

TheoryGraphT : Rapport de Projet

Auteurs : Yannis BOUTALEB - Florian DE SOUSA

(Pour une meilleure lisibilité du rapport, il est conseillé de le lire sur GitHub ou un interpréteur markdown. Vous avez tout de même un pdf à disposition, mais il risque d'être moins lisible.)

Github du projet : <https://github.com/lanouu1/TheoryGraphT>

1/ Contexte et objectifs

TheoryGraphT est une application web permettant de visualiser les algorithmes de graphes étudiés en cours. Elle implémente les algorithmes suivants :

- Parcours en largeur (BFS)
 - Parcours en profondeur (DFS)
 - Dijkstra
 - Kruskal
 - Prim
 - Floyd-Warshall
-

2/ Technologies utilisées & Architecture du projet

Pour ce projet, nous avons choisi de le réaliser en utilisant les technologies suivantes :

2.1/ Back-end

- **Java 17** : pour le développement back-end, car il s'agit du langage qu'on maîtrise le mieux
- **Spring Boot / Swagger**: pour exposer une API REST permettant de communiquer avec le front-end
- **Maven** : pour la gestion des dépendances et la construction du projet

2.2/ Front-end

- **Vite / React** : Pour le front-end de l'application web
- **Node.js** : pour gérer les dépendances front-end et lancer le serveur front-end
- **d3.js** : pour la visualisation dynamique des graphes et des résultats des algorithmes

2.3/ Architecture back-end

L'architecture **back-end** adoptée pour ce projet suit une organisation modulaire afin de séparer clairement les responsabilités. Nous retrouvons ainsi les couches suivantes :

- Contrôleur
- Modèle
- Service
- Utilitaires

Cette structure favorise la lisibilité, la maintenabilité et l'évolutivité du code en isolant la logique métier, les modèles de données et les points d'entrée de l'API.

2.3.1/ Contrôleur

Cette couche expose les endpoints de l'API que nous avons créé pour le projet. Elle reçoit des requêtes HTTP du frontend et renvoie les réponses appropriées pour être interprétées visuellement.

2.3.2/ Modèle

Cette couche regroupe les structures de données principales utilisées dans l'application. Particulièrement celle représentant le graphe, les sommets et les arêtes.

```
public class Vertex {  
    private String name;  
}
```

```
public class Edge {  
    private Vertex source;  
    private Vertex target;  
    private int weight;  
}
```

```
public class Graph {  
    private Vertex[] vertices;  
    private Edge[] edges;  
    private Map<Vertex, List<Edge>> adjacencyList;  
}
```

Elle contient également d'autres classes pour faciliter la manipulation des graphes et des résultats des algorithmes.

2.3.3/ Service

Cette couche implémente les algorithmes de graphes étudiés (BFS, DFS, Dijkstra, Kruskal, Prim, Floyd-Warshall). Certains algorithmes ont des méthodes supplémentaires afin d'afficher plus de détails sur leur exécution (matrices, tableaux, etc.)

2.3.4/ Utilitaires

Cette couche met à disposition des outils complémentaires pour le projet, tels que le chargement JSON et des fonctions utilitaires diverses.

3/ Dépendances & Déploiement du projet

3.1/ Back-end

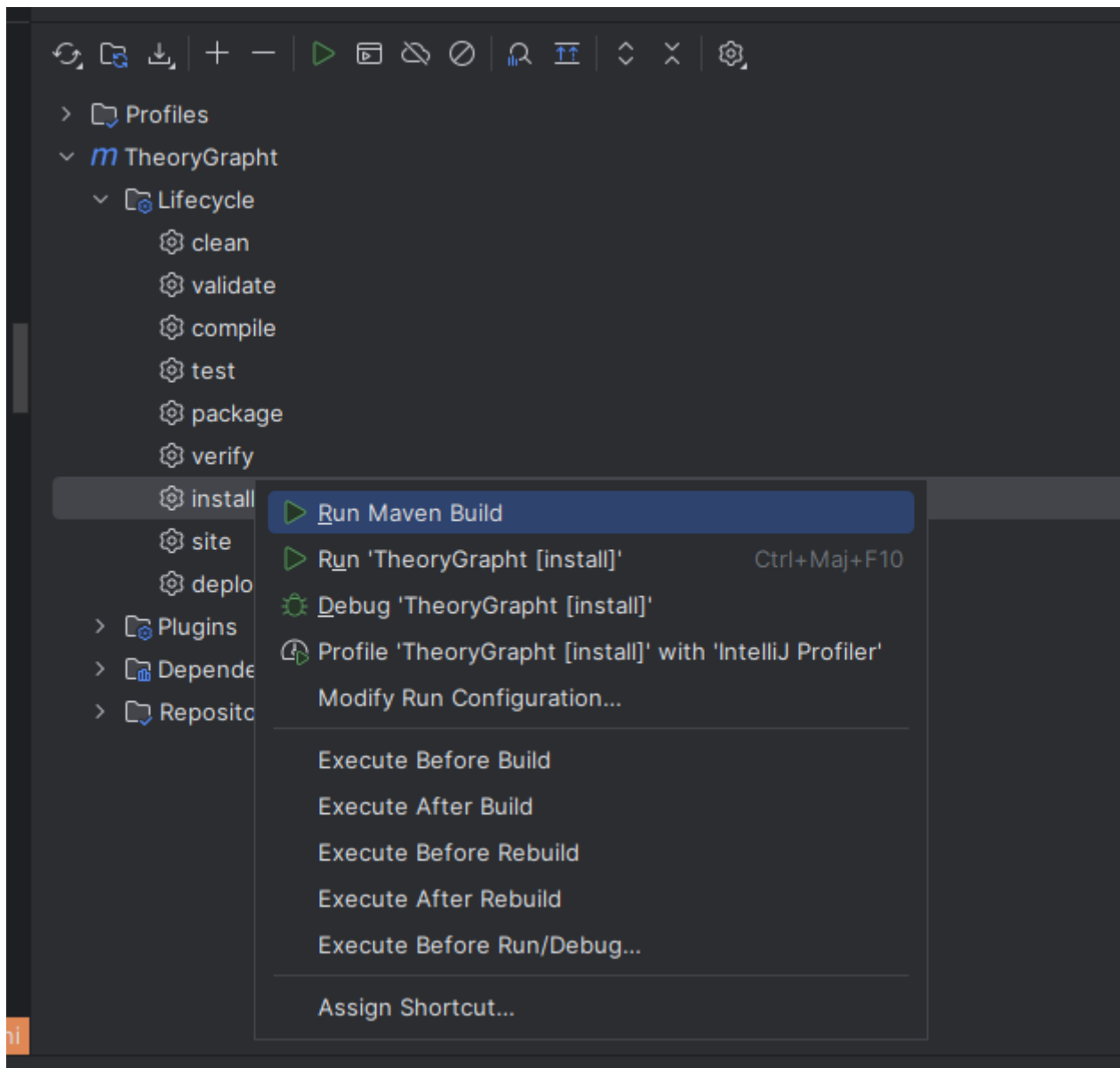
Pour démarrer le projet, il est nécessaire d'installer les dépendances requises. A savoir :

- Java 17
- Maven
- Node.js et npm

Le projet utilise Maven pour la gestion des dépendances. Pour installer les dépendances, exécutez la commande suivante dans le répertoire du projet :

```
mvn clean install
```

Alternativement, vous pouvez utiliser l'interface graphique de IntelliJ IDEA pour installer les dépendances Maven :



Il faut aussi ensuite lancer la classe Main.java afin de démarrer le serveur Spring Boot.

3.2/ Front-end

Enfin, il faut installer les dépendances front-end en se plaçant dans le dossier "**frontend**" et en exécutant la commande suivante :

```
npm install
```

Maintenant, toujours dans le dossier "**frontend**", lancez le serveur de développement avec la commande :

```
npm run dev
```

Ainsi un Swagger est disponible à l'adresse <http://localhost:8080/swagger-ui.html> pour tester l'API. Vous pouvez consulter les routes mises à disposition ainsi que leur documentation.

graph-controller		^
POST	/prim	▼
POST	/kruskal	▼
POST	/floydWarshall	▼
POST	/floydWarshall/matrices	▼
POST	/dijkstra	▼
POST	/dfs	▼
POST	/bfs	▼
POST	/bellmanFord	▼
POST	/bellmanFord/table	▼

Cette API met à disposition les endpoints des algorithmes implémentés dans le projet, en plus de quelques endpoints complémentaires pour avoir des résultats tel que des matrices ou tableaux.

Le front-end de l'application est quant à lui accessible à l'adresse <http://localhost:5173>.

4/ Structure des graphes en JSON

4.1/ Graphes non-orientés

La structure JSON des graphes **non-orientés** utilisée dans le projet veut qu'on déclare chaque arête dans les deux sens. Par exemple, le **graphe complet** suivant :

```
{
  "A": [
    {
      "target": "B",
      "distance": 5
    }
  ]
}
```

```
    },
    {
      "target": "C",
      "distance": 10
    }
  ],
  "B": [
    {
      "target": "A",
      "distance": 5
    },
    {
      "target": "C",
      "distance": 3
    }
  ],
  "C": [
    {
      "target": "A",
      "distance": 10
    },
    {
      "target": "B",
      "distance": 3
    }
  ]
}
```

4.2/ Graphes orientés

La structure JSON des graphes **orientés** utilisée dans le projet veut qu'on déclare chaque arc tel que le **graphe orienté** suivant :

```
{
  "A": [
    {
      "target": "B",
      "distance": 5
    },
    {
      "target": "C",
      "distance": 10
    }
  ],
  "B": [
    {
      "target": "C",
      "distance": 3
    }
  ],
}
```

```
"C": []
}
```

4.3/ Outil front-end d'import de graphes JSON

Pour faciliter le changement de graphes, nous avons implémenté un outil coté front-end pour importer des JSON de graphes.

Graphe (JSON)

non orienté

```
{
  "Rennes": [
    {
      "target": "Bordeaux",
      "distance": 130
    },
    {
      "target": "Caen",
      "distance": 75
    },
    {
      "target": "Nantes",
      "distance": 45
    },
    {
      "target": "Paris",
      "distance": 110
    }
  ]
}
```

Recharger

Mode non orienté : VEILLEZ À BIEN AVOIR LES ARÊTES DANS LES DEUX SENS DANS LE JSON.

5/ Algorithmes implémentés

Cette section présente le principe, la complexité et les cas d'usage de chaque algorithme.

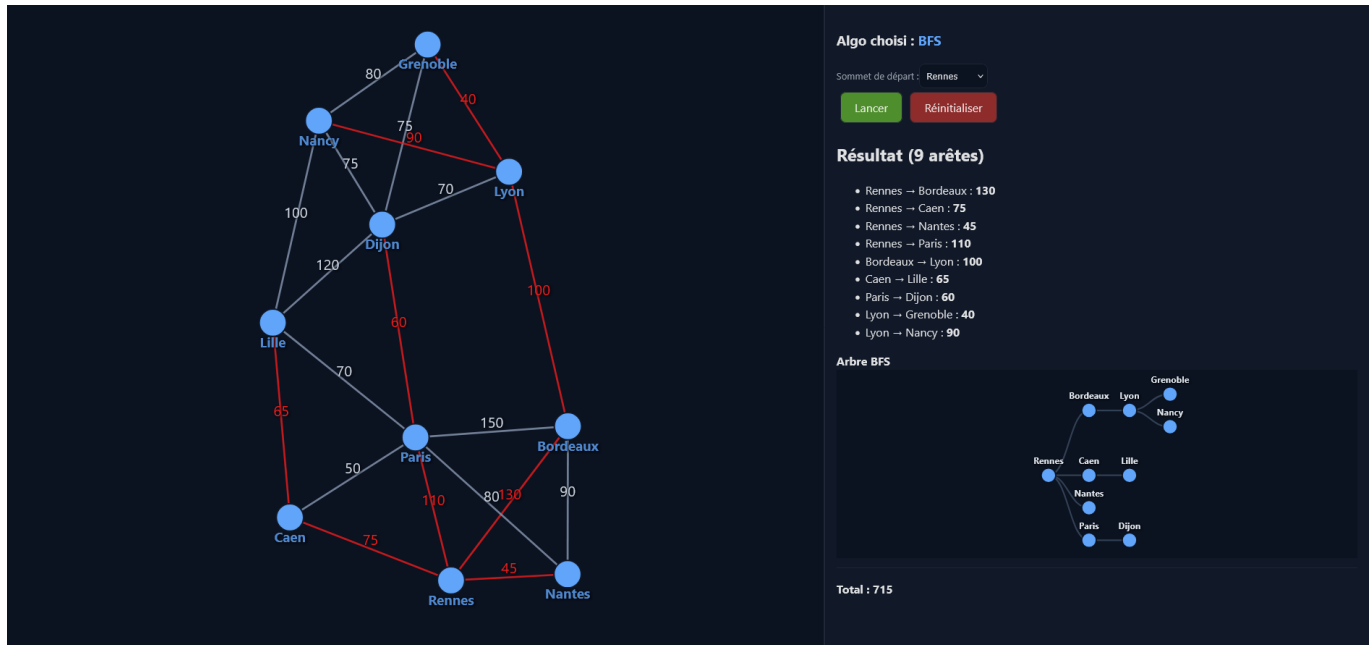
Algorithme	Complexité	Cas d'usage	Structure clé
BFS	$O(V+E)$	Parcours, distances non pondérées	Queue
DFS	$O(V+E)$	Détection de cycles, ordonnancement	Pile (stack)
Prim	$O(E \log V)$	Arbre couvrant minimal	PriorityQueue
Kruskal	$O(E \log E)$	Arbre couvrant minimal	Union-Find
Dijkstra	$O((V+E) \log V)$	Plus court chemin (poids ≥ 0)	PriorityQueue
Bellman-Ford	$O(V \cdot E)$	Plus court chemin avec poids négatifs, détection de cycles négatifs	Tableau (distances)
Floyd-Warshall	$O(V^3)$	Tous les plus courts chemins	Matrice

5.1/ Parcours en largeur (BFS)

Principe : explore par couches depuis une source. Invariant : lorsqu'un sommet est extrait de la file, la distance calculée est minimale en nombre d'arêtes. Utilisations : distances non pondérées, composantes connexes, découverte de niveaux.

Complexité : $O(V+E)$.

Dans notre implémentation de l'algorithme, nous sélectionnons les sommets par ordre d'apparition dans le json et non par ordre alphabétique.



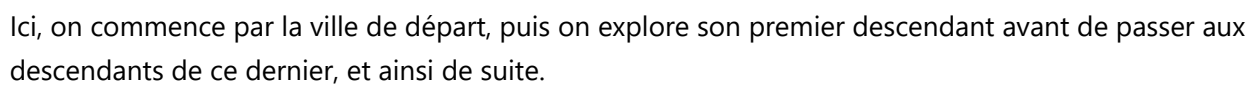
Ici, on commence par la ville de départ, puis on explore ses voisins directs avant de passer aux voisins de ces derniers.

5.2/ Parcours en profondeur (DFS)

Principe : exploration récursive/itérative en profondeur. Invariants : temps d'entrée/sortie utiles pour détection de cycles et topologie (DAG).

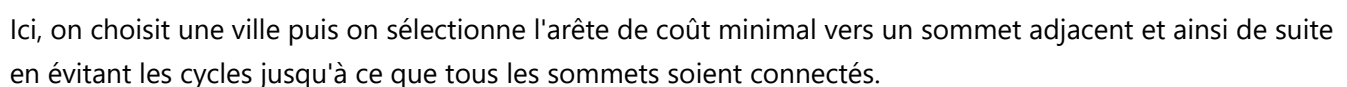
Complexité : $O(V+E)$.

De la même manière que pour BFS, on sélectionne les sommets par ordre d'apparition dans le json et non par ordre alphabétique.



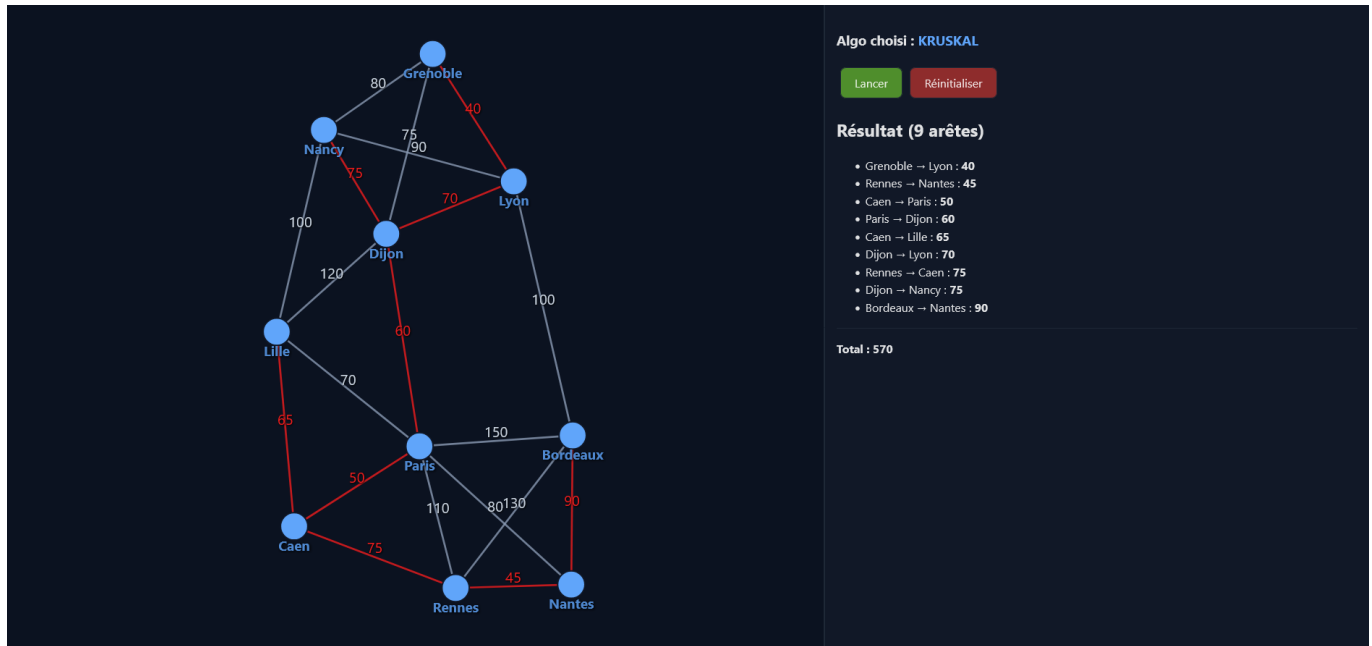
Principe : croissance d'un sous-ensemble de sommets en choisissant à chaque étape l'arête de coupe minimale via PriorityQueue.

Complexité : $O(E \log V)$.



Principe : tri des arêtes par poids croissant et ajout si les extrémités sont dans des composantes disjointes (Union-Find).

Complexité : $O(E \log E)$.

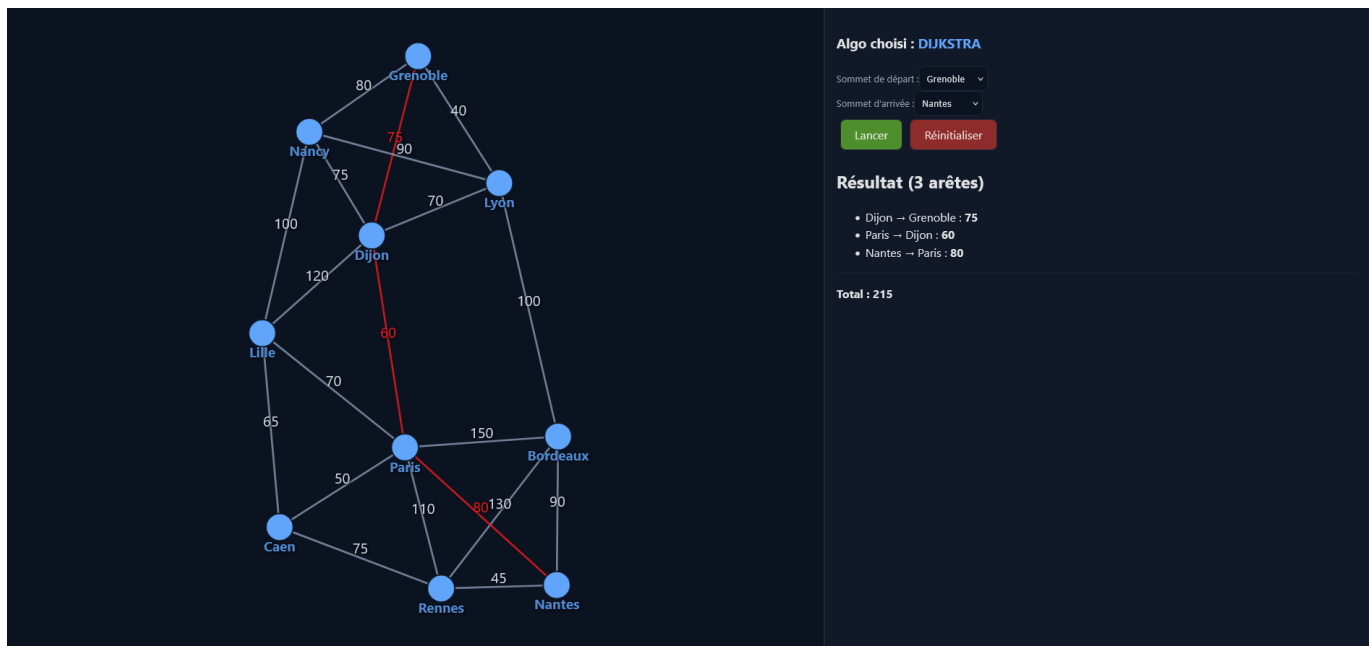


Ici, on sélectionne les arêtes de coût minimal en évitant de créer des cycles, jusqu'à ce que tous les sommets soient connectés.

5.5/ Dijkstra (plus court chemin, poids ≥ 0)

Principe : relaxation itérative des arêtes avec sélection du sommet non traité le plus proche via une file de priorité.

Complexité : $O((V+E) \log V)$ avec tas binaire. Préconditions : poids non négatifs.

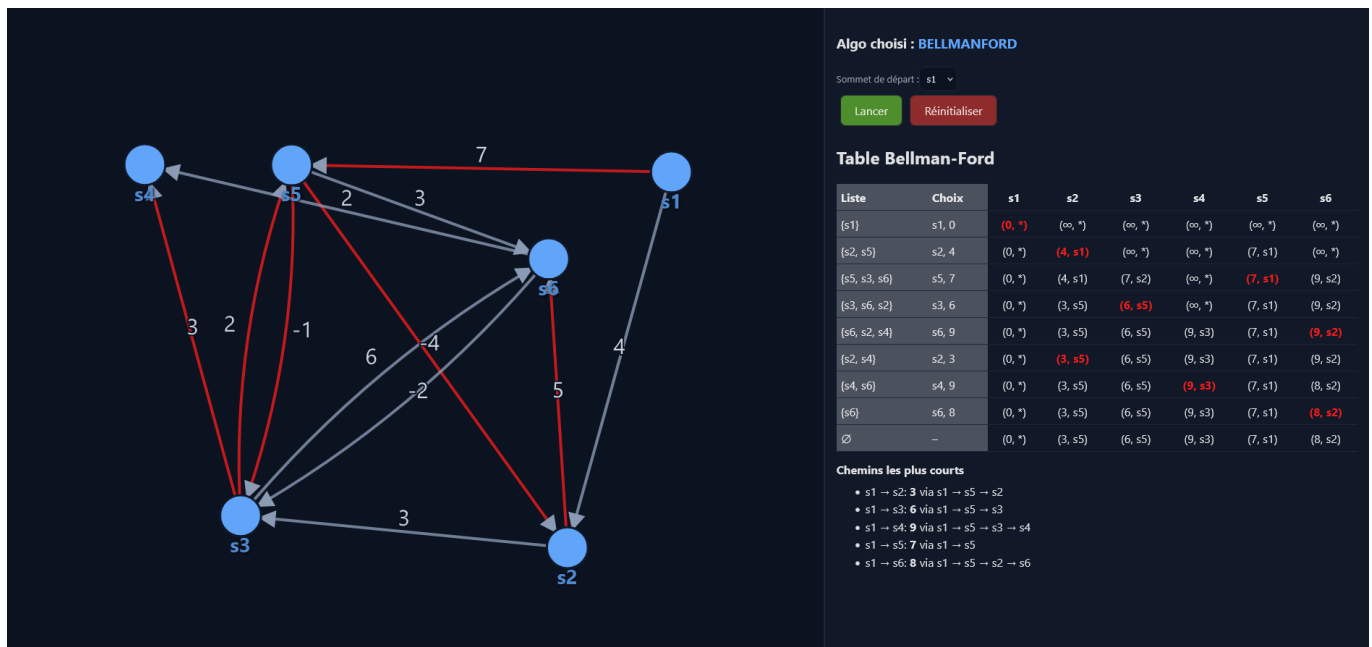


Ici, on choisit une ville, puis on explore le voisin de coût minimal en notant les voisins découverts, et on met à jour à chaque amélioration chaque voisin connu.

5.6/ Bellman-Ford

Principe : relaxation répétée de toutes les arêtes pendant $V-1$ itérations afin de garantir la meilleure distance possible vers chaque sommet, même en présence de poids négatifs. Contrairement à Dijkstra, il n'utilise pas de structure de priorité mais met systématiquement à jour les distances pour chaque arête. Capacité supplémentaire : détection des cycles négatifs, en vérifiant s'il reste des améliorations possibles après les $V-1$ passages.

Complexité : $O(V \cdot E)$. Plus lent que Dijkstra, mais peut traiter les graphes avec des poids négatifs.



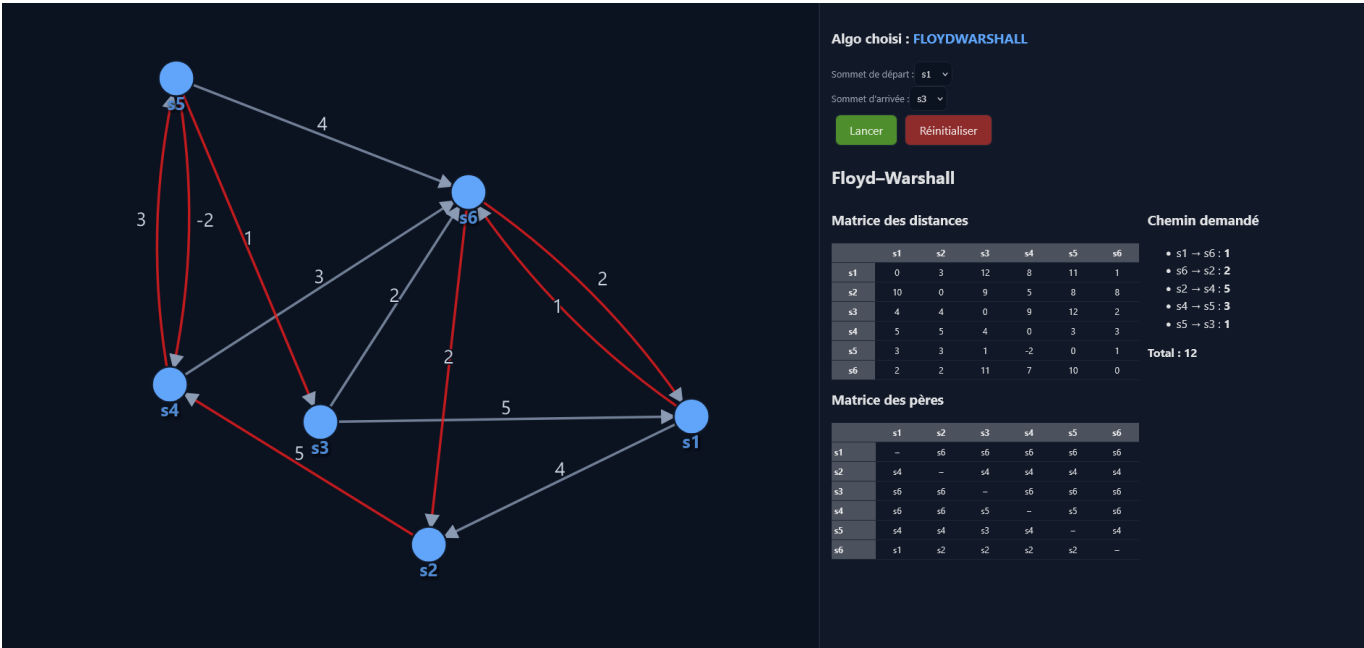
Ici, on fait une file des sommets à traiter en y ajoutant chaque sommet adjacent rencontré pour chaque étape, on choisit les sommets dans l'ordre de la file et on met à jour les distances.

5.7/ Floyd-Warshall (tous les plus courts chemins)

Principe : DP sur triples boucles mettant à jour la matrice des distances par l'intermédiaire de sommets k.

Complexité : $O(V^3)$.

Peut être complété d'une matrice des prédécesseurs pour reconstruire les chemins.



Ici, on calcule les plus courts chemins entre toutes les paires de villes en considérant chaque ville intermédiaire possible, en rédigeant une matrice des distances.

6/ Fonctionnement global de l'application

Jeu de données : graphe de villes françaises donné dans le sujet (Paris, Lille, Rennes, Bordeaux...)

1. Envoie du graphe (avec possiblement des sommets sélectionnés) à l'algorithme choisi. **(front-end → Controller)**
2. Exécution de l'algorithme demandé sur le graphe. **(Controller → Service)**
3. Résultat de l'exécution : détails de l'algorithme (arêtes parcourues, distances, matrices...) **(Service → Controller)**
4. Interprétation des résultats dans l'interface utilisateur. **(Controller → front-end)**

Algorithme	Paramètres	Résultat (ex.)	Mesure (valeur)	Interprétation (qualitative)
BFS	source=Rennes	Edges parcourues = [...]	Niveau max = ...	Couverture rapide des voisins
DFS	source=Rennes	Edges parcourues = [...]	Profondeur max = ...	Exploration en profondeur
Prim	start=Paris	Arêtes MST = {...}	Coût total = ...	Même coût attendu que Kruskal
Kruskal	-	Arêtes MST = {...}	Coût total = ...	Comparé à Prim, très proche
Dijkstra	start=Bordeaux,end=Lille	Chemin = [Bordeaux, Paris, Lille]	Distance = 810	Cohérent avec la carte

Algorithme	Paramètres	Résultat (ex.)	Mesure (valeur)	Interprétation (qualitative)
Bellman-Ford	start=Rennes,end=Bordeaux	Chemin = [Rennes, Nantes, Bordeaux]	Distance = ...	Supporte poids négatifs / robuste
Floyd-Warshall	start=Paris,end=Rennes	Matrice dist[i][j]	Δ vs Dijkstra = 0	All-pairs cohérent

7/ Interprétation des résultats

7.1/ BFS et DFS

BFS et DFS explorent le graphe différemment. BFS atteint rapidement les sommets proches (niveaux faibles), tandis que DFS plonge profondément avant de revenir en arrière. Les arêtes parcourues diffèrent selon la stratégie (largeur vs profondeur).

7.2/ Kruskal vs Prim

Kruskal et Prim trouveront des arbres couvrants minimaux de même coût total. Les arêtes sélectionnées peuvent différer selon la stratégie (global vs local).

7.3/ Dijkstra vs Bellman-Ford

Dijkstra calcule efficacement les plus courts chemins sans poids négatifs grâce à une sélection gloutonne des distances minimales. Bellman-Ford, plus coûteux, gère les poids négatifs et signale les cycles négatifs lorsqu'ils existent.

7.4/ Floyd-Warshall

Floyd-Warshall fournit une matrice complète des plus courts chemins entre toutes paires de sommets. Les distances correspondent à celles obtenues par Dijkstra pour chaque paire, confirmant la cohérence des résultats.

8/ Améliorations possibles

Pour modifier le graphe, nous demandons à l'utilisateur de fournir un nouveau JSON en respectant la structure définie.

Une amélioration possible serait d'ajouter une interface graphique pour éditer le graphe directement dans l'application. Cette décision permettrait à l'utilisateur de prendre en main plus facilement l'application sans avoir à manipuler des fichiers JSON.

9/ Conclusion

Ce projet nous a permis de découvrir d3.js, une bibliothèque front-end utile pour créer des graphes. Nous avons pu exposer nos compétences en termes d'architecture back-end avec Spring Boot et en

implémentation d'algorithmes de graphes en Java. Ainsi qu'en développement front-end avec une interface graphique qui utilise l'API back-end et réinterprète les données reçues.