

# Mini-Projet : Alignement de séquences

## LU3IN003 - Sorbonne Université

Amann Emmanuelle & Malonda Clément

29 novembre 2019

### Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Méthode naïve par énumération</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Programmation dynamique</b>	<b>3</b>
3.1	pour le calcul de la distance d'édition . . . . .	4
3.2	pour le calcul d'un alignement optimal . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Amélioration de la complexité spatiale du calcul de la distance</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Amélioration de la complexité spatiale du calcul d'un alignement optimal par la méthode "diviser pour régner"</b>	<b>9</b>

# 1 Introduction

### Question 1 .

Soient  $(\bar{x}, \bar{y})$  et  $(\bar{u}, \bar{v})$  deux alignements respectivement de  $(x, y)$  et  $(u, v)$ .  $\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont alignés et donc sont de même longueur ( $|\bar{x}| = |\bar{y}|$ ). De même pour l'alignement  $(\bar{u}, \bar{v})$ , ( $|\bar{u}| = |\bar{v}|$ ).

A partir de ces deux affirmations, nous pouvons dire que la concaténation de  $\bar{x}$  et  $\bar{u}$ ,  $\bar{x}.\bar{u}$  ainsi que la concaténation de  $\bar{y}$  et  $\bar{v}$ ,  $\bar{y}.\bar{v}$  sont de même longueur.

## Question 2 .

Soient  $x \in \Sigma^*$  un mot de longueur  $n$  et  $y \in \Sigma^*$  un mot de longueur  $m$ , la longueur maximale d'un alignement de  $(x, y)$  est  $n + m - 1$ .

On prend par exemple  $x = ATCG$  et  $y = GCTGA$ , l'alignement de longueur maximale est :

$$\begin{array}{l} \bar{x} : ATCG \_\_\_\_\_ \\ \bar{y} : \_\_\_\_\_ GCTGA \end{array}$$

## 2 Méthode naïve par énumération

### Question 3 .

Soit  $x \in \Sigma$  un mot de longueur  $n$ , on souhaite ajouter exactement  $k$  gaps dans ce mot pour obtenir le mot  $\bar{x}$ .

Il existe, sur un ensemble de  $n + k$  valeurs,  $n^k + 1$  combinaisons possibles.

### Question 4 .

$|\bar{x}| = n \leq m = |y|$  où  $\bar{x}$  est le mot  $x$  avec  $k$  gaps.

On a donc  $|\bar{x}| - |y| = k_y$  le nombre de gaps que l'on doit insérer dans le mot  $y$ . COMPLETE

### Question 5

### Question 6

**Tâche A** Il est possible de résoudre les instances fournies en moins d’une minute pour celles qui sont de tailles 10 et 12.

La consommation mémoire nécessaire au fonctionnement de cette méthode est d'environ 4900Ko.

### 3 Programmation dynamique

#### 3.1 pour le calcul de la distance d'édition

On considère  $(x, y) \in \Sigma^* \times \Sigma^*$  un couple de mots de longueurs respectives  $n$  et  $m$ .

##### Question 7 .

On distingue trois cas possible :

- si  $\bar{u}_j = -$  alors  $\bar{v}_l = y_j$  car par définition il n'est pas possible d'avoir deux gaps face à face dans un alignement.
- si  $\bar{v}_l = -$  alors  $\bar{u}_l = x_i$  car par définition il n'est pas possible d'avoir deux gaps face à face dans un alignement.
- si  $\bar{u}_l \neq -$  et  $\bar{v}_l \neq -$  alors  $\bar{v}_l = \bar{u}_l$  car le seul moyen de ne pas avoir de gap en une position  $l$  de la liste est que les lettres des deux mots à cette endroit soient les mêmes.

##### Question 8

$$C(\bar{u}, \bar{v}) = C(\bar{u}_{[1...l-1]}, \bar{v}_{[1...l-1]}) + \begin{cases} c_{ins} si \bar{u}_l = - \\ c_{del} si \bar{v}_l = - \\ c_{sub} sinon \end{cases}$$

##### Question 9 .

Soit  $(\bar{u}, \bar{v})$  un alignement de  $(x_{[1...i]}, y_{[1...j]})$

On sait que

$$\begin{aligned} D(i, j) &= d(x_{[1...i]}, y_{[1...j]}) \\ D(i, j) &= \min\{\bar{u}, \bar{v}\} \end{aligned}$$

**Dans le cas n°1 :** on a  $\bar{v}_l = y_j$  et  $\bar{u}_l = -$ , ce qui une insertion. Puis, pour calculer la distance des éléments précédents, nous allons devoir prendre l'élément précédent dans  $y$  mais pas dans  $x$  car la place  $x_i$  est occupé par un gap.

**Dans le cas n°2 :** on a  $\bar{u}_l = x_i$  et  $\bar{v}_l = -$ , ce qui une suppression. Puis, pour calculer la distance des éléments précédents, nous allons devoir prendre l'élément précédent dans  $x$  mais pas dans  $y$  car la place  $y_j$  est occupé par un gap.

**Dans le cas n°3 :** il n'y a aucun gap donc on prendra dans les deux mots les lettres précédentes  $x_{[1...i-1]}$  et  $y_{[1...j-1]}$ .

##### Question 10 .

$D(0, 0) = 0$  car les lettres d'un mot sont numérotées de 1 à  $n$  avec  $n$  la taille du mot, la position  $(0, 0)$  correspond au mot vide.

**Question 11** .

$D(0, j) = m \times c_{ins}$  l'alignement du mot vide  $w$  avec un mot de taille  $m$  se fait par l'ajout de  $m$  gaps dans  $w$  face à chaque lettre

$D(i, 0) = n \times c_{del}$  l'alignement du mot vide  $w$  avec un mot de taille  $n$  se fait par l'ajout de  $n$  gaps dans  $w$  face à chaque lettre

**Question 12** .

```

DIST_1 (x, y) :
  n <- x.taille + 1
  m <- y.taille + 1
  T <- entier[n][m]

  pour i allant de 0 a n faire :
    pour j allant de 0 a m faire :
      si i==0 faire :
        T[i][j] <- j*2

      sinon si j==0 faire :
        T[i][j] <- i*2
      sinon :
        T[i][j] <- min (T[i-1][j]+2, T[i][j-1] + 2, T[i-1][j-1] + \
          c_sub (x[i-1], y[j-1]))

  return (T[n-1][m-1], T)

```

Nous retournons le couple constitué de la distance d'édition et du tableau de toutes les valeurs de  $D$  car nous avons besoin de ce tableau dans SOL\_1.

**Question 13** .

L'algorithme DIST\_1 utilise une matrice de taille  $n \times m$ , sa complexité spatiale est en  $O(n \times m)$ .

**Question 14** .

L'algorithme DIST\_1 est constitué de deux boucles imbriquées. La boucle intérieure ne fait que des opérations élémentaires en  $O(1)$  donc la complexité temporelle est en  $O(n \times m)$ .

### 3.2 pour le calcul d'un alignement optimal

#### Question 15 .

On a  $i > 0$  et  $D(i, j) = D(i - 1, j) + c_{del}$

Si  $\exists (\bar{s}, \bar{t}) \in Al^*(i - 1, j) + c_{del}$

Montrons alors que  $(\bar{s}.x_i) \in Al^*(i, j)$

$Al^*(i - 1, j)$  veut dire qu'il existe un alignement  $(\bar{s}, \bar{t})$  de  $(x[1...i - 1], y[1...j])$  tel que  $C(\bar{s}, \bar{t}) = D(i - 1, j)$ . Par définition  $c_{del}$  est le coût d'une suppression qui consiste à encoder un gap dans  $\bar{y}$  pour marquer la suppression de la lettre de  $x$  qui est parallèle à ce gap dans  $\bar{y}$ . Par définition on va donc ajouter un élément dans  $\bar{y}$  sans avancer dans le mot  $y$  et on parallèle on avance d'une lettre dans  $x$ .

On aura donc  $D(i - 1, j) + c_{del} = D(i, j)$

Donc il existera un alignement  $(\bar{u}, \bar{v})$  tel que  $C(\bar{u}, \bar{v}) = D(i, j)$  avec  $\bar{u} = \bar{s}.x_i$  et  $\bar{v} = \bar{t}.$

Alors on a bien  $(\bar{s}.x, \bar{t}.) \in Al^*(i, j)$ .

#### Question 16 .

SOL\_1 (x, y, T) :

u <- ""

v <- ""

n <- x.taille

m <- y.taille

i <- n

j <- m

tant que (i >= 1) ou (j >= 1) faire :

if (T[i][j]) == (T[i - 1][j] + 2) :

u <- x[i - 1] + u

v <- "-" + v

i <- i - 1

sinon si (T[i][j]) == (T[i][j - 1] + 2) faire :

u <- "-" + u

v <- y[j - 1] + v

j <- j - 1

sinon si T[i][j] == (T[i - 1][j - 1] + c\_sub (x[i - 1], y[j - 1])) faire :

u <- x[i - 1] + u

v <- y[j - 1] + v

i <- i - 1

j <- j - 1

retourne (u, v)

**Question 17** .

**Question 18** .

**Tâche B** .

## 4 Amélioration de la complexité spatiale du calcul de la distance

Question 19

Question 20

Tâche C

## 5 Amélioration de la complexité spatiale du calcul d'un alignement optimal par la méthode "diviser pour régner"

**Question 21** Pseudo-code de la fonction `mot_gaps` :

```
mot_gaps(k):  
    res <- ""  
    pour i allant de 0 a k-1 faire:  
        res <- res + "-"  
    retourne res
```

**Question 22** Pseudo-code de la fonction `align_lettre_mot` :

```
align_lettre_mot(lettre , mot):  
    i <- 0  
    tant que lettre != mot[i] et i < mot.taille:  
        i <- i + 1  
    si i < mot.taille alors:  
        x <- mot_gaps(i) + lettre + mot_gaps(mot.taille - i - 1)  
    sinon:  
        mot <- mot + "-"  
        lettre <- mot_gaps(mot.taille) + lettre  
    retourne(lettre , mot)
```

**Question 23**

**Question 24** Pseudo-code de la fonction `SOL_2` en considérant que l'on possède une fonction `coupure`

```
SOL_2(x, y):  
    si y.taille == 0 alors:  
        retourne (x, mot_gaps(x.taille))  
    si x.taille == 1 et si y.taille == 1 alors:  
        si x == y alors:  
            retourne (x,y)  
        sinon retourne (x+"-", "-"+y)  
    sinon:  
        res1 <- SOL_2(x[:x.taille/2], y[:coupure(x,y)])  
        res2 <- SOL_2(x[x.taille/2:], y[coupure(x,y):])  
        retourne (res1[0]+res2[0], res1[1]+res2[1])
```



**Question 25** Pseudo-code de la fonction coupure :

```
coupure (x, y, T) :
    n ← len(x)+1
    m ← len(y)+1
    p ← (n-1)//2
    I ← np.zeros((n, m))
    i ← 1
    j ← 1

    pour i allant de 1 a n faire :
        pour j allant de 1 a m faire :

            si (i<p) faire :
                I[i][j] ← 0

            sinon si (i==p) faire :
                I[i][j] ← j

            sinon :
                s ← min (T[i-1][j], T[i][j-1], T[i-1][j-1])

                si (s == T[i-1][j]) faire :
                    I[i][j] ← I[i-1][j]

                sinon si (s == T[i][j-1]) faire :
                    I[i][j] ← I[i][j-1]

                sinon si (s == T[i-1][j-1]) faire :
                    I[i][j] ← I[i-1][j-1]

    return (I[n-1][m-1])
```

**Question 26**

**Question 27**

**Question 28**

**Tâche D**

**Question 29**