Rapport de Projet

Algorithmes & Complexité

Sommaire :

Fonctionnalitées développées

- Génération aléatoire d'un fichier de configuration (machines et tâches)
- Lecture de ce fichier (`input_scheduler.txt`) : le programme a été testé avec d'autres configurations d'autres groupes.
- Traitement selon les méthodes de scheduling gamma, alpha et beta.
- Affichage des timeline d'attribution de tâches générées selon 2 modes :
    - Console
    - JavaFX

Génération de fichiers

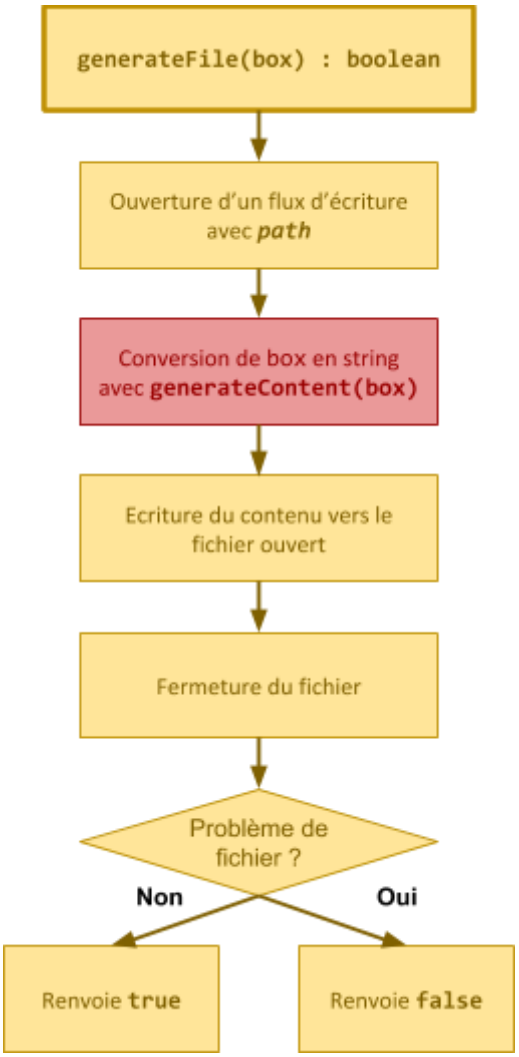
Pour effectuer les opérations de lecture et d'écriture, nous avons créé une classe "`FileGenerator`" permettant de regrouper ces fonctionnalités. Cette classe est composée de 4 méthodes statiques :

- `public static boolean generateFile(Box box)`
- `public static String generateContent(Box box)`
- `public static Box readBox()`
- `public static String readContent()`

Les trois premières méthodes utilisent la classe "`Box`", qui contient un cluster de machine (`ArrayList` de machines), ainsi qu'une liste de Job. L'objet "`Box`" est utilisé pour regrouper toutes les ressources du problème à traiter.

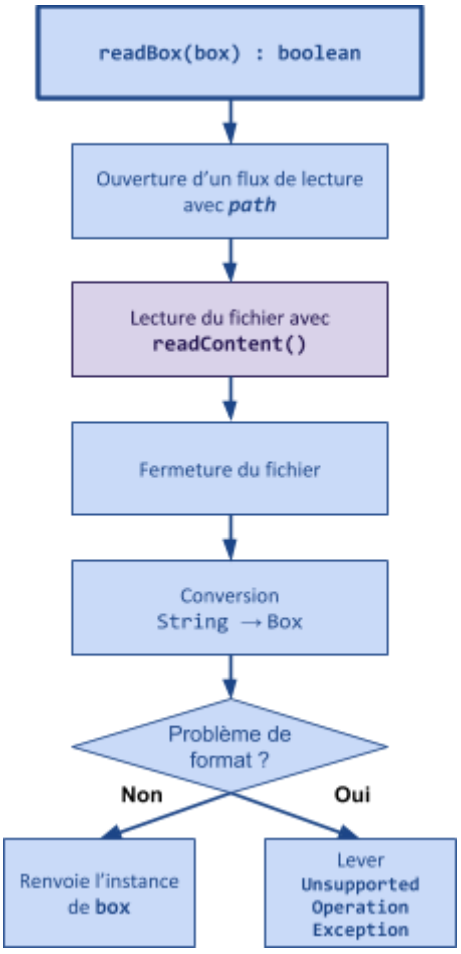
Ecriture

L'écriture d'un objet `Box` se fait grâce à la fonction `generateFile(Box box)`, qui génère un fichier qui contient l'ensemble des machines, suivi de l'ensemble des jobs et des tâches du problème, en précisant les dépendances entre ces dernières. Le format utilisé est le même que celui vu en cours.
La méthode statique `generateFile(Box box)` utilise l'attribut statique `path` de la classe `FileGenerator` et la méthode `String generateContent(Box box)` qui renvoie la représentation `String` de `box` passé en argument, selon le format utilisé. `generateContent` représente donc le coeur de l'écriture du problème car il formate les données. Pour simplifier, voici comment se déroule la génération d'un fichier :



Lecture

La lecture d'un fichier contenant une instance de Box dont le format est le même que celui vu en cours est similaire à la méthode d'écriture. readBox() récupère le contenu du fichier sous forme de string avec la méthode readContent(), et convertit la chaîne de caractère en Box si le format est correctement respecté. Dans le cas contraire, une exception est levée, précisant l'erreur du format.

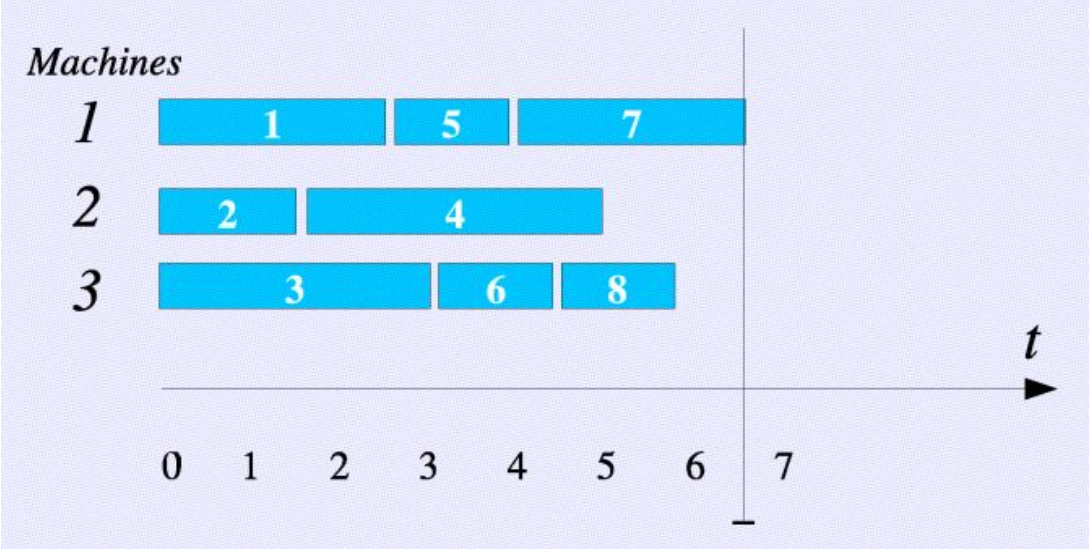

readBox(box) : boolean
Ouverture d'un flux de lecture avec path
Lecture du fichier avec readContent()
Fermeture du fichier
Conversion String → Box
Problème de format ?
Non
Oui
Renvoie l'instance de box
Lever UnsupportedOperationException

Description des méthodes de scheduling

Préambule :

Nous avons conçu une classe Timeline qui facilite la visualisation des tâches allouées pour chaque méthode. Elle peut être affichée dans la console ou graphiquement à partir de Java FX.

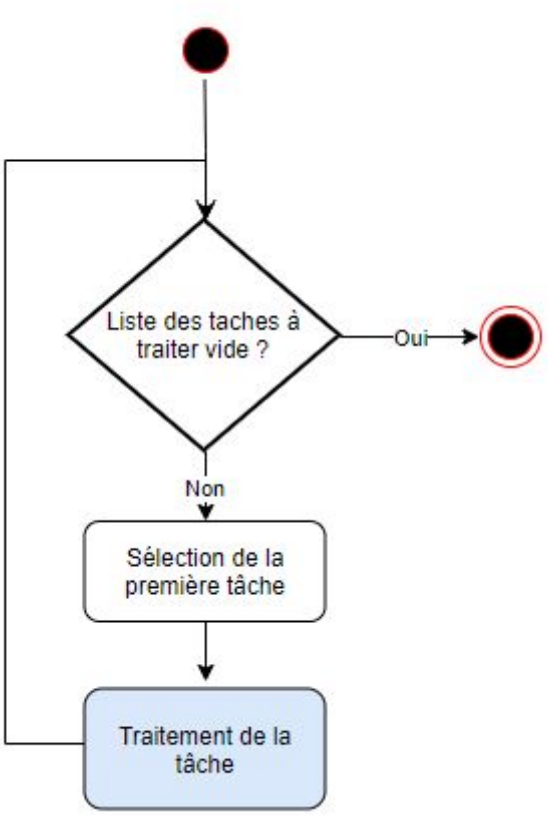
Nous appellerons temps de réalisation (ou temps de Timeline) le temps total que prendra la réalisation de toutes les tâches sur les machines à disposition.
Dans l'exemple ci-dessous il est égal à 6,5 secondes.



Version GAMMA

Description

Cet algorithme va prendre les tâches dans l'ordre dans la liste de tâches. Les tâches prédécesseurs seront ainsi toujours effectuées étant donné que les prédécesseurs son pris dans les tâches définies avant. Nous allons alors traiter la tâche choisie : en trouvant la ligne de la timeline la plus optimale, c'est à dire celle qui permettra de prendre le moins de temps possible.

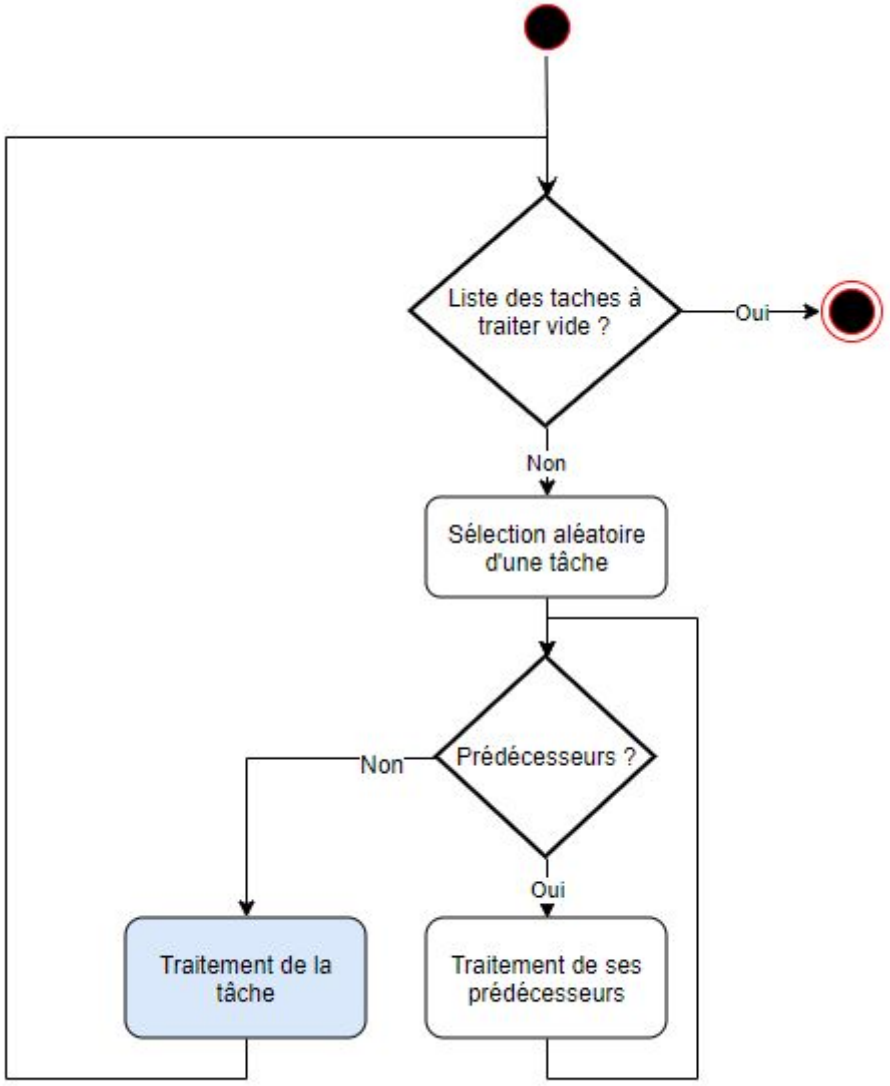


Version ALPHA

Description

Cet algorithme va prendre aléatoirement une tâche de notre liste de tâches puis va :

- S'assurer que ses tâches prédécesseurs ont été effectuées : si ce n'est pas le cas on les traite.
- Traiter la tâche choisie : en trouvant la ligne de la timeline la plus optimale, c'est à dire celle qui permettra de prendre le moins de temps possible.



La pertinence de cette méthode est aléatoire : parfois cela peut se rapproche de beta(néanmoins très rarement). Mais parfois cela peut aller beaucoup plus loin (cf Benchmarking).

Exemple

Prenons l'exemple suivant :

```
Servers
    CPU = [40G, 10G, 8G]
    GPU = [25T, 11T]
    I/O = [2G, 2G, 5G]
Job 1 = [T12, T10, T3, T5, T11, T14, T8, T9, T1, T4, T2, T6, T7, T15, T13, T16]
    T1 = CPU, 400G, []
    T2 = CPU, 500G, []
    T3 = GPU, 100G, [T1, T2]
    T4 = I/O, 2G, [T3]
    T5 = I/O, 20G, [T3]
    T6 = I/O, 30G, [T3]
    T7 = CPU, 150G, [T3]
    T8 = CPU, 160G, [T3]
    T9 = CPU, 170G, [T3, T7]
    T10 = CPU, 180G, [T7]
    T11 = CPU, 210G, [T4]
    T12 = CPU, 300G, [T5, T4, T3]
    T13 = CPU, 200G, [T3, T2]
    T14 = I/O, 10G, [T5]
    T15 = I/O, 20G, [T7, T12, T13]
    T16 = I/O, 50G, [T1, T15]
Job 2 = [T2, T3, T4, T1]
    T1 = GPU, 200G, []
    T2 = CPU, 1T, [T1]
    T3 = I/O, 7G, [T2]
    T4 = I/O, 5G, [T1]
```

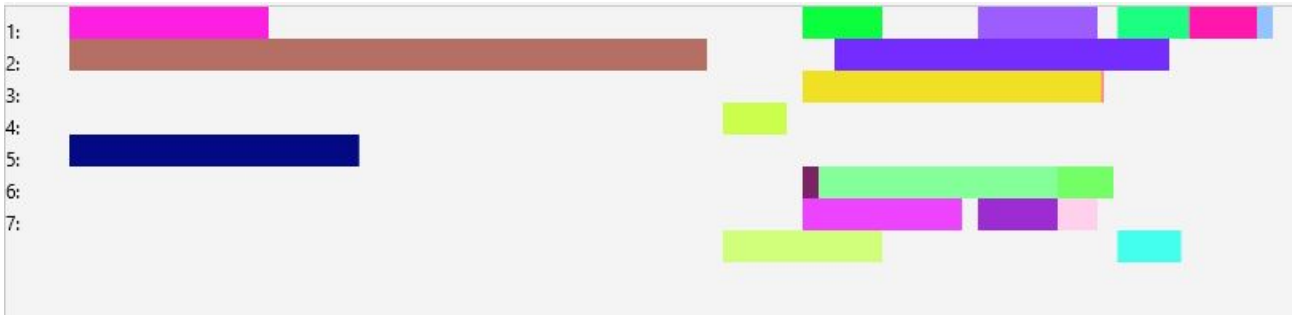
Dans cet exemple (la même configuration que l'algorithme BETA que nous verrons un plus loin dans le rapport), on atteint 158 sec alors que la méthode BETA permettra, d'atteindre 79,5 sec.
Au bout d'une vingtaine d'essais nous sommes parvenus à obtenir une seule fois 98 sec. Mais cette méthode manque de stabilité.

Attribution des tâches :

```
Timeline
1|{CPU | 400G | Time : 10.0}{CPU | 150G | Time : 3.75}{CPU | 170G | Time : 4.25}{CPU | 300G | Time : 7.5}{CPU | 400G | Time : 10.0}{CPU | 300G | Time : 7.5}{CPU | 210G | Time : 5.25}
2|{CPU | 500G | Time : 50.0}{CPU | 1T | Time : 0.099998474}{CPU | 150G | Time : 15.0}{CPU | 200G | Time : 20.0}
3|{CPU | 160G | Time : 20.0}{CPU | 180G | Time : 22.5}
4|{GPU | 100G | Time : 4.0}
5|{GPU | 200G | Time : 18.181818}
6|{I/O | 20G | Time : 10.0}{I/O | 10G | Time : 5.0}{I/O | 5G | Time : 2.5}
7|{I/O | 2G | Time : 1.0}{I/O | 50G | Time : 25.0}
8|{I/O | 7G | Time : 1.4000015}{I/O | 30G | Time : 6.0}{I/O | 20G | Time : 4.0}
```

En version console :

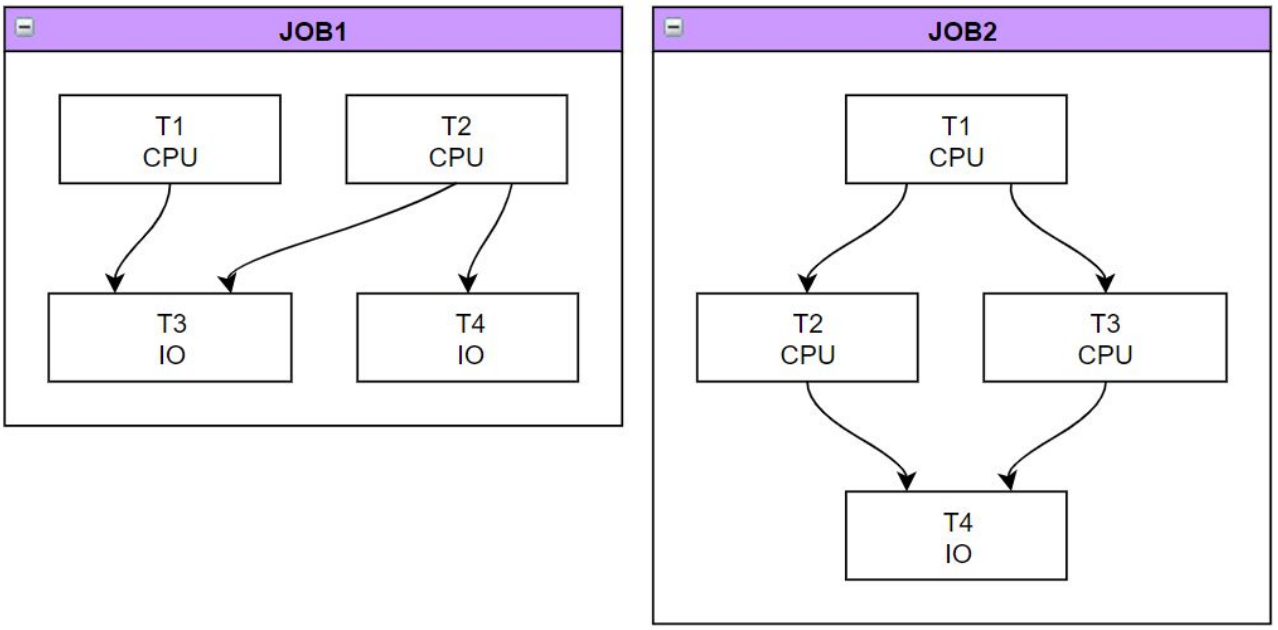
En version graphique :



Version BETA

Description à partir d'un exemple concret

Voici 2 JOB :



Nous considérons un cluster de 3 machines CPU et de 2 machines I/O.
CP3 est 2 fois plus puissante que CP1.
Voici le temps d'exécution de chaque tâche sur les machines.

	CP1	CP2	CP3
J1T1	10	15	20
J1T2	5	7.5	10
J2t1	3	4.5	6
J2T2	15	22.5	30
J2T3	4	6	8

	IO1	IO2
J1T3	3	6
J1T4	2	4
J2T4	5	10

Objectif : On gagnera du temps à exécuter les tâches qui ont le plus de successeurs. C'est à dire les tâches qui ne peuvent s'exécuter que si les tâches qui la précèdent (donc la plus longue) sont finies.
Par exemple : dans le JOB1, la tâche 1 à trois successeurs (2 directs et 1 indirect) donc elle doit être réalisée en premier pour permettre aux autres de s'exécuter.

On calcule pour cela une "priorité" pour chaque tâche de la manière suivante : temps du processus de la tâche + priorité de toutes les tâches qui lui succèdent. On peut de cette manière le calculer de façon récursive.

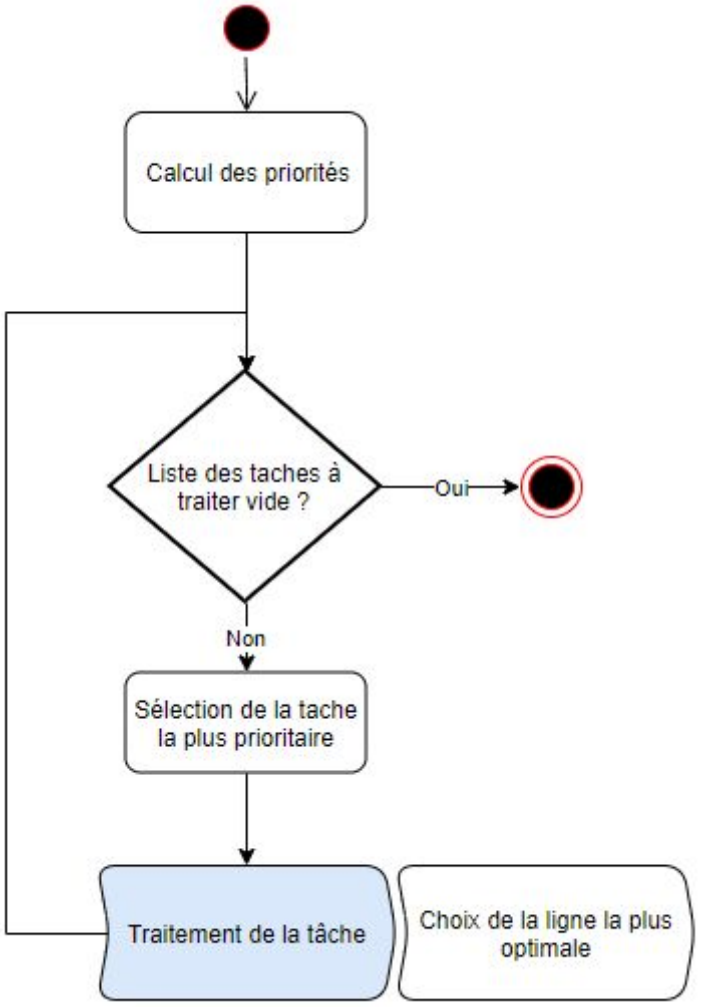
Tâche	Priorité
J1T1	13
J1T2	10
J1T3	3
J1T4	2
J2T1	27
J2T2	20
J2T3	9
J2T4	5

Ainsi, on exécutera la tâche J2T1 dans un premier temps, puis la tâche J1T1 etc...

Description en schéma

Voici la manière dont sont traitées chaque tâche :

- On va traiter à chaque fois la tâche la plus prioritaire dans notre liste de tâches.
- On détermine la machine sur laquelle doit s'exécuter notre tâche = la ligne ou le temps des tâches déjà exécutées plus le temps d'exécution sur la machine est le plus court.



Interprétation de cette méthode

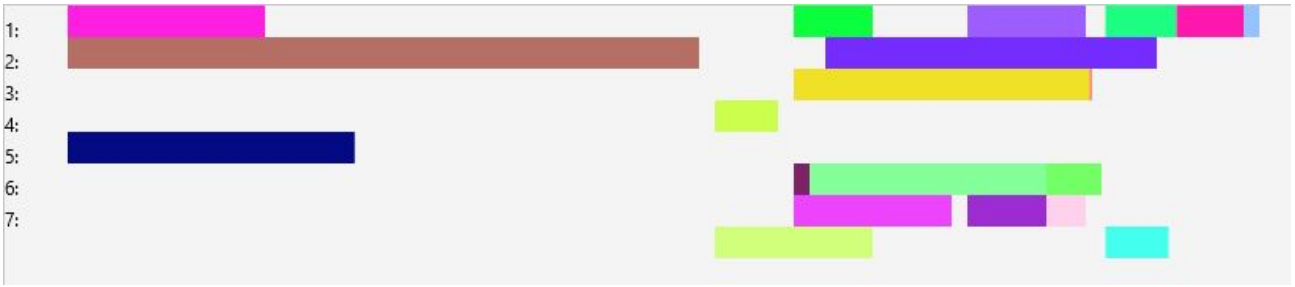
Voici la configuration que nous avons testé (la même que pour ALPHA):

```
Servers
    CPU = [40G, 10G, 8G]
    GPU = [25T, 11T]
    I/O = [2G, 2G, 5G]
Job 1 = [T12, T10, T3, T5, T11, T14, T8, T9, T1, T4, T2, T6, T7, T15, T13, T16]
    T1 = CPU, 400G, []
    T2 = CPU, 500G, []
    T3 = GPU, 100G, [T1, T2]
    T4 = I/O, 2G, [T3]
    T5 = I/O, 20G, [T3]
    T6 = I/O, 30G, [T3]
    T7 = CPU, 150G, [T3]
    T8 = CPU, 160G, [T3]
    T9 = CPU, 170G, [T3, T7]
    T10 = CPU, 180G, [T7]
    T11 = CPU, 210G, [T4]
    T12 = CPU, 300G, [T5, T4, T3]
    T13 = CPU, 200G, [T3, T2]
    T14 = I/O, 10G, [T5]
    T15 = I/O, 20G, [T7, T12, T13]
    T16 = I/O, 50G, [T1, T15]
Job 2 = [T2, T3, T4, T1]
    T1 = GPU, 200G, []
    T2 = CPU, 1T, [T1]
    T3 = I/O, 7G, [T2]
    T4 = I/O, 5G, [T1]
```

Voici la Timeline en quantum de temps générée :
En version console :

```
Beta Version :
1| ##############                                ######     ######## ###############
2| ########################################       ######################
3|                                               ####################
4|                                        #####
5| ###################
6|                                               ######################
7|                                               ######################
8|                                        ############             ####
```

En version graphique (JavaFX) afin de distinguer les différentes tâches :



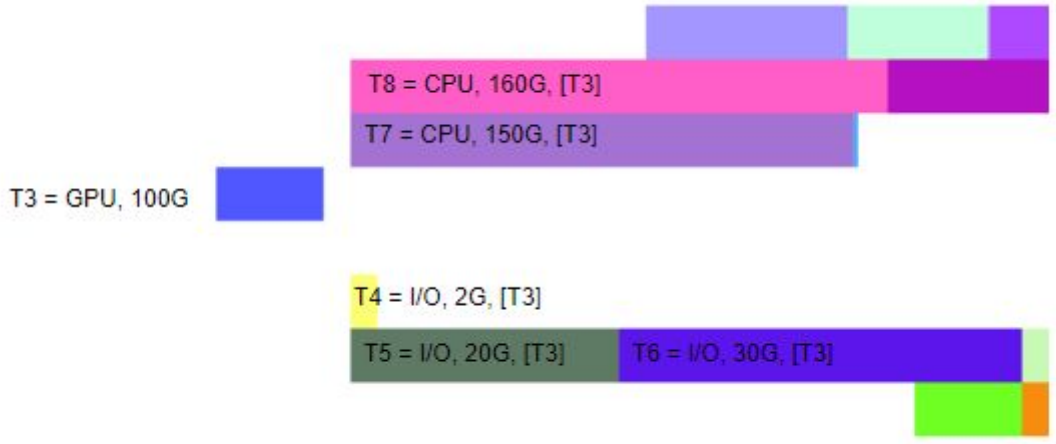
Le temps total renvoyé par cette méthode est de 79,5.

Voici l'affectation des tâches correspondantes :

```
Timeline
1|{CPU | 500G | Time : 12.5}{CPU | 200G | Time : 5.0}{CPU | 300G | Time : 7.5}{CPU | 180G | Time : 4.5}{CPU | 170G | Time : 4.25}{CPU | 160G | Time : 4.0}
2|{CPU | 400G | Time : 40.0}{CPU | 210G | Time : 21.0}
3|{CPU | 150G | Time : 18.75}{CPU | 1T | Time : 0.125}
4|{GPU | 100G | Time : 4.0}
5|{GPU | 200G | Time : 18.181818}
6|{I/O | 2G | Time : 1.0}{I/O | 30G | Time : 15.0}{I/O | 7G | Time : 3.5}
7|{I/O | 20G | Time : 10.0}{I/O | 10G | Time : 5.0}{I/O | 5G | Time : 2.5}
8|{I/O | 50G | Time : 10.0}{I/O | 20G | Time : 4.0}
```

On constate que cette méthode beta, **conserve bien l'exécution des tâches après leur prédécesseurs**. Prenons l'exemple de la tâche T3 du Job1. L'image précédente permet de relier la timeline obtenue avec l'affectation des tâches. On peut ainsi vérifier :

```
T3 = GPU, 100G, [T1, T2]
T4 = I/O, 2G, [T3]
T5 = I/O, 20G, [T3]
T6 = I/O, 30G, [T3]
T7 = CPU, 150G, [T3]
T8 = CPU, 160G, [T3]
```



Remarque : la timeline ci-dessous a été générée par une version de Beta moins optimisée, mais l'argument est exactement le même.

LOAD BALANCING

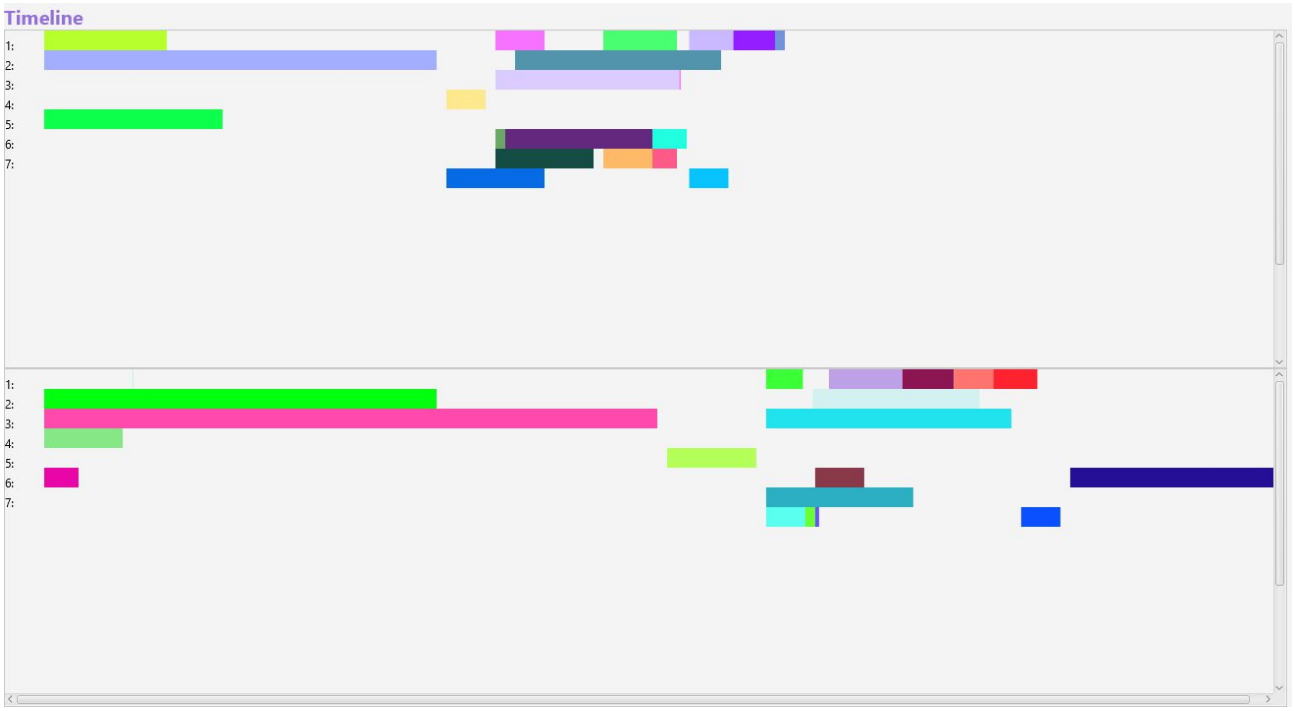
Nous avons par la suite mis en place une méthode de Load Balancing suivante.
Lorsque nous déterminons la ligne la plus optimale, si nous constatons que cette dernière est déjà beaucoup plus chargée qu'une autre, nous basculons l'attribution sur cette dernière. Ce choix se base sur le calcul d'un ratio entre le temps total déjà alloué de la tâches optimale et de celle qui pourrait la remplacer. Plus ce ratio est grand (supérieur à 3, 5 ou 10 selon le choix), plus il devient important de basculer sur la nouvelle ligne.

Benchmarking des méthodes

Résumé des résultats obtenus sur l'exemple :

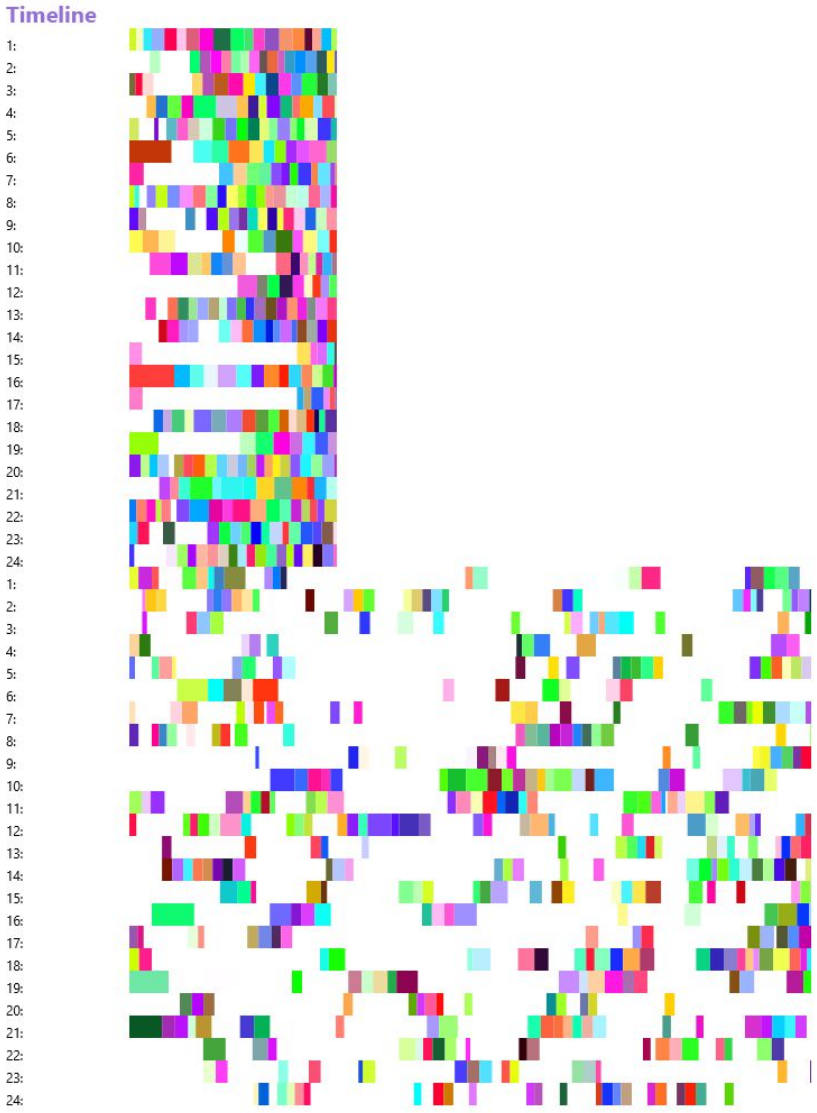
	Gamma	Alpha	Beta
Temps total de la timeline	129,75	Entre 85 et 158 environ	79,5
Temps de génération	0 à 5 ms	1 à 9 ms	6 à 9 ms

On peut comparer la version beta (en premier) et la version alpha (en deuxième) visuellement en considérant la Timeline graphique ci -dessous.



Comparaison de la répartition des tâches

Voici un exemple généré aléatoirement représentant ce à quoi on peut s'attendre en ce qui concerne la répartition de tâches. Les 24 premières lignes correspondent à BETA et les 24 suivantes à ALPHA. On constate que BETA est beaucoup plus compacte et "comble" davantage les vides entre les tâches.

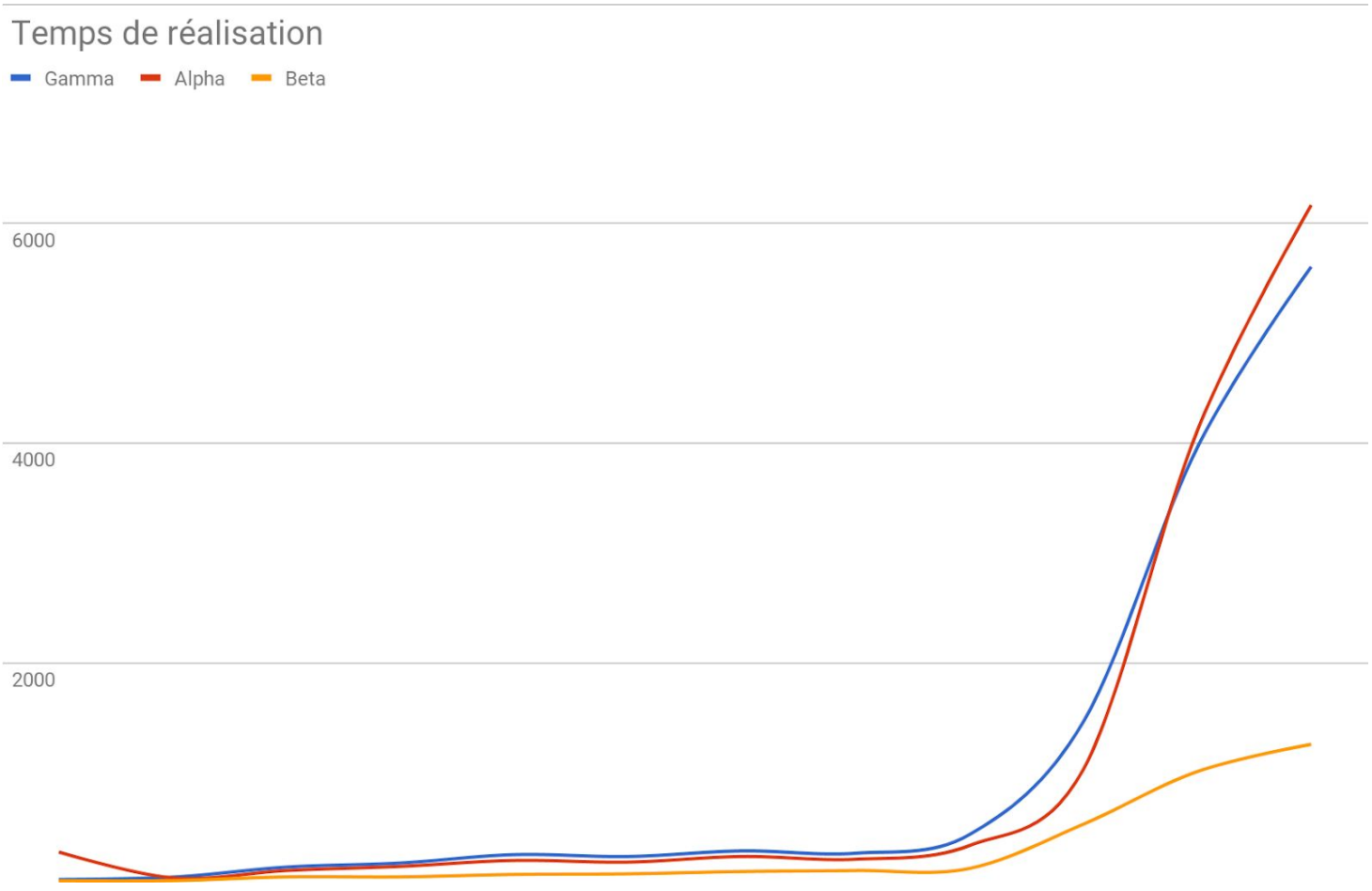


Comparaison asymptotique des Timeline obtenues

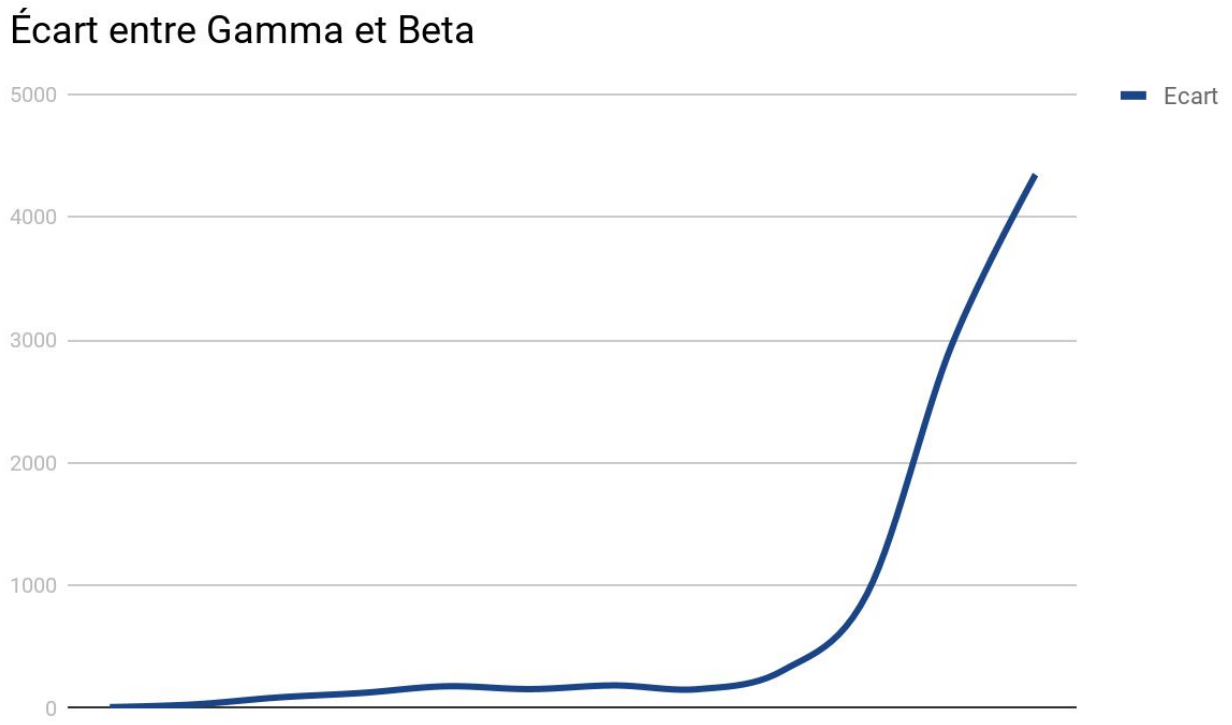
Le temps total de réalisation de toutes les tâches (que l'on peut déterminer en considérant la ligne de la timeline la plus longue) dépend :

- du nombre total de tâches
- de leur temps de réalisation (si la capacité est en T , en G ou en k)
- du nombre de machines disponibles
- de la dépendance entre les tâches (si une tâche longue par exemple précède un grands nombre de tâches)

Tous ces facteurs, s'ils sont grands, tendent à augmenter le temps total de la timeline. Le graphique suivant permet de démontrer que plus le temps total tend à grandir (quels qu'en soient les facteurs impliqués), plus la méthode Beta (en rouge) devient stratégiquement meilleure en terme de temps total trouvé sur la timeline que la méthode alpha (en bleu). Cela laisserait supposer que asymptotiquement, la méthode BETA sera toujours de plus en plus meilleur.



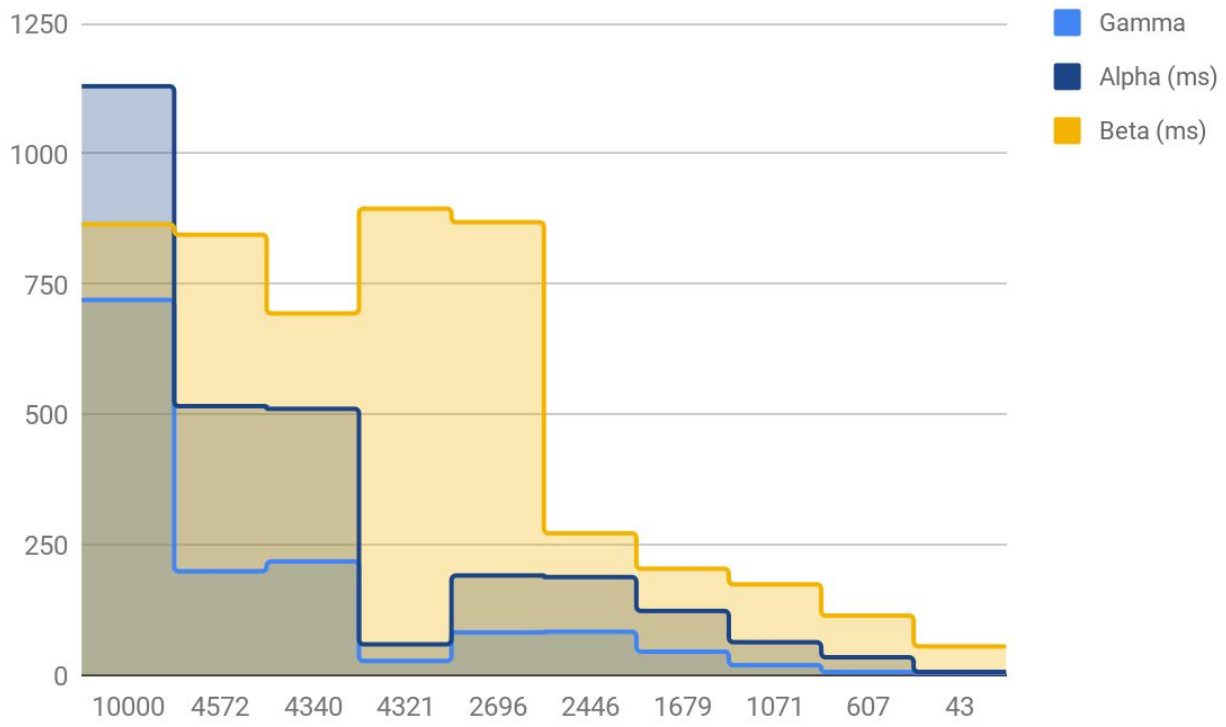
	Gamma	Alpha	Beta
320 Tasks	27	278	17
693 Tasks	50	43	18
2428 Tasks	141	110	52
3276 Tasks	178	147	52
4983 Tasks	254	201	74
2971 Tasks	237	186	80
4843 Tasks	288	237	101
1592 Tasks	267	212	110
3443 Tasks	438	338	129
3094 Tasks	1466	1033	532
4451 Tasks	3962	4116	1011



Remarque : Ici, nous avons choisi de désigner l'axe des abscisses par rapport au nombre de tâches, mais comme vous pouvez le constater, ce nombre a une influence partielle sur le temps de la Timeline. Il serait trop long de saisir tous les paramètres influenceurs.

Comparaison asymptotique des temps de génération des méthodes

Remarque : le temps de génération de la Timeline pour chaque méthode dépend également de l'ordinateur utilisé.



	Gamma	Alpha (ms)	Beta (ms)
10000	720	1130	865
4572	199	516	845
4340	218	511	694
4321	27	59	895
2696	82	191	869
2446	83	188	272
1679	45	123	204
1071	19	63	174
607	6	34	114
43	4	6	55

Cas exceptionnels : Voici quelques cas exceptionnels obtenus après beaucoups d'essais de configuration (avec beaucoup de dépendances notamment) où la fonction Beta est 4 fois plus lente.

```
Number total of tasks = 3963

Total time Beta = 52.96667
Execution Time Beta : 10796 ms
Total time Alpha = 132.3343
Execution Time Alpha : 410 ms
Total time Gamma = 174.44412
Execution Time Gamma : 161 ms
```

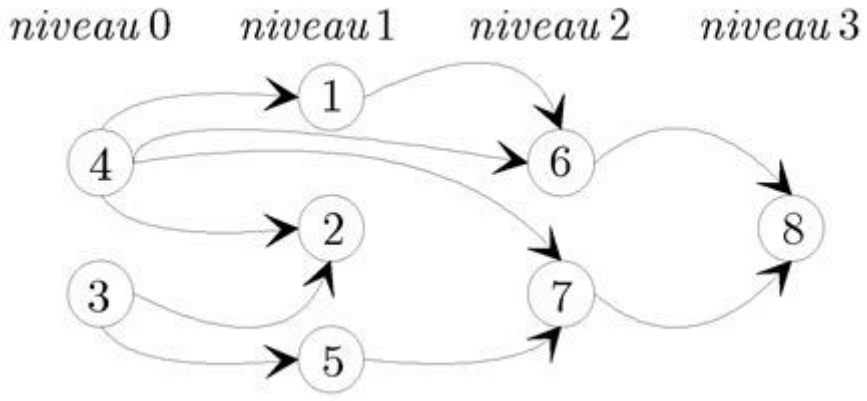
```
Number total of tasks = 4403

Total time Beta = 42.052635
Execution Time Beta : 17252 ms
Total time Alpha = 101.01372
Execution Time Alpha : 420 ms
Total time Gamma = 132.04605
Execution Time Gamma : 227 ms
```

Remarque : Nous avons aussi eu un cas particulier ou la génération par BETA était plus rapide que GAMMA. cette dernière était alors largement plus lente. Pour visualiser cet exemple, il est possible de tester le fichier input_scheduler10000.txt en modifiant le path de lecture de fichier.

Limites de Beta :

Beta est un algorithme glouton pour la résolution du problème NP-Complet de l'ordonnancement.
Les algorithmes gloutons présentent l'avantage d'une conception plus ou moins aisée à mettre en oeuvre et moins coûteuse qu'un algorithme brute de force. Puisqu'il consiste à choisir des solutions locales optimales du problème dans le but d'obtenir une solution optimale globale au problème.
Cependant, ils ne fourniront pas toujours la solution optimale au problème donné. Pour l'instant, BETA est la solution la plus optimale trouvée bien que plus coûteuse, cependant il serait possible de l'améliorer afin de la rendre plus optimale.
En effet, dans ce cas précis, la solution "locale" choisie ne sera pas forcément la meilleure solution à long terme. Par exemple, décider à court terme de mettre une tâche sur une machine plus rapide pour la réaliser plus vite pourrait bloquer la possibilité d'aller plus vite pour les tâches suivantes. Actuellement nous ne pouvons pas nous assurer que la solution optimale localement aura un impact plus positif qu'une autre globalement.

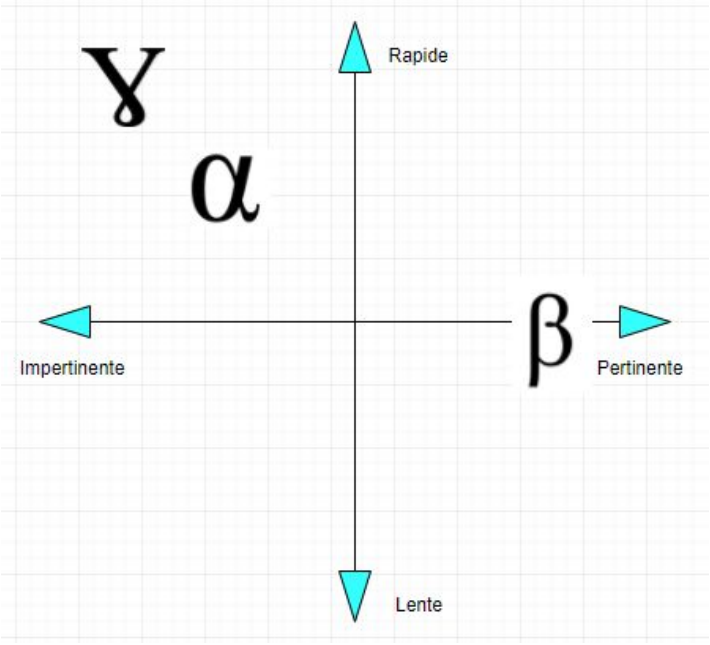
Méthode DELTA que nous avions commencé à développer :
Une autre méthode permettrait de résoudre plus rapidement ce système d'ordonnancement.
Elle repose sur la formalisation du problème sous forme de graphe orienté dans lequel les noeuds représente les tâches et les arcs la relation liant une tâche à son prédécesseur. La résolution du problème passerait par l'algorithme de fragmentation par niveaux de notre Graphe (voir l'image ci-dessous). On traiterait alors les tâches dans l'ordre des niveaux.



Résumé

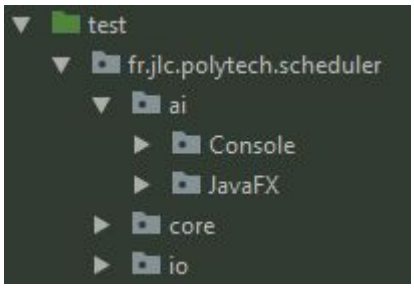
	Rapidité	Optimalité	Stabilité
Alpha	++++	++	+
Beta	++	++++	+++++ (Stable)
Gamma	+++++	+	+++++ (Stable)

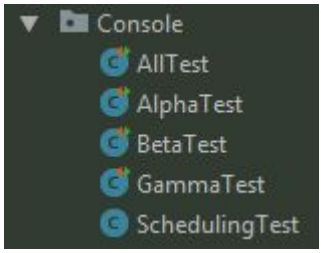
Meilleur résultat



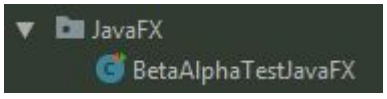
ANNEXE : Classes développées

IMPORTANT : Si vous souhaitez tester les méthodes : toute la visualisation des Timeline et la comparaison des méthodes s'effectue dans le package **test/[...]/ai/**





- AllTest permet d'effectuer et de comparer les 3 Méthodes simultanément.
- SchedulingTest n'est pas importante elle contient le setup() initial de test si l'option de génération de fichier n'est pas activée.



Cette classe permet de visualiser les Timeline en version graphique pour les méthodes alpha et beta.

Possibilités :

Nous sommes actuellement dans la classe **test/ai/AllTest.java**

Il existe différentes possibilités afin de tester les algorithmes. Lorsque vous laissez tout en commentaire, la configuration de Box basique (présente dans le SchedulingTest) sera utilisée.

```
@Test
void test_manage() {
    alpha = new Alpha();
    gamma = new Gamma();
    beta = new Beta();

    // We generate a new box of clusters
    //box = Generator.generateBox();
    //FileGenerator.generateFile(box);

    //Or we read one from a file
    //box = FileGenerator.readBox();

    System.out.println(FileGenerator.generateContent(box));
```

La partie commentée permet de gérer ces possibilités.

- générer une configuration (Box) uniquement et la tester.

```
// We generate a new box of clusters
box = Generator.generateBox();
//FileGenerator.generateFile(box);

//Or we read one from a file
//box = FileGenerator.readBox();
```

- générer une configuration, le fichier correspondant, puis la tester.

```
// We generate a new box of clusters
box = Generator.generateBox();
FileGenerator.generateFile(box);

//Or we read one from a file
//box = FileGenerator.readBox();
```

- lire un fichier input_scheduler.txt, en créer la box correspondante et la tester.

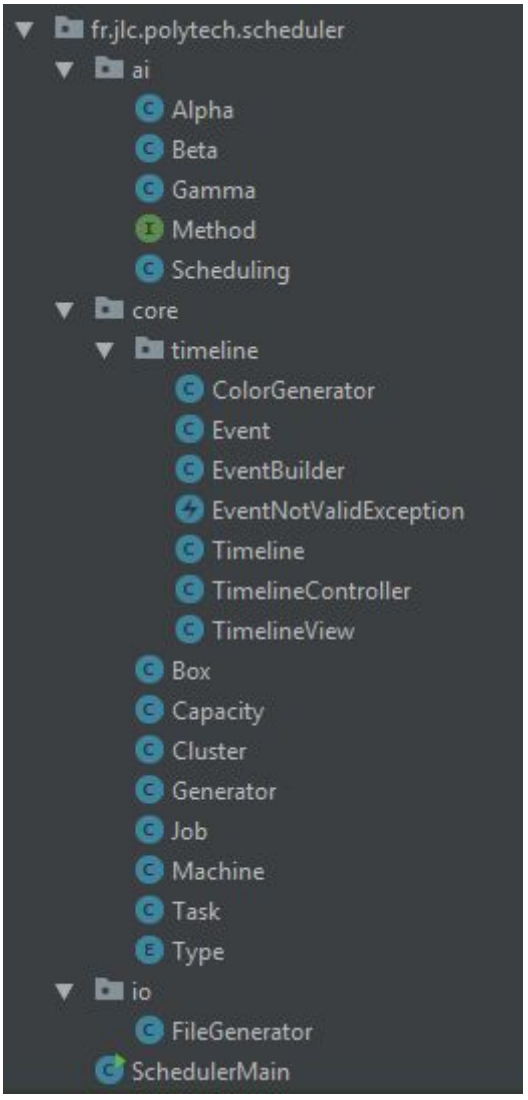
```
// We generate a new box of clusters
//box = Generator.generateBox();
//FileGenerator.generateFile(box);

//Or we read one from a file
box = FileGenerator.readBox();
```

STRUCTURE DU PROJET:

ai (Artificial Intelligence): Contient les 3 méthodes de scheduling développées. Ces dernières implémentent l'interface Method et héritent de la classe Scheduling qui contient les méthodes et les attributs communs.
core : timeline contient toutes les classes relatives à la Timeline console et graphique développées en JavaFX.
Les autres classes concernent les objets propres au problème (Box, Cluster, Task, Type, Capacity,...). Box contiendra des machines, des Jobs... Generator permettra de générer des Box avec la possibilité de choisir le nombre de Tâches par Job et le nombre de machines.

```
public class Generator {

    public static final int MAX_MACHINE = 100;
    public static final int MAX_JOB = 100;
    public static final int MAX_TASK = 100;

    public static final long MIN_CAPACITY = 0L;
    public static final long MAX_CAPACITY = 500L;
```

io (Input Output) : FileGenerator contient (cf première partie) toutes les fonctions relatives à la manipulation des fichiers. Afin de lire un fichier importé il faut penser à modifier la variable statique path afin de mettre le chemin de votre fichier de configuration.


fr.jlc.polytech.scheduler
ai
Alpha
Beta
Gamma
Method
Scheduling
core
timeline
ColorGenerator
Event
EventBuilder
EventNotValidException
Timeline
TimelineController
TimelineView
Box
Capacity
Cluster
Generator
Job
Machine
Task
Type
io
FileGenerator
SchedulerMain