifie];
                meilleure_congestion = temp;
            }
        }
        j++;
    }
    //j commence a 2 car 2 correspond a 8h du matin.
```

```

        j = 2;
        Horaires_glouton[sommet_modifie] = meilleure_solution;
    }

```

7.3 Algorithme tabou roulette

Nous ne décrivons pas l'algorithme tabou dur car il est quasiment identique. La différence est explicité ci dessous.

```

//Horaires_tabou_roulette est un tableau contenant la planification
//initiale. Chaque case representant l horaire d un sommet.
int *Horaires_tabou_roulette = (int*)malloc(N*sizeof(int*));

//Tableau qui servira a verifier si un sommet a deja ete modifie
//et ainsi l interdire
int *Sommets_interdits = (int*)malloc(Nb_iterations*sizeof(int*));

//Tableau contenant la meilleure horaire pour un sommet donne
int *Meilleure_solution = (int*)malloc(N*sizeof(int*));

//Tableau contenant la meilleure solution pour un sommet donne
int *Meilleure_congestion = (int*)malloc(N*sizeof(int*));

//Tableau contenant les probabilite qu'un sommet sois choisie
//par la roulette
int *Valeurs_roulette = (int*)malloc(N*sizeof(int*));

//La boucle k permet d'iterer l'algo plusieurs fois
for(int k = 0; k < Nb_iterations; k++){
    //On initialise la congestion initiale
    congestion_initiale = calcul_congestion_totale
        (Horaires_tabou_roulette, Nb_eleves, heure_max, N, TO);
    //La boucle i parcourt l'ensemble des sommets
    for(int i = 0; i < N; i++){
        //On cherche a savoir si le sommet courant est un sommet
        //deja modifie, si oui on ne le regarde pas
        for(int l = 0; l < k+1; l++){
            if(i == Sommets_interdits[l]) {i++; l = 0;}
        }
        //Initialisation des meilleures solution pour le sommet i
        Meilleure_solution[i] = Horaires_tabou_roulette[i];
        Meilleure_congestion[i] = calcul_congestion_totale
            (Horaires_tabou_roulette, Nb_eleves, heure_max, N, TO);
        horaire_initiale = Horaires_tabou_roulette[i];
    }
}

```



```

//La boucle j parcourt l'ensemble des horaires possibles
while(j < heure_max - 1){
    Horaires_tabou_roulette[i] = j;
    //On verifie que l'horaire est bien valide
    if (test_solution_valide(Horaires_tabou_roulette ,
        N, couleur , Type, TO) == true){
        temp = calcul_congestion_totale(Horaires_
            Nb_eleves, heure_max, N, TO);
        //Si la congestion de cette horaire est n
        //on met a jour le meilleur horaire et la
        //congestion du sommet i
        if(temp < Meilleure_congestion[i]){
            Meilleure_congestion[i] = temp;
            Meilleure_solution[i] = j;
        }
    }
    j++;
}
//j commence a 2 car 2 correspond a 8h du matin
j = 2;
//On remet l'horaire du sommet i a son horaire de base
//car on sait pas encore quel sommet sera modifie a
//cette iteration de l'algo tabou
Horaires_tabou_roulette[i] = horaire_initiale;
//On remplit le tableau des proba de cette maniere :
//On marque la valeurs de modification par rapport a
//la congestion initiale. Ainsi si on a 10 de congestion
//initiale et 8 en congestion pour le sommet i,
//Alors on marque 2 dans le tableau. Pour le sommet suiva
//il modifie de 3 on marque 5.
//Ainsi ca donne un tableau comme cela :
//2 4 8 15 16 17 17.
if(Meilleure_congestion[i] < congestion_initiale){
    Valeurs_roulette[i] =
        congestion_initiale - Meilleure_congestion[i];
}
else { Valeurs_roulette[i] = 0; }
}
for (int p = 1; p < N; p++) {
    if (Valeurs_roulette[p] == 0) {
        Valeurs_roulette[p] = Valeurs_roulette[p-1];
    }
    else { Valeurs_roulette[p] += Valeurs_roulette[p-1]; }
}

if (Valeurs_roulette[N-1] > 0) {

```



```

        if(test_lien(Horaires , N, T, Horaires[k]
                    + 13 + j , i , TYPE) == true){
//On met l'heure de i avant celle de k.
        Horaires[i] = Horaires[k] + 13 + j;
        break;
        }
    }
}
else //si le cours est un cm, le code est le meme.
{
    for(int j = 0; j <= 36; j++)
    {
        if(test_coloration(Horaires , couleur , N, TYPE,
                            Horaires[k] + 7 + j ,i) == true)
        {
            if(test_lien(Horaires , N, T, Horaires[k] + 7
                        + j , i , TYPE) == true)
            {
                Horaires[i] = Horaires[k] + 7 + j;
                break;
            }
        }
    }
}
}
//Si il n'y a aucun lien vers le sommet k.
else {
    if(testConnexe(T, N, i) == true){
        if(TYPE[k] == 0)//si le cours est un td
        {
            for(int j = 0; j <= 36; j++)
            {
                if(test_coloration(Horaires , couleur , N, TYPE,
                                    Horaires[k] + 13 + j , i) == true)
                {
                    if(test_lien(Horaires , N, T, Horaires[k] +
                                13 + j , i , TYPE) == true)
                    {
                        Horaires[i] = Horaires[k] + 13 + j;
                        break;
                    }
                }
            }
        }
    }
}
}

```

```

    }
    else //si le cours est un cm.
    {
        for(int j = 0; j <= 36; j++)
        {
            if(test_coloration(Horaires , couleur , N, TYPE,
                               Horaires[k] + 7 + j,i) == true)
            {
                if(test_lien(Horaires , N, T, Horaires[k] +
                             7 + j, i, TYPE) == true)
                {
                    Horaires[i] = Horaires[k] + 7 + j;
                    break;
                }
            }
        }
    }
}
}
}
}
}

```