Projet Trains et Circuits – Nicolas Sempéré

Remarque : les fichiers LTS (situés dans le dossier « Fichier LTS ») contiennent des commentaires et des informations pertinentes pour comprendre le fonctionnement de l'implémentation en Java.

Table des matières

Exercice 1 - Le comportement d'un train 1

Exercice 2 (Partie A) - Plusieurs trains sur la ligne 4

Exercice 2 (Partie B) - Contrôleur 5

Exercice 3 - Éviter les interblocages 7

Exercice 4 - Gare intermédiaire 8

Exercice 1 - Le comportement d'un train

⊳ Question 1.1 : Dans le diagramme de classes précédent, quel sera le rôle de chaque classe dans la réalisation du déplacement d'un train ?

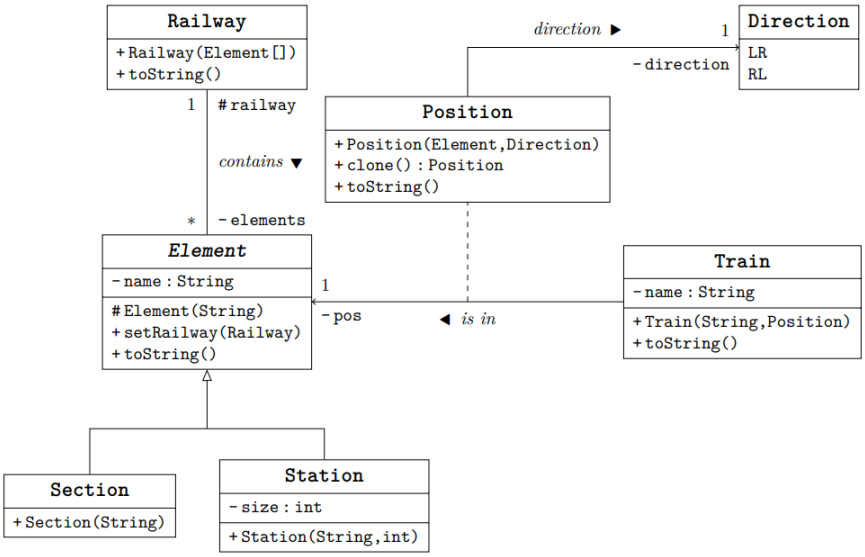


Diagramme de classe initial (fourni dans le sujet)

La **classe Train** va avoir un comportement actif : on lui ajoute des méthodes lui permettant de se déplacer.

La **classe Position** permet de commander le déplacement du train : en fonction de sa position et de sa direction.

La **classe Railway** permet de définir la ligne de chemin de fer (composée d'éléments), sur lesquels le train se déplace.

Le chemin de fer (**classe Railway**) est de la forme suivante : Gare A – Section 2 – Section 3 – Gare B. Les trains (**classe Train**) sont initialement en Gare A. Le déplacement (**classe Position**) d'un train est le suivant : il part de la Gare A, arrive en Section 2, puis en Section 3, et enfin en Gare B ; il fait ensuite demi-tour, arrive en Section 3, puis en Section 2, et enfin en Gare A ; fait demi-tour et répète ce mouvement.

⊳ Question 1.2 : Modifiez le diagramme de classes initial en ajoutant les méthodes et/ou attributs nécessaires à la réalisation du déplacement d'un train.

Les méthodes et attributs ajoutées sont écrits en bleu.

Diagramme de classe – Déplacement d'un unique train

Pour réaliser le déplacement d'un train :

Dans la classe "**train**", la méthode "**atteindre**()" est appelée :

- la méthode "**arriver**()" de la classe **Position** vérifie où le train peut se rendre (en fonction de sa position courante et de sa direction) ; on utilise notamment la méthode « **getIndexOfElement**() » de la classe **Railway** pour réaliser cette vérification.

Dans la classe "**train**", la méthode "**partir**()" est appelée :

- la méthode "**quitter**()" de la classe **Position** réalise concrètement le déplacement (la position du train est changée via cette méthode).

- les méthodes "**getElementLR**()" et "**getElementRL**()" de la classe **Railway** permettent d'obtenir la nouvelle position du train.

⊳ Question 1.3 : Donnez le code des méthodes identifiées. Pour valider le bon fonctionnement de vos méthodes, vous pouvez afficher l'état du train chaque fois qu'il change de position.

Les méthodes ajoutées sont toutes dans le dossier src/train, elles sont répertoriées ci-dessous.

Train	Position	Element	Railway
atteindre()	**arriver()**	**newTrain()**	**getElementLR()**
partir()	**quitter()**	**leaveTrain()**	**getElementRL()**
		getName()	**getIndexOfElement()**

Méthodes ajoutées pour réaliser le déplacement d'un train

On ajoute la méthode "**getName**()" à la classe **Element** afin d'afficher la position du train à tout instant.

On appelle les méthodes **atteindre**() et **partir**() 20 fois dans le **Main**. La position et la direction du train sont affichées dès que la position est modifiée.

Le comportement du train est celui attendu : il part de la gare A, rejoint la gare B, fait demi-tour, rejoint la gare A, puis recommence ce parcours (cf figure ci-dessous).

```
The railway is: GareAvantDeploiement--GareA--S2--S3--S4--GareB
Train[1] is on GareA going gauche-droite
Le train sort de GareA et entre dans S2 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S2 et entre dans S3 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S3 et entre dans S4 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S4 et entre dans GareB Sa direction est gauche-droite
Le train sort de GareB et entre dans S4 Sa direction est droite-gauche
Le train sort de S4 et entre dans S3 Sa direction est droite-gauche
Le train sort de S3 et entre dans S2 Sa direction est droite-gauche
Le train sort de S2 et entre dans GareA Sa direction est droite-gauche
Le train sort de GareA et entre dans S2 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S2 et entre dans S3 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S3 et entre dans S4 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S4 et entre dans GareB Sa direction est gauche-droite
Le train sort de GareB et entre dans S4 Sa direction est droite-gauche
Le train sort de S4 et entre dans S3 Sa direction est droite-gauche
Le train sort de S3 et entre dans S2 Sa direction est droite-gauche
Le train sort de S2 et entre dans GareA Sa direction est droite-gauche
Le train sort de GareA et entre dans S2 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S2 et entre dans S3 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S3 et entre dans S4 Sa direction est gauche-droite
Le train sort de S4 et entre dans GareB Sa direction est gauche-droite
```

Exemple d'exécution du Main de l'exercice 1.

Exercice 2 (Partie A) - Plusieurs trains sur la ligne

⊳ Question 2.1 : Modifiez votre programme pour qu'il puisse y avoir plusieurs trains actifs (en déplacement) sur la ligne.

La **classe Train** implémente à présent **l'interface Runnable**. On ajoute dans la **classe Main** plusieurs instanciations de threads de la classe Train. On complète la **méthode** « **run**() » de la classe Train pour qu'il se déplace : les méthodes « atteindre() » et « partir() » sont appelées 15 fois successivement.

Cependant, les trains peuvent :

- être plus nombreux dans une gare que son nombre de quais (**Résolution en Partie A de l'exercice 2**),

- se retrouver à plusieurs sur la même section de rails (**Résolution en Partie A de l'exercice 2**),

- se doubler et se croiser (**Résolution en Partie B de l'exercice 2**).

Question 2.2 : Identifiez les variables qui permettent d'exprimer l'invariant de sûreté pour la ligne de trains.

Il y a deux invariants de sûreté à assurer (cf le sujet du projet) :

- le nombre de trains maximum dans une gare est égal au nombre de quais de la gare,
- dans une section il y a au maximum un train.

Le premier est assuré dans la **classe Gare** : grâce aux **attributs size** et **quaisDispos** (des entiers).

Le second est assuré dans la **classe Section** : grâce à **l'attribut sectionDispo** (booléen).

⊳ Question 2.3 : À l'aide des variables identifiées, exprimez l'invariant de sûreté.

L'expression du premier invariant est la suivante : **0 <= quaisDispos <= size**.

Le deuxième invariant n'est pas vérifié dans le code Java : on utilise uniquement une condition d'attente qui est réalisée grâce à **l'attribut sectionDispo**.

⊳ Question 2.4 : Quelles sont les actions « critiques » que peut effectuer un train ?

Les deux actions critiques que peut effectuer un train sont « **newTrain**() » et « **leaveTrain**() » : le train arrive dans un élément (gare ou section), ou le quitte. Ces deux méthodes sont appelées dans la **classe Position**, dans les méthodes **quitter()** et **arriver()**.

⊳ Question 2.5 : Dans quelles classes ces actions doivent être ajoutées ?

Ces deux méthodes sont ajoutées dans la **classe abstraite Element**, puis redéfinies respectivement dans les **classes Gare** et **Section**.

⊳ Question 2.6 : Selon la méthode de construction d'une solution de synchronisation donnée plus haut, quelles autres méthodes faut-il ajouter et dans quelle classe ?

On ajoute les trois méthodes suivantes à la **classe Gare** :

- canNewTrain () : boolean
- canLeaveTrain() : boolean
- invariant() : boolean

⊳ Question 2.7 : Ajoutez les méthodes identifiées dans les classes correspondantes.

Voir les **méthodes** des **classes Position, Element, Section, Gare.**

Exercice 2 (Partie B) - Contrôleur

Cependant, les trains peuvent toujours se doubler et se croiser. Cela est une conséquence de la décomposition en deux étapes du déplacement d'un train : il quitte tout d'abord un élément, puis il arrive à l'élément suivant.

Exemple illustrant la possibilité de se croiser :

On considère la situation suivante (la ligne est : « Gare A – Section 2 – Section 3 – Gare B ») :

- Un Train 1 se positionne en Section 3, en direction de la Section 2.
- Un Train 2 se positionne en Section 2, en direction de la Section 3.
- Le Train 1 quitte la Section 3.
- Le Train 2 quitte la Section 2.
- *Les deux sections (2 et 3) se retrouvent alors vides (des trains peuvent y arriver).*
- Le Train 2 arrive en Section 3.
- Le Train 1 arrive en Section 2.

➔ **Les deux trains se sont croisés.**

Exemple illustrant la possibilité de se doubler :

On considère la situation suivante (la ligne est : « Gare A – Section 2 – Section 3 – Gare B ») :

- Un Train 1 se positionne en Section 2, en direction de la Section 3.
- Un Train 2 se positionne en Gare A, en direction de la Section 2.
- Le Train 1 quitte la Section 2.
- *La section 2 se retrouve alors vide (un train peut y arriver).*
- Le Train 2 quitte la Gare A.
- Le Train 2 arrive en Section 2.
- Le Train 2 quitte la Section 2.
- Le Train 2 arrive en Section 3.

➔ **Le Train 2 a doublé le Train 1.**

Solution : processus « Controller » en FSP et attribut « Controller » dans la classe Railway.

Un **contrôleur** (*cf le fichier LTS de l'exercice 2*) est ajouté. Il est implémenté en Java sous la forme d'une classe nommée « **controller** ». Le contrôleur consiste en un tableau d'entiers (valant 0 ou 1). A chaque élément de ce tableau correspond une **liaison** (représentée par un tiret « - ») entre deux éléments de la ligne de chemin de fer. Chaque élément de ce tableau empêche deux trains de se retrouver sur la même liaison.

Par exemple : si la ligne est : « Gare A – Section 2 – Section 3 – Gare B », alors **controller** est initialement [1,1,1]. Lorsqu'un train quitte la Section 2, vers la Section 3, il modifie le **controller** (**méthode inUse()**) qui vaut alors [1,0,1], empêchant tout autre train de quitter la Section 3 vers la Section 2. Lorsque le train arrive en Section 3, il modifie à nouveau le **controller** (**méthode free()**), qui vaut enfin [1,1,1].

Les méthodes **inUse**() et **free**() sont **synchronisées**, et ont une condition d'attente similaire à celles vues précédemment dans la **classe Section**.

Ce contrôleur permet donc d'atteindre un interblocage (souhaité), empêchant des trains de se croiser ou se doubler. En reprenant l'exemple des trains qui se croisent : lorsque le Train 1 quitte la Section 3, le système atteint un interblocage : comportement souhaité étant donné que deux trains ne doivent

pas se croiser (le Train 3 ne peut pas arriver en Section 2 car le Train 2 s'y trouve, et le Train 2 ne peut pas quitter la Section 2 car le contrôleur l'en empêche).

⊳ Question 2.8 : Modifiez maintenant le comportement d'un train pour qu'il utilise les méthodes ajoutées. Testez le bon fonctionnement de votre solution en démarrant l'exécution d'un, puis de deux, puis de trois trains.

Pour observer le comportement du code Java a l'exercice 2, il suffit de lancer le Main.

Le comportement du programme est celui attendu : les trains ne se doublent pas, ne se croisent pas, et respectent le nombre maximal de trains qu'il peut y avoir sur chaque élément. Un interblocage finit par être atteint.

```
The railway is: GareAvantDeploiement--GareA--S2--S3--S4--GareB
------------------>Le train 1 arrive en GareA
------------------>Le train 1 quitte GareA
------------------>Le train 1 arrive en S2
------------------>Le train 3 arrive en GareA
------------------>Le train 1 quitte S2
------------------>Le train 3 quitte GareA
------------------>Le train 3 arrive en S2
------------------>Le train 1 arrive en S3
------------------>Le train 2 arrive en GareA
------------------>Le train 1 quitte S3
------------------>Le train 1 arrive en S4
------------------>Le train 3 quitte S2
------------------>Le train 3 arrive en S3
------------------>Le train 3 quitte S3
------------------>Le train 2 quitte GareA
------------------>Le train 1 quitte S4
------------------>Le train 2 arrive en S2
------------------>Le train 1 arrive en GareB
------------------>Le train 3 arrive en S4
------------------>Le train 2 quitte S2
------------------>Le train 2 arrive en S3
------------------>Le train 1 quitte GareB
------------------>Le train 2 quitte S3
```

Exemple d'exécution du Main de l'exercice 2.

Exercice 3 - Éviter les interblocages

⊳ Question 3.1 : Identifiez les variables qui permettent d'exprimer la nouvelle condition.

Pour éviter l'interblocage qui survient en fin d'exercice 2, un processus **CONTROLLER_AB** est créé en **FSP**, et une **classe ControllerAB** est créée en **Java**. Ce contrôleur empêche l'ensemble des trains de s'engager sur la ligne dans des sens opposés.

On ajoute deux **attributs** à la **classe ControllerAB** : **nbrTrainsLR** et **nbrTrainsRL**. Ces attributs (des entiers), correspondent au nombre de trains engagés entre les gares A et B. Le premier correspond au nombre de trains engagés dans le sens gauche-droite, le second correspond au sens droite-gauche.

⊳ Question 3.2 : À l'aide des nouvelles variables, identifiez la nouvelle condition pour l'invariant de sûreté.

L'invariant de sûreté est le suivant :

$$\begin{cases} \mathbf{nbrTrainsLR} > \mathbf{0} \Rightarrow \mathbf{nbrTrainsRL} = \mathbf{0} \\ \mathbf{nbrTrainsRL} > \mathbf{0} \Rightarrow \mathbf{nbrTrainsLR} = \mathbf{0} \end{cases}$$

⊳ Question 3.3 : Quelle est la classe responsable de la gestion de ces variables ?

La classe responsable de la gestion de ces variables est la **classe ControllerAB**.

⊳ Question 3.4 : Utilisez la méthode de construction d'une solution de synchronisation présentée dans l'exercice précédent pour tenir compte de cette nouvelle condition.

On ajoute **sept méthodes** dans la **classe ControllerAB** :

- **newTrainLR**() : un train s'engage sur la ligne, dans le sens gauche-droite
- **newTrainRL**() : un train s'engage sur la ligne, dans le sens droite-gauche
- **arrivedTrainLR**() : un train arrive en gare B
- **arrivedTrainRL**() : un train arrive en gare A
- **canNewTrainLR**() : condition d'attente pour un train s'engageant dans le sens gauche-droite
- **canNewTrainRL**() : condition d'attente pour un train s'engageant dans le sens droite-gauche
- **invariant**() : vérifications quant à l'invariant

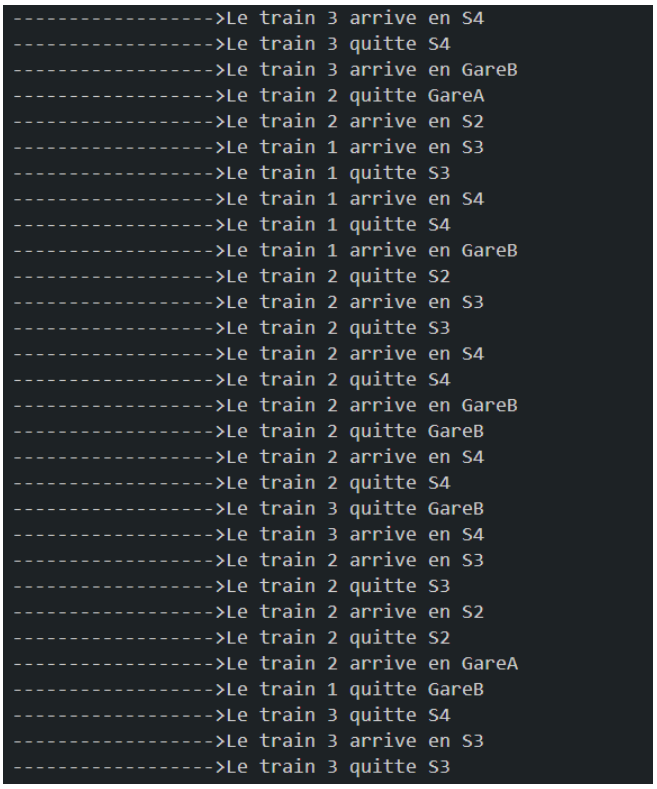
Les quatre premières méthodes : **newTrainLR**(), **newTrainRL**(), **arrivedTrainLR**(), **arrivedTrainRL**() sont **publiques** et **synchronisées**. Elles sont **appelées** depuis la **classe Position**.

⊳ Question 3.5 : Modifiez les méthodes leave et enter de la classe Section pour tenir compte de la nouvelle condition. Testez votre solution.

Dans l'implémentation faite, la **classe Section** n'est pas modifiée. On utilise uniquement la **liaison dynamique** : la **classe Position** possède un **attribut ControllerAB**.

Cette solution fonctionne comme attendu : si les gares possèdent suffisamment de quais (plus que le nombre de train), le système ne possède plus d'interblocage.

L'exécution du Main est « infinie », c'est-à-dire que les trains se déplacent jusqu'à ce qu'on arrête manuellement le programme.



Exemple d'exécution du Main de l'exercice 3.

Cependant, s'il y a plus de trains que de quais par gare, le système se bloque : un train se retrouve en chemin vers une gare, qui se remplie durant son parcours. Ce problème est réglé en exercice 4.

Exercice 4 - Gare intermédiaire

⊳ Question 4.1 : Modifiez votre code pour permettre d'ajouter des gares intermédiaires

On modifie le main (ajout de sections et de la gare M).

La ligne de chemin de fer est maintenant de la forme :

Gare A – Section 2 – Section 3 – Gare M – Section 5 – Section 6 – Gare B.

La Gare M possède QM quais.

⊳ Question 4.2 : Constatez que vous devez ajouter un nouvel invariant de sûreté pour éviter un interblocage si la gare intermédiaire a n places et qu'il y a n + 2 trains. Déterminer ce nouvel invariant.

On arrive dans un interblocage lorsque :

- Un train est en déplacement gauche-droite vers la gare du milieu.
- Un train est en déplacement droite-gauche vers la gare du milieu.
- La gare du milieu est pleine (elle contient QM train à quai).

Pour éviter cet interblocage, on ajoute un troisième contrôleur « controller_milieu » (cf le fichier LTS de l'exercice 4). Ce contrôleur permet d'avoir au maximum QM trains en déplacement entre les gares A et B.

On ajoute **quatre méthodes** à la **classe ControllerMilieu** :

- **newTrainToM**() : un train s'engage sur la ligne, depuis la gare A ou la gare B
- **arrivedTrainFromM**() : un train atteint la gare A ou la gare B.
- **canNewTrainToM**() : condition d'attente pour un train s'engageant sur la ligne
- **invariant**() : vérifications quant à l'invariant

Les deux premières méthodes : **newTrainToM**(), **arrivedTrainFromM**(), sont **publiques** et **synchronisées**. Elles sont **appelées** depuis la **classe Position**.

On compte donc le nombre de trains qui s'engagent sur la ligne en direction de M (ceux qui sortent de la gare A, et ceux qui sortent de la gare B). Ce nombre est un **attribut** de la **classe ControllerMilieu** nommé **nbrTrainsToM.**

L'invariant est : **nbrTrainsToM <= QM.** (Où QM est le nombre de quais de la gare M).

⊳ Question 4.3 : Modifiez votre code pour l'assurer.

Le code fonctionne comme attendu. La gare du milieu ne provoque plus d'interblocage.

```
------------------>Le train 3 quitte S7
------------------>Le train 3 arrive en S6
------------------>Le train 3 quitte S6
------------------>Le train 3 arrive en GareM
------------------>Le train 2 arrive en GareA
------------------>Le train 1 quitte GareA
------------------>Le train 1 arrive en S2
------------------>Le train 1 quitte S2
------------------>Le train 1 arrive en S3
------------------>Le train 1 quitte S3
------------------>Le train 1 arrive en S4
------------------>Le train 1 quitte S4
------------------>Le train 1 arrive en GareM
------------------>Le train 1 quitte GareM
------------------>Le train 1 arrive en S6
------------------>Le train 1 quitte S6
------------------>Le train 3 quitte GareM
------------------>Le train 3 arrive en S4
------------------>Le train 3 quitte S4
------------------>Le train 3 arrive en S3
------------------>Le train 3 quitte S3
------------------>Le train 3 arrive en S2
------------------>Le train 3 quitte S2
------------------>Le train 3 arrive en GareA
------------------>Le train 1 arrive en S7
------------------>Le train 1 quitte S7
------------------>Le train 1 arrive en S8
------------------>Le train 1 quitte S8
------------------>Le train 2 quitte GareA
------------------>Le train 2 arrive en S2
------------------>Le train 3 quitte GareA
------------------>Le train 1 arrive en GareB
------------------>Le train 2 quitte S2
------------------>Le train 2 arrive en S3
------------------>Le train 2 quitte S3
------------------>Le train 2 arrive en S4
------------------>Le train 2 quitte S4
------------------>Le train 2 arrive en GareM
```

Exemple d'exécution du Main de l'exercice 4.