

# P.I. : PLANNING INTELLIGENT

## Rapport de mi-projet

**Auteurs :** Corentin COUDRAY

Christophe JULIEN

Khanh An Noël TRAN

**Groupe :** M2\_9

**Date :** 13/12/2013

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Existant</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Cahier des charges</b>	<b>5</b>
3.1	Mise en contexte du problème . . . . .	5
3.2	Langage utilisé . . . . .	5
3.3	Réduction du problème . . . . .	5
3.4	Interface graphique . . . . .	5
3.5	Les données d'entrée du problème . . . . .	5
3.6	Les données de sortie du problème . . . . .	6
3.7	Modélisation des données . . . . .	6
3.7.1	Les professeurs . . . . .	6
3.7.2	Les classes . . . . .	6
3.7.3	Les cours . . . . .	6
3.7.4	Les salles . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Les limites</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Les acteurs</b>	<b>8</b>
5.1	Premier acteur : Saisie des données . . . . .	8
5.2	Second acteur : Maintenance de l'emploi du temps . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Cas d'utilisation</b>	<b>9</b>
6.1	Génération de l'emploi du temps . . . . .	9
6.1.1	Objectif . . . . .	9
6.1.2	Acteurs . . . . .	9
6.1.3	Données échangées et description des enchaînements . . . . .	10
6.2	Maintenance de l'emploi du temps . . . . .	11
6.2.1	Objectif . . . . .	11
6.2.2	Acteurs . . . . .	11
6.2.3	Données échangées . . . . .	11
6.2.4	Description des enchaînements . . . . .	11
6.2.4.1	Pré-condition . . . . .	11
6.2.4.2	Séquence . . . . .	12
<b>7</b>	<b>Organisation des données</b>	<b>13</b>
7.1	Les professeurs . . . . .	13
7.2	Les classes . . . . .	13
7.3	Les matières . . . . .	13
7.4	Les salles . . . . .	13
7.5	Les semaines . . . . .	13
7.6	Les fichiers externes . . . . .	14
7.7	Diagrammes de classes . . . . .	14

<b>8</b>	<b>Etapes de résolution</b>	<b>17</b>
8.1	Simplification du problème . . . . .	17
8.2	Considération de l'ensemble des classes d'une promotion . . . . .	17
8.3	Considération de l'ensemble des promotions . . . . .	17
8.4	Considération des salles . . . . .	17
8.5	Cas réel . . . . .	18
<b>9</b>	<b>Méthode de résolution</b>	<b>19</b>
9.1	Saisie des données . . . . .	19
9.2	Pré-traitement . . . . .	19
9.3	Ebauche du traitement . . . . .	19
	<b>Table des figures</b>	<b>21</b>
	<b>Références</b>	<b>22</b>

# 1 Introduction

Ce projet a pour objectif la réalisation d'une application capable de générer un emploi du temps, et ainsi de faciliter le travail de M. Maeso. En effet, chaque année, il doit créer manuellement l'intégralité des emplois du temps de l'école, en tenant compte de toutes les contraintes de disponibilités des professeurs, des salles, des élèves, etc. L'application pourra lui faire gagner un temps non-négligeable dans son travail.

Ce problème peut être généralisé à toutes les planifications horaires d'employés, comme dans les écoles, les hôpitaux et toutes autres entreprises ayant un roulement de personnel à organiser.

La planification sous contraintes est la discipline des mathématiques appliquées consistant à ordonner diverses séquences ou évènements dans un espace-temps limité. Ces planifications impliquent un grand nombre de contraintes, qu'elles soient liées aux disponibilités de personnes, d'emplacements ou à tout autre type de problème.

La réalisation d'une planification est longue et périlleuse. Il est très difficile de concilier l'ensemble des contraintes qui accompagnent cet ordonnancement et de leur organisation manière optimale. La mise en place d'un calendrier est souvent faite à la main ou de manière approximative avec d'autres applications.

L'objectif de ce projet est donc de réaliser une application, permettant de générer une planification tenant compte de toutes les contraintes que l'on aura indiquées au préalable. Dans un premier temps, nous nous contenterons de générer un emploi du temps propre à l'école, quitte à élargir notre champ d'action si nous en avons le temps.

## 2 Existant

Aujourd'hui, il existe déjà des systèmes de planification informatique, mais ils correspondent toujours à des cas bien spécifiques : organisation du personnel médical dans un hôpital, organisation du personnel dans une base militaire, etc... Mais il semble impossible à l'heure actuelle d'imaginer un logiciel générique permettant de lister des contraintes et d'élaborer le planning correspondant et adapté quel que soit le milieu professionnel.

Ainsi, il nous faudra concevoir notre solution dans son ensemble. Nous pourrons tout de même nous inspirer des méthodes de résolution de ces plannings pour essayer de les adapter à notre problème.

En l'occurrence, nous avons trouvé quelques pistes de recherche :

- Algorithme des colonies de fourmis : cet algorithme est basé sur le comportement réel des fourmis, qui parviennent, par le biais de rétroactions, à trouver le chemin le plus court entre une source de nourriture et leur nid. [1]
- Recherche tabou : cet algorithme consiste à partir d'une position donnée, et à explorer ensuite le voisinage pour choisir la position qui minimise la fonction "objectif". Le mot "tabou" vient du fait qu'une fois une position écartée, on ne peut plus y revenir. Cet algorithme procède donc par élimination jusqu'à trouver une solution convenable. [2]

Il existe probablement d'autres algorithmes de ce genre, dont nous aurons besoin pour aboutir à une solution convenable.

## **3 Cahier des charges**

### **3.1 Mise en contexte du problème**

Les algorithmes nécessaires à l'élaboration d'un tel projet relèvent des problèmes dit "NP-complets". Les problèmes NP-complets sont des problèmes qui sont au minimum aussi difficiles que les problèmes NP. Ceux-ci sont des problèmes de décision à temps polynomial.

Cela signifie qu'il n'existe pas de solution exacte, et qu'on ne peut les résoudre avec les méthodes de résolution classiques.

Même s'il n'existe pas de solution déterministe, on peut malgré tout arriver à une solution "acceptable", c'est à dire répondant à l'ensemble des exigences du problème sans pour autant être optimale dans son organisation, en mettant en oeuvre des algorithmes de résolution rétroactifs.

Le temps de résolution de ces problèmes augmente de manière exponentielle par rapport à l'augmentation des paramètres d'entrée. On devra toujours se contenter d'une solution qui sera au mieux "satisfaisante". [3]

### **3.2 Langage utilisé**

Nous avons décidé de programmer ce projet en C++ car c'est un langage objet qui nous aidera à mieux organiser notre code, notamment grâce au système de classes, au polymorphisme, et l'héritage, etc. De plus, il s'agit d'un langage que nous avons beaucoup pratiqué durant notre cursus. Le Java répond également à ces critères, mais il est moins rapide, et un langage rapide est primordial pour une résolution raisonnable en temps de notre problème.

### **3.3 Réduction du problème**

Le problème étant très conséquent et très complexe, nous avons décidé de réduire le nombre de facteurs à prendre en compte. C'est pourquoi, nous ne nous occupons pas des salles dans un premier temps et nous générons l'emploi du temps sur une seule semaine. Au fur et à mesure que notre solution se consolidera, nous rajouterons de nouveaux paramètres pour le rapprocher petit à petit du cas réel.

### **3.4 Interface graphique**

Pour concentrer nos efforts sur la résolution du problème, nous avons également décidé de ne pas inclure l'interface graphique à notre projet, pour des raisons de temps. Cependant, nous pourrions mettre en place une petite interface utilisateur pour le programme qui gèrera les données.

### **3.5 Les données d'entrée du problème**

Les données d'entrée du problème sont stockées dans des fichiers externes, car nous estimons que la nature et la quantité des données ne nécessitent pas de base de données. De plus, cela nous permet de vérifier facilement l'exactitude des données saisies lors de l'exécution du

programme. Cela nous permet également de ne pas avoir à relancer le programme lorsque nous voulons modifier des données.

Ce système permet également de mettre en place un archivage des données : l'utilisateur n'aura qu'à copier-coller les fichiers dans un dossier séparé.

### **3.6 Les données de sortie du problème**

En sortie, chaque classe, professeur et salle auront leur emploi du temps, stockés dans des fichiers externes.

### **3.7 Modélisation des données**

#### **3.7.1 Les professeurs**

Un professeur sera défini par :

- son nom
- ses disponibilités
- la liste des cours qu'il peut enseigner

#### **3.7.2 Les classes**

Une classe sera définie par :

- son nom
- le nombre d'élève
- la liste des cours au programme

#### **3.7.3 Les cours**

Un cours sera défini par :

- son nom
- le nombre d'heures de cours
- le type de salle dans laquelle il doit être donné (un type de cours)

#### **3.7.4 Les salles**

Une salle sera définie par :

- son nom
- le nombre de place
- le type : salle de cours, salle de TP...

## 4 Les limites

Le problème étant très complexe, ("np-complet"), nous ne pourrons pas faire un algorithme optimisé. En effet, notre projet s'inscrit dans le cadre de l'heuristique. L'heuristique, est utilisée en Mathématiques Discrètes afin de trouver une solution réalisable, mais pas nécessairement optimale.

De plus, au regard du nombre de contraintes associées au problème, nous devons commencer par une instance simple du problème, en écartant un maximum de contraintes pour nous faciliter la tâche. Ainsi, au fur et à mesure que le projet avancera, on le complexifiera en incluant de nouvelles contraintes, jusqu'à arriver aux conditions réelles. Mais, le temps imparti étant limité, nous ne savons pas s'il nous sera possible d'inclure tous les facteurs liés à la planification dans notre logiciel.



## **5 Les acteurs**

Il existe deux principaux types d'acteur pour notre logiciel :

### **5.1 Premier acteur : Saisie des données**

Le rôle du premier acteur est de saisir toutes les données relatives aux professeurs, salles, et élèves, et tous les paramètres nécessaires à la génération de l'emploi du temps.

### **5.2 Second acteur : Maintenance de l'emploi du temps**

Etablir un emploi du temps est une bonne chose, mais il faut également pouvoir le modifier au cours de l'année si des événements imprévus doivent être rajoutés. Le rôle du deuxième acteur est donc de gérer la maintenance de l'emploi du temps au fur et à mesure que l'année avance. Il doit pouvoir rajouter des événements dans l'emploi du temps des professeurs et/ou des élèves.

## 6 Cas d'utilisation

### 6.1 Génération de l'emploi du temps

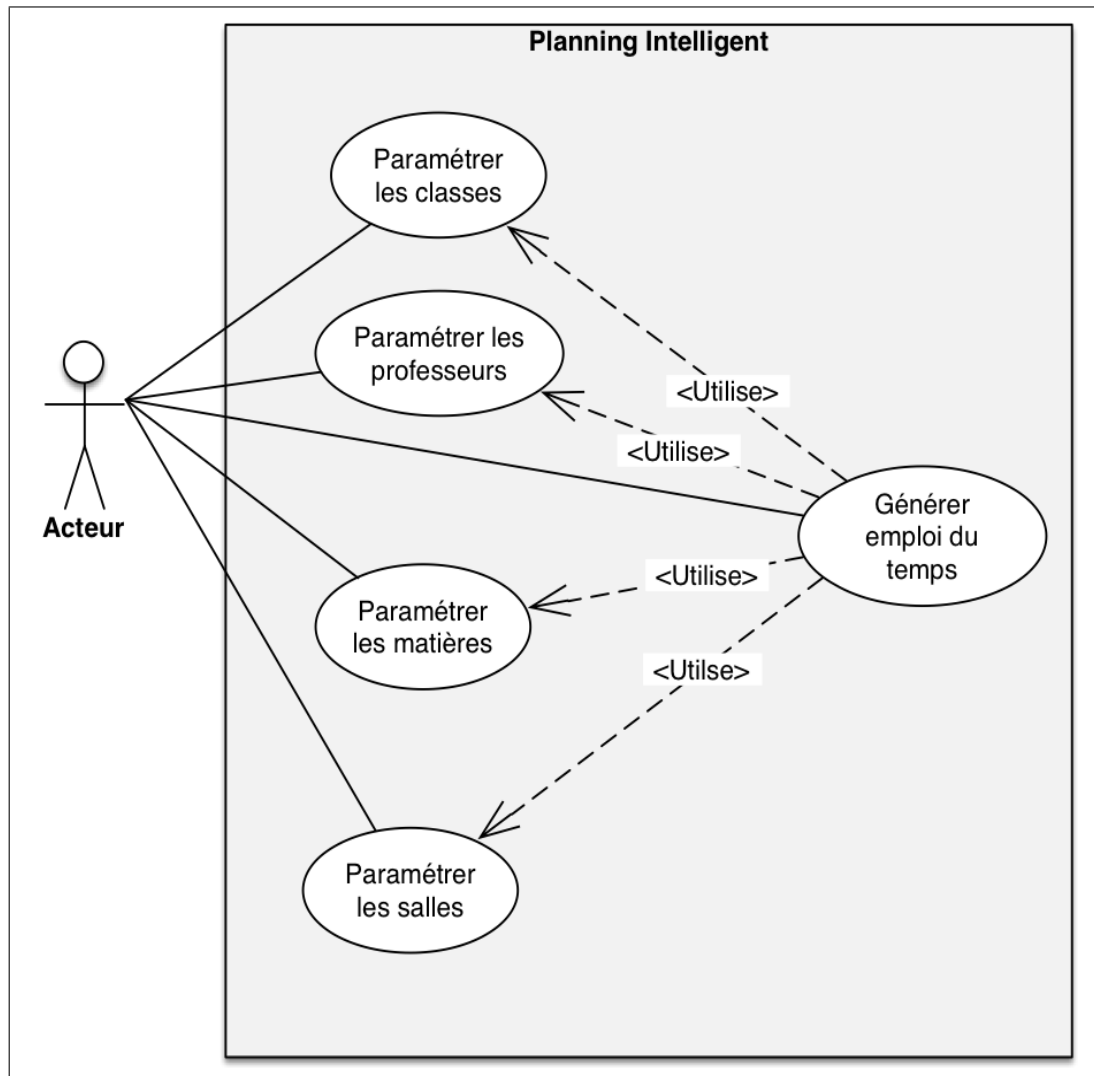


FIGURE 1 – Diagramme de cas d'utilisation, génération de l'emploi du temps

#### 6.1.1 Objectif

L'objectif est de créer un emploi du temps à partir de données brutes entrées par l'utilisateur.

#### 6.1.2 Acteurs

L'acteur est celui qui est chargé de la saisie des données.

### **6.1.3 Données échangées et description des enchaînements**

L'acteur en question entre les différentes données propres aux professeurs, classes, salles, et matières. Pour chaque élément, il devra remplir des critères bien spécifiques :

- Pour chaque professeur, il doit entrer son nom, les matières que celui-ci enseigne et ses disponibilités dans la semaine.
- Pour chaque matière, il doit entrer le nom de la matière, le programme qui devra être dispensé au cours de l'année (matières et nombre d'heures).
- Pour chaque classe, il doit préciser le nom de la classe, la promotion à laquelle elle appartient et le nombre d'élève que contient cette classe.
- Pour chaque salle, il doit entrer leur contenance et leur type (salle de TP info, salle de cours, etc...)

Une fois que toutes les données ont été entrées, le logiciel génère tous les emplois du temps de l'école.

## 6.2 Maintenance de l'emploi du temps

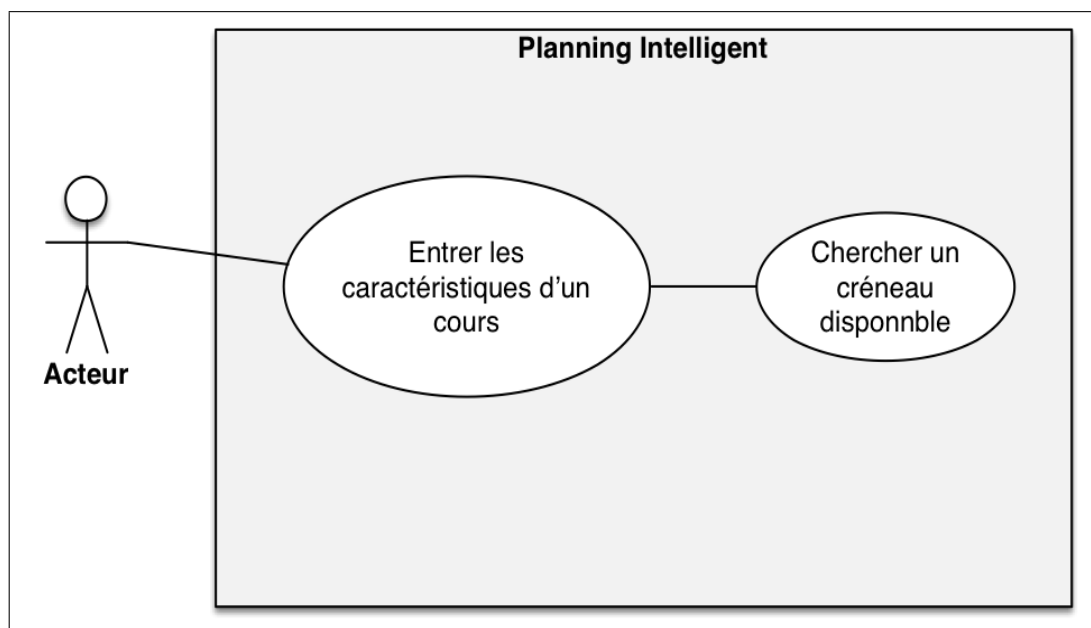


FIGURE 2 – Diagramme de cas d'utilisation, maintenance de l'emploi du temps

### 6.2.1 Objectif

Pour une raison ou pour une autre, l'utilisateur peut être amené à rajouter un évènement dans l'emploi du temps. Le logiciel doit donc le permettre en tenant compte des évènements déjà placés et des contraintes que cela implique, sans avoir à générer à nouveau la totalité de l'emploi du temps.

### 6.2.2 Acteurs

Le seul acteur à intervenir dans ce cas est celui chargé de la maintenance.

### 6.2.3 Données échangées

Pour placer un cours dans l'emploi du temps, le programme consulte les disponibilités de chaque élément :

- Les disponibilités des professeurs ou des intervenants
- Les disponibilités des élèves
- Les disponibilités d'une salle convenant à l'évènement, et dont la capacité est suffisante pour accueillir tous les élèves.

### 6.2.4 Description des enchaînements

#### 6.2.4.1 Pré-condition

Lorsque l'utilisateur désire rajouter un évènement, il lui faut connaître les disponibilités de chaque entité, et savoir quelles classes sont concernées par l'évènement, si elles doivent

recevoir l'évènement par classe ou par promo, etc...

#### **6.2.4.2 Séquence**

L'utilisateur entre les disponibilités de chacun dans le programme, et celui-ci cherche les différents créneaux possibles pour placer le cours. L'utilisateur a alors deux possibilités : soit il laisse le programme placer automatiquement le cours, soit il demande au programme d'afficher la liste des créneaux disponibles afin de placer manuellement le cours. Celui-ci n'a alors qu'à choisir le créneau qui lui semble le plus adapté.

## 7 Organisation des données

Nous avons défini la semaine sur 22 créneaux de 2 heures chacun. Avec 2 créneaux le matin et 2 l'après-midi du lundi au samedi matin.

### 7.1 Les professeurs

Les disponibilités du professeur sont représentées par un mot binaire de 22 bits, un bit par créneau. 1 représentant une disponibilité et 0 une indisponibilité. Le mot binaire d'un professeur correspond à une semaine : chaque nouvelle semaine aura un nouveau mot binaire.

Lorsque nous ajoutons un cours à un professeur, ses disponibilités sur la semaine concernée changent, et il faut donc modifier le mot binaire en conséquence.

### 7.2 Les classes

Une classe comprend une liste de semaines, représentant le semestre ou l'année. Celles-ci possèdent un numéro (ID) définissant leur ordre d'arrivée dans l'année, et 22 créneaux assignés que l'on doit remplir avec les cours planifiés à la classe.

Chaque classe possède également un nombre d'élèves déterminant la taille minimum de la salle dans laquelle se déroulera le cours.

Chaque classe a une liste de cours qu'elle devra obligatoirement suivre.

### 7.3 Les matières

Une matière est définie par son nom, la promotion à laquelle elle est rattachée, et le nombre d'heures à enseigner. Dans le cas d'une matière commune à plusieurs promotions, on les distingue par des noms différents : un pour chacune des promotions (ex : Algèbre B1, Algèbre B2). De la même manière, on distingue les cours en classe entière, des cours en demi-groupes et des TPs. Cela implique un dernier paramètre qui détermine le type de salle dans laquelle la matière doit être enseignée (ex : un TP ne peut pas être fait dans un amphithéâtre).

### 7.4 Les salles

Une salle est définie par son nom, sa capacité (nombre de places), et son type. La capacité est un paramètre déterminant dans le choix de la salle à attribuer lors du placement d'un cours dans l'emploi du temps. De même, le type de la salle va de pair avec le type d'une matière explicité précédemment. Ces deux paramètres doivent concorder pour que la salle puisse être attribuée à un cours. Enfin, il faut également préciser dans quel bâtiment se trouve la salle : dans les locaux d'Ivry-sur-Seine, ou dans ceux de Montparnasse, car comme expliqué précédemment, les professeurs ne peuvent pas se permettre de donner de cours dans les deux locaux lors d'une même demi-journée.

### 7.5 Les semaines

Chaque entité de notre emploi du temps (classes, professeurs, salles) doit être organisée dans le temps. Il faut donc leur attribuer un paramètre 'semaine', correspondant à leur planning

d'occupation. Ces semaines sont être mises à jour à chaque fois qu'un nouveau cours sera ajouté au planning.

## 7.6 Les fichiers externes

Les données d'entrée à stocker dans les fichiers sont toutes celles que l'utilisateur devra saisir pour lancer le programme. C'est à dire les données sur les professeurs (nom, disponibilités, matières), sur les matières (nom, nombre d'heures, promotions associées) et les salles (nom, capacité, type, bâtiment). Chaque type de donnée est stockée dans un fichier séparé. Au sein du fichier, une ligne contient tous les paramètres d'un seul élément. Les données seront donc récupérées lignes par ligne à chaque exécution du programme.

Les données en sortie du problème, c'est à dire les emplois du temps de chaque éléments (classes, profs, salles) seront également dans des fichiers externe.

## 7.7 Diagrammes de classes

Ce diagramme représente les liens entre les différentes classes de notre programme avec les simplifications que nous avons décidé de réaliser dans un premier temps.

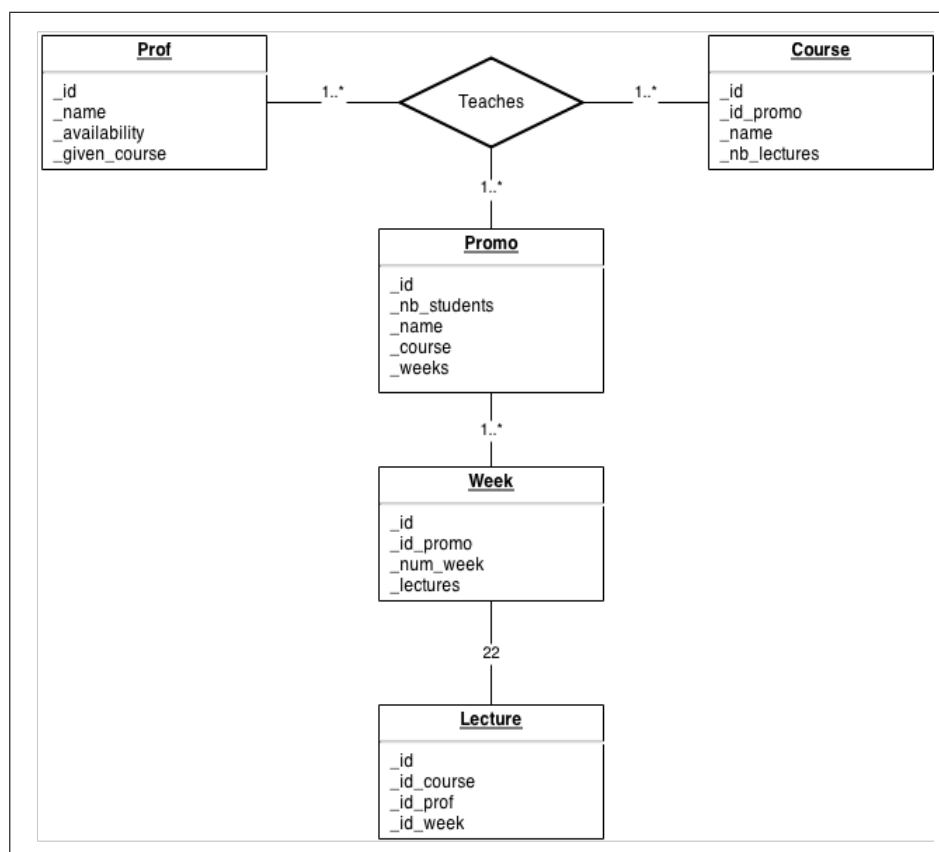


FIGURE 3 – Diagramme de classes de mi-projet

Le bloc "Teaches" représente les relations de  $n$  à  $n$  entre

- les professeurs("Prof") et les matières("Course") :
  - un professeur peut enseigner plusieurs matières
  - une matière peut être enseignée par plusieurs professeurs
- les promotions ("Promo") et les professeurs :
  - une promotion a plusieurs professeurs
  - un professeur enseigne à plusieurs promotions
- les matières et les promotions :
  - une promotion a plusieurs matières
  - une matière est enseignée à plusieurs promotions

Ce second diagramme est une ébauche du diagramme des classes final sous réserve de modifications lorsque nous ajouterons les salles à notre problème.

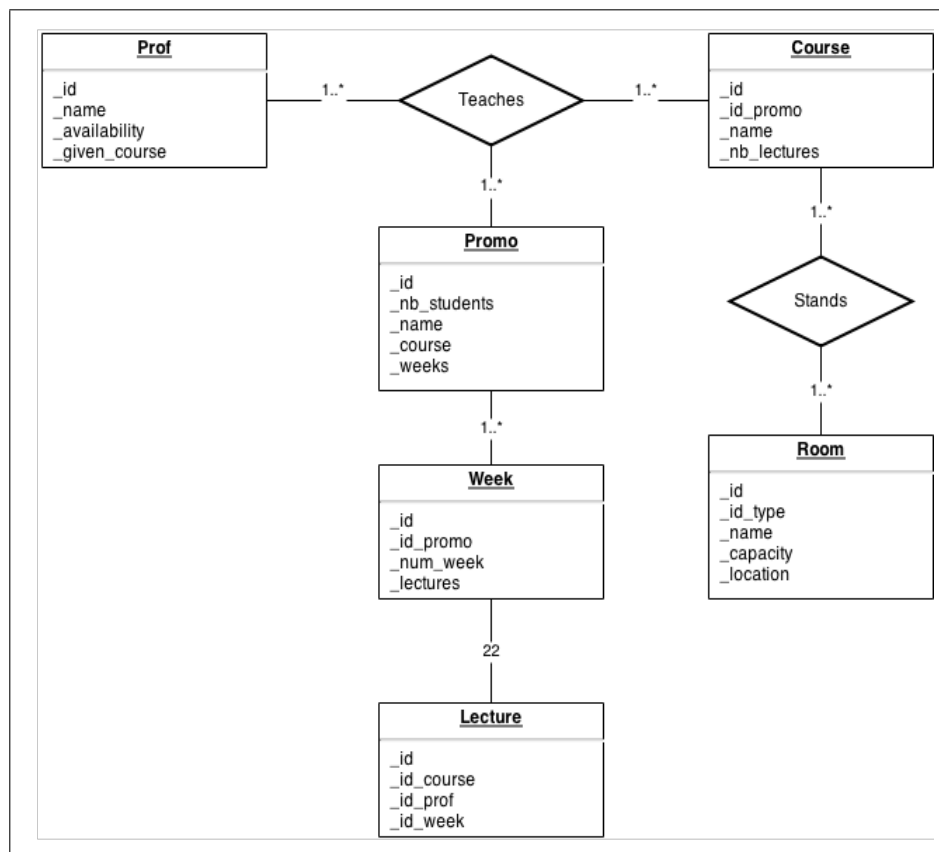


FIGURE 4 – Diagramme de classes final envisagé

Le bloc "Stands" représente les relations de  $n$  à  $n$  entre les matières ("Course") et les salles de cours ("Room") :

- une matière peut être enseignée dans plusieurs salles
- une salle peut recevoir plusieurs matières



Chaque salle va avoir un type spécifique correspondant aux différents types de cours (cours classe entière, TP, cours de demi classe).

## 8 Etapes de résolution

### 8.1 Simplification du problème

Comme expliqué précédemment, nous avons décidé de commencer notre projet en le réduisant au maximum, puis nous rajouterons des paramètres au fur et à mesure que le projet avance afin de se rapprocher petit à petit des conditions réelles.

Cette manière de procéder nous permet de nous concentrer sur une seule contrainte à la fois, et donc d'optimiser la résolution de celle-ci.

Nous allons donc commencer par considérer le cas d'une promotion, avec une seule classe, sur un semestre.

Le problème peut alors se fragmenter en plusieurs points :

- répartir l'ensemble des cours sur les différentes semaines du semestre
- répartir les cours sur les différents créneaux d'une semaine
- éviter que plusieurs cours se superposent :
  - une classe ne doit pas recevoir plus d'un cours sur un même créneau
  - plusieurs professeurs ne peuvent pas donner de cours sur un même créneau
- tenir compte des disponibilités des professeurs et de la classe lors de l'attribution d'un nouveau cours
- répartir en priorité les professeurs dont les disponibilités sont les moindres
- mettre à jour les disponibilités de chaque protagoniste dès l'ajout d'un cours
- lorsqu'un cours est présent sur plusieurs semaines consécutives, il doit se retrouver sur le même créneau.

### 8.2 Considération de l'ensemble des classes d'une promotion

Lorsque nous aurons trouvé l'algorithme répondant à ces critères, nous pourrons considérer toutes les classes de la promotion.

De nouvelles contraintes se posent :

- un professeur ne peut pas dispenser un même cours à deux classes différentes sur un même créneau
- vérifier que pour une matière donnée, l'ensemble des créneaux des professeurs qualifiés soit suffisant pour donner tous les cours
- la répartition du programme doit être homogène : toutes les classes doivent recevoir les mêmes cours sur une même semaine

### 8.3 Considération de l'ensemble des promotions

Ensuite nous pourrons considérer la totalité des promotions. Il n'y a pas réellement de nouvelle contrainte, mais c'est à ce stade que l'algorithme de résolution va réellement être mis à l'épreuve, et que le temps d'exécution du programme va vraiment augmenter.

### 8.4 Considération des salles

Nous rajoutons ensuite la contrainte des salles. Ce nouveau paramètre va énormément compliquer le problème :

- vérifier qu'une salle ne reçoit qu'un seul cours par créneau
- vérifier qu'une salle a la capacité suffisante pour accueillir tous les élèves d'un cours donné
- vérifier qu'une salle contient les équipements adaptés au cours

## 8.5 Cas réel

Enfin, les enseignants de l'ESME peuvent dispenser des cours dans les locaux d'Ivry-sur-Seine et de Montparnasse. Pour des raisons de timing, les professeurs ne doivent pas avoir de cours à donner dans les deux locaux sur une même demi-journée. Il faut donc introduire ce paramètre dans l'attribution des cours, ce qui va restreindre davantage le nombre de solutions du problème.

## 9 Méthode de résolution

### 9.1 Saisie des données

L'utilisateur doit saisir les données dans le programme. Ces données sont :

- Les professeurs (nom, disponibilités, matières)
- Les classes (nom, promotions, nombre d'élèves)
- Les matières (nom, heures, promotions)
- Les salles (nom, type de salle, contenance maximum)

Il a le choix entre ajouter, modifier, supprimer chacun de ces paramètres. Il ne peut ajouter un paramètre déjà entré précédemment (ex : ajouter deux fois le même professeur dans le programme ne sera pas possible). Les paramètres sont inscrits dans des fichiers externes, et toutes les manipulations citées ci-dessus seront faites dans ces fichiers. Ainsi, l'utilisateur peut modifier le fichier depuis le programme ou directement en ouvrant le fichier.

Une fois tous les paramètres entrés, il peut générer les emplois du temps. Ces emplois du temps sont également mis dans des fichiers externes.

### 9.2 Pré-traitement

Après que les données aient été saisies par l'utilisateur, nous effectuons un pré-traitement pour éviter des calculs inutiles qui n'aboutiront pas. Pour chaque matière, nous faisons la somme des cours qui doivent être donnés, toutes classes confondues, sur une même semaine. Cette somme doit nécessairement être inférieure ou égale au nombre de créneaux des professeurs qualifiés.

- Si le nombre de créneaux total des professeurs est supérieur au nombre de créneaux du cours alors il n'y a pas de pré-traitement à effectuer pour ce cours.
- Si le nombre de créneaux total des professeurs est égal au nombre de créneaux du cours alors on associe directement les classes aux créneaux du ou des professeurs. En effet, cette association est prioritaire car il n'existe que cette configuration, aucune autre n'est possible.
- Si le nombre de créneaux total des professeurs est inférieur au nombre de créneaux du cours alors nous ne pouvons pas aboutir à une solution. Il faut donc ajouter des professeurs ou des créneaux à ces professeurs.

### 9.3 Ebauche du traitement

Dans un premier temps, on trie les professeurs de manière croissante par rapport à leurs disponibilités. Ensuite, nous prenons le premier professeur de la liste (c'est à dire celui ayant le moins de disponibilités). Nous sélectionnons une matière, parmi celles qu'il enseigne, et nous comparons ses disponibilités à celles de la première classe ayant cette matière. Dès que nous trouvons un créneau disponible pour la classe et le professeur, on leur associe la matière et on met à jour leurs mots binaires afin que ce créneau ne soit plus utilisé. Nous répétons cette manoeuvre jusqu'à ce que toutes les matières aient été placées. Nous faisons ensuite de même pour une autre matière. Une fois que toutes les matières ont été faites, on passe au professeur suivant. Si une classe ou un professeur n'a pas pu se voir attribué toutes ces matières, nous signalons à l'utilisateur que le nombre de professeur est insuffisant. Notre méthode de

résolution est dite gloutonne, c'est-à-dire que l'on remplit dès que nous pouvons sans regarder s'il y a un meilleur créneau après.

Comme vous avez pu le remarquer, les salles n'apparaissent nulle part dans le traitement. En effet, nous avons décidé que, pour commencer et pour nous faciliter la tâche, nous allons générer les emplois du temps sans nous préoccuper des salles. Nous inclurons le paramètre des salles plus tard, quand notre algorithme sera plus solide.

## Table des figures

1	Diagramme de cas d'utilisation, génération de l'emploi du temps . . . . .	9
2	Diagramme de cas d'utilisation, maintenance de l'emploi du temps . . . . .	11
3	Diagramme de classes de mi-projet . . . . .	14
4	Diagramme de classes final envisagé . . . . .	15

## Références

- [1] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni. Ant system : optimization by a colony of cooperating agents. *Trans. Sys. Man Cyber. Part B*, 26(1) :29–41, February 1996.
- [2] Fred Glover and Manuel Laguna. *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1997.
- [3] Michael R. Garey and David S. Johnson. *Computers and Intractability ; A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W. H. Freeman & Co., New York, NY, USA, 1990.