

LES DICTIONNAIRES

Informatique Tronc Commun

E. CLERMONT



RAPPELS SUR LES TYPES EN PYTHON

Les types simples :

- Les **entiers** : int
- Les **flottants** : float
- Les **booléens** : bool
- Les **chaines de caractères** : str

Particularité : chaque caractère de la chaîne possède un indice => ce système d'indice permet d'accéder à une partie de la chaîne (séquence).

Les types composés ou construits :

- Les **p-uplets** : tuples
 - Les **listes** : list
 - Les **tableaux** : array
 - Les **dictionnaires** : dict
- } Eléments indexés par une suite d'entiers
=> Séquences

TYPES EN PYTHON – MUTABLE/IMMUTABLE

```
1 # Exemples de types immutables
2 # avec des nombres
3 n1 = 5
4 n2 = n1
5 n1 = 6
6 print ( n1, " ", n2 )          # affiche :      6   5
7
8 # avec des tuples
9 tuple1 = (1,2,3,4)
10 tuple2 = tuple1
11 tuple1 = tuple1 + (5,6)
12 print (tuple1, " ", tuple2)    # affiche :      (1, 2, 3, 4, 5, 6)  (1, 2, 3, 4)
13
14 # Exemples de types mutables
15 l1 = [ 1,2,3,4 ]
16 l2 = l1
17 l1[0] = 5
18 print ( l1, l2 )              # affiche :      [5, 2, 3, 4] [5, 2, 3, 4]
19
20 l2 = l1.copy()
21 l1[0] = -1
22 l1.append(7)
23 print ( l1, l2 )              # affiche :      [-1, 2, 3, 4, 7] [5, 2, 3, 4]
```

3

TYPES EN PYTHON – MUTABLE/IMMUTABLE

En python, les types des variables se divisent en 2 catégories :

- les types **mutables**
- les types **immutables**.

- Un type est **immutable (ou immuable ou persistant)** si la valeur d'une variable de ce type ne peut changer que par l'affectation d'une nouvelle valeur à cette variable.
- Dans le cas contraire, il sera **mutable**.
- **int, float, str, bool, tuple : sont immutables** Les valeurs des variables de ce type ne peuvent être modifiées que par une affectation.
- **Les listes et les dictionnaires sont mutables.**

Les opérations de modification d'une liste le démontrent : ajout d'un nouvel élément (**append**), suppression d'un élément (**del**), ... Ces opérations ne sont pas des affectations .

De plus, la valeur de l'élément particulier d'une liste peut être modifiée par l'affectation d'une nouvelle valeur à cet élément. Indirectement, cela modifie également la valeur de la liste. Bien qu'il s'agisse d'une affectation, cela montre également que les listes sont mutables, car le membre gauche de cette affectation n'est pas la liste elle-même.

- **Exemple:** Soit la liste **L** a pour valeur [1,9,6,1]. Pour modifier cette valeur en [1,9,6,4], on n'est pas obligé d'écrire **L = [1,9,6,4]** : **L[3]=4** suffit.

4

TYPES EN PYTHON - BILAN

| Types | Simple | Construit / composé | Séquence | Mutable | Immutable |
|-------|--------|---------------------|----------|---------|-----------|
| int | ✓ | | | | ✓ |
| float | ✓ | | | | ✓ |
| bool | ✓ | | | | ✓ |
| str | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| tuple | | ✓ | ✓ | | ✓ |
| list | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| array | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| dict | | ✓ | | ✓ | |

5

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

- Un **dictionnaire ou tableau associatif** : type Python qui permet de stocker des données.
 - Contrairement aux listes ou aux tuples, où les éléments sont indexés par des entiers, les éléments (ou valeurs) d'un dictionnaire sont indexés par des **clés** qui peuvent être de n'importe quel type (non mutable).
 - Par exemple, on peut utiliser des chaînes de caractères pour les clés.
- **Un dictionnaire est alors un ensemble de couples clé : valeur**

▪ **Exemples de dictionnaires**

```
lesFruits = {"poire": 3, "pomme": 4, "orange": 2}
```

```
lesEtudiants = {110:'Marie',111:'Jane','112':'Remi',113:'Rena'}
```

6

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Création d'un dictionnaire

- Crédit d'un dictionnaire vide :

`dico = {}` ou avec la fonction dict : `dico = dict()`

- Initialisation d'un dictionnaire tout en le créant :

`annuaire = {"Julie" : "067898734" , "Carla" : "0799910783" , "Leo" : "0669842704" }`

- Il est alors possible d'ajouter autant d'éléments qu'on le veut, que le dictionnaire soit vide ou non.

Exemple :

```
annuaire["Romain"] = "0765333165"  
print(annuaire)
```

Le dictionnaire contient alors :

```
{'Julie': '067898734', 'Carla': '0799910783', 'Leo': '0669842704', 'Romain': '0765333165'}
```

7

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

- On peut stocker n'importe quel type de données dans un dictionnaire.

Exemples :

```
Eleve= {}  
Eleve[ 'nom' ] = 'Matthieu'  
Eleve[ 'classe' ] = 'MPSI'  
Eleve[ 'notes info' ] = [17,12,10]  
Eleve[ 'age' ] = 18  
print ( Eleve )  
  
#affiche { 'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 10], 'age': 18}
```

8

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

- Exemple de valeur de type dictionnaire

```
Eleves= {  
    'Matthieu' : { 'Math' : 12, 'Physique':11, 'Informatique':18, 'Anglais' : 14 } ,  
    'Ambre':{ 'Math' : 14, 'Physique':16, 'Informatique':20, 'Anglais' : 10 },  
    'Chloe':{ 'Math' : 9, 'Physique':12, 'Informatique':11, 'Anglais' : 18 }  
}  
  
Eleves['Ambre']['Anglais'] = 15
```

9

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Détermination du nombre d'éléments d'un dictionnaire : fonction `len(...)`

Exemple :

```
annuaire = {'Julie': '067898734', 'Carla': '0799910783', 'Leo': '0669842704', 'Romain': '0765333165'}  
lg = len(annuaire)  
print(lg)
```

lg vaut 4 : nombre de couples clé/valeur présents dans annuaire.

10

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Récupération de valeurs à partir de la clé

- Pour récupérer la valeur associée à une clé,
on utilise les crochets [] comme pour une liste ou un tuple dans lesquels on précise la clé recherchée.

Exemple :

```
annuaire['Julie']      #correspond à '067898734'
```

- Une erreur « **KeyError** » est générée si la clé fournie n'existe pas dans le dictionnaire.

11

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Parcours de dictionnaires

```
Eleve = {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 10], 'age': 18}
```

| Affichage des clés | Affichage des valeurs de chaque clé |
|--|--|
| for cle in Eleve: print(cle) | for cle in Eleve: print(Eleve[cle]) |
| for cle in Eleve.keys(): print(cle) | for val in Eleve.values(): print(val) |
| nom classe notes info age | Matthieu MPSI [17, 12, 10] 18 |

Affichage des clés et des valeurs

```
for cle, val in Eleve.items():  
    print(cle, val)
```

```
nom Matthieu  
classe MPSI  
notes info [17, 12, 10]  
age 18
```

12

EXERCICES APPLICATIFS

Exercice 1

- On considère un dictionnaire dont :
 - les clés sont les noms des élèves
 - les valeurs sont les moyennes générales obtenues.

Ecrire un programme qui :

- crée un tel dictionnaire
- puis le partitionne en 2 dictionnaires :
 - etudiants_Admis** dont les clés sont les étudiants admis et les valeurs des clés sont les moyennes obtenues (moyenne supérieure ou égales à 10).
 - etudiant_NonAdmis** dont les clés sont les étudiants non admis et les valeurs des clés sont les moyennes obtenues (moyenne inférieure à 10).
- Et enfin affiche :
 - le nom des étudiants admis et non admis, ainsi que leur note.
 - puis le nom des étudiants admis (sans leur note)

13

EXERCICES APPLICATIFS -CORRECTION

```
# Exercice 1 : dictionnaires des admis et non admis
# =====
etudiants = {"Arua": 13, "Baltazar": 17, "Briant": 9, "Clore": 15,
             "Curare": 8, "Drouin": 14, "Flion": 16, "Garrouste": 12,
             "Larrere": 13, "Lion": 15, "Martin": 14, "Muller": 9,
             "Niortin": 10, "Parra": 12, "Poulard": 13, "Rustin": 7,
             "Tavard": 12, "Trillet": 15, "Varret": 9, "Yimez": 17}

# on crée 2 dictionnaires vides : un pour les admis et l'autre pour les non-admis
etudiants_Admis = dict()
etudiants_NonAdmis = dict()

# on parcourt la liste des clés et des valeurs simultanément:
# si la clé est < 10 l'étudiant sera ajouté au dictionnaire etudiants_NonAdmis des étudiants non admis
# sinon l'étudiant sera ajouté au dictionnaire etudiants_Admis des étudiants admis
for cle, valeur in etudiants.items():
    if(valeur < 10):
        etudiants_NonAdmis[cle] = valeur
    else:
        etudiants_Admis[cle] = valeur

#affichage des dictionnaires => Clé et valeurs
print("Liste des etudiants admis et notes: ", etudiants_Admis)
print("Liste des etudiants non admis et notes: ", etudiants_NonAdmis)

# affichage uniquement de clés
print("Liste des etudiants admis")
for cle in etudiants_Admis.keys():
    print(cle)
```

EXERCICES APPLICATIFS

Exercice 2 : Inversion de dictionnaires

1 - Ecrire une fonction **inverseDictionnaire** qui :

- prend en paramètres un dictionnaire,
- retourne un dictionnaire dans lequel les valeurs sont devenues les clés.

Exemple d'exécution :

```
d1={ 'MPSI' : 43, 'PCSI': 42, 'MP':41, 'PC':32 }
print ( inverseDictionnaire( d1 ) ) # affiche {43: 'MPSI', 42: 'PCSI', 41: 'MP', 32: 'PC'}
```

2- Le dictionnaire résultant a-t-il la même longueur que le dictionnaire initial?

Justifier la réponse.

15

EXERCICE APPLICATIF - CORRECTION

```
def inverseDictionnaire( dict_init ):
    """
        def inverseDictionnaire( dict_init : dict)-> dict
        entrées : dict_init dictionnaire dont on veut inverser clé et valeur
        sortie : dict_res dictionnaire inversé
    """
    dict_res={}
    for cle, valeur in dict_init.items() :
        dict_res[valeur] = cle
    return dict_res

d1={ 'MPSI' : 43, 'PCSI': 42, 'MP':41, 'PC':32 }
print ( inverseDictionnaire( d1 ) ) # affiche {43: 'MPSI', 42: 'PCSI', 41: 'MP', 32: 'PC'}

#exemple avec des valeurs égales
d1={ 'MPSI' : 43, 'PCSI': 43, 'MP':41, 'PC':32 }
print( d1 )
print ( inverseDictionnaire( d1 ) ) # affiche {43: 'PCSI', 41: 'MP', 32: 'PC'}

#exemple de plantage
d1={ 'MPSI' : 43, 'PCSI': 43, 'MP':41, 'PC':32,'MP2I' : [10,15] }
print( d1 )
print ( inverseDictionnaire( d1 ) ) # génère une erreur
```

16

EXERCICE APPLICATIF - CORRECTION

2- Si le dictionnaire d'entrée a pour longueur *lg_init*, il y a *lg_init* instructions *dict_res[valeur] = cle*.

Le dictionnaire résultant a **au maximum** une longueur de *lg_init*.

Si 2 valeurs sont égales (comme sur le 2^{ème} exemple pour MPSI et PCSI), une seule clé est créée.

Le dictionnaire résultant aura une longueur *lg_res* telle que *lg_res < lg_init*.

Si une valeur ne peut pas être une clé (par exemple une liste), une erreur est provoquée et le dictionnaire résultant ne contient alors que les éléments insérés avant survenue de l'erreur donc *lg_res < lg_init*.

Si l'erreur se produit dès le 1^{er} élément, le dictionnaire résultant sera alors vide. *Lg_res* vaudra alors 0

17

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Présence d'une clé dans un dictionnaire

- Pour vérifier **si une clé** (pas une valeur) **existe** dans un dictionnaire, on peut utiliser le test d'appartenance avec l'instruction **in** qui renvoie un booléen.

Exemple :

```
print('age' in Eleve)    #affiche True  
print('tel' in Eleve)    #affiche False
```

18

EXERCICES APPLICATIFS

▪ Exercice 3 : Nombre d'occurrences des lettres dans un mot

Ecrire une fonction **determine_nb_occurences** qui :

- prend en paramètres un mot
- et qui retourne un dictionnaire qui comporte le nombre d'occurrences de chaque lettre présente dans le mot.

Exemple d'exécution :

```
print ( determine_nb_occurences("bonjour") )  
# affiche {'b': 1, 'o': 2, 'n': 1, 'j': 1, 'u': 1, 'r': 1}
```

19

EXERCICES APPLICATIFS

▪ Exercice 3 : nombre d'occurrences des lettres dans un mot - correction

```
def determine_nb_occurences(mot):  
    """  
        determine_nb_occurences(mot : str) -> dict  
        entree : mot, chaîne de caractères dont on veut connaître le nb d'occurrences  
        sortie : dict_occurences le dictionnaire dict_occurences comportant les couples caractère, nb d'occurrences  
    """  
    dict_occurences = {}  
    for car in mot :  
        if( car in dict_occurences ):  
            dict_occurences[car] = dict_occurences[car] + 1  
        else :  
            dict_occurences[car] = 1  
    return dict_occurences
```

20

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Suppression d'un couple clé,valeur

- Pour supprimer un élément d'un dictionnaire, on utilise la fonction **del**.

```
del dico[cle]
```

- Exemple :

```
Eleve = {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 10], 'age': 18}
del Eleve['classe']
print (Eleve)
# affiche {'nom': 'Matthieu', 'notes info': [17, 12, 10], 'age': 18}
```

21

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Copie de dictionnaires

- Les dictionnaires sont des objets mutables. Donc si l'on souhaite copier un dictionnaire, on ne peut pas utiliser l'opérateur d'affectation =.

Exemple :

```
Eleve = {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'age': 18}
Eleve1 = Eleve
Eleve['age'] = 20
print (Eleve, Eleve1)
# affiche  {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'age': 20}
#          {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'age': 20}
```

- On peut utiliser la fonction **copy** :

```
d = {...}
d2 = d.copy()
Exemple : Eleve = {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'age': 18}
           Eleve2 = Eleve.copy()
           Eleve['age'] = 19
           print (Eleve, Eleve2)
           # affiche  {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'age': 19}
           #          {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'age': 18}
```

22

MANIPULATION DE DICTIONNAIRES

Copie de dictionnaires

- Attention si certaines valeurs sont des objets mutables.

```
Exemple : Eleve = {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 10], 'age': 18}
          Eleve2 = Eleve.copy()
          Eleve['age'] = 19
          Eleve['notes info'][2] = 12
          print (Eleve, Eleve2)
          # affiche  {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 12], 'age': 19}
          #           {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 12], 'age': 18}
```

- Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser la copie en profondeur avec `deepcopy` (module `copy`)

Exemple :

```
import copy
Eleve3 = copy.deepcopy(Eleve)
Eleve['age'] = 19
Eleve['notes info'][2] = 20
Eleve['notes info'].append(19)
print (Eleve, Eleve3)
# affiche  {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 20, 19], 'age': 19}
#           {'nom': 'Matthieu', 'classe': 'MPSI', 'notes info': [17, 12, 12], 'age': 18}
```

EXERCICES APPLICATIFS

Exercice 4 : Chiffres d'affaires de commerciaux

On dispose d'un dictionnaire associant à des noms de commerciaux d'une entreprise le montant des ventes qu'ils ont réalisées.

- Exemple :

```
ventes={"Jeff Bezos":10, "Bill Gates Jobs":13, "Mark Zuckerberg":8, "Elon Musk":15}
```

- Écrire la fonction `chiffre_Affaires` qui prend en entrée ce dictionnaire et renvoie le chiffres d'affaires, ie le montant total de ventes.
- Écrire la fonction `meilleur_Commercial` qui prend en entrée un dictionnaire et renvoie le nom du vendeur ayant réalisé le montant de ventes le plus élevé, ainsi que le montant. Si plusieurs vendeurs sont ex-aequo sur ce critère, la fonction devra retourner l'ensemble des commerciaux.
- Écrire la fonction `supprime_PireCommercial` qui prend en entrée un dictionnaire et supprime le (ou les pires) des commerciaux (ie celui qui a vendu le moins) si plusieurs vendeurs sont ex-aequo.

EXERCICES APPLICATIFS : CORRECTION

▪ Fonction *chiffre_Affaires*

```
ventes={"Jeff Bezos":10, "Bill Gates Jobs":13, "Mark Zuckerberg":8, "Elon Musk":15}
def chiffre_Affaires( dict ):
    ca = 0
    for val in dict.values() :
        ca+= val
    return ca
print (chiffre_Affaires( ventes ))
```

▪ Fonction *meilleur_Commercial*

```
from numpy import inf
def max_Ventes(dict) :
    maxi = -inf
    for val in dict.values() :
        if val > maxi :
            maxi= val
    return maxi
def meilleur_Commercial( dict ) :
    dict_meilleurs ={}
    maxi = max_Ventes(dict)
    for cle, valeur in dict.items() :
        if valeur == maxi :
            dict_meilleurs[cle] = valeur
    return dict_meilleurs
print ("Meilleur commercial", meilleur_Commercial( ventes ))
```

EXERCICES APPLICATIFS : CORRECTION

▪ fonction *supprime_PireCommercial*

▪ Approche sans effet de bord

```
def min_Ventes(dict) :
    mini = inf
    for val in dict.values() :
        if val < mini :
            mini= val
    return mini
def supprime_PireCommercial( dictC ): # Approche sans effet de bord
    """ supprime_PireCommercial( dictC : dict )-> dict
        entrees : dictC dictionnaire comportant les couples nom/Montant des commerciaux
        sorties : dict_res dictionnaire comportant les couples nom/Montant des commerciaux
                  de dictC. dict_res ne contient pas le ou les pires commerciaux
    """
    dict_res = dictC.copy()
    mini = min_Ventes(dictC)
    for cle, valeur in dictC.items() :
        if valeur == mini :
            del dict_res[cle]
    return dict_res # retour du dictionnaire ne contenant pas le(s) pire(s) commercial(aux)
ventes = supprime_PireCommercial(ventes)
```

EXERCICES APPLICATIFS : CORRECTION

- Fonction *supprime_PireCommercial* - **Approches avec effet de bord**

- Tentative 1 :

```
def supprime_PireCommercial( dict ): #tentative d'effet de bord
    mini = min_Ventes(dict)
    for cle, valeur in dict.items() :
        if valeur == mini :
            del dict[cle] #RuntimeError: dictionary changed size during iteration
# supprime_PireCommercial(ventes)
```

Echec : on ne peut pas modifier directement le contenu du dictionnaire dans la boucle.

- Tentative 2 :

```
def supprime_PireCommercial( dict ):    # avec effet de bord :
    #modification du CONTENU du dictionnaire dict
    dict_res = dict.copy() # dans ce cas dict_res sert à copier les clés/valeurs
    #pour les reaffecter à dict
    mini = min_Ventes(dict)
    dict.clear() # vider d'une dictionnaire initial
    for cle, valeur in dict_res.items() : # puis remplissage avec les couples non minimaux
        if valeur != mini :
            dict[cle] = valeur # ajout au dictionnaire initial quand ce n'est pas le mini
supprime_PireCommercial(ventes)
print ( "avec effet de bord" , ventes )
```

27

EXERCICES APPLICATIFS : CORRECTION

- fonction *supprime_PireCommercial*

- **Approches avec effet de bord**

- Tentative 3 :

```
def supprime_PireCommercial( dict ):    # tentative d'effet de bord en reaffectant
    # l'adresse du dictionnaire
    dict_res = dict.copy() # dans ce cas dict_res est une variable locale qui doit servir
    # à reaffecter dict
    mini = min_Ventes(dict)
    for cle, valeur in dict.items() :
        if valeur == mini :
            del dict_res[cle]
    print (dict_res)
    dict = dict_res
    print (dict) # affiche pas le bon résultat : dictionnaire non modifié
supprime_PireCommercial(ventes) # n'affiche pas le bon résultat : dictionnaire non modifié
                                # => echec de la tentative
```

=> Echec

28

EXERCICES APPLICATIFS

▪ Exercice 5 : nombre de points d'un mot au Scrabble

Vous disposez du dictionnaire suivant :

```
dico_scrabble={"A":1,"B":3,"C":3,"D":2,"E":1,"F":4,"G":2,"H":4,"I":1,"J":8,"K":10,"L":1,"M":2,"N":1,"O":1,"P":3,"Q":8,"R":1,"S":1,"T":1,"U":1,"V":4,"W":10,"X":10,"Y":10,"Z":10}
```

Créer une fonction **score_scrabble** qui :

- prend en paramètres un mot et un dictionnaire
- et retourne le nombre de points correspondant au mot.

Exemple d'exécution:

```
print ( score_scrabble("bonjour", dico_scrabble) ) # affiche 16
```

29

EXERCICES APPLICATIFS

```
def score_scrabble(mot, dico_scrabble) :  
    """  
        score_scrabble(mot : str, dico_scrabble : dict) ->int  
        entrées : mot, chaîne de caractères sur laquelle on veut obtenir le nb de points  
        |   |   : dico_scrabble, dictionnaire qui a pour clé la lettre et pour valeur le nb de points associés  
        sortie : score, entier, qui correspond au score du mot au scrabble  
    """  
    score = 0  
    for car in mot :  
        score += dico_scrabble[car.upper()]  
    return score  
  
dico_scrabble={"A":1,"B":3,"C":3,"D":2,"E":1,"F":4,"G":2,"H":4,"I":1,"J":8,"K":10,"L":1,"M":2,"N":1,"O":1,"P":3,"Q":8,"R":1,"S":1,"T":1,"U":1,"V":4,"W":10,"X":10,"Y":10,"Z":10}  
print ( score_scrabble("bonjour", dico_scrabble) ) # affiche 16
```

30

COMPARAISON LISTES ET DICTIONNAIRES

- Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'accès aux éléments d'un dictionnaire est très efficace (grâce à l'utilisation d'une fonction de « hachage » qui associe un entier à chaque élément du dictionnaire).
 - Points à retenir (en simplifiant, notamment sur la fonction de hachage)
- Soit n la taille de la liste ou du dictionnaire
- Une liste est intéressante lorsque l'ordre des éléments est important, ou que l'**indexation** par des entiers est importante.
A l'opposé, un dictionnaire permet d'avoir un ensemble de clés totalement quelconque,
 - Le test d'appartenance (**in**) est en $O(1)$ pour un dictionnaire, alors qu'il peut être en $O(n)$ pour une liste.
 - Les temps d'accès à un élément donné est en $O(1)$ pour les listes et les dictionnaires (un peu plus rapide pour les listes),
 - le temps de suppression d'un élément est en $O(1)$ pour un dictionnaire et en $O(n)$ pour une liste (sauf si c'est le dernier élément qu'on retire avec `pop()`)



FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Aparté sur les tableaux et listes chainées

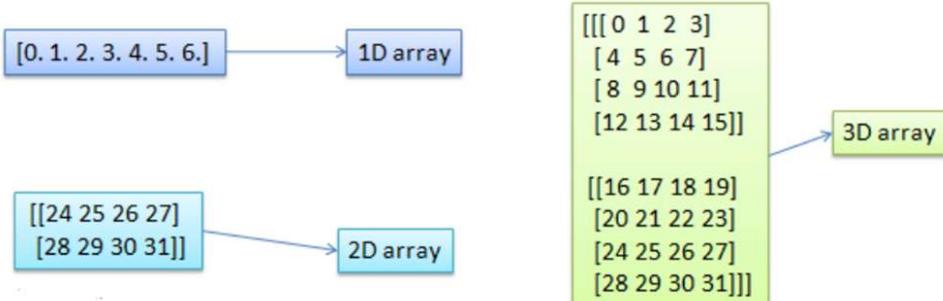
Principe d'un tableau (`numpy.array`)

Un tableau est un conteneur possédant **un nombre fixe d'éléments d'un même type**. Le **nombre et le type des éléments** sont définis à la création et ne sont **pas modifiables**.

Chaque élément du tableau est directement accessible en un temps $O(1)$:

les données sont stockées dans des espaces contigus en mémoire.

L'élément `tab[i]` est directement accessible.



FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

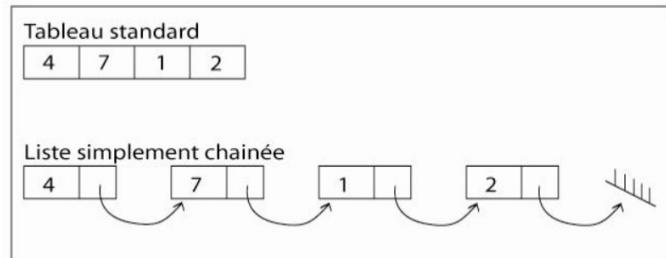
▪ Tableaux et listes chainées

Principe de liste chainée

- Une liste chainée est un conteneur éventuellement vide donc chaque élément contient une donnée et une adresse mémoire de la cellule suivante.

Il est possible de :

- créer un liste vide,
- ajouter un élément dans la liste,
- supprimer un élément,
- insérer un élément à une position donnée
- accéder à la position de tête
- accéder au successeur d'une cellule.



33

ADRESSAGE DIRECT

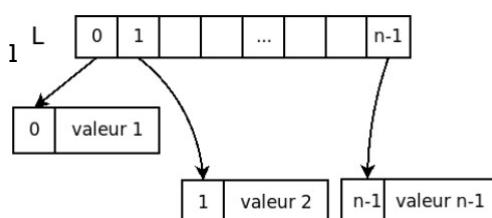
Un moyen simple de gérer un ensemble de valeurs est la **liste dynamique** Python.

Gérées par **adressage direct**.

L'univers des clés est un ensemble d'entiers de 0 à $n - 1$

et on a directement accès à la case k ,

puis à sa donnée correspondante :



On pourrait mettre en place une structure analogue pour les dictionnaires mais « avec des trous », lorsqu'on a un ensemble fini de clés possibles mais qu'elles ne sont pas toutes utilisées :

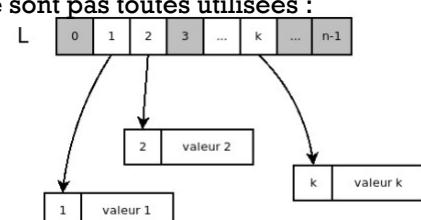
Avantage : grande souplesse

Inconvénient : si l'ensemble des clés possibles est très grand,

on aura réservé un tableau d'adresses très grand

(donc beaucoup de place mémoire) pour peu de cases

réellement utilisées.



Exemple : pour des clés qui sont des chaînes de 5 caractères, on aurait 26^5 (presque 12 millions) cases à réserver pour n'en utiliser que quelques centaines/milliers.

34

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Hachage

- Le hachage est un **mécanisme** permettant de **transformer la clé en un nombre unique** permettant l'accès à la donnée, un peu à la manière d'un indice dans un tableau.
 - La notion de hachage est omniprésente en informatique et est **centrale dans le fonctionnement des dictionnaires**.
-
- Exemple d'utilisations du hachage**
 - Stockage des mots de passe dans un système informatique un peu sécurisé : le mot de passe ne **doit pas être stocké en clair**. Une empreinte est générée avec une fonction de hachage, afin que si le service est piraté et que les comptes sont dérobés, il ne soit pas possible de reconstituer le mot de passe à partir de l'empreinte.

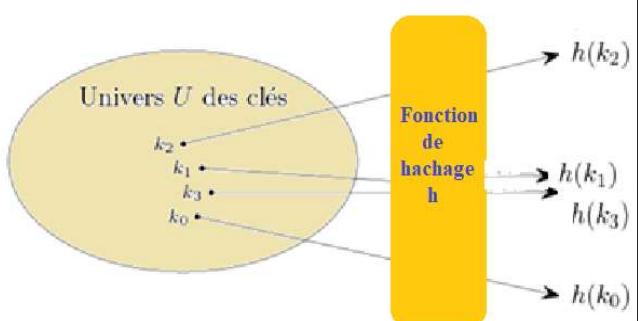
35

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Hachage

Définition d'une fonction de hachage

Une fonction de hachage est une fonction qui **calculer une empreinte unique** à partir de la donnée fournie en entrée.



La fonction de hachage doit respecter les **règles suivantes** :

- La longueur de l'empreinte (valeur retournée par la fonction de hachage) doit être toujours la même, quelle que soit la donnée fournie en entrée.
- Connaissant l'empreinte, il ne doit pas être possible de reconstituer la donnée d'origine.
- Des données d'entrée différentes doivent donner **dans la mesure du possible** des empreintes différentes.
- Des données d'entrée identiques doivent donner des empreintes identiques.

36

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Il existe une fonction **hash** en Python.

Exemple d'utilisation:

```
#test fonction hash
unentier = 1
unechaine = 'dictionnaire'
unflottant = 4.55
# Afficher les valeurs de hachage
print("La valeur de hachage de l'objet integer est:"+ str(hash(unentier)))
print("La valeur de hachage de l'objet string est:"+ str(hash(unechaine)))
print("La valeur de hachage de l'objet float est:"+ str(hash(unflottant)))
```

```
La valeur de hachage de l'objet integer est:1
La valeur de hachage de l'objet string est:-3411529041035809772
La valeur de hachage de l'objet float est:1268213655067531268
```

37

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Table de hachage

L'idée est de réduire l'ensemble des clés grâce à une fonction de hachage,

c'est-à-dire une fonction h qui part du domaine des clés et renvoie un entier entre 0 et $m - 1$ de sorte que pour les clés utilisées, les valeurs de h soient différentes.

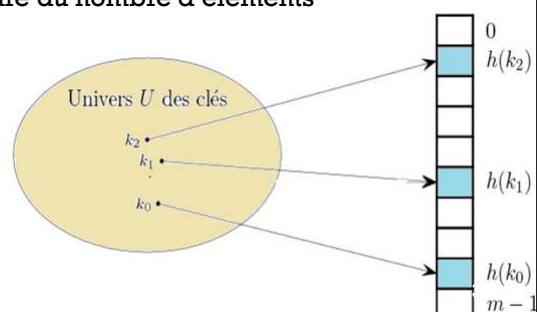
- Soit U l'ensemble des clés envisageables.
- L'idée fondamentale de la table de hachage est de se ramener au cas de l'adressage direct, c'ad à des clés qui correspondant à des indices dans un tableau.

Soit m , entier pas trop grand (idéalement un entier de l'ordre du nombre d'éléments d'informations que l'on compte gérer)

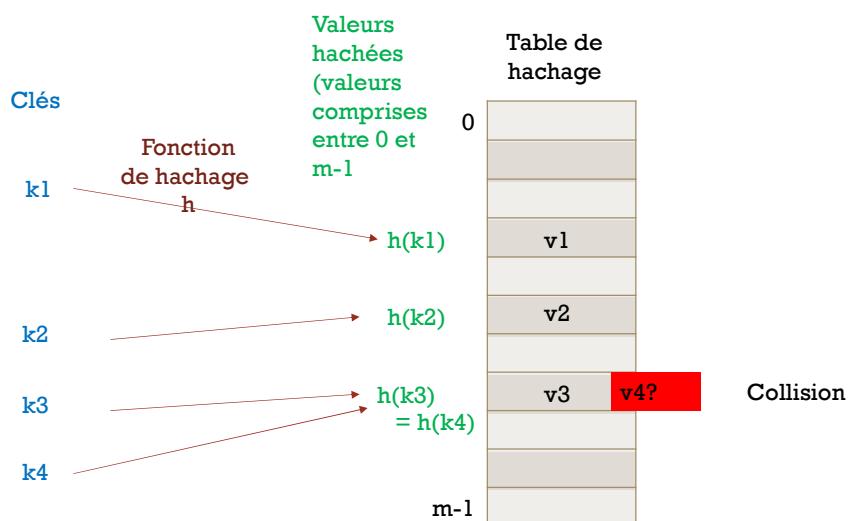
On se donne une fonction de hachage h :

$$h : U \rightarrow \{0, \dots, m-1\}$$

- L'idée est de ranger l'élément de clé k non pas dans une case de tableau $t[k]$, comme dans l'adressage direct (cela n'a d'ailleurs aucun sens si k n'est pas un entier), mais dans $t[h(k)]$.



FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES



FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Table de hachage pour les dictionnaires

A la création d'un dictionnaire,

- une fonction de hachage h est choisie
- et un tableau de taille m est créé.

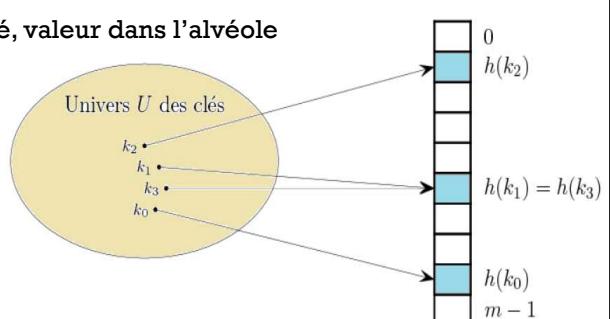
Chaque élément de ce tableau sera nommé **alvéole**.

- A chaque insertion d'un couple clé-valeur, $h(k)$ est calculée.

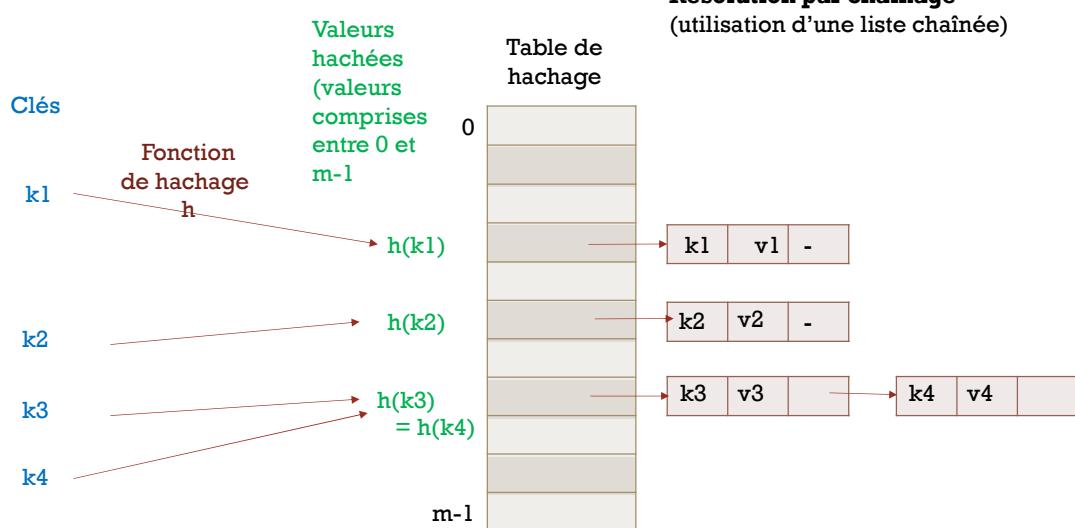
La valeur obtenue est comprise **entre 0 et $m-1$** .

- Une 1^{ère} approche serait de placer le couple-clé, valeur dans l'alvéole mais le tableau est de taille limitée.

=> Il y a aura donc forcément des **collisions** : plusieurs clés auront nécessairement les mêmes valeurs de hachage.



FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES



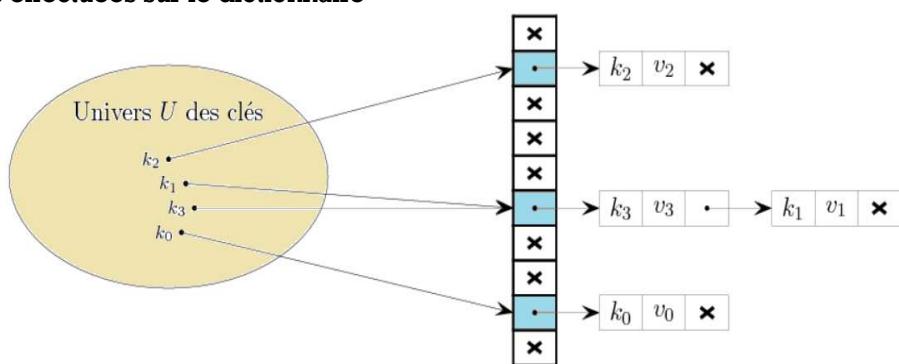
FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Table de hachage pour les dictionnaires – Gestion des collisions

- Approche choisie pour gérer des collisions inévitables : **Résolution par chainage**

Placer dans les alvéoles des pointeurs (ie des adresses) vers des listes chainées

dans lesquelles les couples-clés, valeurs sont ajoutés ou supprimés au fur et à mesure des actions effectuées sur le dictionnaire



FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Table de hachage pour les dictionnaires – Gestion des collisions

- Approche choisie pour gérer des collisions inévitables : **Résolution par adressage ouvert**

On cherche à calculer une autre place libre ou la 1^{ère} place libre qui suit.

La position de ces cases est déterminée par une méthode de « sondage ».

Lors d'une recherche, si la case obtenue par hachage direct ne permet pas d'obtenir la bonne clé, une recherche sur les cases obtenues par une méthode de sondage est effectuée jusqu'à trouver la clé, ou non, ce qui indique qu'aucune clé de ce type n'appartient à la table.

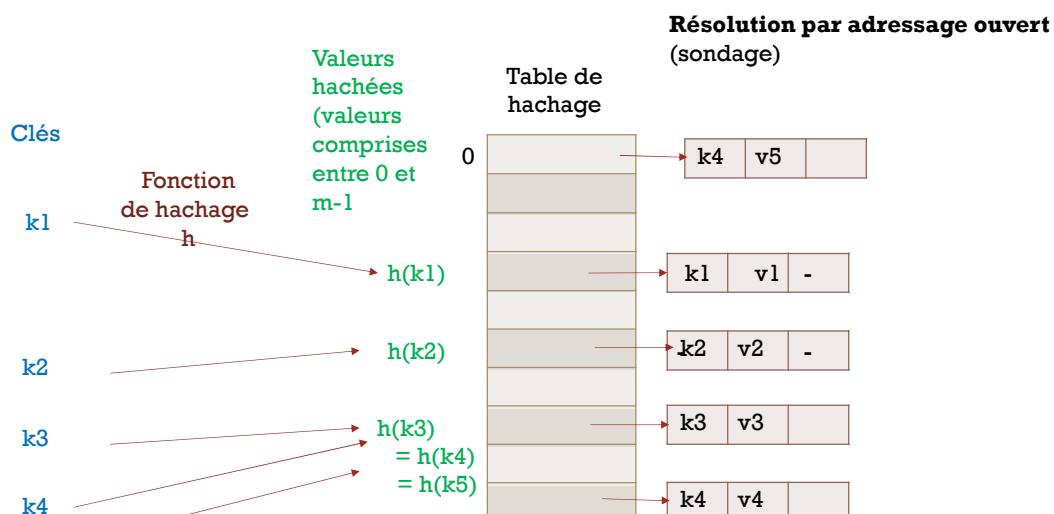
Méthodes de sondage courantes :

- le sondage linéaire** : l'intervalle entre les cases est fixe, souvent 1. on parcourt les alvéoles successivement jusqu'à ce qu'on en trouve une vide. On revient au début de la table si la fin a été atteinte.
- le sondage quadratique** : l'intervalle entre les cases augmente linéairement (les indices des cases augmentent donc quadratiquement), ce qui peut s'exprimer par la formule :

$$h_i(k) = k + i^2$$
- le double hachage** : l'adresse de la case est donnée par une deuxième fonction de hachage, ou hachage secondaire.

43

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES



Sondage linéaire (intervalle de 2)

43

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Table de hachage pour les dictionnaires

- Lorsque le nombre de clés augmente fortement, la table est alors **redimensionnée** avec un nouveau choix de fonction de hachage et de m.

▪ La **performance d'une table de hachage dépend de la fonction de hachage choisie.**

En général, on cherche à limiter le nombre de collisions tout en optimisant le taux d'occupation des alvéoles.

=> le taux ou le facteur de remplissage :

$$\alpha = n/m$$

où n est le nombre de clés (ou de couples clés-valeurs)
et m la longueur du tableau.

- En Python, les clés peuvent être de type entier, flottant, chaînes de caractères (mais surtout pas de types mutables tels que des listes)

Dans la pratique, les clés transmises sont transformées en entier si elles ne sont pas de type entier puis la valeur de hachage est calculée sur cet entier (ce fonctionnement est également appliqué pour la compression et le cryptage). On effectue donc un prétraitement pour obtenir un entier.

45

FONCTIONNEMENT DES DICTIONNAIRES

Exemples classiques de fonctions de hachage :

- **Division** $h(k) = k \% m$

La qualité du hachage dépend fortement de la valeur de m choisie si les clés ont une répartition non aléatoire. En pratique, on choisit des nombres premiers loin de puissances de 2.

- **Multiplication** $h(k) = \text{partieEntiere}(m * \text{frac}(k * c))$

Dans la méthode de multiplication, on multiplie la clé **k** par un nombre réel constant **c** dans la plage **0 < c < 1** et on extrait la *partie fractionnaire de k * c*. Ensuite, on multiplie cette valeur par la taille de la table **m** et prend la partie entière.

Il faut cependant toujours choisir une constante, qui peut faire varier l'efficacité de la compression. Knuth suggère que pour $c = (\sqrt{5}-1)/2$, la fonction marchera bien dans la plupart des cas.

46

EXERCICES APPLICATIFS

Exercice 6

- Dans cet exercice, les clés sont de type chaînes de caractères. On cherche à transformer ces clés en s'appuyant sur le codage ASCII de chaque caractère.

Pour obtenir le code ASCII associé à chaque caractère, Python propose la fonction `ord`.

`ord(c)`: renvoie le nombre entier représentant le code Unicode du caractère passé en paramètre.

Exemples :

`ord('a')` renvoie le nombre entier 97

`ord('€')` (symbole euro) renvoie 8364.

- 1- Ecrire une **fonction** `transforme_chaine_entier(chaine)` qui prend en paramètre une chaîne de caractères `chaine` et retourne la valeur :

$$\sum_{i=0}^{n-1} \text{ord}(\text{chaine}[i]) * 256^i$$

Exemples d'exécution :

```
print ( "test devient ", transforme_chaine_entier( "test" ) )
```

```
affiche test devient 1953719668
```

```
print ( "dico devient ", transforme_chaine_entier( "dico" ) )
```

```
affiche dico devient 1868786020
```

47

EXERCICES APPLICATIFS

- Les entiers obtenus sont donc de très grande taille.

⇒ Il va donc falloir les transformer pour les stocker dans la table de hachage.

- 2- Ecrire la fonction `hachage(nb, m)` telle que :

hachage : nb → nb%m avec m qui correspond à la longueur de la clé de hachage.

- Appliquées aux 2 valeurs entières précédentes, pour une clé de longueur 256, on obtient respectivement: 116 et 100

- 3- Ecrire et tester `hachage_mult(nb, m)` qui réalise cette fonction de hachage par multiplication (cf planche 43):

Hachage_mult : nb , k → partieEntiere (m * frac(k * c))

Exemple d'exécution :

```
print ( "test devient après hachage multiplication", hachage_mult( nbtest1, longueur_cle , c ) )
```

```
#test devient après hachage multiplication 80
```

```
# dico devient après hachage multiplication 15
```

48

EXERCICE

```
import math
# pre traitement
def transforme_chaine_entier( chaine ) :
    """
        transforme_chaine_entier( chaine :str ) -> int
        retourne un entier resultat correspondant à la chaine de caractères chaine
    """
    lgchaine = len(chaine)
    resultat = 0
    for i in range(0,lgchaine):
        nb = ord( chaine[i] ) # nb prend la valeur ascii du ième caractère de la chaine
        resultat = nb*256**i + resultat
    return resultat
```

49

```
# fonction hachage division
def hachage( valeur_a_hacher , m ):
    """
        hachage( valeur_a_hacher : int, m:int ) -> int
        retourne un entier correspondant à la valeur de hachage permettant d'obtenir
    """
    return valeur_a_hacher%m

# fonction hachage multiplication
def hachage_mult( valeur_a_hacher , m, c ):
    """
        hachage_mult(nb : int, m:int , c :float ) -> int
        retourne un entier correspondant à la valeur de hachage
    """
    res = math.floor( m* ( (valeur_a_hacher * c)%1 ) )
    return res
longueur_cle = 256
nbtest1 = transforme_chaine_entier( "test" )
print ( "test devient ", nbtest1 )
print( "test devient après hachage" ,hachage(nbtest1,longueur_cle ) )
c = (math.sqrt(5)-1)/2
print ( "test devient après hachage multiplication", hachage_mult( nbtest1, longueur_cle , c) ) #test devient
nbtest2 = transforme_chaine_entier( "dico" )
print ( "==dictionnaire devient ", nbtest2 )
print( "==dictionnaire devient après hachage" ,hachage(nbtest2,longueur_cle ) )
print( "dictionnaire devient après hachage multiplication" , hachage_mult(nbtest2,longueur_cle , c) )
```

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

On souhaite créer une table de hachage permettant de manipuler des données issues d'un fichier qui recense les capitales des pays du monde entier. Cette table doit donc traiter des clefs de type str (le nom du pays) et des valeurs de type str (le nom de la capitale).

Les données concernant les pays du monde et leur capitale se trouvent dans le fichier `capitalesMonde.csv` dont le format est le suivant :

| pays,capitale |
|---|
| Abkhazia,Sukhumi |
| Afghanistan,Kabul |
| Akrotiri and Dhekelia,Episkopi Cantonment |
| Albania,Tirana |
| Algeria,Algiers |
| American Samoa,Pago Pago |
| Andorra,Andorra la Vella |
| Angola,Luanda |
| Anguilla,The Valley |
| Antigua and Barbuda,St. John's |
| Argentina,Buenos Aires |
| Armenia,Yerevan |
| Aruba,Oranjestad |
| Ascension Island,Georgetown |
| Australia,Canberra |
| Austria,Vienna |
| Azerbaijan,Baku |
| Bahamas,Nassau |
| Bahrain,Manama |

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

Écrire une fonction `recup_Donneescsv(fichier, séparateur)` qui importe les données d'un fichier dont le chemin est passé en paramètre. Cette fonction renvoie une liste de tuples.

- En-tête de la fonction :

```
def recuperation_Donneescsv(fichier, séparateur=","):  
    """recuperation_Donneescsv(fichier : str, séparateur: str):lst  
        entrées : fichier, chaîne qui correspond au chemin du fichier à ouvrir  
        séparateur, chaîne qui indique le séparateur de colonnes. Par défaut ","  
        sortie : liste de tuples contenues dans le fichier
```

.....

```
[('Abkhazia', 'Sukhumi'), ('Afghanistan', 'Kabul'), ('Akrotiri and Dhekelia', 'Episkopi Cantonment'), ('American Samoa', 'Pago Pago'), ('Andorra', 'Andorra la Vella'), ('Angola', 'Luanda'), ('Anguilla', 'The Valley'), ('Antigua and Barbuda', 'St. John's'), ('Argentina', 'Buenos Aires'), ('Armenia', 'Yerevan'), ('Aruba', 'Oranjestad'), ('Ascension Island', 'Georgetown'), ('Australia', 'Canberra'), ('Austria', 'Vienna'), ('Azerbaijan', 'Baku'), ('Bahamas', 'Nassau'), ('Bahrain', 'Manama')]
```

52

EXERCICES APPlicatifs

Implémentation d'une table de hachage : fonction `recup_Donneescsv(fichier, séparateur)`

```
def recuper_Donneescsv(fichier, separateur=","):
    """
        recuper_Donneescsv(fichier : str, separateur: str):lst
        entree : fichier, chaîne qui correspond au chemin du fichier à ouvrir
        |   |   |   separateur, chaîne qui indique le séparateur de colonnes. Par défaut ","
        sortie : liste de tuples contenues dans le fichier
    """
    # ouverture du fichier
    with open(fichier, "r", encoding='utf-8') as fic:
        listeTuples = list()
        entete = fic.readline().split(separateur)

        for ligne in fic:
            donneesPays = ligne.split(separateur)
            listeTuples.append((donneesPays[0].strip(), donneesPays[1].strip())) # (nomPays,nomCapitale)

    return listeTuples
```

53

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

- Écrire une fonction **créer_TableHachage(liste, taille_table, fonction_hachage)** qui renvoie une table de hachage (liste contenant des listes) remplie à l'aide d'une liste de tuples liste, passée en paramètre en utilisant la fonction de hachage dont le nom est passé en paramètre.

54

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

```
def creer_TableHachage(liste, taille_table, fonction_hachage):
    tableHachage = [ [] for i in range(taille_table) ]
    for cle, val in liste:
        cle_nb = transforme_chaine_entier(cle)
        valeurHachage = fonction_hachage(cle_nb)
        tableHachage[valeurHachage].append((cle, val))
    return tableHachage
```

55

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

Écrire une fonction **obtenir_Valeur(cleCherchee, tableHachage)** qui permet de récupérer la valeur de la clé `cle_Cherchee` à l'aide de la table de hachage `tableHachage`.

56

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

```
def obtenir_Valeur( cleCherchee, tableHachage ):
    index = hachage_d(transforme_chaine_entier(cleCherchee))
    element = tableHachage[index]
    for cle, val in element:
        if cle == cleCherchee:
            return val
    return None
```

57

EXERCICES APPLICATIFS

Implémentation d'une table de hachage

- Créer l'ensemble de toutes les valeurs de hachage (indice des alvéoles) de la table pour lesquelles il existe une valeur, puis parcourir la table à partir de cet ensemble.
Les capitales apparaissent-elles dans un ordre quelconque ?
- Déterminer le nombre d'alvéoles utilisées si on utilise hachage_d ?
- Faire apparaître les sous-listes de la table s'il y en a (même valeur de hachage obtenue).

58

EXERCICES APPLICATIFS

```
# test des fonctions sur le fichier capitales.csv
listeTuples = recuperer_DonneesCSV('capitalesMonde.csv')
print(listeTuples)

t_hachage = creer_TableHachage(listeTuples, TAILLE_TABLE, hachage_d)
print(t_hachage)

nomPays = input("de quel pays voulez vous la capitale?")
print(nomPays, " a pour capitale : ", obtenir_Valeur(nomPays, t_hachage))

indicesAlveoles = []
for i, e in enumerate(t_hachage):
    if len(e) > 1:
        print("Pays stockés avec la même valeur de hachage : ", e) #question 8
    if e:
        indicesAlveoles.append(i)

print(indicesAlveoles, len(indicesAlveoles))

print("nombre de clés dans la table de hachage--> ", len(indicesAlveoles))
for k in indicesAlveoles:
    print(k, t_hachage[k])
```

59

EXERCICES APPLICATIFS

Exercice 7 : Algorithme de compression LZ78

- L'algorithme de compression Lempel-Ziv '78, est l'un des tout premiers algorithmes de compression génériques.
- Il a rapidement été adopté dans de nombreux logiciels commerciaux et libres.
- Il est par exemple à la base du format de compression zip.
- Il s'agit d'un algorithme basé sur un dictionnaire :

les suites de symboles dans la source sont encodées par un dictionnaire dynamique, qui est rempli au fur et à mesure que l'on parcourt le texte.

60

EXERCICE

- #### ▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

abracadabrarabarabar

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|------------------|
| " | 0 | - |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

code : “



EXERCICE

- #### ▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

a|bracadabrarabarabarabar

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|------------------|
| , | 0 | - |
| a | 1 | 0,a |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

code : '0,a | '



EXERCICE

- #### ▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

a|b|racadabrarabarabar

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|------------------|
| " | 0 | - |
| a | 1 | 0,a |
| b | 2 | 0,b |
| | | |
| | | |
| | | |

code : '0,a | 0,b | '



EXERCICE

- #### ▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

a|b|r|acadabrarabarabaran

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|------------------|
| " | 0 | - |
| a | 1 | 0,a |
| b | 2 | 0,b |
| r | 3 | 0,r |
| | | |
| | | |
| | | |

code : '0,a|0,b|0,r|'



EXERCICE

- #### ▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

a|b|r|ac|adabrarabarabar

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|-----------------------------------|
| " | 0 | - |
| a | 1 | 0,a |
| b | 2 | 0,b |
| r | 3 | 0,r |
| ac | 4 | 1,c (1 correspond à l'index de a) |
| | | |
| | | |

code : '0,a|0,b|0,r|1,c|'



EXERCICE

- #### ▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

a|b|r|ac|ad|abrarabarabaran

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|------------------|
| " | 0 | - |
| a | 1 | 0,a |
| b | 2 | 0,b |
| r | 3 | 0,r |
| ac | 4 | l,c |
| ad | 5 | l,d |

code : '0,a|0,b|0,r|1,c|'



EXERCICES APPLICATIFS

▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78 – Principe de la compression

a|b|r|ac|ad|ab|ra|rab|ar|aba|ran|

| Entrée (Clé) | Index (valeur) | Chaine à ajouter |
|--------------|----------------|------------------|
| " | 0 | - |
| a | 1 | 0,a |
| b | 2 | 0,b |
| r | 3 | 0,r |
| ac | 4 | 1,c |
| ad | 5 | 1,d |
| ab | 6 | 1,b |
| ra | 7 | 3,a |
| rab | 8 | 7,b |
| ar | 9 | 1,r |
| aba | 10 | 6,a |
| ran | 11 | 7,n |

code : '0,a|0,b|0,r|1,c|1,d|1,b|3,a|7,b|1,r|6,a|7,n|'



EXERCICES APPLICATIFS

▪ Exercice : Algorithme de compression LZ78

1- Compression

Créer la fonction **compressionLZ78(texte)** qui effectue la compression du texte passé en paramètre et retourne le code, ainsi que le dictionnaire.

2- Décompression

L'algorithme de décompression fonctionne en sens inverse.

À partir de la liste alternée, appelée code, il faut reconstruire le dictionnaire au fur et à mesure.

Créer la fonction **decompressionLZ78(code, dico)** qui effectue la décompression.

Astuce : Pour faciliter la programmation, on peut inverser le dictionnaire utilisé pour la compression : les valeurs deviennent clés et les clés deviennent valeurs.



EXERCICES APPLICATIFS

```
def compresser1(texte, code, indice,dico):
    assert indice<len(texte)
    ch=''
    n= len(texte)
    while indice<n and ch + texte[indice] in dico:
        ch += texte[indice]
        indice +=n
    if indice<n:
        lg_dico =len(dico) #determination de la valeur
        car =texte[indice]
        chaîne_a_ajouter= ch + car #determination de la clé : chaîne_a_ajouter pas encore présente dans le dictionnaire
        dico[chaîne_a_ajouter] = lg_dico #ajout dans dico du couple (chaîne_a_ajouter,lg_dico)
        code += (str(dico[ch]) +'*' + car + '|')
        #code += '%s%s|' %(dico[ch],car)
    return code, indice+1

def compressionLZ78( texte ):
    n=len(texte)
    i = 0
    code =''
    dico ={''':0}

    while i<n :
        code, i = compresser1 (texte,code,i,dico)
    return code, dico

print (compressionLZ78( "les tontons flingueurs" ))
print (compressionLZ78( "abracadabra" ))
```

69

EXERCICES APPLICATIFS

```
def decompressionLZ78( code, dico ):
    # inversion du dictionnaire les valeurs deviennent cle => decompression
    dico_inverse = {v: k for k, v in dico.items()}
    texte =''
    if( code[-1] == '|' ):
        code = code[0:-1] #retrait du dernier |
    les_codes = code.split('|') #decoupage des différents codes
    for elt in les_codes :
        E = elt.split(',')
        debut= dico_inverse[ int(E[0].strip()) ]
        texte += debut + E[1]
    return texte

res,dico = compressionLZ78( "abracadabrarabarabararan" )
print (res)
res = decompressionLZ78( res,dico )
print (res)
```

70