

Algorithmes et Pensée Computationnelle

Algorithmes de graphes

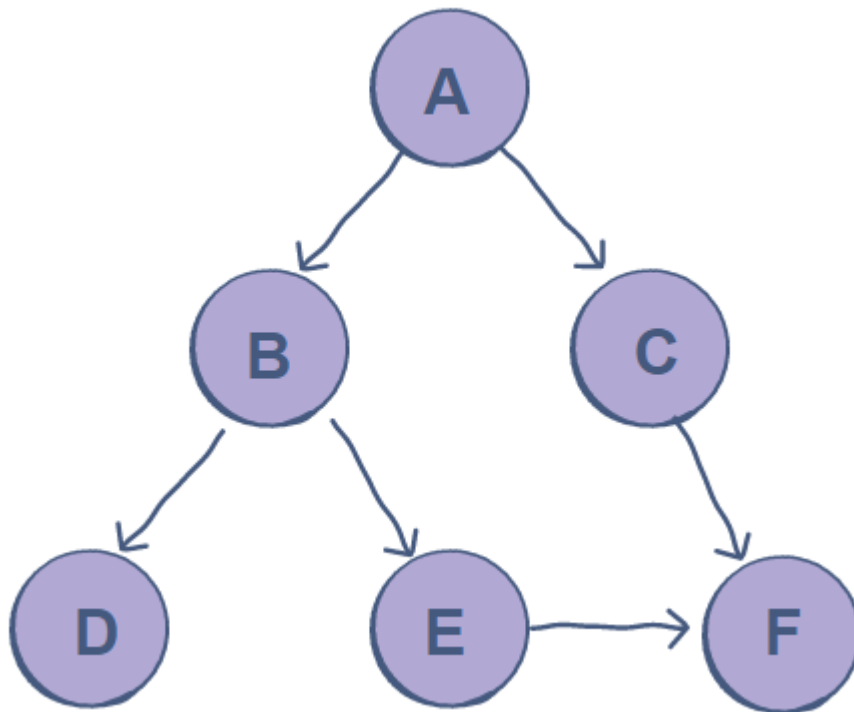
Le but de cette séance est de comprendre le fonctionnement des graphes et d'appliquer des algorithmes courants sur des graphes simples.

Le code présenté dans les énoncés se trouve sur Moodle, dans le dossier Code. Le temps indiqué (🕒) est à titre indicatif.

1 Breadth-First Search

Question 1: (🕒 10 minutes) Adjacency list et adjacency matrix : Python

L'adjacency list (ou liste de contiguïté) et l'adjacency matrix (ou matrice de contiguïté) sont les 2 méthodes dont nous disposons pour représenter un graphe. Utilisez ces 2 méthodes de représentations pour stocker le graphe ci-dessous dans un programme Python :



💡 Conseil

Pour l'adjacency list, utilisez un dictionnaire Python. Pour l'adjacency matrix, utilisez une liste multidimensionnelle (ou liste contenant une ou plusieurs listes).

>_ Solution

```
1 #Question 1 solution
2
3 adjacency_list_graph = {
4     'A' : ['B', 'C'],
5     'B' : ['D', 'E'],
6     'C' : ['F'],
7     'D' : [],
8     'E' : ['F'],
9     'F' : []}
10
11 adjacency_matrix_graphe = [[0,1,1,0,0,0],
12                             [0,0,0,1,1,0],
13                             [0,0,0,0,0,1],
14                             [0,0,0,0,0,0],
15                             [0,0,0,0,0,1],
16                             [0,0,0,0,0,0]]
```

Le fait que le graphe soit dirigé joue un rôle important pour la construction de ces représentations. Par exemple, pour l'adjacency list, 'B' apparaît dans la liste correspondant à la clé 'A' mais l'inverse n'est pas vrai. Cela signifie que l'on peut aller du sommet A au sommet B mais pas du sommet B au sommet A.

Question 2: (🕒 20 minutes) Breadth-First Search algorithm : Python

Nous allons maintenant nous intéresser au premier algorithme portant sur les graphes : **Breadth-First Search**. Le but du Breadth-First Search est de trouver tous les sommets atteignables à partir d'un sommet de départ.

Implémentez l'algorithme en suivant les étapes suivantes :

1. Partez du sommet initial, visitez les sommets adjacents, sauvegardez-les comme **visités**, insérez-les dans une **queue**.
2. Parcourez la **queue**. Pour chaque élément de la queue, visitez les sommets adjacents. S'ils ne sont pas dans la liste des sommets visités, ajoutez-le à cette dernière et ajoutez-le à la queue. Une fois que cela est fait, supprimez l'élément parcouru de la queue.
3. Répétez l'étape 2 jusqu'à ce que la queue soit vide.

💡 Conseil

Quelques conseils pour l'implémentation de votre algorithme :

1. Utilisez l'adjacency list.
2. Pour le point 3), utilisez une boucle `while` avec la condition appropriée.
3. Pour parcourir les sommets adjacents, utilisez une boucle `for`.
4. L'algorithme devrait retourner une liste contenant l'ensemble des sommets atteignables.
5. Vous pouvez utiliser l'image du graphe pour déterminer si l'output de votre l'algorithme est correct.
6. Pensez à utiliser deux listes qui contiendront la liste des nœuds à visiter et ceux qui restent à visiter.
7. Vous pouvez utiliser la méthode `.pop()` pour supprimer un élément d'une liste et retourner l'élément supprimé. Cet élément peut être stocké dans une variable.

>_ Solution

```
1 #Question 2
2
3 adjacency_list_graph = {
4     'A' : ['B', 'C'],
5     'B' : ['D', 'E'],
6     'C' : ['F'],
7     'D' : [],
8     'E' : ['F'],
9     'F' : []
10 }
11
12 def BFS(graph, start):
13     visited = list() # liste des sommets visités
14     queue = [start] # liste des sommets à visiter
15     while len(queue) > 0: # tant que la queue n'est pas vide
16         node = queue.pop(0) # on stocke le premier élément de la
17         # queue, puis on l'enlève de la queue
18         if node not in visited: # si le sommet n'a pas déjà été visité
19             visited.append(node) # on l'ajoute à la liste des sommets
20             # visités
21             neighbors = graph[node] # on récupère la liste des sommets
22             # adjacents au sommet courant
23             for neighbor in neighbors: # Puis on parcourt la liste de
24             # ceux-ci
25                 queue.append(neighbor) # on les ajoute à la queue
26     return visited # on retourne la liste des sommets visités
27     (=atteignables)
```

23

24

25 # Vérifions que l'algorithme fonctionne correctement

26 print(BFS(adjacency_list_graph, 'B'))

27 print(BFS(adjacency_list_graph, 'A'))

Si vous avez correctement écrit votre algorithme, l'output de celui-ci avec comme input notre graphe et le sommet 'A' devrait être ['A', 'B', 'C', 'F', 'D', 'E']

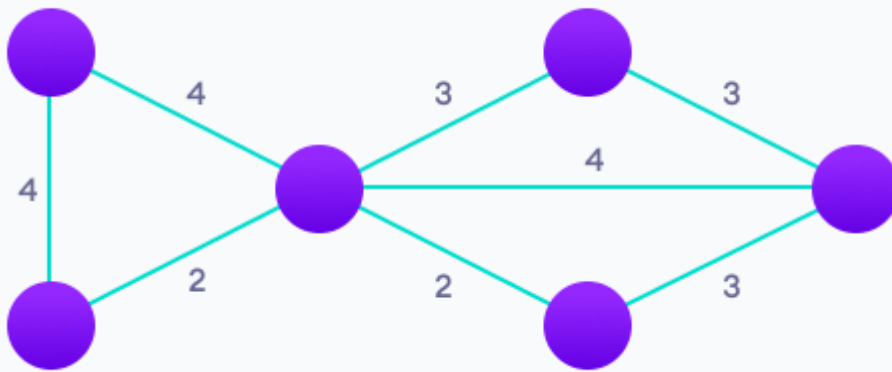
2 Minimum Spanning tree

Nous allons maintenant nous intéresser à l'**algorithme de Kruskal**. Ce dernier s'applique uniquement aux **weighted graphs** (ou graphes pondérés). Ces derniers sont des graphes où les arêtes ont des poids, représentant par exemple une distance. L'algorithme de Kruskal a pour but de trouver un **minimum spanning tree**. Un minimum spanning tree S de G est un sous-graphe connexe de G tel que :

1. $V' = V$, c'est-à-dire que tous les sommets de G sont aussi dans S
2. (V', E') ne contient pas de cycle (pas de cycle dans S)
3. S est le graphe satisfaisant 1) et 2) et ayant la plus petite somme des poids

Question 3: (🕒 5 minutes) Algorithme de Kruskal : Papier

Appliquez l'algorithme de Kruskal au graphe suivant :



💡 Conseil

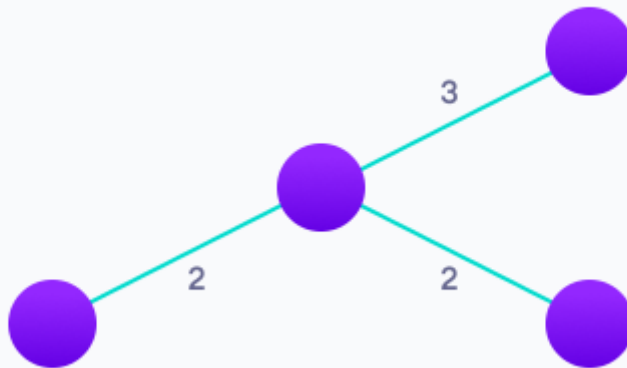
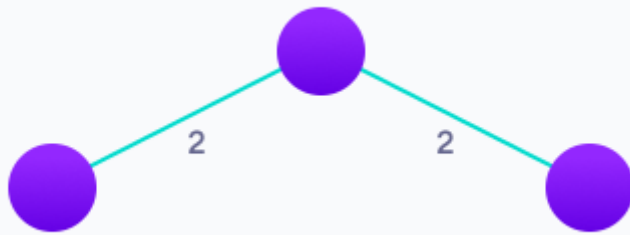
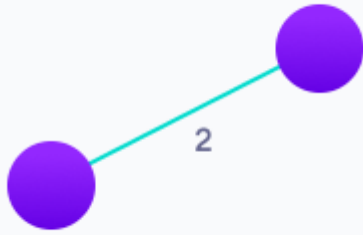
L'algorithme de Kruskal fonctionne de la façon suivante :

1. Classer les arêtes par ordre croissant de poids.
2. Prendre l'arête avec le poids le plus faible et l'ajouter à l'arbre (si 2 arêtes ont le même poids, choisir arbitrairement une des 2).
3. Vérifiez que l'arête ajoutée ne crée pas de cycle, si c'est le cas, supprimez la.
4. Répétez les étapes 2) et 3) jusqu'à ce que tous les sommets aient été atteints.

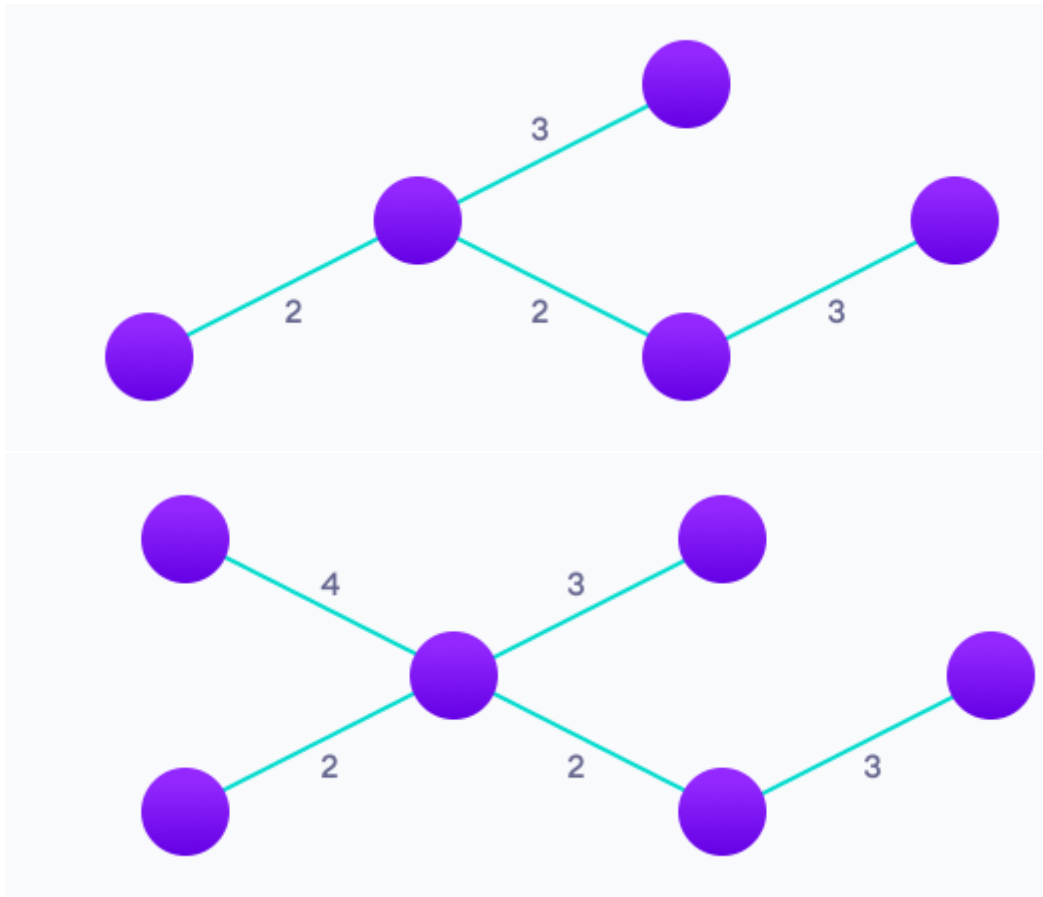
Un Minimum Spanning Tree, s'il existe, a toujours un nombre d'arêtes égal au nombre de sommets moins un. Par exemple, ici notre graphe a 6 sommets. L'algorithme devrait donc s'arrêter lorsque 5 arêtes ont été choisies.

>_ Solution

Vous trouverez ci-dessous les étapes de la construction du Minimum spanning tree :



>_ Solution



L'algorithme s'arrête car tous les sommets ont été atteints. On voit bien que seules 5 arêtes ont été nécessaires.

Question 4: (🕒 15 minutes) Algorithme de Kruskal : Python

Vous trouverez ci-dessous l'algorithme de Kruskal implémenté en Python (disponible sur Moodle). Parcourez la fonction **Kruskal_algo(Graph)** afin de vous assurez que vous ayez bien compris le fonctionnement :

```
1 #Question 3
2
3 class Graph:
4     def __init__(self, vertices): # permet de créer un graphe lorsqu'on écrit
5         # p.ex Graph(6), il faut notamment indiquer le nombre de sommets
6         self.V = vertices
7         self.graph = []
8
9     def add_edge(self, u, v, w): # ajoute une arête entre le sommet u et v
10        # avec un poids w
11        self.graph.append([u, v, w])
12
13    def find(self, parent, i): # Correspond à la fonction Find-set(x)
14        # présentée dans le cours
15        if parent[i] == i:
16            return i
17        return self.find(parent, parent[i])
18
19    def apply_union(self, parent, rank, x, y): # Correspond à la fonction
20        # Union(x,y) présentée dans le cours
21        xroot = self.find(parent, x)
```

```

18         yroot = self.find(parent, y)
19         if rank[xroot] < rank[yroot]:
20             parent[xroot] = yroot
21         elif rank[xroot] > rank[yroot]:
22             parent[yroot] = xroot
23         else:
24             parent[yroot] = xroot
25             rank[xroot] += 1
26
27 g = Graph(6)
28 g.add_edge(0, 1, 4)
29 g.add_edge(0, 2, 4)
30 g.add_edge(1, 2, 2)
31 g.add_edge(1, 0, 4)
32 g.add_edge(2, 0, 4)
33 g.add_edge(2, 1, 2)
34 g.add_edge(2, 3, 3)
35 g.add_edge(2, 5, 2)
36 g.add_edge(2, 4, 4)
37 g.add_edge(3, 2, 3)
38 g.add_edge(3, 4, 3)
39 g.add_edge(4, 2, 4)
40 g.add_edge(4, 3, 3)
41 g.add_edge(5, 2, 2)
42 g.add_edge(5, 4, 3)
43
44 def kruskal_algo(Graph):
45     result = [] # Permettra de stocker le résultat
46     i, e = 0, 0 # Index utilisé dans l'algorithme
47
48     Graph.graph = sorted(Graph.graph, key=lambda item: item[2]) # Trie les
    arêtes par poids croissant, étape 1)
49     parent = []
50     rank = []
51
52
53     for node in range(Graph.V): # Cette boucle parcourt tous les sommets
    du graphe et crée un ensemble pour chacun d'entre eux
54         parent.append(node)
55         rank.append(0)
56
57     # Tant que le nombre d'arêtes est inférieur à V-1, notre sous-graphe
    n'atteint pas tous les sommets -> on continue
58     while e < Graph.V - 1:
59
60         u, v, w = Graph.graph[i] # self.graph contient les arêtes par
    ordre croissant de poids, on commence avec i = 0
61         i = i + 1 # puis à l'itération suivante on voudra
    avoir la 2ème arête la plus légère, donc on incrémente.
62
63         x = Graph.find(parent, u) # Ces 2 lignes des codes permettent de
    rechercher et de stocker à quel ensemble
64         y = Graph.find(parent, v) # appartiennent u et v.
65
66         if x != y: # Si u et v font déjà parti du Minimum Spanning Tree,
    i.e. u et v appartiennent au même ensemble
67             # Alors on ne veut pas ajouter cette arête au minimum
    spanning-tree, d'ou le x!=y
68             e = e + 1 # Si u et v sont d'ensemble différent, on a atteint
    un sommet de plus donc on incrémente
69             result.append([u, v, w]) # On ajoute la nouvelle arête au
    résultat
70             Graph.apply_union(parent, rank, x, y) # On fusionne l'ensemble

```

```

    auquel appartient v à celui auquel appartient u
71     for u, v, weight in result:
72         print("%d - %d: %d" % (u, v, weight)) # méthode permettant
    d'afficher le résultat
73
74     return result
75
76 kruskal_algo(g)

```

💡 Conseil

L'output de l'algorithme est :

1 - 2 : 2

2 - 5 : 2

2 - 3 : 3

3 - 4 : 3

0 - 1 : 4

Il se lit comme une liste d'arêtes et de poids à l'arête correspondante.

Question 5: (🕒 10 minutes) Social Network Analysis : Papier

Les graphes peuvent être utilisés pour représenter une multitude de choses. L'une d'entre elles est la représentation de votre réseau d'amis. Imaginez que vous possédiez une liste de vos amis ainsi que des amis de vos amis (qui ne sont pas nécessairement vos amis). Cette liste peut-être représentée sous forme de graphe. Dans ce graphe :

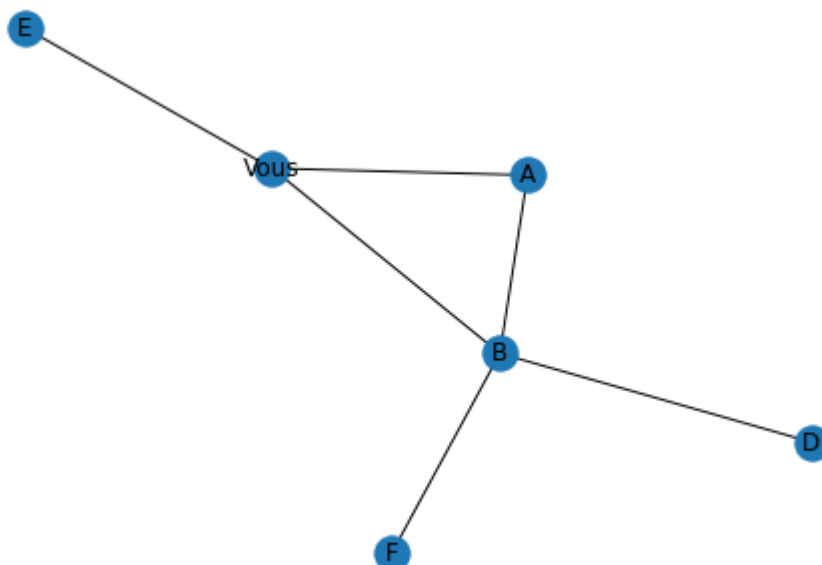
1. À quoi correspondent les arêtes et les nœuds ?
2. Faut-il utiliser un graphe dirigé ?

Supposez que vous disposiez d'un graphe des relations sociales. Décrivez comment retrouver les éléments suivants :

1. Votre ami qui a le plus d'ami
2. Découvrir quels amis à vous se connaissent
3. Listez vos amis qui pourraient vous présenter quelqu'un que vous ne connaissez pas (ami d'ami qui n'est pas votre ami)

Vous voudriez désormais ajouter une nouvelle personne sur ce graphe, mais cette dernière n'est ni votre ami, ni l'ami d'un de vos amis. Quel sera son degré dans le graphe ?

Retrouvez les éléments 1) à 3) dans le graphe ci-dessous :



💡 Conseil

Réfléchissez en terme d'arêtes, de sommets, de degrés et de cycles.

>_ Solution

Dans le graphe des relations sociales, les arêtes correspondent à un lien d'amitié et les nœuds représentent les personnes. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un graphe dirigé si l'on considère qu'une relation d'amitié est toujours réciproque.

Pour trouver les éléments 1) à 3), il faut raisonner de la façon suivante :

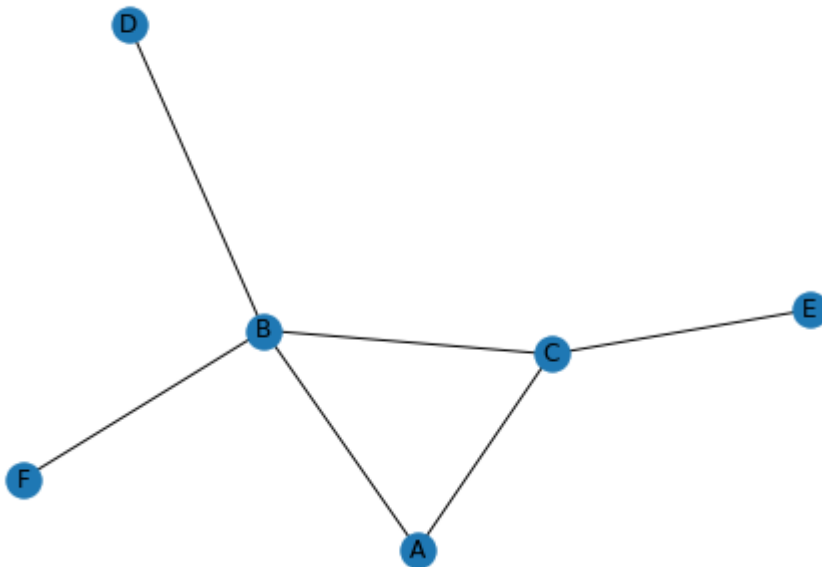
1. Trouvez le sommet relié à vous qui a le degré le plus élevé. Sommet B dans le graphe.
2. Premièrement, les 2 personnes doivent être mes amis donc reliées à moi, mais de plus elles doivent être reliées entre elles. Par conséquent, cela correspond à un cycle dans le graphe. Il y a autant d'amis qui se connaissent que de cycle dans le graphe. Ami A et B dans le graphe.
3. Il ne doit pas y avoir d'arêtes me reliant avec l'ami de mon ami. Sommet B dans le graphe.

Si l'on ajoute une personne qui n'est ni un ami, ni l'ami d'un ami, alors aucune arête n'est reliée à ce sommet. Par conséquent, ce sommet a un degré 0.

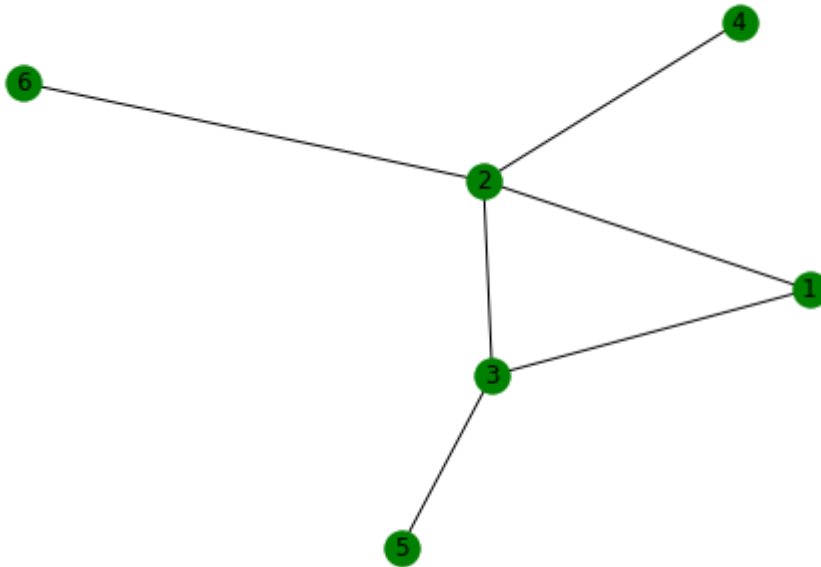
Question 6: (🕒 5 minutes) Reconnaître des réseaux semblables

Supposons maintenant que vous travaillez chez Meta, qui a racheté Whatsapp, et que vous disposiez des 2 graphes représentant respectivement Facebook et Whatsapp. Pouvez-vous déterminer visuellement à qui correspondent les individus de Facebook sur Whatsapp ?

Graphe de Facebook :



Graphe de Whatsapp :



💡 Conseil

Quelques conseils pour vous aider à résoudre cet exercice :

1. Identifiez les sommets des 2 graphes avec des caractéristiques semblables.
2. Il est possible que les sommets ne soient pas tous identifiables.

>_ Solution

1. B correspond à 2 (seul sommet de degré 4)
2. A correspond à 1 (seul sommet de degré 1 relié au sommet de degré 4)
3. C correspond à 3 (seul sommet de degré 3)
4. E correspond à 5 (seul sommet de degré 1 relié au sommet de degré 2)

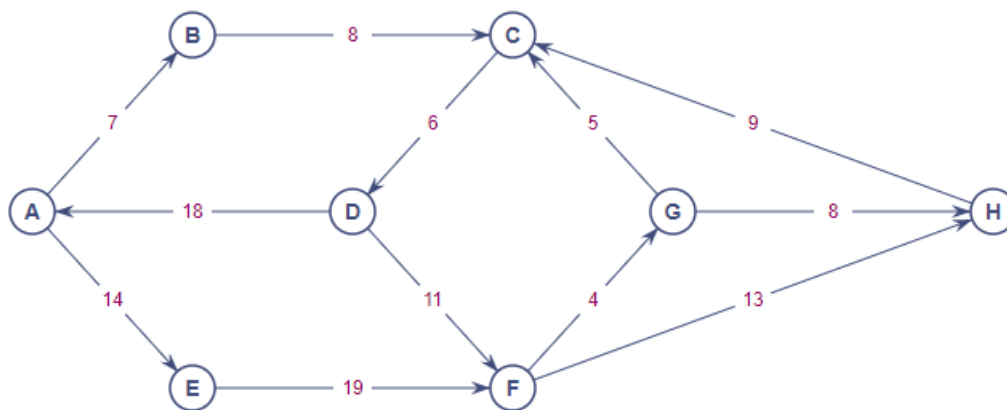
Les sommets D et F et 4 et 6 ne peuvent pas être dissociés. On ne peut donc pas savoir qui correspond à qui.

3 Algorithme de Dijkstra : Python

Nous allons nous intéresser à l'algorithme de Dijkstra qui permet de calculer le chemin le plus court entre 2 sommets d'un graphe. Cet algorithme est par exemple utilisé par les systèmes de navigation (GPS par exemple) pour trouver le chemin le plus court ou le moins coûteux entre 2 points. Les questions de cet exercice sont à remplir sur le fichier tp12.py disponible sur Moodle dans le dossier Ressources.

Question 7: (🕒 10 minutes) Un petit échauffement

Avant de rentrer dans le vif du sujet, nous allons devoir passer par quelques étapes préliminaires afin que vous puissiez coder l'algorithme par vous même. Considérez le graphe suivant :



Ouvrez le fichier tp12.py, et prenez connaissance du code, votre objectif sera de le compléter. Premièrement, représentez le graphe sous la forme d'une adjacency matrix.

💡 Conseil

Représentez la matrice avec les colonnes et les lignes par ordre alphabétique.

>_ Solution

```

1 #Question 7
2
3 i = 99999 # Utilisez cette variable pour représenter les relations
            entre sommets qui ne sont pas dans le graphe.
4 Adjacency_matrix = [[0,7,i,i,14,i,i,i],
5                      [i,0,8,i,i,i,i,i],
6                      [i,i,0,6,i,i,i,i],
7                      [18,i,i,0,i,11,i,i],
8                      [i,i,i,i,0,19,i,i],
9                      [i,i,i,i,i,0,4,13],
10                     [i,i,5,i,i,i,0,8],
11                     [i,i,9,i,i,i,i,0]]

```

Question 8: (🕒 10 minutes) Outils pratiques

La première étape étant complétée, nous allons maintenant nous intéresser à comment récupérer des informations de notre graphe. Voici une liste non-exhaustive d'opérations que l'on peut effectuer :

1. `get_node()` permet d'accéder à un nœud. Par exemple, en faisant `graphe.get_node('A')`, j'obtiens des informations concernant le nœud A.
2. Lorsque l'on accède à un nœud par la fonction `get_node()`, on peut ensuite accéder à la liste de toutes les arêtes qui s'y connecte par l'attribut `relationships`. On peut par la suite distinguer les arêtes partant du nœud et les arêtes y arrivant à l'aide des attributs `relationship._from` et `relationship.to`.

L'exemple de code ci-dessous devrait vous aider à mieux comprendre :

```

1 #Question 8
2
3 A = graphe.get_node('A')
4 Arete_liee_noeud_A = A.relationships #Cette variable contient une liste
    d'arêtes
5
6 print("Le nombre d'arêtes liées à A est : {}".format(len(Arete_liee_noeud_A)))
7

```

```

8 # Vous pouvez voir que le sommet A est bien lié à 7 autres sommets. (Pour
  rappel, le sommet A est virtuellement
9 #lié à 7 sommets dans la matrice d'adjacence)
10
11 vertice = Arete_liee_noeud_A[1] #On sélectionne la 2ème arête liée au sommet A
  (pour rappel les indices d'une liste Python commence à 0)
12
13 # Pour déterminer d'où vient l'arête et où elle se termine, utilisez .to.value
  et _from.value :
14 print("L'arête part du point : {}".format(vertice._from.value))
15 print("Et arrive au point : {}".format(vertice.to.value))
16
17 #Pour obtenir le poids de cette arête, faites : vertice.value :
18 print("Le poids de l'arête est : {}".format(vertice.value))

```

Pour vous assurez que vous avez bien compris cette partie avant de commencer, complétez la fonction `linked` du fichier `tp12.py` de sorte à ce que la fonction permette d'afficher tout les nœuds **partant** d'un sommet donné et d'afficher le poids de l'arête reliant ces 2 sommets.

💡 Conseil

Quelques conseils pour écrire ce programme :

1. Vous devrez retirez les sommets reliés par une arête avec un poids de 99999
2. Utilisez une boucle `for` pour parcourir les arêtes

En faisant appel à votre fonction `linked()` avec les paramètres `graphe` (définie dans le fichier `tp12.py`) et `'D'`, vous devriez obtenir A 18 et F 11 qui correspondent aux nœuds liés à D et à leur poids.

>_ Solution

```

1 # Question 8
2
3 def linked(graph,N) :
4     N = graph.get_node(N) # Accède au noeud N, permet par la suite
  d'en récupérer les infos
5
6     relationships = N.relationships # Accède à toutes les relations du
  point N
7
8     for rel in relationships: # Parcourt les relations du point N
9         if rel.value == 99999: # Si le poids est de 99999 il n'y pas
  de relation dans le graphe -> itération suivante
10             continue
11         else :
12             print(rel.to.value, rel.value) # Sinon on affiche la
  destination, puis le poids de l'arrête.
13
14     return None

```

Question 9: (🕒 15 minutes) Algorithme de Dijkstra Optionnel

L'algorithme de Dijkstra permet de calculer le chemin le plus court entre 2 sommets d'un graphe. L'algorithme de Dijkstra que l'on va utiliser se construit de façon récursive. On initialise l'algorithme à partir du point de départ. Puis, l'on va se déplacer vers tous les sommets atteignables depuis notre point de départ et appliquer l'algorithme de Dijkstra à ses voisins. Ainsi de suite jusqu'à ce que l'on atteigne le sommet de destination. Pour éviter de créer une boucle infinie à cause des cycles, nous appliquerons uniquement Dijkstra aux voisins qui n'ont pas encore été visité.

Complétez la fonction `dijkstra` du fichier `tp12.py`. Pour y arriver, vous pouvez suivre les étapes suivantes :

1. L'algorithme de Dijkstra est un algorithme récursif. Nous l'avons vu lors des dernières semaines, il est nécessaire d'avoir une condition d'arrêt. L'algorithme appelle la fonction `dijkstra` de façon récursive en spécifiant l'origine (qui changera à chaque appel de la fonction `dijkstra`) et la destination. Quelle condition semble appropriée pour terminer l'appel récursif? Implémentez cette condition dans la partie **Question 9.1**
2. Maintenant, nous allons avoir besoin d'une boucle parcourant toutes les relations voisines à notre point d'origine. Pour rappel, `origin.relationships` donne la liste des relations (sommet d'arrivée et poids de l'arête) à partir d'un sommet de départ. Implémentez cette boucle dans la partie **Question 9.2**.
3. À présent, nous pouvons sauter certaines itérations. Pour rappel, nous avons utilisé une matrice d'adjacence pour représenter notre graphe. Mais certaines relations ont vu leur poids arbitrairement assigné à 99999, pour signifier que 2 sommets n'étaient pas reliés. Implémentez une condition qui permet de passer à l'itération suivante de la boucle dans le cas où le poids de l'arête entre l'origine et le voisin considéré est égal à 99999. Pour accéder au poids d'une relation, utilisez la syntaxe `relationship.value`. Implémentez cette condition sous la section **Question 9.3**.
4. La partie *Appel récursif de la fonction* va faire un appel récursif à la fonction Dijkstra et va retourner le chemin le plus court entre le voisin du point d'origine et le point de destination. Dans les variables `distance_temp` et `path_temp` sont contenues respectivement le poids total du chemin le plus court entre le voisin considéré et la destination et l'intitulé de ce chemin (par exemple : ['BCDHG']). Dans la variable `total_distance`, on stocke la distance du chemin qui partirait de notre point d'origine, passerait par le voisin considéré et ensuite suivrait le chemin le plus court contenu dans la variable `path_temp` et dont le poids correspond à `distance_temp`. Votre mission est maintenant d'implémenter un bout de code qui permet de stocker le poids total du meilleur chemin, ainsi que son intitulé (par exemple : ['ABDJF']) Pour cela utilisez la variable `distance` qui a été initialisée à une valeur infinie. Faites cela dans la partie **Question 9.4**.

Conseil

Quelques conseils pour l'implémentation de l'algorithme :

1. Le chemin le plus court entre le sommet A et H devrait être ABCDFGH.
2. Lorsque vous appliquerez Dijkstra aux voisins d'un sommet, pour choisir le chemin optimal vous devrez additionner la distance entre le sommet de départ et le poids du chemin fourni par Dijkstra.
3. Attention, lorsque vous devez déterminer quels voisins sont atteignables, ceux dont le poids est de 99999 ne sont pas atteignables.
4. L'algorithme doit retourner un tuple contenant la distance totale du trajet et le trajet.

>_ Solution

```
1 #Question 9
2
3 from math import inf
4
5 def dijkstra(origin,destination,visited = None):
6
7     if visited is None:#A l'initialisation, l'ensemble des sommets
        atteints est vide
8         visited = set()
9
10    #Question 9.1
11    if origin.value == destination: #Si on est arrivé à destination,
        terminer l'algorithmme => return
12        return(0, origin.value)
13
14    distance = inf
15    path = origin.value
16    visited.add(origin.value)#Ajoute le point à l'ensemble des sommets
        visités
17
18    #Question 9.2
19    for relationship in origin.relationships:
20
21        #Question 9.3
22        if relationship.value == 99999:
23            continue
24
25        neighbour = relationship.to #Les voisins atteignables
26
27
28        if neighbour.value not in visited:#Si un des voisins n'a pas
        encore été visités
29            distance_temp, path_temp = dijkstra(neighbour,
            destination, visited) #On se déplace sur ce point et fait l'algo à
            partir de ce points.
30
31
32            total_distance = distance_temp + relationship.value
33            #Distance du chemin optimal à partir du neighbor + distance entre
            le point de départ et le neighbour.
34
35            #Question 9.4
36            if total_distance < distance: #Si le chemin en question
            est meilleur que les précédents, on le sauvegarde.
37                distance = total_distance
38                path = origin.value + path_temp
39
40    return (distance, path)
```