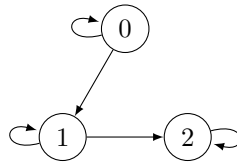


I Représentations

1. Quel est le nombre de chemins de longueur 100 de 0 à 2 dans le graphe orienté suivant?



2. Soit $\vec{G} = (V, \vec{E})$ un graphe orienté représenté par une matrice d'adjacence \mathbf{m} . Écrire une fonction `trou_noir m` renvoyant en $O(|V|)$ un sommet t vérifiant :

- $\forall u \neq t : (u, t) \in \vec{E}$
- $\forall v \neq t : (t, v) \notin \vec{E}$

Si \vec{G} n'a pas de trou noir, on pourra renvoyer -1.

3. Écrire une fonction

`pere_to_arb : int array -> int arb`

qui transforme en temps linéaire un arbre représenté par un tableau `pere` (où `pere.(i)` est le prédécesseur du sommet `i`) en un arbre persistant de type :

`type 'a arb = N of 'a * 'a arb list`

Si `r` est la racine, on supposera que `pere.(r) = r`.

Remarque : l'arbre peut avoir un nombre quelconque de fils, d'où l'utilisation d'une liste pour les fils.

II Distances

Soit $G = (V, E)$ un graphe représenté par liste d'adjacence. On rappelle que la **distance** de u à v est la longueur minimum d'un chemin de u à v (c'est aussi une distance au sens mathématiques, pour un graphe non-orienté).

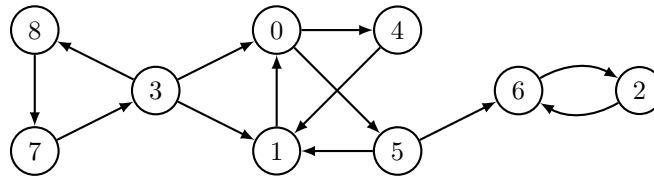
1. L'**excentricité** d'un sommet u est la distance maximum de ce sommet à un autre. Écrire une fonction `exc : int list array -> int -> int` renvoyant en $O(|V| + |E|)$ l'excentricité d'un sommet.
2. Écrire une fonction `diametre : int list array -> int` renvoyant en $O(|V| \times (|V| + |E|))$ le **diamètre** d'un graphe, c'est à dire la distance maximum entre deux sommets.
3. Écrire une fonction `centre : int list array -> int` renvoyant en $O(|V| \times (|V| + |E|))$ le **centre** d'un graphe, c'est à dire le sommet d'excentricité minimum.
4. Peut-on améliorer les trois algorithmes précédents si G est un arbre?
5. Soient $S \subset V$ et $T \subset V$. Comment calculer efficacement la distance entre S et T , c'est à dire la distance minimum entre un sommet de S et un de T ?
6. Soient $u, v, w \in V$. Comment trouver efficacement un plus court chemin de u à w passant par v ?
7. Soit $G = (V, E)$ et $k \in \mathbb{N}$ tel que $\deg(v) \leq k, \forall v \in V$. Soient $u, v \in V$. Expliquer comment trouver la distance d de u à v en $O(\sqrt{k^d})$. Comment procéder pour un graphe orienté?

III Composantes fortement connexes

Dans tout l'exercice, `g : int list array` est un graphe orienté représenté par liste d'adjacence.

III.1 Tri topologique

1. Écrire une fonction `post_dfs g vu r` renvoyant la liste des sommets atteignables depuis `r` dans l'ordre de fin de traitement croissant d'un DFS (c'est à dire dans l'ordre postfixe/suffixe de l'arbre de parcours en profondeur). `vu` est un tableau des sommets déjà visités. On pourra utiliser `@` pour simplifier l'écriture.
2. Quelle est la liste renvoyée par `post_dfs g vu 0` si `g` est le graphe ci-dessus?



3. Soit $[v_0; v_1; \dots]$ la liste renvoyée par `post_dfs g vu r`. On suppose g sans cycle.
Montrer que : (v_i, v_j) est un arc de $g \implies i > j$.
4. On suppose g sans cycle. En déduire une fonction `tri_topo g` effectuant un **tri topologique** de g , c'est à dire renvoyant une liste $[v_0; v_1; \dots]$ de tous ses sommets de façon à ce que : (v_i, v_j) est un arc de $g \implies i < j$.
Remarque : on peut voir le tri topologique comme une généralisation d'un tri classique, où $a \leq b$ est remplacée par $a \rightarrow b$.
 On pourrait trier des entiers en appelant `tri_topo` sur le graphe correspondant, mais le nombre d'arcs serait quadratique, donc la complexité aussi.
Application : on veut savoir dans quel ordre effectuer des tâches (les sommets) dont certaines doivent être effectuées après d'autres (arcs = dépendances). Par exemple pour résoudre un problème par programmation dynamique, on peut construire le graphe dont les sommets sont les sous-problèmes, un arc (u, v) indiquant que la résolution de v nécessite celle de u . Il faut alors résoudre les sous-problèmes dans un ordre topologique.

III.2 Algorithme de Kosaraju

1. Écrire une fonction

`tr : int list array -> int list array`

renvoyant la **transposée** d'un graphe, obtenue en inversant le sens de tous les arcs.

L'algorithme de Kosaraju consiste à trouver les composantes fortement connexes de g de la façon suivante :

- (i) appliquer plusieurs DFS sur g jusqu'à avoir visité tous les sommets, en calculant la liste l des sommets de g dans l'ordre de fin de traitement décroissant.
 - (ii) faire un DFS dans `tr g` depuis le premier sommet r de l : l'ensemble des sommets atteints est alors une composante fortement connexe de g .
 - (iii) répéter (ii) tant que possible en remplaçant r par le prochain sommet non visité de l .
2. Appliquer la méthode sur le graphe de la question III.1.1.
 3. Écrire une fonction `kosaraju g` renvoyant la liste des composantes fortement connexes de g (chaque composante fortement connexe étant une liste de sommets).
 4. Quelle serait la complexité en évitant l'utilisation de `@`?