## Algorithmes et Pensée Computationnelle

Algorithmes spatiaux

Le but de cette séance est de comprendre les caractéristiques de données spatiales et les structures de données couramment utilisées pour les manipuler. Lors de cette séance, nous implémenterons des algorithmes de manipulation de structures de données spatiales vus en cours. Au terme de la séance, l'étudiant sera en mesure d'utiliser quelques algorithmes spatiaux pour résoudre des problèmes de base de façon efficiente.

## 1 Nearest-Neighbor

Dans cette section, nous allons implémenter une recherche du plus proche voisin. Le but de cette méthode est de trouver le voisin le plus proche du point de départ en tenant compte de ce point de "départ" et un ensemble de points. Nous allons implémenter cet algorithme et ensuite l'étendre à un algorithme des "k plus proches voisins" (recherche des k voisins les plus proches plutôt que du seul voisin le plus proche). Nous vous recommandons de traiter les questions dans l'ordre.

#### Question 1: ( 5 minutes) La fonction de distance : Python

Pour implémenter notre recherche, nous avons besoin d'écrire une fonction permettant de calculer la distance entre 2 points. Ecrivez une fonction qui permet de calculer la distance entre 2 points.

## Conseil

Soit 2 points en 2 dimensions  $(x_1,y_1)$  et  $(x_2,y_2)$ , la distance euclidienne entre ces 2 points est donnée par :  $\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$ . En Python, la fonction permettant de faire une racine carrée est sqrt de la librairie math. Pour mettre au carré, on utilise nombre\*\*2.

#### >\_ Solution

```
import math #permet d'importer la librairie nécessaire au calcul de la
racine carrée

def calculate_distance(point1,point2):
    #Cette fonction retourne la distance euclidienne entre 2 points
    return math.sqrt((point1[0]-point2[0])**2+(point1[1]-point2[1])**2)

Note: Vous auriez pu utiliser **0.5 en lieu et place de la fonction math.sqrt().
```

## Question 2: ( 10 minutes) Nearest-neighbor search

Implémentez la recherche du voisin le plus proche. Cette dernière fonctionne de la façon suivante :

- 1. Traversez chaque point.
- 2. Pour chaque point, calculez la distance entre ce point et le point de départ.
- 3. Retournez les coordonnées du point le plus proche.

#### Conseil

Utilisez la fonction de distance de la question 1 et parcourez les points à l'aide d'une boucle for. Si votre input est [(2, 3), (5, 6), (1, 4), (2, 4), (3, 5)] et que le point de départ est [4,4], alors l'output devra être ([3,5] 1.414). [3, 5] étant les coordonnées du point le plus proche et 1.414 étant la distance euclidienne entre notre point de départ et le point le plus proche.

Note : Pour que votre programme fonctionne, écrivez votre algorithme du plus proche voisin dans le même programme que celui de la Question 1.

```
>_ Solution
   from Question1_solution import calculate_distance
2 # Question 2
3 def nearest_neighbor(start, point_set): # start correspond au point
       de départ, point_set correspond
4
       # à l'ensemble des points
5
       nearest_nei = None
6
       min_distance = None
7
       for i in range(len(point_set)): # on parcourt tous les points de
       l'ensemble
8
           if i == 0:
                # La distance minimale n'étant pas définie, on doit
9
       l'initialiser à la première itération, c'est ce qu'on
10
               # fait ici
11
               min_distance = calculate_distance(start, point_set[0])
12
               nearest_nei = point_set[0]
13
14
           distance = calculate_distance(start, point_set[i])
15
            if distance < min_distance:</pre>
16
               min_distance = distance
17
               nearest_nei = point_set[i]
18
                # Cette partie du code détermine si le point actuellement
19
       considéré, est plus proche du point de départ que les points
           # parcourus jusqu'ici. Si c'est le cas, on redéfinit la
       distance minimale et on "enregistre" les coordonnées du point
21
22
       return nearest_nei, min_distance
23
24
25 if __name__ == '__main__':
26
       a = [(2, 3), (5, 6), (1, 4), (2, 4), (3, 5)] # Liste de points
       b = (4, 4) # Point de départ
27
28
29
       point, distance = nearest_neighbor(b, a)
30
       print(f'{point}, {distance}')
       # Devrait retourner (3, 5), 1.4142135623730951
```

#### **Question 3:** (**1** *15 minutes*) **K-nearest-neighbor search**

Améliorez l'algorithme du voisin le plus proche effectué plus haut afin qu'il puisse retourner des *K*-plus proches voisins.

#### Conseil

Appliquez l'algorithme du plus proche voisin K-fois. À la fin de chaque itération, retirez le voisin le plus proche de l'ensemble des points sur lequel l'algorithme s'applique. De cette façon, vous trouverez le second voisin le plus proche, le troisième, etc...

Votre fonction devra retourner une liste forme sous la  $[(x_1, y_2, distance1), (x_2, y_2, distance2), ...].$ En considérant un input [(2,3),(5,6),(1,4),(2,4),(3,5)], un point de départ (4,4) et un nombre de voisins K = 2, l'output de votre algorithme devra être : [(3, 5, 1.4142135623730951), (2, 4, 2.0)]. Attention au type des variables que vous manipulez. Pour rappel, les tuples sont immuables en Python. Pensez à créer de nouveaux tuples contenant les coordonnées des points et leurs distances.

Note : Pour que votre programme fonctionne, écrivez votre algorithme dans le même programme que celui de la Question 1 et la Question 2.

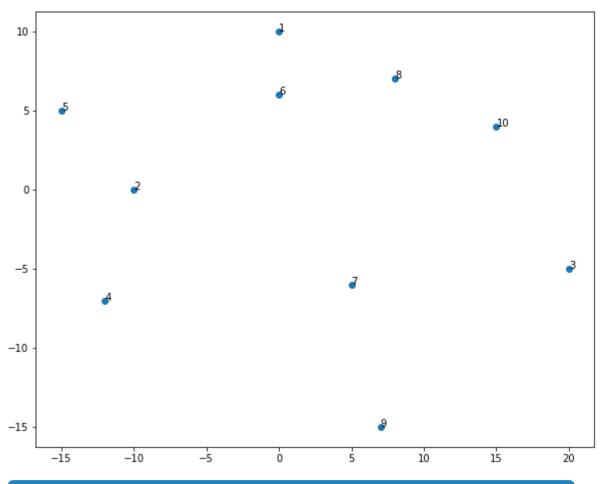
#### >\_ Solution

```
1
   # Question 3
   def K_nearest_neighbor(start, point_set, K):
3
       k_nearest_nei = []
4
5
       for j in range(K): # A chaque itération, on applique l'algorithme
       du nearest neighbor mais sur un ensemble de points réduit
6
           point, distance = nearest_neighbor(start, point_set)
           k_nearest_nei.append((point[0], point[1], distance))
7
8
           point_set.remove(point) # On retire de l'ensemble de points
       le voisin le plus proche, de cette manière, à chaque itération,
9
           # le voisin le plus proche sera de plus en plus éloigné.
10
11
       return k_nearest_nei
```

# 2 K-dimensional tree

## Question 4: ( 5 minutes) KD-Tree, un échauffement : Papier

Vous trouverez ci-dessous une liste de points numérotés de 1 à 10. Placez-les dans un KD-Tree et dessinez la séparation de l'espace qui en résulte.



#### Conseil

La première division se fait de façon verticale. Veillez à bien insérer les points dans l'ordre (point 1, point 2, etc..). Les nœuds se situant au même niveau devraient diviser l'espace selon le même axe.



## **Question 5:** ( 15 minutes) **KD-Tree : Python**

L'objectif de cet exercice est d'écrire une fonction permettant d'ajouter un nœud à un KD-Tree. Les nœuds sont de la forme ((x,y), enfant à gauche, enfant à droite), x et y étant les coordonnées du nœud considéré. Chaque enfant peut être soit un nœud ou une feuille. Complétez le code contenu dans le fichier Question5.py.

# Conseil Voici le pseudo-code permettant d'ajouter un nœud à un KD-Tree : ADD(node,point,cutaxis): if node = NIL $node \leftarrow Create\text{-Node}$ node.point = pointreturn node if point[cutaxis] $\leq$ node.point[cutaxis] node.left = ADD(node.left, point, (cutaxis + 1) modulo kelse node.right = ADD(node.right, point, (cutaxis+1) modulo k return node Si votre réponse est correcte, votre programme devrait afficher : [(0, 10), [(-10, 0), None, None], None]. Pour rappel, en Python, NIL correspond à None. Create-Node permet de créer un nouveau nœud, vous pouvez vous inspirer de la structure de root définie dans le fichier Question5.py.

#### >\_ Solution

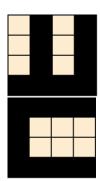
```
1
   # Question 5
2
3
   def add_node(node, point, k, cutaxis = 0):
4
5
       if node is None: #Si le noeud n'existe pas, nous sommes donc dans
       une feuille, et il faut créer le noeud
6
           node = [point, None, None]
7
           return node
8
9
       if point[cutaxis] <= node[0][cutaxis]:</pre>
10
            node[1] = add_node(node[1], point, k, cutaxis + 1 % k)
11
12
       else:
13
           node[2] = add_node(node[2], point, k, cutaxis + 1 % k)
14
15
        return node
16
17
   root = [(0,10), None, None] #Nous définissons ici juste la racine de
18
       l'arbre
   k = 2 # Ici nous travaillerons en 2 dimensions
20 point = (-10,0) #Point que nous voulons ajouter dans le graphe
21
   add_node(root,point,k)
22 print(root)
```

Si la coordonnée du point à ajouter est inférieure à celle du nœud selon l'axe de découpe en considération, alors le point doit se trouver dans le sous-arbre de gauche. Par convention, le nœud de gauche correspond dans la liste [(x,y), nœud de gauche, nœud de droite] à l'indice 1, par conséquent, on appelle la fonction de façon récursive pour ajouter le point, mais cette fois-ci en partant d'un cran plus bas dans l'arbre. Cela se répète jusqu'à ce qu'un ait atteint les feuilles et qu'un nouveau nœud doive être crée.

# 3 Quad-Tree

## Question 6: ( 10 minutes) Une mise en train : Papier

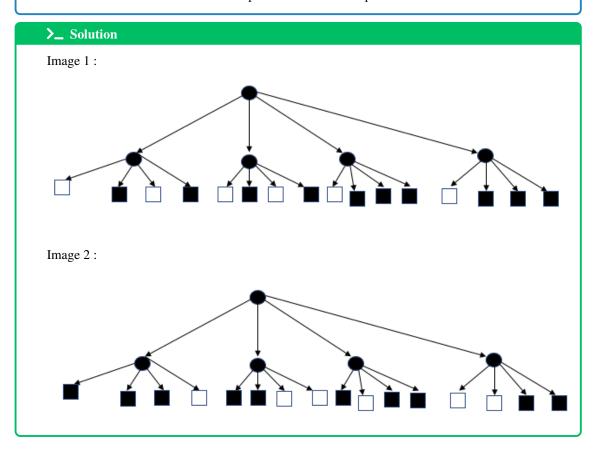
Encodez les images ci-dessous dans un Quad-Tree.



#### Conseil

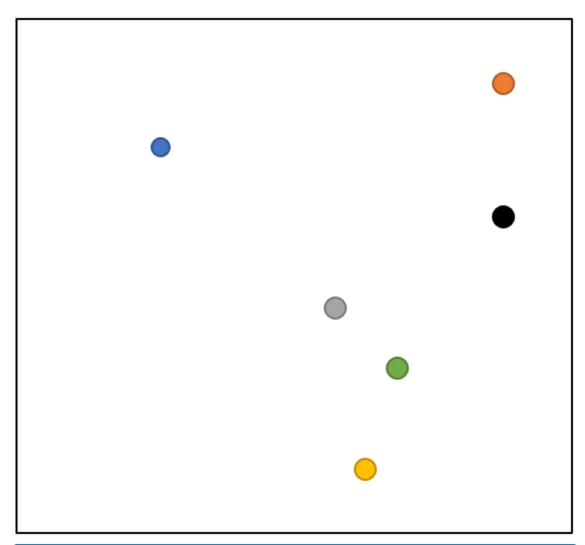
Pour réussir cet exercice vous devez diviser chaque nœud en 4 sous-espaces (le plus petit sous-espace étant un carré) de taille égale, et ce autant de fois que nécessaire. La branche la plus à gauche correspond au quadrant NW puis en allant de gauche à droite : NE, SW, SE.

**Indice :** Votre arbre devrait avoir une profondeur de 2 et disposer de 16 feuilles.



Question 7: ( 10 minutes) Une mission capitale : Papier Optionnel

Récemment embauché par la CIA, vous êtes à la recherche d'un individu se cachant dans une des villes suivantes : Bleu, Orange, Noir, Gris, Vert et Jaune. Votre mission, si vous l'acceptez, est de créer un Quad-Tree qui vous permettra de géolocaliser le criminel de façon efficace. Vous trouverez ci-dessous une carte de villes. Créez le Quad-Tree et rétablissez la justice.



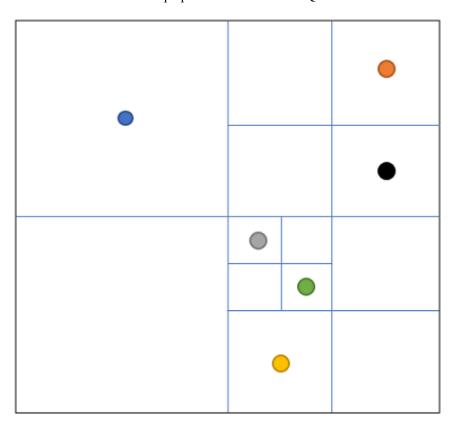
# **?** Conseil

Commencez par diviser la carte de la ville de façon adéquate puis construisez le graphe.

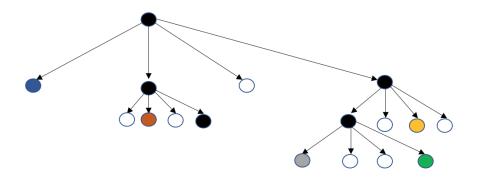
Remarque : Les différentes branches de l'arbre n'auront pas toutes la même profondeur.

# >\_ Solution

Voici la division de la carte qui permet de construire le Quad-Tree :



Le Quad-Tree qui en résulte :



Note: Un rond blanc correspond à un quadrant vide.