



Bordeaux INP  
ENSC



# Etat de l'art

---

## Projet Transdisciplinaire : IA-venturiers du Rail

Référence	EDA_PJT06_V1
Projet	Projet Transdisciplinaire - IA-venturiers du Rail
Début du projet	25 septembre 2018

Membres
DE BARROS Antoine
FOURNIER Hugo
GROSSE Guillaume
HUGOT Corentin
MARLIER Maudeline
VANEL Lorraine



# Sommaire

<b>Sommaire</b>	<b>1</b>
<b>Présentation du jeu</b>	<b>2</b>
Règles du jeu	2
Historique et présentation du contexte	2
Le plateau de jeu	2
Le décompte des points	3
Les wagons	4
Début de la partie	4
Tour de jeu	4
Fin de la partie	5
Stratégies formalisées	5
Lecture de jeu et blocage	5
Victoire rapide	5
Itinéraires et tronçons	6
Cartes Destination	6
Pioche et pose des wagons	6
Scène compétitive	7
La jouabilité	7
Les différentes compétitions	7
Le classement	7
<b>Les méthodes d'IA existantes appliquées aux jeux de sociétés</b>	<b>8</b>
L'approche systématique	8
Le machine learning	9
Le système expert	10
<b>Théories mathématiques et algorithmes</b>	<b>12</b>
La Théorie des Graphes	12
Algorithme de Dijkstra	14
<b>Références</b>	<b>15</b>
<b>Annexe</b>	<b>16</b>



# Présentation du jeu

## A. Règles du jeu

### 1. Historique et présentation du contexte

Les Aventuriers du Rail (en anglais : Ticket to Ride) est un jeu de société [1] publié par Days of Wonder en 2004 qui a connu un grand succès (plus de 3 millions de copies vendues en 2014) [2] et dont de nombreuses extensions et versions différentes ont été publiées.

Le jeu d'origine nous projette en Amérique du Nord au début du XXe siècle : les joueurs se font concurrence pour s'approprier une partie de réseau ferré américain. C'est la version que nous étudions dans notre projet. Ce jeu est conçu pour 2 à 5 joueurs, la durée de partie pouvant varier entre 20 minutes et 1 heure.

Il existe également une adaptation des Aventuriers du Rail en jeu vidéo, disponible en ligne sur mobile, PC, Mac et tablette.

Les Aventuriers du Rail se joue en tour par tour autour d'un plateau. Le vainqueur est le joueur ayant obtenu le score le plus élevé en fin de partie. Détaillons maintenant les règles [3].

### 2. Le plateau de jeu

On peut diviser en deux zones le plateau :

- La première sert au décompte des points pendant le jeu et permet de déterminer le vainqueur en fin de partie. On peut remarquer les cases numérotées qui balisent le pourtour du plateau ;
- La seconde correspond à la zone de jeu. C'est une carte des Etats-Unis et du sud du Canada, les villes sont reliées entre elles par des itinéraires vierges divisés en emplacements de wagon. Le principal objectif des joueurs est de compléter ces **tronçons** avec leurs wagons pour former des lignes entre les différentes villes.

Une **ligne de chemin de fer** est une chaîne ininterrompue de tronçons reliant deux villes entre elles. Par exemple, pour construire la ligne San Francisco - Winnipeg, un itinéraire possible demande d'avoir à disposition 12 wagons : 5 pour le tronçon orange / blanc, 3 pour le tronçon violet, et 4 pour le bleu.

Lorsque qu'un tronçon est occupé par un joueur, aucun autre joueur ne peut le plus le contester. Il est donc possible d'utiliser des stratégies de blocage contre son adversaire. Les doubles tronçons ne sont pas utilisables à 2 joueurs : une fois que l'un des deux tronçons est posé, son parallèle devient indisponible.



Figure 1 : Plateau de jeu des Aventuriers du Rail, version originale (USA)

## 2. Le décompte des points

Chaque tronçon posé accorde un certain nombre de points selon sa taille : dans le coin inférieur droit du plateau (photo ci-dessus) on peut voir par exemple qu'un tronçon de 6 wagons rapporte 15 points tandis qu'un tronçon de 2 wagons n'en rapporte que 2 : le nombre de point que rapporte chaque wagon est donc non linéaire !

Le jeu contient 30 cartes **Destination** (cf figure 2 en annexe), qui accordent des points lorsque les deux villes indiquées par la carte sont reliées par une ligne. Ce montant varie entre 4 et 22 points, selon la distance à parcourir. En fin de partie, cette valeur est ajoutée en tant que bonus ou malus au score du joueur qui la possède, selon la complétion de la ligne.

Le joueur en possession de la ligne de chemin de fer la plus longue gagne également 10 points supplémentaires.



### 3. Les wagons

Le jeu contient **110 cartes Wagon** de réparties en 2 catégories : les cartes Wagon classiques, de **couleur**, et les **locomotives**. Il y a 12 cartes par couleur, et 8 couleurs distinctes : Blanc, Noir, Rouge, Bleu, Vert, Jaune, Orange, Violet. En outre, on dénombre 14 locomotives, qui peuvent être utilisées comme Joker en lieu et place de n'importe quel wagon de couleur [3].

Ces cartes servent à prendre possession de tronçons, et peuvent être dépensées à cet effet à condition d'avoir une correspondance entre la couleur des cartes posées et celle du tronçon.

Dans notre exemple San Francisco - Winnipeg, il est nécessaire d'avoir 5 cartes Wagon oranges ou blanches pour le premier tronçon, 3 cartes Wagon violettes pour le second, et 4 cartes Wagon bleues pour le tronçon bleu. Il est possible de remplacer un de ces wagons par une locomotive si besoin. Les cases grises sont spéciales et peuvent accueillir n'importe quelle couleur de wagon.

### 4. Début de la partie

Pour commencer, chaque joueur choisit une couleur et s'approprie les 45 wagons de sa couleur. Les wagons seront placés sur le plateau pour représenter les tronçons acquis.

Après mélange des cartes, **3 zones de pioche** sont formées :

- La pile de cartes Destination, face cachée,
- La pile de cartes Wagon, face cachée,
- Un banc de 5 cartes Wagon face visible, qui resteront au nombre 5 tout le long de la partie ; il faut la renouveler immédiatement depuis la pile des cartes Wagon lorsqu'une carte y est piochée.

On distribue 4 cartes Wagon à chaque joueur et **3 cartes Destination**, il doit garder 2 Destinations minimum.

Le joueur qui a le plus voyagé commence.

### 5. Tour de jeu

Lorsque c'est à son tour de jouer, un joueur peut effectuer une action parmi les suivantes :

- Piocher trois cartes Destination, en conserver une au minimum et défausser les autres.
- Piocher deux cartes Wagon indifféremment depuis le banc ou la pile (une dans chaque, ou deux dans l'une). Piocher une locomotive face visible équivaut à piocher deux cartes Wagon et met fin au tour.
- Prendre possession d'un tronçon en défaussant les cartes Wagon correspondantes.





## 6. Fin de la partie

La partie se termine lorsqu'un joueur n'a plus que 2 wagons ou moins. Chaque joueur joue alors un dernier tour (y compris celui qui vient de passer à 2 wagons ou moins) puis on compte les points selon les règles citées précédemment.

## B. Stratégies formalisées

Le **jeu** et son **adaptation en jeu vidéo** ayant connu un grand succès, on peut trouver en ligne, principalement en anglais, quelques témoignages de joueurs qui formalisent des stratégies gagnantes selon leur expérience [4], [5]. Il est cependant difficile d'évaluer la qualité de ces stratégies ou le niveau de ceux qui les proposent. Voici une synthèse de quelques-uns de ces écrits, premières sources de formalisation des connaissances et des techniques autour de ce jeu.

Nous nous concentrons sur les éléments utiles au jeu à 2 joueurs sur la version originale, dont les stratégies peuvent différer grandement des autres modes et versions de jeu.

### 1. Lecture de jeu et blocage

Le but du jeu étant de faire plus de points que son adversaire (et non un maximum de points), il peut être efficace d'empêcher son vis à vis de compléter les lignes de ses cartes Destination. En mode 1 contre 1, il s'agit de surveiller quelles couleurs de wagon son adversaire priorise, de connaître les destinations possibles et d'observer où il pose ses tronçons pour deviner quelles cartes destination il a en main. Le blocage du point clé d'un itinéraire peut largement handicaper son adversaire et assurer la victoire.

### 2. Victoire rapide

Dans une optique similaire à la stratégie précédente, il est possible d'essayer de clore la partie le plus rapidement possible, en privilégiant des longs trains (qui consomment les wagons plus rapidement) et empêcher ainsi son adversaire de terminer ses destinations en le prenant de court. Lorsque réussie, cette stratégie, laisse l'adversaire avec beaucoup de wagons non posés et donc peu de chances d'emporter les 10 points du train le plus long, et moins de points grâce aux wagons posés.

La victoire rapide peut être privilégiée lorsque certaines destinations piochées en début de partie valent peu de point.



### 3. Itinéraires et tronçons

Les tronçons de 4 ou 5 wagons rapportent environ 2 points par wagon, et ce montant passe même à 2,5 pour ceux de 6 wagons : ces longs tronçons sont très intéressants non seulement en termes de points rapportés, mais également parce qu'ils permettent de dépenser beaucoup de wagons et d'accélérer la fin de partie ! Il est en général plus rentable de maximiser les longs tronçons lors de la planification des itinéraires pour atteindre ses destinations.

On remarque en outre que les frontières Nord, Sud et la côte Ouest comportent de nombreux tronçons de 5 ou 6 wagons, ce sont des zones qui rapportent énormément de points.

### 4. Cartes Destination

Lors de la sélection des Destinations, il est préférable de prioriser des destinations compatibles : coupler un Nord Sud et un Est-Ouest peut être risqué !

Selon la tournure de la partie, il est parfois intéressant d'en piocher à nouveau, mais cette action a un coût en temps et en risque très élevé ! A haut niveau c'est néanmoins un cas très exceptionnel.

### 5. Pioche et pose des wagons

Il est conseillé d'être patient en début de partie en piochant un maximum de cartes sans poser de trains. La pose de trains ne doit pas être faite nécessairement dans l'ordre géographique qui mène à une destination. De plus, prendre des cartes face cachée est d'un point de vue probabiliste plus intéressant car cela augmente les chances de piocher une locomotive.

Ces stratégies maintiennent votre adversaire dans la confusion, l'empêche de deviner vos destinations et de vous bloquer, et vous permet d'être plus souple sur votre itinéraire.



## C. Scène compétitive

### 1. La jouabilité

Le jeu est jouable sur deux plateformes. La première étant le site du concepteur [1] en lui même et la seconde est sur la plateforme de **jeux en ligne Steam** [6] .

### 2. Les différentes compétitions

Pour le haut niveau, la compétition se répartit sous différentes formes [7]:

- **Amicales** : En ligne (record de notre expert TOP 70) où le classement varie beaucoup hormis une tête de liste stable.
- **Ligue des champions** : Les meilleurs joueurs (les mieux classés) s'affrontent dans un arbre de compétition (quarts-de-finale, demi-finales etc...).
- **Nationale** : Par équipe de 4 avec des remplaçants, les pays (existence d'une équipe internationale permettant aux pays trop peu représentés de participer) s'affrontent par *poules*, chaque match rapporte des points à son équipe. Le format est en 1 contre 1. Chaque match crédite son équipe en points et l'équipe avec le plus de points avance au niveau supérieur etc. La France est l'un des pays les plus représentés avec ses 3 équipes : les *Red*, les *White* (l'équipe de notre expert) et enfin les *Champagne*.
- **Physique** : Il y en a deux types car ça coûte énormément d'argent à l'éditeur au vu des récompenses possibles et de l'envoi des jeux plateau à chaque association de chaque ville pour organiser la compétition. La dernière était il y a trois ans, ils essaient d'en faire une tous les 5 ans. Les matchs se jouent à 4 joueurs sauf la finale en 1 VS 1.

### 3. Le classement

Pour ce qui est du classement il existe sous forme d'ELO, celui-ci est mis en place par l'éditeur et la ligue des champions prend les 64 joueurs du haut du classement. Ce **classement** là est **mondial**.

Pour les équipes nationales c'est beaucoup plus informel, chaque chef d'équipe se charge de recruter ses partenaires ainsi parfois un joueur classé 250e peut jouer dans une équipe nationale.

Il est possible de demander son classement personnel pour un mode de jeu particulier (carte ou 2 contre 2 etc...). Notre expert est en général dans le classement des 80 meilleurs joueurs mondiaux en mode duel [7].





## II. Les méthodes d'IA existantes appliquées aux jeux de sociétés

Avant de commencer, faisons bien la différence entre :

- **I.A. au sens "sciences cognitives"** qui modélise des processus cognitifs ou des phénomènes dit intelligents. L'établissement du succès est de savoir si le système possède un bon modèle, voire une bonne théorie.
- **I.A. au sens "pratique" ou "appliquée"** qui offre des systèmes optimaux capables de résoudre un grand nombre de tâches.

L'**Intelligence Artificielle** est dite « **faible** » lorsqu'elle ne fait que reproduire un comportement spécifique, mais pas son fonctionnement : la machine ne comprend pas ce qu'elle fait. L'IA faible vise essentiellement à reprendre le plus fidèlement possible, à l'aide d'un programme informatique, le résultat d'un comportement spécifique prévu à l'avance, sans aucune forme d'improvisation. C'est en fait un système qui imite un comportement intelligent dans un domaine précis.

Au contraire, bien qu'au stade d'ambition, une **IA forte** pourrait non seulement reproduire des aptitudes à la réflexion et à l'interaction intelligente (analyser, raisonner, effectuer des actions rationnelles), mais également avoir une conscience, des émotions et comprendre ses propres raisonnements. Le programme démontre l'impression d'une réelle conscience de soi, de vrais sentiments et la machine serait donc apte à avoir un certain recul sur ce qu'elle fait. L'IA forte pourrait, à terme, résoudre des problèmes complexes, quelque soit l'environnement, avec un niveau supérieur ou égal à l'intelligence humaine.

Les 3 méthodes qui suivent sont des exemples d'IA faible appliquées aux jeux de sociétés.

### A. L'approche systématique

Parmi les méthodes existantes, la **recherche systématique de solutions** est présente en informatique depuis ses débuts avec la machine de décodage de **Turing** qui aida à craquer Enigma. Elle consiste à donner une série d'actions à effectuer par une machine pour qu'elle donne un résultat précis.

Cette méthode est désormais beaucoup utilisée pour des algorithmes simples en statistiques ou dans la communication.

Créer une IA avec cette méthode revient à coder directement **tous les chemins possibles** que cette IA pourrait suivre et ou rencontrer.



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Réponse rapide</li><li>- Performant</li><li>- Modifiable simplement</li><li>- Versatile (efficace sur n'importe quel problème)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coûteux en calculs</li><li>- Charge de travail augmente exponentiellement</li><li>- Dépassé pour de nouvelles méthodes plus économes en temps de travail</li></ul>

## B. Le machine learning

Pour continuer dans la branche des IA en rapport avec le jeu nous avons le deep learning. Parlons de l'exemple phare de cette technologie : **AlphaGo Zero**.

Cette IA est la dernière mise au point utilisant le **machine learning**. Cette technique consiste à effectuer des millions de parties contre elle-même en calculant les coûts optimaux de chaque tour. Son auto-enseignement lui permet en 3 jours d'entraînement de battre la version de base (100 parties contre 0) [8].

Par la suite, pour vraiment étudier les limites de cette technologies, AlphaGo Zero affronta après 40 jours de calcul (entraînement) la meilleure IA existante pour le **jeu de Go** et en ressort vainqueur (89 à 11).

Résultat exceptionnel sachant que cette version avait mis 2 ans à être créé par des spécialistes et que AlphaGo Zero utilise 12 fois moins de processeurs.

On comprend que le **machine learning** est une technologie permettant au système informatique de s'entraîner lui-même et d'apprendre des parties ou expériences qu'il effectue seul.

On compte 3 types de deep ou machine learning [9]:

- ❖ **Supervisé** consistant à apprendre une fonction de prédiction à partir d'exemples et de données déjà annotés ;
- ❖ **Non supervisé** qui est le contraire du premier, consiste à trouver des structures sous-jacentes à partir de données non étiquetées.
- ❖ **Par renforcement**, ce dernier mode utilise un système de récompense qui doit être maximisé. Plus simplement, le logiciel est plongé au sein d'un environnement et prend ses décisions en fonction de son état courant. En retour, l'environnement procure au logiciel une récompense, qui peut être positive ou négative. L'itération d'expérience permet donc de comprendre quelle réponse accorde quelle récompense, c'est ainsi que l'apprentissage a lieu.



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Puissance de calcul requise moins élevée que l'IA faible</li><li>- Temps d'exécution rapide</li><li>- Capacité de généralisation</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Besoin d'un temps d'entraînement (peut être très court)</li><li>- (Supervisé) Besoin d'une base de données étiquetée</li><li>- (Renforcement ) Extracteur de caractéristiques dur à concevoir</li></ul>

## C. Le système expert

Un **système expert** est un outil dont la vocation est de reproduire les mécanismes cognitifs (raisonnements) d'une personne de référence dans un domaine particulier [10]. Dans le cas du jeu de société, les experts sont généralement des joueurs de haut niveau. Le système expert est un logiciel qui peut donner des recommandations au même niveau qu'un expert humain du domaine.

Autrement dit, un système expert est un logiciel capable de répondre à des problèmes, en effectuant un raisonnement dans une situation donnée. Dans le cas des aventuriers du rail, il permet de proposer au joueur à chaque tour de jeu un ensemble d'heuristiques "plus performantes". Cette décision repose donc sur un ensemble de règles connues. Il est parfois nommé dans sa forme moins complète "outil d'aide à la décision".

Comme exemple nous pouvons parler du premier système expert ayant vu le jour permettant d'identifier les constituants chimiques : DENDRAL [11].

Il est important de comprendre qu'un système expert est déclaratif. Effectivement on décrit les règles à suivre et cela sans ordre particulier. Citons deux exemple très simples de règles:

- Si le feu est vert, avancer.
- Si il y a un obstacle, ralentir et contourner l'obstacle.

Les connaissances relatives au problème doivent donc toutes être identifiées au préalable puis on les place dans un outil que l'on nomme la **base de connaissance**. Le système trouvera lui-même une solution en étudiant la situation grâce aux possibilités qu'il connaît, on observe un mécanisme de déduction généralement nommé **moteur d'inférences**. (du verbe « inférer » qui signifie « déduire », c'est un logiciel correspondant à un algorithme de simulation des raisonnements déductifs) [12].

Un système expert est performant sur de nombreux aspects, à condition de lui donner des pré-requis qui lui permettront d'être fonctionnel. Plus cette base est solide, plus le système est efficace [13].



Caractéristiques d'un Système Expert	Bases/Règles d'un Système Expert
<ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Compétent</b> : connaissance d'un vrai expert</li><li>- <b>Rapide</b> : temps réponse système inférieur au temps de réponse de l'expert</li><li>- <b>Robuste</b> : pas de remise en cause</li><li>- <b>Détaillé</b> : accès aux étapes du raisonnement possible</li><li>- <b>Non monotone</b> : modifiable</li><li>- <b>Sans limite</b> : ajout possible de données supplémentaires</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Un fait (une vérité)</li><li>- Une base de faits ( ensemble des faits)</li><li>- Un diagnostic (validation ou non d'un fait)</li><li>- Une règle ( lien de faits avec des opérateurs logiques qui rend en sortie un nouveau fait )</li><li>- Une base de règle ( ensemble des règles)</li></ul>

Pour bien comprendre sous quels raisonnements fonctionne un système expert nous allons ici décomposer un ensemble de règles reliant des faits modélisables sous la forme d'un arbre;

Soit les règles R suivantes numérotés de 1 à 5 :

R1 : SI A ALORS B

R2 : SI B ALORS E

R5 : SI A et C et F ALORS H

R3 : SI B ALORS D

R4 : SI A et C ALORS G

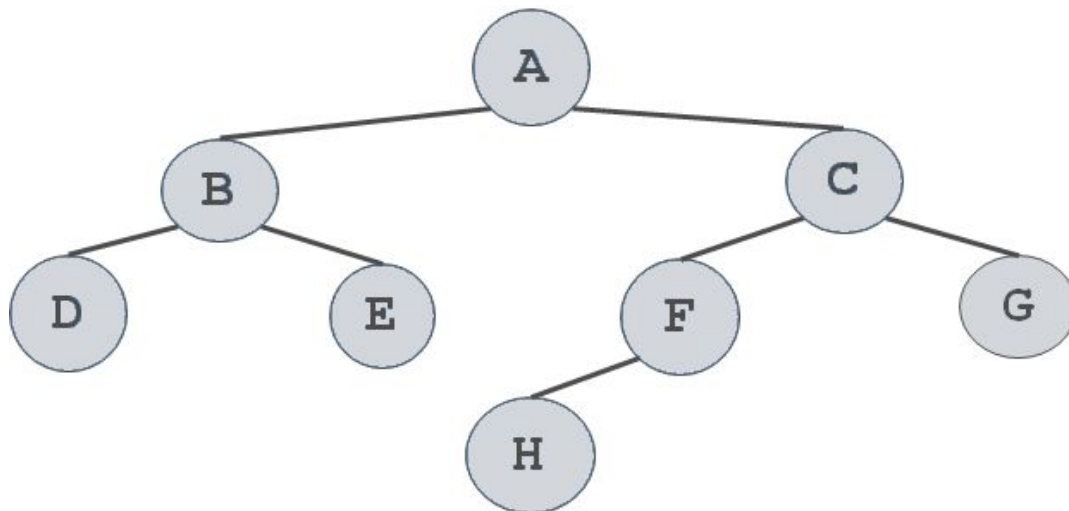


Figure 3 : Arbre d'une base de connaissance d'un système Expert

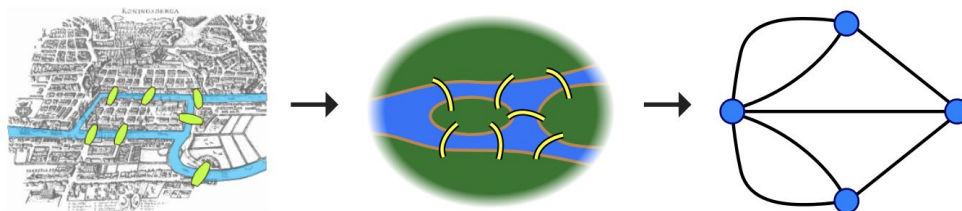


Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût réduit</li><li>- Explication (détails du raisonnement)</li><li>- Permanence (pas de fin)</li><li>- Réponses rapides et solides</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Inférence à des connaissances qui peuvent être dépassées</li><li>- Subjectif si l'on se base sur une seule expertise</li><li>- Formalisation des règles de l'expert limitée</li></ul>

### III. Théories mathématiques et algorithmes

#### A. La Théorie des Graphes

On attribue généralement la naissance de la Théorie des Graphes à Euler lorsqu'il publie, au 18ème siècle, un article traitant du célèbre problème des ponts de Königsberg [14] : La Ville de Königsberg était pourvue de 7 ponts et la question était de savoir si l'on pouvait imaginer une promenade dans la ville qui emprunterait chacun des 7 ponts une fois et une seule pour revenir à son point de départ.



**Un graphe** est un ensemble d'éléments mis en relations. On le représente par des sommets reliés par des arêtes (un sommet peut être relié à lui-même). On peut choisir de donner un sens à ces arêtes (qui sont alors des flèches, à sens unique ou à double sens), le graphe est alors dit orienté. Si on attribue à chaque arête un poids, on travaille sur un graphe pondéré [15].

La Théorie des Graphes s'intéresse à leurs multiples propriétés : existence de chemins les plus courts ou les moins coûteux, de cycles particuliers, nombre d'intersections dans le plan, problèmes de coloriage... Elle semble donc pertinente pour modéliser le plateau de jeu, ses différentes villes et les trains qui peuvent les relier.



On pourrait ainsi utiliser cette théorie mathématique pour représenter le plateau de jeu de cette manière :

- ❖ Chaque ville représente un sommet du graphe.
- ❖ Toutes les villes ne sont pas reliées entre elles, mais certaines le sont. Les chemins marchent pour l'aller et le retour : le graphe n'est pas orienté.
- ❖ Toutes les arêtes n'ont pas un poids équivalent: graphe pondéré. Le poids de chaque arête peut correspondre au nombre de wagons nécessaires pour former le chemins entre les deux sommets reliés par celle-ci, ou éventuellement à une nouvelle unité pertinente qui combinerait des facteurs tels que le nombre de cartes et de tours nécessaires pour occuper un certain chemin.
- ❖ Chaque chemin a une couleur: il faut pouvoir coder cette distinction vitale au fonctionnement du jeu (possibilité de créer un code numérique dans la pondération).
- ❖ A tout graphe peut être associé une matrice carrée  $A$  qui à chaque coefficient  $a_{i,j}$  associe 1 si les sommets  $i$  et  $j$  sont liés par une arête, 0 sinon. On accède alors facilement à l'ensemble des sommets accessibles à partir d'un point (utile pour créer des chemins).

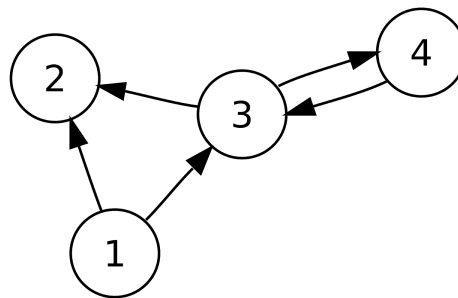


Figure 4 : exemple de graphe orienté





## B. Algorithme de Dijkstra

L'**Algorithme de Dijkstra**, en théorie des graphes, permet de résoudre le problème du plus court chemin. Il permet, par exemple, de déterminer un plus court chemin pour se rendre d'une ville à une autre connaissant le réseau routier d'une région. Plus précisément, il calcule des plus courts chemins à partir d'une source dans un graphe orienté pondéré par des réels positifs [16]. On peut aussi l'utiliser pour calculer un plus court chemin entre un sommet de départ et un sommet d'arrivée. En considérant un graphe à  $n$  noeuds et  $a$  arêtes, l'algorithme résout le problème en une complexité de l'ordre de  $(a+n \log(n))$ .

L'algorithme prend en entrée un graphe orienté (donc il fonctionne sur les non orientés également) et pondéré (le poids d'une arête entre deux villes peut être la distance qui les sépare par exemple) et un sommet défini. Il consiste en la création progressive d'un sous-graphe dans lequel les autres sommets sont classés par ordre croissant de la distance minimale au sommet choisi; la distance étant la somme des poids des arêtes empruntés par un chemin.

A l'initialisation, tous les sommets sont à une distance infinie, sauf pour le sommet source qui est une distance de 0. A ce moment là, le sous-graphe est complètement vide. A chaque itération, on prend le sommet en dehors du sous-graphe qui est une distance minimale et on l'y ajoute. On met alors à jour la distance du sommet source aux voisins du nouveau sommet en choisissant toujours la distance minimale entre les chemins déjà existants et le nouveau chemin. L'algorithme s'arrête lorsqu'a été ajouté au sous-graphe le sommet cible ou la totalité des sommets [16].

C'est un algorithme qui pourrait être utile dans un traitement mathématique du plateau des Aventuriers du Rail afin de déterminer les chemins les plus courts, si un tel critère est effectivement prioritaire pour augmenter ses chances de victoire. Si d'autres critères sont plus importants, il est aussi possible de considérer un autre facteur en tant que poids des arêtes, comme par exemple la couleur demandée ou le risque de contestation par l'adversaire (ce qui demanderait de recouper les objectifs pour voir les routes les plus utilisées).



## Références

- [1] Days of Wonder, « Les Aventuriers du Rail – un jeu d’Alan R. Moon ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.daysof wonder.com/tickettoride/fr/usa/>. [Consulté le: 14-janv-2019].
- [2] O. Duffy, « All aboard – how Ticket To Ride helped save table-top gaming », *The Guardian*, 27-oct-2014.
- [3] Days of Wonder, « Règles du jeu Les Aventuriers du Rail (USA) ». [En ligne]. Disponible sur: [https://ncdn1.daysof wonder.com/tickettoride/fr/img/tt\\_rules\\_2013\\_fr.pdf](https://ncdn1.daysof wonder.com/tickettoride/fr/img/tt_rules_2013_fr.pdf). [Consulté le: 14-janv-2019].
- [4] Starlit Citadel, « Ticket to Ride Strategy Guide », *Starlit Citadel*. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.starlitcitadel.com/games/ticket-to-ride-strategy>. [Consulté le: 14-janv-2019].
- [5] J. GARNETT, « What are the best strategies for Ticket to Ride? », *Quora*. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.quora.com/What-are-the-best-strategies-for-Ticket-to-Ride>. [Consulté le: 14-janv-2019].
- [6] Steam, « Ticket to Ride sur Steam ». [En ligne]. Disponible sur: [https://store.steampowered.com/app/108200/Ticket\\_to\\_Ride/](https://store.steampowered.com/app/108200/Ticket_to_Ride/). [Consulté le: 14-janv-2019].
- [7] Equipe TransDi, « Retranscription Entretien », Bordeaux INP, ENSC, Retranscription, nov. 2018.
- [8] G. ROSIERES, « En 3 jours, l’intelligence artificielle de Google a appris le jeu de Go et écrasé la machine qui a détrôné l’Homme », *Le Huffington Post*, 18-oct-2017. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.huffingtonpost.fr/2017/10/18/en-3-jours-lintelligence-artificielle-de-google-a-appris-le-jeu-de-go-et-ecrase-la-machine-qui-a-detrone-lhomme\\_a\\_23247579/](https://www.huffingtonpost.fr/2017/10/18/en-3-jours-lintelligence-artificielle-de-google-a-appris-le-jeu-de-go-et-ecrase-la-machine-qui-a-detrone-lhomme_a_23247579/). [Consulté le: 14-janv-2019].
- [9] Y. LeCun, « Les Enjeux de la Recherche en Intelligence Artificielle ». 2016-2015.
- [10] J. P. Ignizio, *Introduction to expert systems: the development and implementation of rule-based expert systems*. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [11] C.-A. PACHON, « Système Expert ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.supinfo.com/cours/3AIT/chapitres/05-systeme-expert>. [Consulté le: 14-janv-2019].
- [12] G. VILLEMIN, « Intelligence artificielle, systèmes expert, moteurs d’inférences ». [En ligne]. Disponible sur: <http://villemin.gerard.free.fr/Wwwgvmm/Logique/IAexpert.htm>. [Consulté le: 14-janv-2019].
- [13] S. KANDE KANUMUAMBIDI, « Réalisation d’un système expert pour la thérapeutique et le diagnostic des maladies de la tuberculose », *Memoire Online*. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.memoireonline.com/09/10/3851/m\\_Realisation-dun-systeme-expert-pour-la-therapeutique-et-le-diagnostic-des-maladies-de-la-tuber19.html](https://www.memoireonline.com/09/10/3851/m_Realisation-dun-systeme-expert-pour-la-therapeutique-et-le-diagnostic-des-maladies-de-la-tuber19.html). [Consulté le: 14-janv-2019].
- [14] J. Sérien, « Graphes ».
- [15] O. Cogis et C. Schwartz, *Théorie des graphes*. 2018.
- [16] D. Hazaël-Massieux, « Principes de l’algorithme de Dijkstra ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nimbustier.net/publications/dijkstra/dijkstra.html>. [Consulté le: 14-janv-2019].



## Annexe

Ville A	Ville B	Points
Denver	El Paso	4
Kansas City	Houston	5
New York	Atlanta	6
Chicago	New Orleans	7
Calgary	Salt Lake City	7
Duluth	Houston	8
Sault Ste-Marie	Nashville	8
Helena	Los Angeles	8
Sault Ste Marie	Oklahoma City	9
Chicago	Santa Fe	9
Seattle	Los Angeles	9
Montréal	Atlanta	9
Toronto	Miami	10
Duluth	El Paso	10
Portland	Phoenix	11
Winnipeg	Little Rock	11
Denver	Pittsburgh	11
Dallas	New York	11
Boston	Miami	12
Winnipeg	Houston	12
Vancouver	Santa Fe	13
Montréal	New Orleans	13
Calgary	Phoenix	13
Los Angeles	Chicago	16
San Francisco	Atlanta	17
Portland	Nashville	17
Vancouver	Montréal	20
Los Angeles	Miami	20
Los Angeles	New York	21
Seattle	New York	22

Figure 2 : classement des cartes Destination en fonction de leur valeur en points