# **ALGORITHMES**

**Premiere SPE NSI** 

## Table of contents

1. Algorithmique en 1 re ené NCI	3
Algorithmique en 1re spé NSI      Les tris	3
1.2 La recherche	3
2. Tri par sélection	4
2.1 Principe	4
2.2 Algorithme et exemple d'implémentation en python	4
2.3 Validité de l'algorithme	4
2.4 Complexité en temps	5
3. Tri par insertion	7
3.1 Principe	7
3.2 Algorithme	7
3.3 Implémentation en python	7
3.4 Validité de l'algorithme	8
3.5 Efficacité: complexité temporelle de l'algorithme	8
4. Les tris	10
4.1 Rappel des fonctions du cours	10
4.2 La complexité des algorithmes de tri	11

- 2/12 - CC BY NC SA

## 1. Algorithmique en 1re spé NSI

### 1.1 Les tris

Contenus	Capacités attendues	Commentaires
Tris par	Écrire un algorithme de tri. Décrire un invariant	La terminaison de ces algorithmes est à
insertion, par	de boucle qui prouve la correction des tris par	justifier. On montre que leur coût est
sélection	insertion, par sélection.	quadratique dans le pire cas.

### 1.2 La recherche

- 3/12 - CC BY NC SA

### 2. Tri par sélection

#### 2.1 Principe

On commence par rechercher le plus petit élement du tableau puis on l'échange avec le premier élement. Ensuite, on cherche le deuxième plus petit élement et on l'échange avec le deuxième élément du tableau et ainsi de suite jusqu'à ce que le tableau soit entièrement trié.

Voir l'animation proposée. lien

#### 2.2 Algorithme et exemple d'implémentation en python

On peut formaliser l'algorithme du tri par sélection avec le pseudo-code suivant:

```
Tri_selection(t)

t: tableau de n éléments (t[0..n-1)

Pour i allant de 0 à n-2:

idxmini = i

Pour j allant de i+1 à n-1:

Si t[j] < t[idxmini]:

idxmini = j

Echanger t[i] et t[idxmini]
```

#### Travail

- Appliquer cet algorithme à la main sur le tableau t = [3, 4, 1, 7, 2].
- donner une implémentation possible en python de cet algorithme et tester.

```
def echange(t, i, j):

Permute les éléments situés aux index i et j du tableau t

t: tableau non vide

i, j: entiers dans l'intervalle [0, len(t)-1]

multiple tij

t[j] = t[j]

t[j] = tmp

def tri_selection(t):

"""

trie par ordre croissant les éléments de t

"""

n = len(t)

#Compléter le code
```

```
1 # Test

2 t = [5, 6, 1, 1, 15, 0, 4]

3 tri_selection(t)

4 assert t = [0, 1, 1, 4, 5, 6, 15]
```

#### 2.3 Validité de l'algorithme

- 4/12 - CC BY NC SA

Par ailleurs, la situation au  $i^{ème}$  tour de boucle peut être représentée de la manière suivante:

### 0 i t éléments déjà triés éléments plus grands non triés

Tous les éléments d'indice compris entre 0 et i-1 inclus sont triés **et** ils sont tous inférieurs ou égaux aux éléments de la partie non triée, se trouvant entre i et n-1.

La preuve de cette proposition logique peut être délicate à établir en classe de 1re. Cette proposition est un **invariant** pour l'algorithme Tri\_selection.



#### Définition

Un invariant de boucle est un prédicat (proposition logique) qui est:

- initialement vrai;
- vrai à l'entrée d'une itération ainsi qu'à la sortie de celle-ci



#### Vocabulaire

Le terme correction est à prendre ici au sens correct.

Trouver le *bon* invariant garantit que l'algorithme renvoie un résultat conforme aux spécifications et assure ainsi sa **correction partielle**. La combinaison de la correction partielle et de la terminaison permet de conclure à la **correction totale** de l'algorithme.

### 2.4 Complexité en temps

Le contenu de la boucle interne prend un temps d'exécution constant. Evaluons le nombre de fois qu'elle est exécutée.

Pour i = 0, elle est exécutée (n - 1) - (0 + 1) + 1 = n - 1 fois.

Pour i = 1, elle est exécutée (n - 1) - (1 + 1) + 1 = n - 2 fois.

Si on généralise, le nombre d'exécutions de la boucle interne est:

$$(n-1) + (n-2) + \cdots + 2 + 1$$

Cette somme correspond à la somme des termes consécutifs d'une suite arithmétique, dont la valeur pour n>1 est donnée par:

$$\frac{n}{2} \times (n-1) = \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}n$$

Pour une taille n très grande de l'entrée, le terme en  $n^2$  devient prépondérant. Autrement dit, le nombre d'opérations effectuées, donc le temps d'exécution, est proportionnel à  $n^2$ .

La complexité du tri par sélection est quadratique.



#### Ce qu'il faut retenir

Le tri par sélection (du minimum) consiste à chercher le plus petit élément de la partie de tableau non triée et à le mettre à sa place définitive.

Ce problème est résolu habituellement par un algorithme faisant intervenir deux boucles bornées. La **terminaison** est donc assurée. Un **invariant de boucle** permet de conclure à sa correction partielle. La conjugaison de ces deux propriétés assure la **correction totale** de l'algorithme proposé.

Cet algorithme a une complexité temporelle quadratique.

- 5/12 - CC BY NC SA

#### Application directe

En supposant que le tri par sélection prenne un temps directement proportionnel à  $n^2$  et qu'un tri de 16000 valeurs nécessite 6.8 s. Calculer le temps nécessaire pour le tri d'un million de valeurs avec cet algorithme.

#### Exercice: temps d'exécution

Pour mesurer le temps d'exécution d'un programme, on importe la fonction time du module time. Cette fonction renvoie le temps en secondes écoulé depuis le  $1^{er}$  janvier 1970.

Le code qui suit permet par exemple d'afficher le temps pris par l'exécution du tri d'un tableau.

```
from time import time
top = time()
tri_selection(t)
print(time() - top)
```

On souhaite comparer les temps d'exécution des tri sélection et insertion sur deux types de tableau: un tableau de nombre au hasard et un tableau de nombres déjà triés. On reprend le code des fonctions de tri du cours.

- 1. Construire un tableau de 3000 entiers pris au hasard entre 1 et 10000, bornes comprises. Mesurer le temps d'exécution du programme de tri sélection et de tri insertion pour trier ce tableau. *Attention: il faut reconstruire le tableau entre les deux tris*. Quel commentaire peut-on faire concernant les deux résultats ?
- 2. Construire un tableau de 3000 entiers de 0 à 2999, bornes comprises. Mesurer le temps d'exécution du programme de tri sélection et de tri insertion pour trier ce tableau. Quel commentaire peut-on faire concernant les deux résultats ?
- 3. Mesurer sur un tableau de 100000 entiers, choisis de manière aléatoire entre 1 et 100000, le temps d'exécution de la méthode sort() de python. Syntaxe: t.sort(). Commentez.

- 6/12 - CC BY NC SA

### 3. Tri par insertion

#### 3.1 Principe

Visionner la séquence vidéo proposée. Lien

Le tri par insertion est le tri effectué par le joueur de carte. En supposant que l'on maintienne une partie triée, on décale les cartes de cette partie, de manière à placer la carte à classer (voir video).

En informatique, on va très souvent travailler avec un tableau et le parcourir de la gauche vers la droite, en maintenant la partie déjà triée sur sa gauche (voir lien wikipedia).

Concrètement, on va décaler d'une case vers la droite tous les éléments déjà triés, qui sont plus grands que l'élément à classer, puis déposer ce dernier dans la case libérée.

#### 3.2 Algorithme



#### Notation

La notation t[0..i-1] désigne ici les i premiers éléments d'un tableau t, c'est-à-dire t[0], t[1], ..., t[i-1].

#### 3.3 Implémentation en python

On commence par donner une réalisation de amener t[i] à sa place parmi t[0..i-1] en écrivant une fonction place(t, i) qui amène l'élément d'index i à sa place parmi les éléments d'index 0 à i-1 déjà classés.

```
def place(t, i):
    """ amène t[i] à sa place dans t[0..i-1] supposé trié"""
    elt_a_classer = t[i]
    j = i
    # décalage des éléments du tableau à droite, pour trouver la place de t[i]
    while j > 0 and t[j - 1] > elt_a_classer:
        t[j] = t[j - 1]
    j = j - 1
    # on insère l'élément à sa place
    t[j] = elt_a_classer
```

#### Travail

Implémenter le tri par insertion en python et le tester.

```
def insertion(t):
    # compléter le code de la fonction insertion(t), sans oublier la spécification
    pass

# Test
    t = [7, 2, -3, 5]
    insertion(t)
    assert t = [-3, 2, 5, 7]
```

- 7/12 - CC BY NC SA

#### 3.4 Validité de l'algorithme

L'algorithme Tri\_insertion **termine** car il présente une boucle bornée. La boucle conditionnelle présente dans la réalisation amener t[i] à sa place parmi t[0..i-1] termine également, la quantité j étant un **variant** de boucle.

#### 6

#### Invariant de boucle

A la i-ème itération, le sous tableau t[0..i-1] est trié.

De manière intuitive, on comprend qu'à chaque tour de boucle on se rapproche de la solution recherchée. On agrandit la zone triée de un élément. Exhiber une telle propriété (*un invariant de boucle*) permet de conclure à la correction partielle de l'algorithme.

La combinaison de la correction partielle avec la terminaison permet de conclure à la **correction totale de l'algorithme**Tri\_insertion.

#### 3.5 Efficacité: complexité temporelle de l'algorithme

Afin d'évaluer le coût de l'algorithme dans le pire des cas, on doit s'intéresser aux nombre d'opérations effectuées, qui est ici lié au nombre de décalage avant de trouver la place de l'élément à classer. Le pire des cas se produit lorsque le tableau est classé en sens inverse. Visualisons cela sur un tableau à 5 éléments, simple à trier: t = [5, 4, 3, 2, 1].

$$t = [5, 4, 3, 2, 1]$$

$$t = [4, 5, 3, 2, 1]$$

$$t = [3, 4, 5, 2, 1]$$

$$t = [2, 3, 4, 5, 1]$$

$$t = [1, 2, 3, 4, 5]$$

Le nombre de décalage nécessaire est: 1 + 2 + 3 + 4 = 10.

On généralise sans peine: dans le pire des cas, pour un tableau de taille  $\, \, n \, ,$  il faudra effectuer:

décalages. Comme pour le tri par sélection, le coût (on dit aussi  $complexit\acute{e}$ ) en temps du tri par insertion, dans le pire des cas, est **quadratique**. On dit aussi que la complexité est en  $O(n^2)$ .



#### Notation

La notation  $O(n^2)$  se lit grand O de n carré

- 8/12 - CC BY NC SA

#### Ce qu'il faut retenir

Le tri par insertion consiste à maintenir une partie d'un tableau triée et à parcourir la partie non triée en mettant chaque élément rencontré à sa place définitive dans la partie triée.

Ce problème est résolu habituellement par un algorithme faisant intervenir une boucle bornée et une boucle conditionnelle. La **terminaison** de la boucle bornée est évidente et celle de la boucle conditionelle facile à montrer avec un **variant de boucle**. L'**invariant de boucle** A la i-ème itération, le sous tableau t[0..i-1] est trié, permet de conclure à sa correction partielle. La conjugaison de ces deux propriétés assure la **correction totale** de l'algorithme proposé.

Cet algorithme a une complexité temporelle quadratique.

- 9/12 - CC BY NC SA

#### 4. Les tris

### 4.1 Rappel des fonctions du cours

```
import random
import time
import matplotlib.pyplot as plt
        %matplotlib notebook
       def echange(t, i, j):
               Permute les éléments situés aux index i et j du tableau t
t: tableau non vide
i, j: entiers dans l'intervalle [0, len(t)-1]
11
12
               tmp = t[i]
t[i] = t[j]
t[j] = tmp
14
15
def selection(t):
19
20
               trie par ordre croissant les éléments de t
               n = len(t)
22
23
              n = len(t)
#Compléter le code
for i in range(n-1):
    idxmini = i
    for j in range(i+1, n):
        if t[j] < t[idxmini]:
              idxmini = j
              chase(t = idxmini);</pre>
25
27
28
                      echange(t, i, idxmini)
30
        def place(t, i):
    """ amène t[i] à sa place dans t[0..i-1] supposé trié"""
    elt_a_classer = t[i]
31
33
               ett_a_classer = t[i]
j = i
# décalage des éléments du tableau à droite, pour trouver la place de t[i]
while j > 0 and t[j - 1] > elt_a_classer:
    t[j] = t[j - 1]
    j = j - 1
# on insère l'élément à sa place
t[j] = elt_a_classer
34
35
36
38
39
41
42
       def insertion(t):
43
                trie par ordre croissant les éléments de t
44
                for i in range(1, len(t)):
46
                place(t, i)
47
```

- 10/12 - CC BY NC SA

#### 4.2 La complexité des algorithmes de tri

#### 4.2.1 Mesure du temps d'exécution d'un algorithme

#### 6

#### Indications pour cette partie

La fonction help de python permet d'obtenir de l'aide sur une commande/fonction.

La fonction time.time() du module time donne l'heure en seconde. En l'appelant avant puis après une fonction, on a une estimation du temps d'exécution de celle-ci.

Une fonction peut être passée en paramètre d'une autre fonction. Par exemple si f est une fonction, l'appel  $ma\_fonction(n, f)$  est valide en python.

- 1. La fonction randint est présente dans le module random. Que réalise cette fonction ?
- 2. Compléter la spécification de la fonction suivante

```
def alea(n):
    """
    A compléter
    """
    return [random.randint(0, 100) for i in range(n)]
```

3. Compléter la fonction tempstri(n, algo) qui prend en paramètre un entier naturel n correspondant à la taille d'un tableau et une fonction de tri algo. Cette fonction renvoie le temps mis par l'algorithme de tri algo pour trier un tableau de taille n. Tester votre fonction sur les deux tris vus en cours et dont les codes python sont disponible au début de ce sujet.

```
def tempstri(n, algo):
    """

Renvoie le temps mis par un algorithme pour trier un tableau de taille n
    n: entier naturel
    algo: fonction de tri
    """

t = alea(n)
    start = time.time()
    # A compléter

# TESTS - exemples
    print(tempstri(1000, insertion))
    print(tempstri(1000, selection))
    vo.05924797058105469
    0.037672996520996094
```

- 11/12 - CC BY NC SA

#### 4.2.2 Interprétation de la complexité d'un algorithme



#### Indications pour cette partie

Pour les constructions de tableaux, penser aux constructions par compréhension. Utiliser la fonction tempstri()

1. On souhaite visualiser le temps d'exécution d'un algorithme en fonction de la taille du tableau. On construit d'abord un tableau taille qui contient les tailles des différents tableaux (de 1000 à 10000 par pas de 1000). On construit ensuite un tableau temps qui contient les temps mis par un algorithme algo pour trier un tableau dont la taille est un élément de taille. Donner le code qui permet de construire le tableau temps.

```
def trace(algo):
    """

trace le graphe du temps d'exécution d'un algorithme en fonction de la taille du tableau

algo: nom d'une fonction

"""

taille = list(range(1000,11000,1000)) #Un tableau qui contient les tailles de tableau

# Compléter la ligne suivante

temps = [...]

# Tracé - ne rien modifier ici

fig = plt.figure()

plt.title("Complexite tri par " + algo.__name__)

plt.plot(taille,temps)#On trace la figure les tailles en abscisse,

#les temps en ordonnées

plt.xlabel("Taille tableau")

plt.ylabel("Temps")

plt.ylabel("Temps")

plt.show()
```

- 2. Tracer le graphique donnant le temps d'exécution si on utilise un tri par insertion puis par sélection.
- 3. Justifier que la complexité de ces tri est quadratique. On pourra par exemple comparer les temps d'exécution pour trier un tableau de 2000 éléments puis de 6000 ou 10000 éléments.

- 12/12 - CC BY NC SA