

Rapport de projet

Recherche opérationnelle



Yann Bouteiller

Oussama Azizi

Table des matières

| | | |
|----|--|---|
| 1. | Le tableau de bord et l’affichage des solutions :..... | 2 |
| 2. | Les heuristiques :..... | 4 |
| a. | L’heuristique de départ : | 4 |
| b. | L’heuristique améliorée :..... | 5 |
| 3. | Le solveur :..... | 6 |
| a. | Modèle mathématique :..... | 6 |
| b. | Solution :..... | 7 |
| 4. | Comparaison des résultats et conclusion :..... | 7 |

1. Le tableau de bord et l’affichage des solutions :

Afin de visualiser rapidement les performances de nos algorithmes, nous avons modifié le tableau de bord (de l’heuristique et de la PLNE) de manière à ce qu’un certain nombre d’indicateurs importants soient directement accessibles. Notamment, le tableau de bord affiche les critères d’homogénéité en termes de mots-clés applicatifs et méthodologiques par session, les types des sessions, les types des créneaux et la somme de leurs degrés de non-hétérogénéité.

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|---|---|----|----|---|---|--------------------------------------|
| STATISTIQUES | | HOMOGENEITE EN MCA | | | | | | Calcul de la solution heuristique |
| Nombre total d'exposés | 100 | Nombre total de MCA couverts : 8 | | | | | | |
| Capacité disponible | 108 | Détail du nombre de sessions couvrant 0 à 4 mots-clés | | | | | | |
| Nombre total de MCA | 8 | MCA couverts | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Nombre total de MCM | 8 | Nb sessions | 0 | 11 | 10 | 6 | 0 | |
| Nombre d'exposés par MCA | | HOMOGENEITE EN MCM | | | | | | |
| Conception de réseaux | 11 | Nombre total de MCM couverts : 8 | | | | | | |
| Energie | 11 | Détail du nombre de sessions couvrant 0 à 4 mots-clés | | | | | | |
| Logistique | 14 | MCM couvert | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Ordonnancement | 16 | Nb sessions | 0 | 9 | 11 | 7 | 0 | |
| Planification | 12 | INDICATEURS DE TYPE DES SESSIONS | | | | | | |
| Production | 10 | Nombre total de sessions applicatives : 11 | | | | | | |
| Télécom | 11 | Nombre total de sessions méthodologiques : 9 | | | | | | |
| Transport | 15 | Nombre total de sessions parfaites : 9 | | | | | | |
| Nombre d'exposés par MCM | | Nombre total des autres sessions : 16 | | | | | | |
| Algorithmes évolutionnaires | 7 | INDICATEURS DE TYPE DES CRENEAUX | | | | | | |
| Graphes | 9 | Nombre total de creneaux applicatifs : 0 | | | | | | |
| Metaheuristique | 21 | Nombre total de creneaux méthodologiques : 0 | | | | | | |
| Modèles stochastiques | 8 | Nombre total de creneaux parfaits : 0 | | | | | | |
| Optimisation multicritère | 12 | Nombre total des autres creneaux : 9 | | | | | | |
| Optimisation non linéaire | 7 | Somme des d° de non-hétérogénéité : 18 | | | | | | |
| Problèmes dynamiques | 13 | | | | | | | |
| Programmation mathématique | 23 | | | | | | | |

MCA / session

■ 1
■ 2
■ 3
■ 4

MCM / session

■ 1
■ 2
■ 3
■ 4

Chaque session peut couvrir entre 0 et 4 mots-clés applicatifs et méthodologiques (les sessions en couvrant 0 étant les sessions vides). Ces résultats sont également affichés à droite sous forme de camemberts : les sessions les plus intéressantes pour chaque critère sont affichées en vert, puis le code-couleur suit l’ordre jaune, orange, rouge. La proportion de sessions applicatives (respectivement méthodologiques) est donc affichée en vert.

Les nombres de sessions et de créneaux méthodologiques, applicatifs et parfaits sont détaillés dans les tableaux fournis. Enfin, le degré de non-hétérogénéité des créneaux est donné en bas du tableau des types des créneaux. Cet indicateur a été légèrement modifié par rapport à ce qui était décrit dans le sujet du projet. En effet, il compte non pas le nombre de mots-clés qui apparaissent dans plusieurs sessions d’un même créneau, mais la somme du nombre de fois que des mots-clés différents apparaissent plus d’une fois dans un même créneau (un mot-clé qui apparaît dans une seule session du créneau compte pour 0, un mot-clé qui apparaît dans deux sessions différentes compte pour 1, et un mot-clé qui apparaît dans les trois sessions du créneau compte pour 2). Cette méthode offre une caractérisation plus précise de la notion de non-hétérogénéité des créneaux.

La valeur donnée pour le critère de non-hétérogénéité dans le tableau est la somme des degrés de non-hétérogénéité ainsi définis.

Le planning résultant est présenté de la manière suivante :

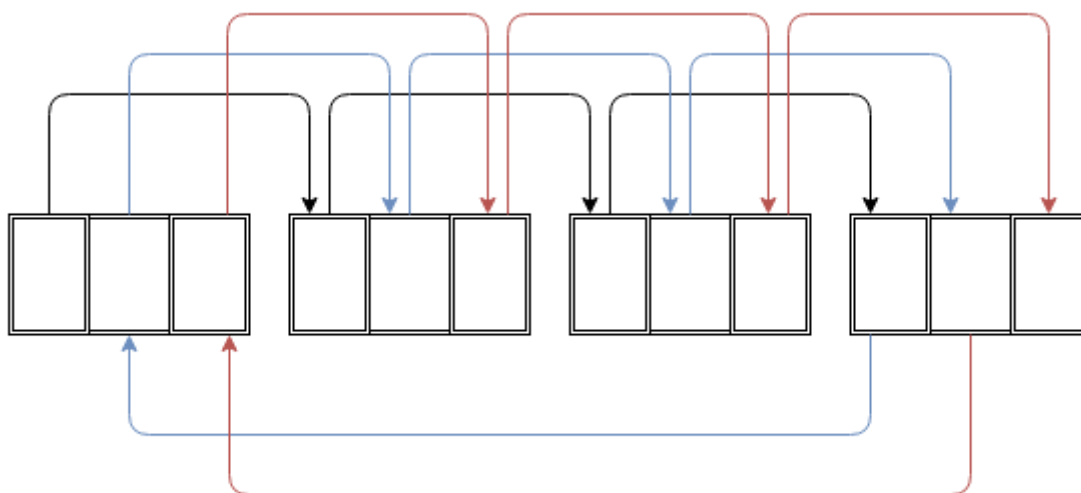
| | | | | |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|-----|
| | | Conception de réseaux | Metaheuristique | 98 |
| Créneau 2 D°NH : 1 | Session 1 | Conception de réseaux | Programmation mathématique | 23 |
| | | Conception de réseaux | Programmation mathématique | 69 |
| | | Conception de réseaux | Programmation mathématique | 83 |
| | | Conception de réseaux | Programmation mathématique | 100 |
| | Session 2 | Logistique | Metaheuristique | 16 |
| | | Logistique | Metaheuristique | 77 |
| | | Logistique | Metaheuristique | 89 |
| | | Logistique | Modèles stochastiques | 91 |
| | Session 3 | Ordonnancement | Metaheuristique | 29 |
| | | Ordonnancement | Metaheuristique | 36 |
| | | Ordonnancement | Metaheuristique | 58 |
| | | Ordonnancement | Metaheuristique | 72 |
| Créneau 3 D°NH : 1 | Session 1 | Production | Algorithmes évolutionnaires | 41 |
| | | Ordonnancement | Algorithmes évolutionnaires | 67 |
| | | Ordonnancement | Algorithmes évolutionnaires | 85 |
| | | Production | Algorithmes évolutionnaires | 88 |
| | Session 2 | Conception de réseaux | Graphes | 10 |
| | | Logistique | Graphes | 27 |
| | | Conception de réseaux | Optimisation multicritère | 35 |
| | | Conception de réseaux | Optimisation multicritère | 59 |
| | Session 3 | Transport | Graphes | 3 |
| | | Télécom | Graphes | 28 |
| | | Transport | Graphes | 40 |
| | | Télécom | Graphes | 70 |
| Créneau 4 D°NH : 2 | Session 1 | Ordonnancement | Problèmes dynamiques | 34 |
| | | Ordonnancement | Programmation mathématique | 44 |
| | | Ordonnancement | Programmation mathématique | 48 |
| | | Ordonnancement | Programmation mathématique | 78 |

Le tableau est organisé en présentant de manière visuelle les informations pertinentes. Chaque créneau est divisé en trois sessions, et un code-couleur permet de repérer rapidement le type de chaque session ou créneau. Les créneaux et les sessions applicatifs (respectivement méthodologiques ou parfait) sont colorés en saumon (respectivement en bleu ou en vert). Nous avons également représenté le degré de non-hétérogénéité de chaque créneau tel que décrit précédemment sous l'intitulé de chaque créneau. Enfin, les noms des mots-clés ont été conservés, mais les titres complets des exposés (encombrants et sans intérêt pour notre application) ont été remplacés par l'ID défini par le programme pour chacun d'entre eux.

2. Les heuristiques :

a. L'heuristique de départ :

La première heuristique que nous avons codée est celle décrite dans le sujet du projet. Elle consiste à trier les exposés selon l'ordre décrit par les identifiants de leurs MCA, et par les identifiants de leurs MCM dans le cas où leurs MCA sont identiques. Son efficacité repose sur le fait qu'elle parcourt non pas les sessions dans l'ordre de leur numérotation, mais qu'elle parcourt les sessions par ordre de position dans les créneaux (voir ci-dessous).



Cela permet notamment d'éviter de placer le même MCA dans deux sessions du même créneau.

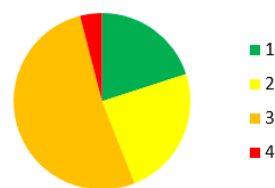
| | | | | | |
|---|---|----|---|----|---|
| HOMOGENEITE EN MCA | | | | | |
| Nombre total de MCA couverts : 8 | | | | | |
| Détail du nombre de sessions couvrant 0 à 4 mots-clés | | | | | |
| MCA couverts | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nb sessions | 2 | 21 | 4 | 0 | 0 |
| HOMOGENEITE EN MCM | | | | | |
| Nombre total de MCM couverts : 8 | | | | | |
| Détail du nombre de sessions couvrant 0 à 4 mots-clés | | | | | |
| MCM couvert | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nb sessions | 2 | 5 | 6 | 13 | 1 |
| INDICATEURS DE TYPE DES SESSIONS | | | | | |
| Nombre total de sessions applicatives : 21 | | | | | |
| Nombre total de sessions méthodologiques : 5 | | | | | |
| Nombre total de sessions parfaites : 5 | | | | | |
| Nombre total des autres sessions : 6 | | | | | |
| INDICATEURS DE TYPE DES CRENEAUX | | | | | |
| Nombre total de creneaux applicatifs : 5 | | | | | |
| Nombre total de creneaux méthodologiques : 0 | | | | | |
| Nombre total de creneaux parfaits : 0 | | | | | |
| Nombre total des autres creneaux : 4 | | | | | |
| Somme des d° de non-hétérogénéité : 14 | | | | | |

Calcul de la solution
heuristique

MCA / session



MCM / session



| | | | |
|-------------|-----------|---------|---------|
| Session 1 | Creneau 1 | MCA 1 | MCM 1 |
| Session 2 | Creneau 1 | MCA 2 | MCM 2 |
| Session 3 | Creneau 1 | MCA 3 | MCM 3 |
| Session 4 | Creneau 1 | MCA 4 | MCM 4 |
| Session 5 | Creneau 1 | MCA 5 | MCM 5 |
| Session 6 | Creneau 1 | MCA 6 | MCM 6 |
| Session 7 | Creneau 1 | MCA 7 | MCM 7 |
| Session 8 | Creneau 1 | MCA 8 | MCM 8 |
| Session 9 | Creneau 1 | MCA 9 | MCM 9 |
| Session 10 | Creneau 1 | MCA 10 | MCM 10 |
| Session 11 | Creneau 1 | MCA 11 | MCM 11 |
| Session 12 | Creneau 1 | MCA 12 | MCM 12 |
| Session 13 | Creneau 1 | MCA 13 | MCM 13 |
| Session 14 | Creneau 1 | MCA 14 | MCM 14 |
| Session 15 | Creneau 1 | MCA 15 | MCM 15 |
| Session 16 | Creneau 1 | MCA 16 | MCM 16 |
| Session 17 | Creneau 1 | MCA 17 | MCM 17 |
| Session 18 | Creneau 1 | MCA 18 | MCM 18 |
| Session 19 | Creneau 1 | MCA 19 | MCM 19 |
| Session 20 | Creneau 1 | MCA 20 | MCM 20 |
| Session 21 | Creneau 1 | MCA 21 | MCM 21 |
| Session 22 | Creneau 1 | MCA 22 | MCM 22 |
| Session 23 | Creneau 1 | MCA 23 | MCM 23 |
| Session 24 | Creneau 1 | MCA 24 | MCM 24 |
| Session 25 | Creneau 1 | MCA 25 | MCM 25 |
| Session 26 | Creneau 1 | MCA 26 | MCM 26 |
| Session 27 | Creneau 1 | MCA 27 | MCM 27 |
| Session 28 | Creneau 1 | MCA 28 | MCM 28 |
| Session 29 | Creneau 1 | MCA 29 | MCM 29 |
| Session 30 | Creneau 1 | MCA 30 | MCM 30 |
| Session 31 | Creneau 1 | MCA 31 | MCM 31 |
| Session 32 | Creneau 1 | MCA 32 | MCM 32 |
| Session 33 | Creneau 1 | MCA 33 | MCM 33 |
| Session 34 | Creneau 1 | MCA 34 | MCM 34 |
| Session 35 | Creneau 1 | MCA 35 | MCM 35 |
| Session 36 | Creneau 1 | MCA 36 | MCM 36 |
| Session 37 | Creneau 1 | MCA 37 | MCM 37 |
| Session 38 | Creneau 1 | MCA 38 | MCM 38 |
| Session 39 | Creneau 1 | MCA 39 | MCM 39 |
| Session 40 | Creneau 1 | MCA 40 | MCM 40 |
| Session 41 | Creneau 1 | MCA 41 | MCM 41 |
| Session 42 | Creneau 1 | MCA 42 | MCM 42 |
| Session 43 | Creneau 1 | MCA 43 | MCM 43 |
| Session 44 | Creneau 1 | MCA 44 | MCM 44 |
| Session 45 | Creneau 1 | MCA 45 | MCM 45 |
| Session 46 | Creneau 1 | MCA 46 | MCM 46 |
| Session 47 | Creneau 1 | MCA 47 | MCM 47 |
| Session 48 | Creneau 1 | MCA 48 | MCM 48 |
| Session 49 | Creneau 1 | MCA 49 | MCM 49 |
| Session 50 | Creneau 1 | MCA 50 | MCM 50 |
| Session 51 | Creneau 1 | MCA 51 | MCM 51 |
| Session 52 | Creneau 1 | MCA 52 | MCM 52 |
| Session 53 | Creneau 1 | MCA 53 | MCM 53 |
| Session 54 | Creneau 1 | MCA 54 | MCM 54 |
| Session 55 | Creneau 1 | MCA 55 | MCM 55 |
| Session 56 | Creneau 1 | MCA 56 | MCM 56 |
| Session 57 | Creneau 1 | MCA 57 | MCM 57 |
| Session 58 | Creneau 1 | MCA 58 | MCM 58 |
| Session 59 | Creneau 1 | MCA 59 | MCM 59 |
| Session 60 | Creneau 1 | MCA 60 | MCM 60 |
| Session 61 | Creneau 1 | MCA 61 | MCM 61 |
| Session 62 | Creneau 1 | MCA 62 | MCM 62 |
| Session 63 | Creneau 1 | MCA 63 | MCM 63 |
| Session 64 | Creneau 1 | MCA 64 | MCM 64 |
| Session 65 | Creneau 1 | MCA 65 | MCM 65 |
| Session 66 | Creneau 1 | MCA 66 | MCM 66 |
| Session 67 | Creneau 1 | MCA 67 | MCM 67 |
| Session 68 | Creneau 1 | MCA 68 | MCM 68 |
| Session 69 | Creneau 1 | MCA 69 | MCM 69 |
| Session 70 | Creneau 1 | MCA 70 | MCM 70 |
| Session 71 | Creneau 1 | MCA 71 | MCM 71 |
| Session 72 | Creneau 1 | MCA 72 | MCM 72 |
| Session 73 | Creneau 1 | MCA 73 | MCM 73 |
| Session 74 | Creneau 1 | MCA 74 | MCM 74 |
| Session 75 | Creneau 1 | MCA 75 | MCM 75 |
| Session 76 | Creneau 1 | MCA 76 | MCM 76 |
| Session 77 | Creneau 1 | MCA 77 | MCM 77 |
| Session 78 | Creneau 1 | MCA 78 | MCM 78 |
| Session 79 | Creneau 1 | MCA 79 | MCM 79 |
| Session 80 | Creneau 1 | MCA 80 | MCM 80 |
| Session 81 | Creneau 1 | MCA 81 | MCM 81 |
| Session 82 | Creneau 1 | MCA 82 | MCM 82 |
| Session 83 | Creneau 1 | MCA 83 | MCM 83 |
| Session 84 | Creneau 1 | MCA 84 | MCM 84 |
| Session 85 | Creneau 1 | MCA 85 | MCM 85 |
| Session 86 | Creneau 1 | MCA 86 | MCM 86 |
| Session 87 | Creneau 1 | MCA 87 | MCM 87 |
| Session 88 | Creneau 1 | MCA 88 | MCM 88 |
| Session 89 | Creneau 1 | MCA 89 | MCM 89 |
| Session 90 | Creneau 1 | MCA 90 | MCM 90 |
| Session 91 | Creneau 1 | MCA 91 | MCM 91 |
| Session 92 | Creneau 1 | MCA 92 | MCM 92 |
| Session 93 | Creneau 1 | MCA 93 | MCM 93 |
| Session 94 | Creneau 1 | MCA 94 | MCM 94 |
| Session 95 | Creneau 1 | MCA 95 | MCM 95 |
| Session 96 | Creneau 1 | MCA 96 | MCM 96 |
| Session 97 | Creneau 1 | MCA 97 | MCM 97 |
| Session 98 | Creneau 1 | MCA 98 | MCM 98 |
| Session 99 | Creneau 1 | MCA 99 | MCM 99 |
| Session 100 | Creneau 1 | MCA 100 | MCM 100 |

b. L'heuristique améliorée :

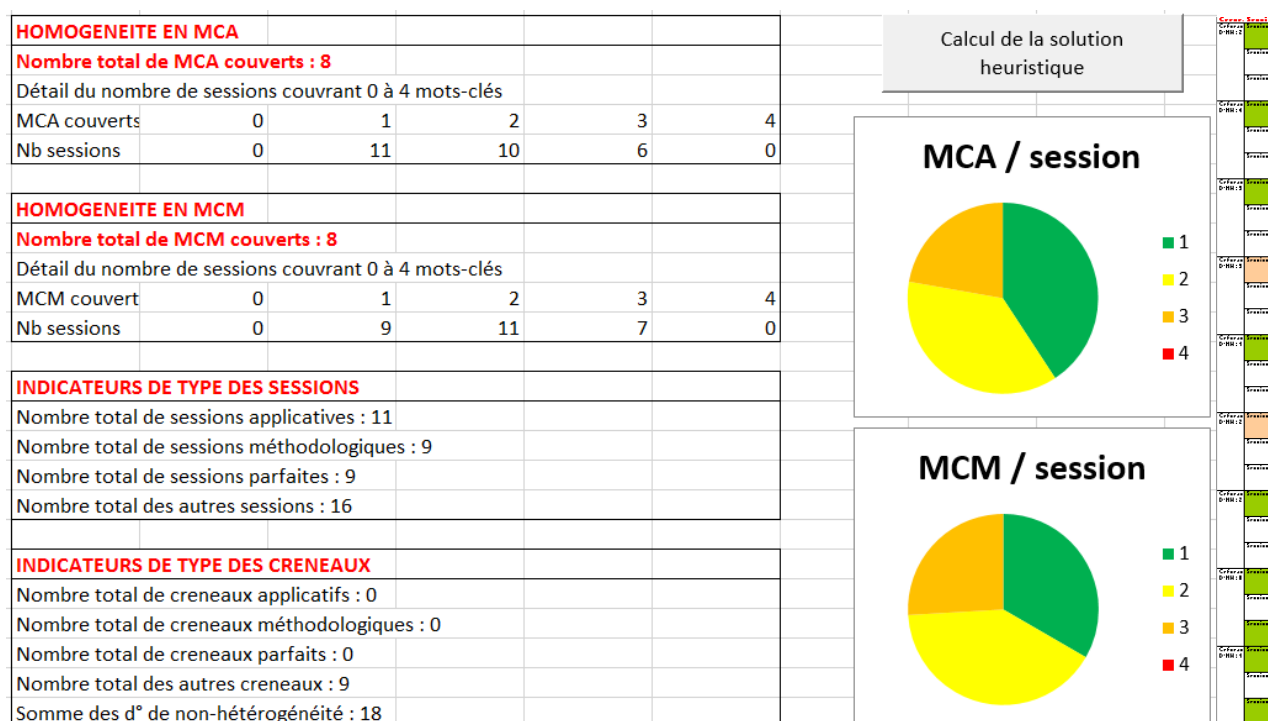
La seconde heuristique consiste en une amélioration de la première. Elle conserve l'idée de l'ordre de parcourt des sessions après un tri. Cependant, le tri est exécuté en deux phases et le principe du rangement dans les sessions est plus complexe. Une fois le tableau trié, selon l'ordre décrit précédemment, il est réorganisé en triant les blocs d'exposés de même MCA et MCM par taille décroissante. Ensuite, on parcourt les sessions dans l'ordre de l'heuristique de départ, et on les remplit par blocs de taille décroissante. Cela signifie qu'on tente d'abord de créer des sessions de 4 exposés jumeaux (donc parfaites), puis lorsque ce n'est plus possible on tente de créer des blocs de 3 exposés jumeaux, et ainsi de suite...

Le pseudo-code (très simplifié) est le suivant :

Début

- : Trier tableau par ordre de MCA/MCM
- : Ranger le tableau précédemment trié par blocs de taille décroissante
- : TailleBloc = 4
- : Tant que TailleBloc > 0, dans l'ordre de l'heuristique de départ
- : remplir toutes les sessions possibles avec des blocs de taille TailleBloc
- : TailleBloc = TailleBloc - 1

Fin



3. Le solveur :

a. Modèle mathématique :

Afin de modéliser le problème de conception de planning, et d'optimiser l'heuristique de départ, plusieurs contraintes ont été mises en place. Le but était à l'origine de minimiser uniquement le nombre de couverture des mots clés applicatifs et méthodologiques afin d'obtenir un maximum de sessions homogènes.

Cela posait le problème de ne pas prendre en compte le critère de non-hétérogénéité des créneaux. De plus, en cherchant à minimiser le nombre de mots-clés par session, le modèle considérait intéressant d'obtenir une session vide, ce qui nuisait en fait à la solution finale en limitant inutilement le nombre de places disponibles pour ranger un exposé. Afin d'améliorer ce modèle, nous avons donc introduit une nouvelle contrainte en imposant un nombre minimum d'exposés par session égal à 1. Afin de prendre en compte le critère de non-hétérogénéité, nous avons également modifié la fonction-objectif initiale.

Ainsi, au lieu de minimiser simplement le nombre de fois où une session couvre un mot clé donné, on minimise également le nombre de fois où une session couvre un mot clé donné dans un créneau donné. Cela pose une difficulté car en essayant de minimiser la somme du nombre de fois où une session d'un créneau couvre un mot-clé donné pour tous les créneaux, on minimise en réalité la somme du nombre de fois où une session couvre ce mot clé dans tout le planning (c'est-à-dire qu'on n'a rien changé par rapport au modèle précédent). Afin de remédier à ce problème, nous sommes sortis du cadre de la programmation linéaire en nombres entiers. En effet, notre fonction objectif minimise, en plus de la somme du nombre de sessions couvrant un mot clé donné, minimise la somme des carrés du nombre de sessions qui couvrent un mot clé donné dans un créneau donné. Cela donne plus de poids au fait qu'un mot clé apparaisse dans deux sessions d'un même créneau qu'au fait qu'il apparaisse dans deux sessions quelconques.

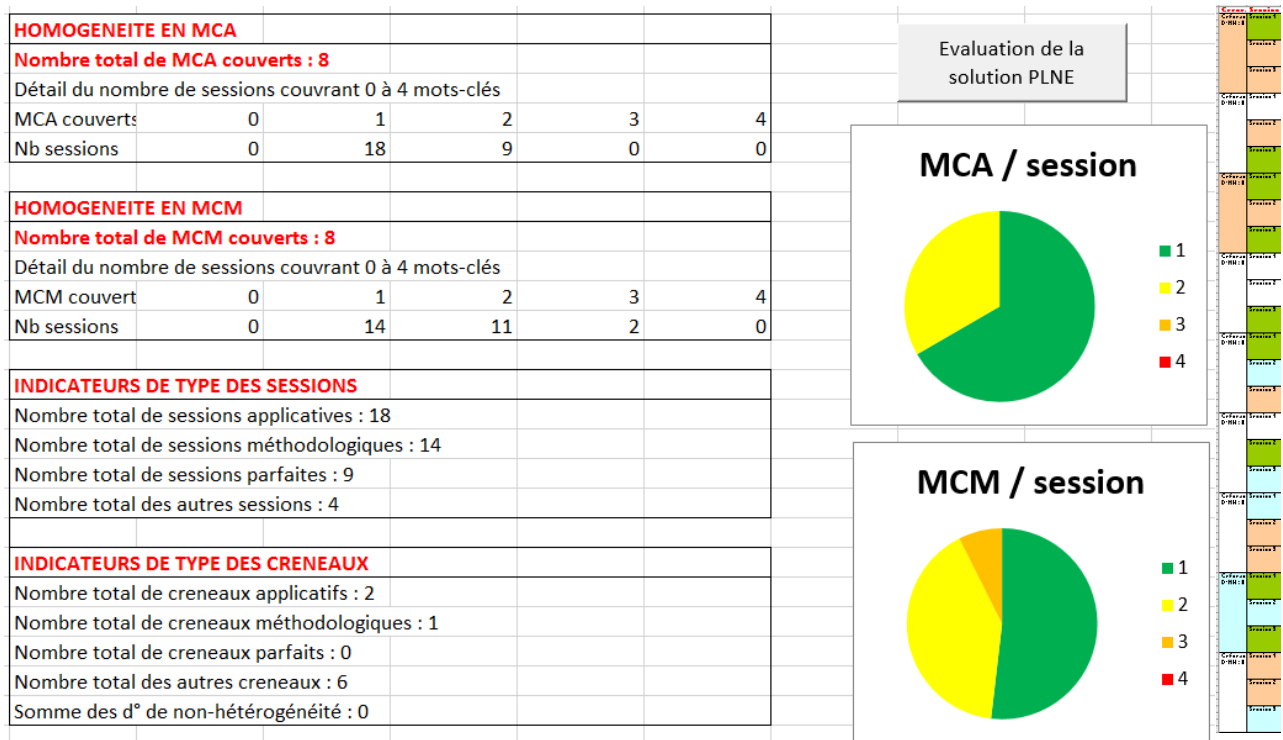
La fonction-objectif devient :

$$\sum_l \sum_k (Z_{k,l})^2 + \sum_j \sum_k Y_{k,j}$$

Où $Y_{k,j}$: est égal à 1 si le mot-clé k est couvert par la session j, 0 sinon.

$Z_{k,l}$: est la somme des $Y_{k,j}$ tels que la session j appartient au créneau l.

b. Solution :



4. Comparaison des résultats et conclusion :

Malgré sa simplicité apparente, l'heuristique de départ produit une solution assez intéressante et il a été difficile d'en améliorer significativement les résultats. Néanmoins, cette heuristique favorise fortement la création de sessions applicatives au détriment des sessions méthodologiques. Notre version améliorée de cette heuristique corrige ce problème et crée un nombre équilibré de sessions méthodologiques et applicatives, en optimisant significativement le nombre de sessions parfaites. Cependant, notre heuristique n'est pas parvenue à améliorer le degré de non-hétérogénéité des créneaux, étant donné qu'elle se focalise principalement sur la création de sessions parfaites.

En revanche, notre modèle mathématique aboutit à une solution extrêmement satisfaisante autant en termes de sessions parfaites que de non-hétérogénéité, étant donné que tous les créneaux de la solution trouvée sont de degré 0 (c'est-à-dire parfaitement hétérogènes), tout en égalant le nombre de sessions parfaites trouvées par notre version améliorée de l'heuristique.

Cela se fait néanmoins en un temps bien supérieur à la complexité des heuristiques, et nous avons d'ailleurs dû arrêter la résolution par Cplex avant qu'il ait terminé d'explorer l'espace (immense) des solutions possibles.