

Rapport de projet - Affectation des fréquences dans les réseaux mobiles

Thomas Gloriod, Paul Locatelli et Pierre Rognon



Printemps 2013

Sommaire

Introduction	3
1 Présentation du sujet	4
2 Principe de résolution	6
3 Algorithme développé	8
4 Résultats observés	13
5 Problèmes rencontrés	15
Conclusion	16
Annexes	18
A Génération de la solution initiale	19
B Implémentation de la recherche tabou	20

Introduction

Afin de clore l'étude concernant l'optimisation et la recherche opérationnelle, un projet a été proposé. Ce projet concerne l'affectation de fréquences dans le cadre d'antennes pour les réseaux mobiles. L'enjeu réside dans le fait que cette affectation se joue sur une carte qui est familière ici puisque l'on se concentrera sur le Territoire de Belfort.

Le problème d'affectation de fréquences est un problème type en recherche opérationnelle. Il est donc connu de tous les initiés de cette discipline.

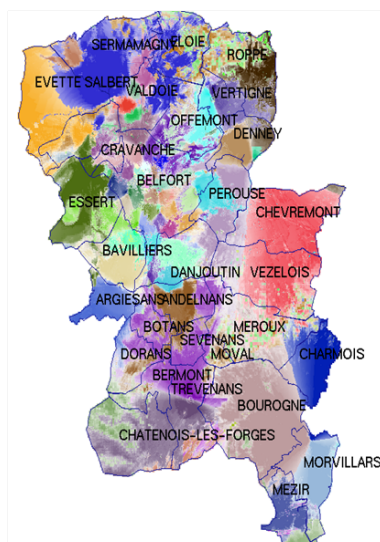
Plus précisément, ce problème s'apparente à un problème de coloration de graphe. Il s'agit ici d'attribuer des fréquences à différents secteurs d'une même zone. La contrainte consiste à éviter le plus possible que deux secteurs limitrophes émettent sur la même fréquence.

La modélisation de ce problème représentant un travail important, le projet consiste seulement à se pencher sur la méthode de résolution. Une première partie consiste donc à trouver une solution initiale, c'est-à-dire affecter une première fois les fréquences sans se préoccuper outre mesure de l'efficacité de cette affectation. La seconde partie consiste à améliorer cette affectation en proposant des solutions plus efficaces à l'aide d'un algorithme de notre choix. Ici, le choix s'est porté sur un algorithme de recherche tabou.

1 Présentation du sujet

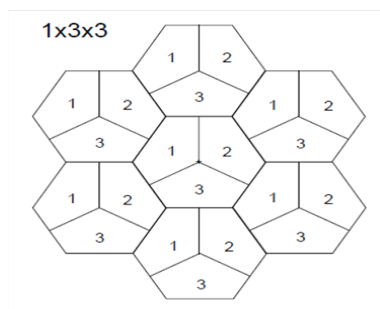
1.1 Détails du problème

Le département étudié, ici le Territoire de Belfort comporte 36 secteurs, chacun étant divisé en maximum trois secteurs. On obtient ainsi un total de 88 secteurs. Trois fréquences sont disponibles pour chaque secteur. Ces fréquences sont donc numérotées 1, 2 et 3 afin de reconnaître facilement celle-ci.



Cette carte représente le territoire qui sera étudié par ce projet soit le département du Territoire de Belfort.

Chaque secteur reçoit donc dans son affectation un secteur en fréquence 1, un autre en fréquence 2 et un dernier en fréquence 3. Sur la carte ci-dessous, on peut voir l'agencement théorique de sites entre eux ainsi que la division en secteurs de ceux-ci.



Chaque site est délimité en trois secteurs ici identiques mais qui peuvent en réalité varier et ont des frontières plus floues.

Pour que les clients soient couverts, les secteurs ayant une frontière communes doivent avoir des fréquences différentes afin de minimiser les interférences. Cependant, il n'est pas aisé de savoir si des clients observent des interférences. C'est pourquoi, au sein du territoire, 12 695 points test permettent d'évaluer la qualité de l'allocation des fréquences. Chaque points test est caractérisé par un nombre de clients et le débit souhaité pour chacun.

1.2 Objectifs

L'objectif ici se cache derrière un premier objectif d'ordre technique. En effet, il faut tout d'abord réduire au maximum le nombre de fréquences égales qui se chevaucheraient. Par le chevauchement, on entend une frontière entre deux secteurs, de sites différents, affectés à la même fréquence.

Cependant, derrière cet objectif, le fait de minimiser les conflits, un autre objectif final se cache. Chaque interférence générée par un conflit génère en effet une zone dans laquelle le signal risque fortement d'être perturbé et d'empêcher l'utilisation d'un téléphone par un client potentiel. C'est donc ce problème que l'on cherche à minimiser.

2 Principe de résolution

La résolution de ce problème peut se faire de deux façons totalement différentes. La première est de manière exacte. L'utilisation de méthode exacte demanderait le calcul de 6^{36} soit environ 10^{28} allocation de fréquences différentes. Le temps de calcul n'est donc pas réalisable aujourd'hui, les ordinateurs actuels n'étant pas assez puissants. C'est pourquoi pour ce genre de problème où le nombre de solution est trop importante, les méthodes de résolution approchées sont utilisées.

2.1 Le choix d'une méthode approchée

Le principe de cette méthode de résolution est simple. On cherche d'abord une solution au problème, soit de manière aléatoire, soit en en calculant pas trop mauvaise. Une liste de voisins à cette solution est ensuite définie. Les voisins sont alors issus de règles précises définies auparavant suivant la méthode approchée à utiliser. Il faut ensuite évaluer tous ces voisins afin d'améliorer la solution si possible. La répétition de cette méthode un grand nombre de fois permet de balayer de nombreuses solutions et d'approcher voire de trouver la solution optimale.

L'avantage de ces méthodes approchées est qu'à défaut d'être certain de trouver à coup sûr la bonne solution, il est toujours possible de trouver une solution dont on peut se satisfaire et ce, de manière beaucoup plus rapide que pour une méthode exacte.

Parmi les méthodes approchées, un choix a dû être fait pour ce projet. Ce choix s'est porté sur l'algorithme de la recherche tabou.

2.2 La recherche tabou

L'algorithme de recherche tabou permet d'améliorer une simple recherche du meilleur voisin (méthode du hill climbing). En effet, si l'on recherche simplement le meilleur voisin à chaque itération, il est possible que l'algorithme bloque sur un extremum local. Si la solution n'a que des voisins plus mauvais, l'algorithme va donc considérer que c'est la meilleure solution, même si une solution plus intéressante est disponible.

La recherche tabou permet d'éviter de bloquer dans la plupart des extremums locaux. Cela paraissait donc un choix intéressant dans le cas de l'affectation de fréquences. En effet, le nombre de solution étant relativement important, il est très fortement probable que des extremums locaux existent. L'utilisation de la recherche tabou va éviter de rester bloquer dans un extremum et ainsi d'explorer plus de solutions dans un même nombre d'itérations. Le principe de recherche des voisins de la recherche tabou étant similaire au hill climbing, peu de modifications sont nécessaires. Il suffit, lorsqu'une solution voisine est étudiée, de la placer dans une liste "tabou". On lui attribue alors une durée tabou qui va permettre d'indiquer le nombre d'itérations durant lequel il sera interdit de retourner sur la solution. La liste tabou va donc enregistrer toutes les solutions actuellement interdites ainsi que la

durée restante. Dans le cas où une solution présente dans la liste tabou est un extremum local, on évitera ainsi d'y retourner et l'on pourra s'en éloigner.

3 Algorithme développé

Comme déjà abordé précédemment, deux parties ont été nécessaires pour pouvoir générer une solution optimale. La première partie consiste à générer une première solution, la seconde à l'améliorer.

3.1 Génération de la solution initiale

Pour la recherche d'une première solution, la démarche s'est effectuée en plusieurs étapes. La première consistait à lister les méthodes possibles, la seconde à l'implémenter et enfin la dernière à l'évaluer afin de savoir s'il est possible de s'en satisfaire.

La première méthode possible, la plus évidente aussi, est le choix d'une solution aléatoire. Dans ce cas, aléatoire signifie une attribution de la fréquence 1, 2 ou 3 aux secteurs d'un site de façon non redondante, mais sans se préoccuper des autres sites.

Une fois les paramètres de cette méthode choisis, l'algorithme a été implémenté dans le logiciel afin de tester la méthode. Le code de l'algorithme est disponible en annexe 1.

La fonction en annexe est appelée pour chaque site. Ainsi, à chaque fois, le but est de créer un tableau de taille 3. Chaque case du tableau est remplie par un chiffre, soit 0, soit 1, soit 2. Ces trois chiffres permettent de donner un indice et donc une fréquence à chacun des trois secteurs d'un site.

Pour cela, on va créer deux tableaux, un destiné à être retourné, un autre qui va servir de support. Ce dernier reçoit les trois fréquences à allouer. A chaque fois, on prend aléatoirement une case de ce tableau et on la recopie dans le tableau à retourner. Cette case est alors supprimée du tableau pour éviter la redondance de fréquence sur le même secteur. En répétant cette opération, on peut retourner un tableau généré de façon aléatoire avec une fréquence affectée à chaque case. Un exemple est visible sur la figure ci-dessous.

indice : 1 2 3		random : 2	résultat						
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	1	2	3			<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
1	2	3							
indice : 1 2		random : 2	résultat						
<table><tr><td>1</td><td>3</td></tr></table>	1	3			<table><tr><td>2</td><td></td><td></td></tr></table>	2			
1	3								
2									
indice : 1		random : 1	résultat						
<table><tr><td>1</td></tr></table>	1			<table><tr><td>2</td><td>3</td><td></td></tr></table>	2	3			
1									
2	3								
			résultat						
			<table><tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr></table>	2	3	1			
2	3	1							

Ci-dessus, on a à gauche le tableau qui nous sert pour choisir le nombre aléatoire et à droite le tableau que l'on va retourner. A chaque ligne, le nombre tiré aléatoirement

représente la case choisie dans le tableau indice. On recopie alors le chiffre dans la case dans le tableau resultat.

L'appel de cette fonction pour chaque secteur actif permet de construire un tableau complet avec une affectation de fréquences totalement aléatoire.

Après avoir implémenté cette méthode, il est apparu que la fitness correspondante à la solution aléatoire générée était tout à fait satisfaisante. Il a donc été choisi de la garder.

3.2 Optimisation de la solution

Une fois une première solution trouvée, le travail consiste à l'améliorer du mieux possible. Comme indiqué plus en amont dans ce rapport, l'algorithme d'optimisation choisi est la recherche tabou. Ce choix a été motivé par plusieurs raisons :

- selon les différents documents étudiés sur la recherche tabou, cette méthode paraît appréciée mais surtout suffisamment efficace pour être implémentée dans notre cas ;
- c'est une méthode assez aisée à comprendre que nous avons vue et qui était donc bien connue de tous les membres du groupe ;
- les paramètres variables permettent de facilement améliorer l'algorithme jusqu'à trouver un bon équilibre pour une meilleure performance.

L'implémentation de l'algorithme a tout d'abord été rédigé en langage algorithmique, puis traduit en C++. Le code en C++ est disponible en annexe 2 du rapport.

3.2.1 Algorithme de la méthode

Au niveau de l'algorithmique, la méthode est assez simple :

```
pour NOMBRE_ITERATION faire:

    pour NOMBRE_SITE faire:
        sauvegarder la configuration du site

        test de la permutation entre secteur 0 et 1
        si FITNESS_PERMUTATION < FITNESS_ACTUELLE alors:
            | FITNESS_ACTUELLE = FITNESS_PERMUTATION
            | SITE_ACTUEL = SITE
            | PERMUTATION_SITE_ACTUELLE = NO_PERMUTATION
        sinon si FITNESS_PERMUTATION < FITNESS_ACTUELLE_DEGRADEE alors:
            | FITNESS_ACTUELLE_DEGRADEE = FITNESS_PERMUTATION
        fsi

        test de la permutation entre secteur 1 et 2
        si FITNESS_PERMUTATION < FITNESS_ACTUELLE alors:
            | FITNESS_ACTUELLE = FITNESS_PERMUTATION
            | SITE_ACTUEL = SITE
            | PERMUTATION_SITE_ACTUELLE = NO_PERMUTATION
        sinon si FITNESS_PERMUTATION < FITNESS_ACTUELLE_DEGRADEE alors:
            | FITNESS_ACTUELLE_DEGRADEE = FITNESS_PERMUTATION
        fsi

        test de la permutation entre secteur 2 et 0
        si FITNESS_PERMUTATION < FITNESS_ACTUELLE alors:
```


sont pas disponible comme on le veut. De plus, il faut formaliser les données qui vont être utilisées.

Pour cela, la première chose à considérer est une structure de données, *TabuItem*. Cette structure existait déjà mais a dû être modifiée pour pouvoir fonctionner avec l'algorithme du projet. Cette structure est donc composée :

- d'une configuration ;
- de la taille de la configuration ;
- d'une durée tabou restante.

La configuration est en fait un tableau d'entiers qui contient à la suite l'allocation des fréquences de chaque secteur. Cette configuration est bien sûr donnée dans l'ordre.

On peut donc avoir un tableau de la forme :

$[f_site1_sect1, f_site1_sect2, f_site1_sect3, \dots, f_siteN_sect1, f_siteN_sect2, f_siteN_sect3]$
avec f signifiant fréquence.

Les fonctions annexes à *frequencyOptimisation*

L'utilisation d'une liste tabou implique que l'on utilise une liste de structures *TabuItem*. L'implémentation implique donc que l'on doit gérer l'ajout d'un *TabuItem* et la mise à jour de la durée tabou des items de la liste. Une fonction a dû être créée pour chacune de ces nécessités. Aussi, l'allocation dynamique des *TabuItem* et de la liste d'items oblige à la suppression d'un *TabuItem* en mémoire et la suppression de la liste en mémoire. Deux fonctions ont ainsi été créées.

Un autre problème lors de l'implémentation de l'algorithme est l'accès aux secteurs d'un site. En effet, si la liste des secteurs est disponible, on ne peut récupérer que leur numéro de site au cas par cas. L'inverse, récupérer des secteurs en fonction de leur site, n'est pas possible. Une fonction *find_secteur_from_site* a donc été implémentée. Cette fonction permet à partir d'un numéro de site de renvoyer les secteurs actifs qui lui sont associés. Cette fonction est primordiale pour l'algorithme puisqu'on a une boucle *pour* sur les sites.

Troisième nécessité pour l'implémentation de l'algorithme : les tests d'égalité. En effet, plusieurs fois dans l'algorithme, il est nécessaire de savoir si deux configurations sont identiques mais aussi si une configuration est présente dans la liste tabou. Ces deux demandes permettent de pouvoir gérer la liste tabou.

Deux fonctions ont été créées, *test_egal_conf* qui permet de savoir si deux configurations sont identiques et *test_is_in_tabu* qui renvoie un booléen pour savoir si une configuration est dans la liste tabou.

Enfin, un dernier problème nécessitant une fonction dédiée est le test de fitness sur une permutation. En effet, pour chaque site, on a à tester des permutations différentes et à calculer l'éventuelle amélioration qu'elle génère. La fonction *test_permutation* permet donc, en lui indiquant les deux fréquences de secteurs à échanger, de tester la nouvelle configuration en calculant la nouvelle fitness, puis de remettre la configuration initiale en place et de renvoyer la fitness de la configuration avec permutation.

La fonction *frequencyOptimisation*

Cette fonction implémente peu ou prou l'algorithme qui a été pensé avant le passage informatique. Cependant, les contraintes du programme ont demandé quelques modifica-

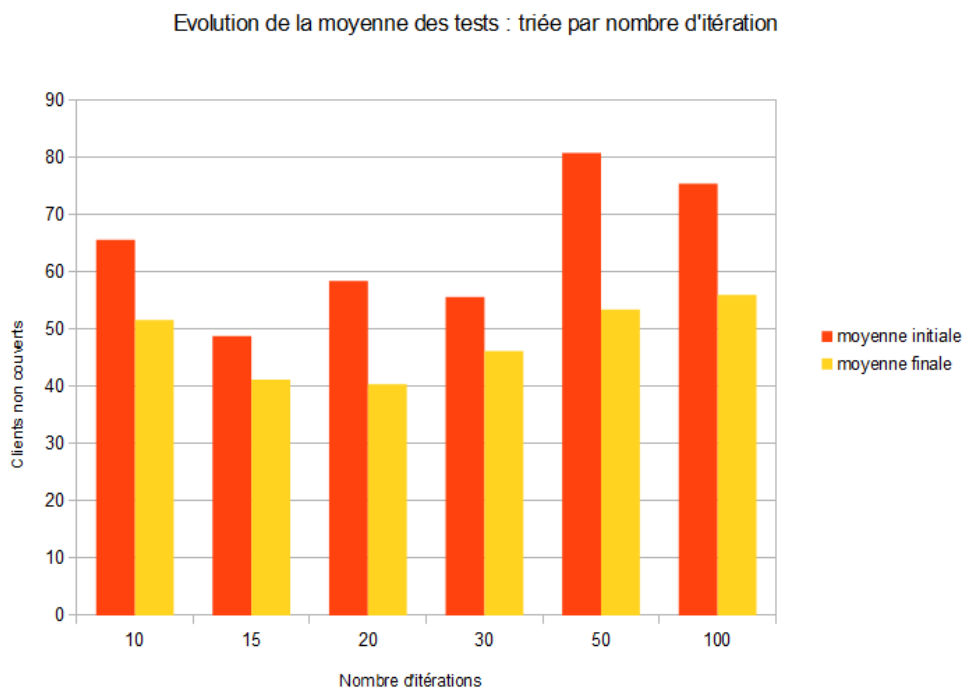
tions. La plus grosse modification réside dans le fait que l'on ne peut pas récupérer les sites facilement.

Un tableau a donc été mis en place. Ce tableau d'entiers a pour valeur 0 ou 1 dans chaque case. Le tableau est initialisé à 0 au départ et lorsqu'un secteur est testé, le site auquel il appartient est passé à 1 dans le tableau. Cela permet d'effectuer les permutations une seule fois par site, puisque notre boucle se fait sur le nombre de secteur. On évite de nombreux calculs inutiles.

4 Résultats observés

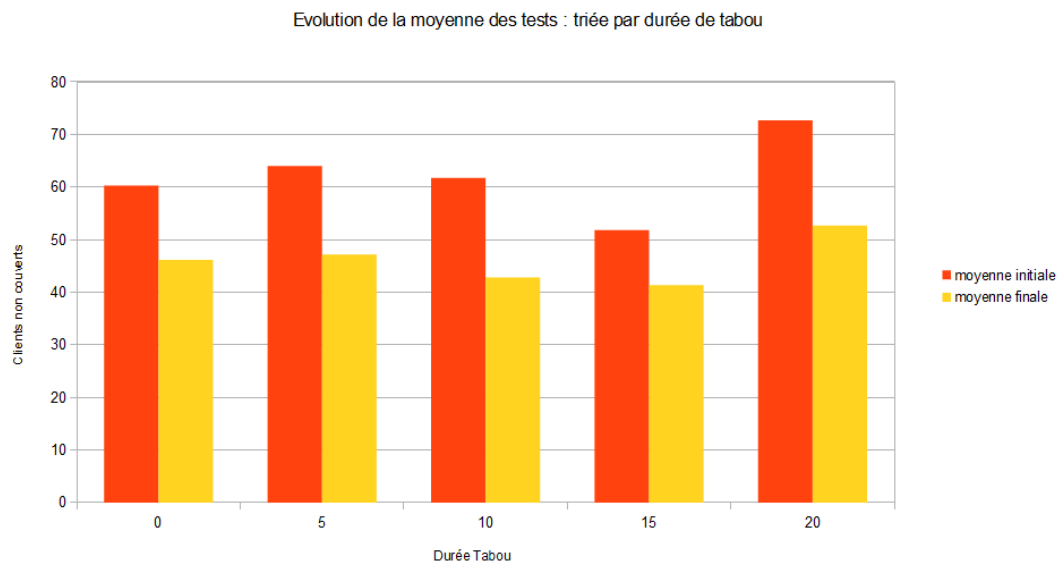
Après avoir terminé la mise en place des algorithmes, une batterie de tests a été effectuée afin de déterminer le nombre d'itération et la durée de tabou les plus efficaces. Le programme a donc été exécuté plusieurs fois en alternant le nombre d'itération et la durée tabou entre les valeurs 5, 10, 15, 20 et 100.

Au terme de ces tests, dans un premier temps, le nombre d'itérations le plus intéressant a tenté d'être défini. Il fallait trouver un nombre suffisamment élevé pour permettre au projet de trouver une solution pertinente. Cela signifie qu'il fallait arriver à une fitness assez faible pour éviter au programme de tourner trop longtemps alors qu'une solution satisfaisante a été obtenue.



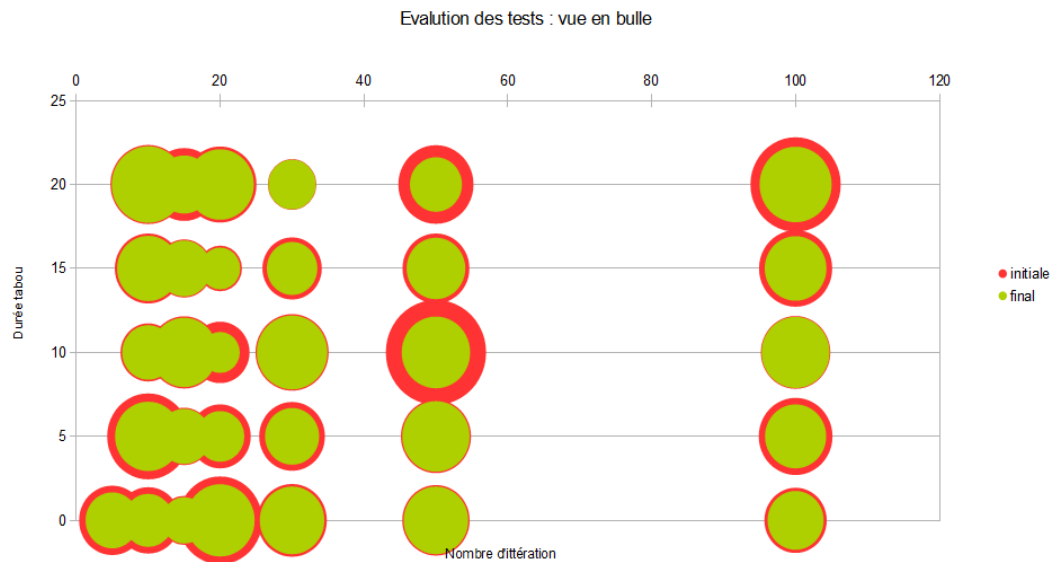
La mise en forme dans des graphiques a donc permis de les exploiter. Suite aux tests, on peut constater que le plus grand écart entre les solutions initiales et les solutions finales apparaît après 50 itération.

Dans un second temps et de la même manière, la valeur de la durée tabou a été fixée. Des tests ont donc aussi été mis en place afin de trouver une valeur optimale. Une bonne durée tabou permet de tirer une solution durant une durée suffisante pour que le programme puisse s'éloigner de la solution actuelle pour chercher une nouvelle piste.



Suite à ces tests, on constate que les valeurs les plus pertinentes sont de 10 et 20, la différence jouant sur le nombre d'itération. Dans l'implémentation de la solution, la durée tabou nécessite d'être supérieur à 5 car pour chaque sites 3 permutations sont possible. Si celle-ci ne varie pas ou peu, l'algorithme peut rester bloqué sur un site sans visiter les autres solutions. Une valeur de 10 à 20 permet au programme, dans le cas où les permutations sont égales, de visiter des solutions un peu plus éloignées.

Afin de mieux formaliser ces résultats aux tests, les deux séries ont été réunies dans un graphique, représenté ci-dessous.



Le graphique confirme bien les résultats des précédents graphes, la solution avec 50 itérations et une durée tabou de 10 est la plus efficace.

5 Problèmes rencontrés

Le premier problème rencontré lors du déroulement de ce projet a été la compréhension du sujet. En effet, de nombreux termes techniques sont utilisés et s'ils ne sont pas indispensables à la partie du programme sur lequel le projet intervenait, la compréhension du projet dans son ensemble était importante afin de mieux réaliser les fonctions demandées. Il a donc fallu comprendre des termes comme par exemple site, secteur, antenne ou encore porteuse.

Une fois les concepts techniques principaux compris, un second problème s'est posé : le choix des méthodes à utiliser. Plusieurs étaient disponibles et le choix influe sur la performance de l'algorithme. Un compromis a donc été choisi avec la méthode de l'aléatoire puis du tabou. Ces méthodes sont assez efficaces et simple à mettre en œuvre. Une fois les méthodes identifiées, le projet semblait facilement réalisable puisque la méthode était comprise de tous dans le groupe.

Cependant, une dernière difficulté a dû être surmontée. Cette difficulté est causée par le logiciel dans son ensemble. En effet, c'est un logiciel très important et donc relativement complexe, avec de longues parties de code. Il a fallu étudier celui-ci pour savoir ce qui était déjà réalisé en terme de fonctions. Cela a permis d'éviter des redondances de codes en réutilisant des fonctions existantes. D'autres étaient indispensables puisqu'elles devaient permettre de retrouver les informations nécessaires à la résolution du projet.

Ces problèmes ont tous pu être surmontés puisque le projet est fonctionnel et réutilise le plus possible ce qui était déjà codé.

Conclusion

Au terme de ce projet, l'algorithme de recherche tabou est fonctionnel. Il permet d'obtenir une fitness très satisfaisante afin d'offrir aux clients la meilleur couverture réseau. Naturellement, des améliorations restent possibles en modifiant la méthode du choix des voisins à chaque itération, ou en modifiant la durée de la liste tabou. Cependant, de nombreux tests semblent indiquer qu'un bon compromis entre nombre d'itérations et durée tabou a été trouvé.

L'exercice a été intéressant car il demandait de s'immiscer dans un programme déjà existant, de le comprendre afin d'y ajouter les fonctions à développer. C'est un exercice réaliste puisque dans le monde de l'entreprise, les programmes à développer partent rarement de zéro. C'est donc une bonne expérience d'autant plus que le résultat est concluant.

L'utilisation du langage C++ était aussi une bonne chose puisqu'elle a permis de se perfectionner dans celui-ci et de découvrir de nouvelles subtilités du langage. Pour partager les sources du programme, l'utilisation d'un logiciel de gestion de version (ici Git) a facilité la tâche.

Enfin ce projet a été une expérience enrichissante car effectué au sein d'un groupe de trois étudiants. La communication est importante ainsi que la répartition des tâches. Le travail en groupe a permis le partage des compétences et des idées.

Table des matières

Introduction	3
1 Présentation du sujet	4
1.1 Détails du problème	4
1.2 Objectifs	5
2 Principe de résolution	6
2.1 Le choix d'une méthode approchée	6
2.2 La recherche tabou	6
3 Algorithme développé	8
3.1 Génération de la solution initiale	8
3.2 Optimisation de la solution	9
3.2.1 Algorithme de la méthode	9
3.2.2 Implémentation de la méthode en C++	10
4 Résultats observés	13
5 Problèmes rencontrés	15
Conclusion	16
Annexes	18
A Génération de la solution initiale	19
B Implémentation de la recherche tabou	20

Annexes

A Génération de la solution initiale

```
int* site::randomizeTableFreq(){
    int* tableFreq = new int[3];
    int* table = new int[3]; for(int i=0; i<3;i++)table[i]=i+1;
    int* tableTmp = NULL;
    int taille = 3;
    long random;
    bool shift;
    for(int i=0; i<3; i++)
    {
        shift = false;
        random = Random::aleatoire(taille);
        tableFreq[i]=table[random];
        tableTmp = new int[taille-1];
        for(int j=0; j<taille; j++)
        {
            if(j != random){
                if(shift) tableTmp[j-1] = table[j];
                else tableTmp[j] = table[j];
            }
            else{shift=true;}
        }
        delete table;
        table = tableTmp;
        taille--;
    }
    delete tableTmp;
    return tableFreq;
}
```

B Implémentation de la recherche tabou

```
/// Implementation de la methode recherche tabou pour l'allocation des frequences
/// Liste des sites voisins du site choisi
///Le liste tabou contenant le meilleur site voisins et la duree qui lui correspond
struct TabuItem{
    TabuItem():conf(NULL),dureeTabu(0){}
    int* conf;
    int conf_taille;
    int dureeTabu;
};

void add_Item_ListeTabuItems(ListeTabuItems* liste,int* conf, int dureeTabu){
    if(liste->nbItems == 0){
        liste->ListeItems = new TabuItem*[1];
        liste->nbItems = 1;
    }
    else{
        TabuItem** tmpListe = new TabuItem*[liste->nbItems + 1];
        for(int i=0; i<liste->nbItems; i++){
            tmpListe[i] = liste->ListeItems[i];
        }
        liste->nbItems++;
        delete liste->ListeItems;
        liste->ListeItems = tmpListe;
        TabuItem* item = new TabuItem();
        item->conf = conf;
        item->dureeTabu = dureeTabu;
        liste->ListeItems[liste->nbItems - 1] = item;
    }
}

void update_Items_ListeTabuItems(ListeTabuItems* liste){
    int new_nbItems=0;
    for(int i=0; i<liste->nbItems;i++){
        if(liste->ListeItems[i]->dureeTabu != 0) new_nbItems ++;
    }
    TabuItem** tmpListe = new TabuItem*[new_nbItems];
    TabuItem* item = NULL;
    int index=0;
    for(int i=0; i<liste->nbItems;i++){
        if(liste->ListeItems[i]->dureeTabu != 0){
            item = new TabuItem();
            item->conf = liste->ListeItems[i]->conf;
            item->dureeTabu = liste->ListeItems[i]->dureeTabu - 1;
            tmpListe[index] = item;
            index++;
        }
    }
}
```

```

    }
}
liste->nbItems = new_nbItems;
delete liste->ListeItems;
liste->ListeItems = tmpListe;
}

void delete_item(TabuItem* item){
    delete item->conf;
    delete item;
}

void delete_ListeTabuItems(ListeTabuItems* liste){
    for(int i=0; i<liste->nbItems;i++)
        delete_item(liste->ListeItems[i]);
    delete liste;
}

void find_secteur_from_site(int no_site,secteur** lesSecteurA, int nb_secteur_a,
    secteur** &secteurs)
{
    int index_secteur = 0;

    for(int i=0; i<nb_secteur_a;i++)
    {
        if(index_secteur == 3)break;

        if(lesSecteurA[i]->get_site()->get_no() == no_site)
        {
            secteurs[index_secteur] = lesSecteurA[i];
            index_secteur++;
        }
    }
    for(index_secteur; index_secteur<3; index_secteur++)
        secteurs[index_secteur]= NULL;
}

bool test_egal_conf(int* conf1,int* conf2, int nb_secteur_a)
{
    for(int i=0; i<nb_secteur_a;i++)
        if(conf1[i] != conf2[i])
            return false;
    return true;
}

bool test_is_in_tabu(int* &conf,int nb_secteur_a,ListeTabuItems* &listeTabu)
{
    for(int i=0; i<listeTabu->nbItems;i++)
    {
        if(test_egal_conf(conf,listeTabu->ListeItems[i]->conf,nb_secteur_a))
            return true;
    }
    return false;
}

double test_permutation(int stable,pointTest** lesPTA,int nb_tp_a,

```

```

        secteur** &lesSecteurA,int nb_secteur_a,int no_scen,
        ListeTabuItems* &listeTabu,
        secteur** &secteurs,int index1,int index2)
{
    //return 99999 : pour dire que c'est une enorme fitness

    if(secteurs[index1] == NULL || secteurs[index2] == NULL)
        return 9999;

    int porteuse;

    porteuse = secteurs[index1]->get_porteuse();
    secteurs[index1]->set_porteuse(secteurs[index2]->get_porteuse());
    secteurs[index2]->set_porteuse(porteuse);

    int* conf = new int[nb_secteur_a];
    for(int i = 0; i < nb_secteur_a; i++){
        conf[i] = lesSecteurA[i]->get_porteuse();
    }
    double result = 9999;
    if(test_is_in_tabu(conf,nb_secteur_a,listeTabu) == false)
        result = Fitness::eval(stable,lesPTA, nb_tp_a, lesSecteurA, nb_secteur_a,
            no_scen);
    delete conf;

    porteuse = secteurs[index1]->get_porteuse();
    secteurs[index1]->set_porteuse(secteurs[index2]->get_porteuse());
    secteurs[index2]->set_porteuse(porteuse);

    return result;
}

///Implementez votre methode ici
/** nom = nom du fichier de sortie
 * stable = on y touche pas. variable de stabilisation de l'affectation d'une
 * antenne a un point test
 * lesPTA = liste de tous les pts test actifs (actif = au moins un client dans le
 * point test
 * nb_tp_a = nombre de pts test actifs
 * lesSecteurA = lste des secteurs comportant au moins un point test actif
 * nb_secteur_a = nombre de secteurs actifs
 * no_scen = le numero du scenario on n'y touche pas.
 */
void optimisation::frequencyOptimization(char *nom, int stable, pointTest** lesPTA
, int nb_tp_a, secteur** lesSecteurA, int nb_secteur_a, int no_scen){

    //USE main.cpp l. 160
    // UTILE secteur::getporteuse() et secteur::getsite()

    cout<<endl<<endl<<endl<<endl;
    cout<<"_____"<<endl<<endl;
    cout<<"Parametre de la fonction : "<<endl<<endl;

    cout<<"nom : "<<nom<<endl;

```

```

cout<<"stable : "<<stable<<endl;
cout<<"nb_tp_a : "<<nb_tp_a<<endl;
cout<<"nb_secteur_a : "<<nb_secteur_a<<endl;
cout<<"no_scen : "<<no_scen<<endl;

GOutputFile file_sortie(nom);
    file_sortie.open();
file_sortie << "Optimisation robuste des frequences" << "\n";
file_sortie << "les parametres de l'optimisation" << "\n";
file_sortie <<"12h15"<< "\n";
file_sortie << "facteur de stabilite= " << stable << "\n";
file_sortie << "le critere est le nombre de clients non couverts"<< "\n";
    double nb_clients_non_couvert = 0.0;
    double best_nb_clients_non_couvert = Fitness::eval(stable,lesPTA, nb_tp_a,
        lesSecteurA, nb_secteur_a, no_scen);
    double best_nb_clients_non_couvert2 = best_nb_clients_non_couvert+1;
cout<<endl<<"_____ "<<endl;


ListeTabuItems* listeTabu = new ListeTabuItems();
Table_sites* voisin = NULL;
double NB_CLIENT= 3846;
int NB_ITERATION = 100;
int DUREE_TABU = 20;

int* BEST_CONF = new int[nb_secteur_a];
for(int i = 0; i < nb_secteur_a; i++){BEST_CONF[i] = lesSecteurA[i]->
    get_porteuse();}
int INIT_FITNESS = best_nb_clients_non_couvert;
int BEST_FITNESS = best_nb_clients_non_couvert;

int ITERATE_SITE = -1;    // pas de changement
int ITERATE_PERM = 0;    // pas de permutation
double ITERATE_FITNESS = 9999;

int BOF_SITE = -1;
int BOF_PERM = -1 ;
double BOF_FITNESS = 9999;

int tmp=-1;
int nb_site_a=0;
for(int i=0; i<nb_secteur_a;i++)
{
    if(lesSecteurA[i]->get_site()->get_no() != tmp)
    {
        nb_site_a++;
        tmp = lesSecteurA[i]->get_site()->get_no();
    }
}

int* sites_visites = new int[nb_secteur_a/3];
int no_site = -1;
int* etat_site = new int[3];
secteur** secteurs = new secteur*[3];

```

```

int porteuse;
double fitness_tmp;
int index1,index2;
int* conf =NULL;
double init_fitness = 0;

cout << "Fitness initiale: " << best_nb_clients_non_couvert << "      "<<
      best_nb_clients_non_couvert/NB_CLIENT*100<<"%  "<<endl;

for(int iteration=0; iteration<NB_ITERATION;iteration++ )
{
    //On nettoie la liste des passages
    for( int site=0; site < nb_secteur_a/3; site++)sites_visites[site] = 0;
    ITERATE_SITE = -1;ITERATE_PERM = -1;
    BOF_SITE = -1;BOF_PERM = -1;BOF_FITNESS = 9999;

    //Pour chaque secteur
    int no_secteur=0;
    init_fitness = ITERATE_FITNESS;

    for(no_secteur; no_secteur<nb_secteur_a; no_secteur++)
    {
        no_site = lesSecteurA[no_secteur]->get_site()->get_no();
        //Si le site n'as pas encore ete visite
        if(sites_visites[no_site] == 0)
        {
            //on recupere les secteurs du site
            find_secteur_from_site(no_site,lesSecteurA,nb_secteur_a,secteurs);
            //On recupere l'etat du site
            for(int i=0;i<3;i++)
            {
                if(secteurs[i] == NULL) etat_site[i] = -1;
                else etat_site[i] = secteurs[i]->get_porteuse();
            }

            //ESSAI permutation (1)      secteurs[0] <-> secteurs[1]
            fitness_tmp = test_permutation(stable,lesPTA, nb_tp_a, lesSecteurA
            , nb_secteur_a, no_scen,listeTabu,secteurs,0,1);
            if(fitness_tmp < ITERATE_FITNESS)
            {ITERATE_FITNESS = fitness_tmp; ITERATE_SITE = no_site;
              ITERATE_PERM = 1;}
            else if(fitness_tmp != 9999 && init_fitness< fitness_tmp &&
              fitness_tmp <= BOF_FITNESS)
            {BOF_FITNESS = fitness_tmp; BOF_SITE = no_site; BOF_PERM = 1;}
            //ESSAI permutation (2)      secteurs[1] <-> secteurs[2]
            fitness_tmp = test_permutation(stable,lesPTA, nb_tp_a, lesSecteurA
            , nb_secteur_a, no_scen,listeTabu,secteurs,1,2);
            if(fitness_tmp < ITERATE_FITNESS)
            {ITERATE_FITNESS = fitness_tmp; ITERATE_SITE = no_site;
              ITERATE_PERM = 2;}
            else if(fitness_tmp != 9999 && init_fitness< fitness_tmp &&
              fitness_tmp <= BOF_FITNESS)
            {BOF_FITNESS = fitness_tmp; BOF_SITE = no_site; BOF_PERM = 2;}
        }
    }
}

```



```

//ESSAI permutation (3)          secteurs[0] <-> secteurs[2]
fitness_tmp = test_permutation(stable,lesPTA, nb_tp_a, lesSecteurA
, nb_secteur_a, no_scen,listeTabu,secteurs,0,2);
if(fitness_tmp < ITERATE_FITNESS)
{ITERATE_FITNESS = fitness_tmp; ITERATE_SITE = no_site;
  ITERATE_PERM = 3;}
else if(fitness_tmp != 9999 && init_fitness< fitness_tmp &&
  fitness_tmp <= BOF_FITNESS)
{BOF_FITNESS = fitness_tmp; BOF_SITE = no_site; BOF_PERM = 3;}

//On retablit les valeurs d'origine du site
for(int i=0;i<3;i++)
{
  if(secteurs[i] != NULL)
  {secteurs[i]->set_porteuse(etat_site[i]);}
}

sites_visites[no_site] = 1;
}
}

update_Items_ListeTabuItems(listeTabu);

//Si on a trouver une meilleur permutation on la fait
if(ITERATE_PERM == -1)
{
  ITERATE_FITNESS = BOF_FITNESS;
  ITERATE_PERM = BOF_PERM;
  ITERATE_SITE = BOF_SITE;
}

if(ITERATE_FITNESS < BEST_FITNESS)
{
  for(int i = 0; i < nb_secteur_a; i++){BEST_CONF[i] = lesSecteurA[i]->
    get_porteuse();}
  BEST_FITNESS = ITERATE_FITNESS;
  cout << "Fitness tour " << iteration << " : " << BEST_FITNESS << " " <<
    BEST_FITNESS/NB_CLIENT*100 << "% " << endl;
}

find_secteur_from_site(ITERATE_SITE,lesSecteurA,nb_secteur_a,secteurs);
switch(ITERATE_PERM){
  case 1 : index1=0;index2=1; break;
  case 2 : index1=1;index2=2; break;
  case 3 : index1=0;index2=2; break;
}

porteur = secteurs[index1]->get_porteuse();
secteurs[index1]->set_porteuse(secteurs[index2]->get_porteuse());
secteurs[index2]->set_porteuse(porteur);

```

```

        conf = new int[nb_secteur_a];
        for(int i = 0; i < nb_secteur_a; i++){conf[i] = lesSecteurA[i]->
            get_porteuse();}

        add_Item_ListeTabuItems(listeTabu,conf,DUREE_TABU);

    }

    delete secteurs;
    delete etat_site;
    delete sites_visites;
    delete_ListeTabuItems(listeTabu);

    cout<<endl<<"_____ "<<endl;
    cout<<endl<<endl<<endl<<endl;

    file_sortie.close();

}

```