

**Exercice 1. Arbre binaire de recherche optimal**

Étant donnés des éléments  $e_0 < e_1 < \dots < e_{n-1}$  de probabilités d'apparitions  $p_0, \dots, p_{n-1}$ , on veut construire un arbre binaire de recherche (ABR)  $a$  contenant  $e_0, \dots, e_{n-1}$  et minimisant la complexité moyenne de recherche d'un élément (le *coût*  $C(a)$  de  $a$ ), qui est :

$$C(a) = \sum_{i=0}^{n-1} p_i(1 + \text{prof}(e_i))$$

où  $\text{prof}(e_i)$  est la profondeur de  $e_i$  dans  $a$

1. Écrire une fonction `cout` ayant un ABR  $a$  en argument et renvoyant  $C(a)$  en complexité linéaire en le nombre de sommets de  $a$ . On supposera définie, dans cette question, une fonction `proba` renvoyant en  $O(1)$  la probabilité d'apparition d'un élément de l'ABR.

Dans le reste de l'exercice, on veut calculer l'ABR optimal (de coût minimum) par programmation dynamique. Pour cela on note:

- $w_{i,l} = p_i + \dots + p_{i+l-1}$
  - $c_{i,l}$  le coût de l'ABR optimal  $a_{i,l}$  contenant  $e_i, \dots, e_{i+l-1}$
2. Donner une relation de récurrence « simple » sur  $c_{i,l}$ .  
Indice : que vaut  $c_{i,l}$  si  $a_{i,l}$  a pour racine  $e_{i+k}$ ?
  3. Écrire une fonction `opt` ayant un tableau des probabilités d'apparitions en entrée et renvoyant le coût de l'ABR optimal correspondant.
  4. Quelle est la complexité de `opt`?
  5. Modifier `opt` de façon à renvoyer aussi l'ABR optimal.

**Exercice 2. Chemin de poids maximum dans une matrice**

Étant donnée une matrice d'entiers  $A = (a_{i,j})$  de taille  $n \times k$ , on veut connaître un chemin (n'utilisant que des déplacements  $\rightarrow$  ou  $\downarrow$ ) de la case en haut à gauche (d'indice  $(0,0)$ ) à la case en bas à droite (d'indice  $(n-1, k-1)$ ) maximisant la somme des entiers rencontrés (le **poids** du chemin).

Voici un exemple avec un chemin de poids maximum en gras:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{2} & \mathbf{39} & \mathbf{12} & \mathbf{49} & \mathbf{47} & 18 & 22 & 19 \\ 37 & 21 & 34 & 26 & \mathbf{10} & 2 & 35 & 39 \\ 31 & 21 & 12 & 26 & \mathbf{34} & \mathbf{27} & 7 & 22 \\ 20 & 46 & 16 & 2 & 11 & \mathbf{40} & \mathbf{36} & \mathbf{13} \\ 18 & 30 & 32 & 37 & 28 & 24 & 9 & \mathbf{6} \end{pmatrix}$$

1. Quelle serait la complexité d'un algorithme de recherche exhaustive, énumérant tous les chemins possibles de  $(0,0)$  à  $(n-1, n-1)$ ? (on suppose pour simplifier que  $n = k$ , dans cette question)
2. Supposons qu'un chemin  $C$  de poids maximum de  $(0,0)$  à  $(n-1, k-1)$  passe par la case  $(i,j)$ . Montrer que le sous-chemin de  $C$  de  $(0,0)$  à  $(i,j)$  est de poids maximum (c'est une propriété de **sous-optimalité**).
3. Soit  $p_{i,j}$  le poids maximum d'un chemin de  $(0,0)$  à  $(i,j)$ . Donner une formule de récurrence sur  $p_{i,j}$ .
4. Écrire un algorithme récursif simple `p : int array array -> int * int -> int` tel que `p a (i, j)` renvoie le poids maximum d'un chemin de  $(0,0)$  vers  $(i,j)$  dans `a`. Que dire de sa complexité?
5. Écrire une fonction `pmax` donnant le poids maximum d'un chemin de la case en haut à gauche à la case en bas à droite, en utilisant une méthode par programmation dynamique. Comparer sa complexité avec la méthode précédente.
6. La fonction précédente ne donne que le poids maximum d'un chemin... Comment ferait-on pour trouver un chemin de poids maximum?

### Exercice 3. Multiplication de matrices

1. Quel est le nombre de multiplications nécessaires pour calculer  $AB$  où  $A$  est une matrice de taille  $(n, p)$  et  $B$  de taille  $(p, q)$  (en utilisant la définition du produit matriciel) ?
2. Soit  $A, B, C$  de tailles  $(2, 3), (3, 4), (4, 5)$ .  
Combien de multiplications demande le calcul de  $(AB)C$ ? (on fait d'abord le produit de  $A$  par  $B$  puis on multiplie par  $C$ ). Combien de multiplications demande le calcul de  $A(BC)$ ?

On veut calculer le produit  $A_0 \times A_1 \times \dots \times A_{n-1}$ , où  $A_0, A_1, \dots, A_{n-1}$  sont de tailles  $(t_0, t_1), (t_1, t_2), \dots, (t_{n-1}, t_n)$ .

3. Soit  $m_{i,j}$  le nombre minimum de multiplications nécessaires pour calculer  $A_i \times A_{i+1} \times \dots \times A_j$ .  
Donner une équation de récurrence sur  $m_{i,j}$ .
4. En déduire une fonction efficace `produit t` renvoyant  $m_{0,n-1}$ , où `t.(i)` contient  $t_i$ .

### Exercice 4. Point fixe, de M. Bricout

Quelle est la meilleure complexité que vous pouvez donner pour trouver un point fixe (c'est-à-dire un indice  $i$  tel que `t.(i) = i`) dans un tableau `t` trié ?

Écrire l'algorithme correspondant.