



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Programmation impérative en Python

Cours 8. Ensembles, dictionnaires et matrices

Olivier Baldellon

Courriel : `prénom.nom@univ-cotedazur.fr`

Page professionnelle : `https://upinfo.univ-cotedazur.fr/~obaldellon/`

LICENCE I — FACULTÉ DES SCIENCES ET INGÉNIERIE DE NICE — UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.
- ▶ La note sera un bonus

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.
- ▶ La note sera un bonus
- ▶ Les règles et les objectifs :
 - ▶ seront données en détail la semaine prochaine.
 - ▶ Vous devez utiliser Python et Tk (et rien d'autre).

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.
- ▶ La note sera un bonus
- ▶ Les règles et les objectifs :
 - ▶ seront données en détail la semaine prochaine.
 - ▶ Vous devez utiliser Python et Tk (et rien d'autre).
 - ▶ Votre code doit être lisible, propre et commenté.

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.
- ▶ La note sera un bonus
- ▶ Les règles et les objectifs :
 - ▶ seront données en détail la semaine prochaine.
 - ▶ Vous devez utiliser Python et Tk (et rien d'autre).
 - ▶ Votre code doit être lisible, propre et commenté.
 - ▶ Votre code doit être générique et paramétrable.

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.
- ▶ La note sera un bonus
- ▶ Les règles et les objectifs :
 - ▶ seront données en détail la semaine prochaine.
 - ▶ Vous devez utiliser Python et Tk (et rien d'autre).
 - ▶ Votre code doit être lisible, propre et commenté.
 - ▶ Votre code doit être générique et paramétrable.
 - ▶ Votre code doit fonctionner sans problème sur les machines Linux du Petit Valrose.

- ▶ Il y aura pour les volontaires un projet Tk noté.
- ▶ La note sera un bonus
- ▶ Les règles et les objectifs :
 - ▶ seront données en détail la semaine prochaine.
 - ▶ Vous devez utiliser Python et Tk (et rien d'autre).
 - ▶ Votre code doit être lisible, propre et commenté.
 - ▶ Votre code doit être générique et paramétrable.
 - ▶ Votre code doit fonctionner sans problème sur les machines Linux du Petit Valrose.
 - ▶ Date limite : date de l'examen final ?

- 🍃 **Partie I. Ensembles**
- 🍃 Partie II. Fonctions de hachage
- 🍃 Partie III. Dictionnaires
- 🍃 Partie IV. Mémoïsation
- 🍃 Partie V. Matrices
- 🍃 Partie VI. Table des matières

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> SHELL
```

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

SHELL

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
<class 'str'>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
<class 'str'>
```

- ▶ Nous allons voir deux autres types

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
<class 'str'>
```

- ▶ Nous allons voir deux autres types

```
>>> type({1,2,3}) # Les ensembles
```

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
<class 'str'>
```

- ▶ Nous allons voir deux autres types

```
>>> type({1,2,3}) # Les ensembles
<class 'set'>
>>>
```

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
<class 'str'>
```

- ▶ Nous allons voir deux autres types

```
>>> type({1,2,3}) # Les ensembles
<class 'set'>
>>> type({'prix':1.2 , 'nom':'banane'}) # Les dictionnaires
```

- ▶ Nous avons eu l'occasion de voir plusieurs types de données.

Des types simples

```
>>> type(-29)
<class 'int'>
>>> type(42.23)
<class 'float'>
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

Des types des
séquences

```
>>> type((1,2,3))
<class 'tuple'>
>>> type([11,1.2])
<class 'list'>
>>> type("Salut à toi")
<class 'str'>
```

- ▶ Nous allons voir deux autres types

```
>>> type({1,2,3}) # Les ensembles
<class 'set'>
>>> type({'prix':1.2 , 'nom':'banane'}) # Les dictionnaires
<class 'dict'>
```

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition  
{1, 2, 3}  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>>
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>> type({})
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>> type({})
<class 'dict'>
>>>
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>> type({})
<class 'dict'>
>>> type(set())
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>> type({})
<class 'dict'>
>>> type(set())
<class 'set'>
>>>
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>> type({})
<class 'dict'>
>>> type(set())
<class 'set'>
>>> set()
```

SHELL

- ▶ Un ensemble en Python est une collection finie d'objets
 - ▶ Une collection **sans répétition** et **sans ordre**
- ▶ Un ensemble **n'est pas une séquence!**
 - ▶ On ne peut pas accéder aux éléments via des indices. ~~E[i]~~
- ▶ Ils sont notés avec des accolades comme en mathématiques.

```
>>> { 1, 2, 3, 1, 2 } # Ni répétition
{1, 2, 3}
>>> { 1, 2, 3 } == { 3, 1, 2 } # ni ordre
True
>>> {False, 'bleu', 2, 'bleu'} == {2, False, 'bleu', 2, 2}
True
```

SHELL

- ▶ L'ensemble vide est noté : `set()` (et non pas `{}` qui est un dictionnaire)

```
>>> type({})
<class 'dict'>
>>> type(set())
<class 'set'>
>>> set()
set()
```

SHELL

- ▶ La notation ~~$E[i]$~~ n'a pas de sens

- ▶ La notation ~~$E[i]$~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

- ▶ La notation ~~$E[i]$~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>>
```

```
SHELL
```


- ▶ La notation ~~$E[1]$~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
```

```
SHELL
```

- ▶ La notation ~~$E[1]$~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }  
>>>
```

SHELL

- ▶ La notation ~~E[1]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }  
>>> E[2]
```

SHELL

- ▶ La notation ~~E[1]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ La notation ~~E[1]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un ensemble avec une boucle for :

- ▶ La notation ~~E[i]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un ensemble avec une boucle for :
 - ▶ L'ordre n'est pas respecté (car il n'y a pas d'ordre!)

- ▶ La notation ~~E[1]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un ensemble avec une boucle for :
 - ▶ L'ordre n'est pas respecté (car il n'y a pas d'ordre!)

```
>>>
```

SHELL

- ▶ La notation ~~E[1]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un ensemble avec une boucle for :
 - ▶ L'ordre n'est pas respecté (car il n'y a pas d'ordre!)

```
>>> for x in E:
```

SHELL

- ▶ La notation ~~E[i]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un ensemble avec une boucle for :
 - ▶ L'ordre n'est pas respecté (car il n'y a pas d'ordre!)

```
>>> for x in E:
...     print(x)
```

SHELL

- ▶ La notation ~~E[1]~~ n'a pas de sens
 - ▶ Les éléments ne sont pas ordonnés : ils n'ont donc pas d'indice.

```
>>> E = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> E[2]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: 'set' object is not subscriptable
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un ensemble avec une boucle for :
 - ▶ L'ordre n'est pas respecté (car il n'y a pas d'ordre!)

```
>>> for x in E:
...     print(x)
True
22
Salut
31.2
```

SHELL

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL  
>>>
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL  
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> SHELL
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
True
>>>
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B

- ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$

- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
True
>>> inclusion(B,A)
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
True
>>> inclusion(B,A)
False
>>>
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
True
>>> inclusion(B,A)
False
>>> inclusion(A,A)
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$
- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
True
>>> inclusion(B,A)
False
>>> inclusion(A,A)
True
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True } SHELL
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B

- ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$

- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B): SCRIPT
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B) SHELL
True
>>> inclusion(B,A)
False
>>> inclusion(A,A)
True
```

- ▶ Ou directement avec l'opérateur `<=` (si on veut l'inclusion stricte : `<`) :

```
>>> SHELL
```


- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$

- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B):
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B)
True
>>> inclusion(B,A)
False
>>> inclusion(A,A)
True
```

- ▶ Ou directement avec l'opérateur `<=` (si on veut l'inclusion stricte : `<`) :

```
>>> print( A<=B , B<=A , A<=A , A<A , set()<A)
```

- ▶ L'opérateur `in` permet de savoir si un élément **appartient** à un ensemble

```
>>> A = {22, 'Salut'} ; B = { 22, 31.2, 'Salut', True }
>>> print( 31.2 in A , 31.2 in B)
False True
```

- ▶ En mathématiques, A est **inclus** dans B si tout élément de A appartient à B
 - ▶ $A \subseteq B \equiv \forall x \in A, x \in B$

- ▶ Traduisons cela en Python avec une boucle `for`

```
def inclusion(A,B):
    for x in A:
        if not(x in B):
            return False
    return True
```

```
>>> inclusion(A,B)
True
>>> inclusion(B,A)
False
>>> inclusion(A,A)
True
```

- ▶ Ou directement avec l'opérateur `<=` (si on veut l'inclusion stricte : `<`) :

```
>>> print( A<=B , B<=A , A<=A , A<A , set()<A)
True False True False True
```

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

>>>

SHELL

- En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

SHELL

- En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>>
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

```
3
```

```
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

```
3
```

```
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments
```

```
{1, 2, 3}
```

```
>>>
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

```
3
```

```
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}
```

```
>>> cardinal(set())
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

```
3
```

```
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}
```

```
>>> cardinal(set())
```

```
0
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}  
>>> cardinal(set())  
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'embête pour rien : fonction **len**

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}  
>>> cardinal(set())  
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'~~embête~~ pour rien : fonction **len**
 - ▶ C'est **important pédagogiquement** de savoir réécrire les fonctions de base.

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}  
>>> cardinal(set())  
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'~~embête~~ pour rien : fonction **len**
 - ▶ C'est **important pédagogiquement** de savoir réécrire les fonctions de base.

```
>>>
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}  
>>> cardinal(set())  
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'~~embête~~ pour rien : fonction **len**
 - ▶ C'est **important pédagogiquement** de savoir réécrire les fonctions de base.

```
>>> len({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):  
    c = 0  
    for x in E:  
        c=c+1  
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments  
{1, 2, 3}  
>>> cardinal(set())  
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'~~embête~~ pour rien : fonction **len**
 - ▶ C'est **important pédagogiquement** de savoir réécrire les fonctions de base.

```
>>> len({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})  
3  
>>>
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):
    c = 0
    for x in E:
        c=c+1
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

```
3
```

```
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments
{1, 2, 3}
```

```
>>> cardinal(set())
```

```
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'~~embête~~ pour rien : fonction **len**
 - ▶ C'est **important pédagogiquement** de savoir réécrire les fonctions de base.

```
>>> len({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
```

```
3
```

```
>>> len(set())
```

SHELL

- ▶ En mathématiques, le **cardinal** est le nombre d'éléments d'un ensemble.

```
def cardinal(E):
    c = 0
    for x in E:
        c=c+1
    return c
```

SCRIPT

```
>>> cardinal({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
3
>>> {2,2,1,1,3,3,2,1,2,3} # ne contient bien que 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> cardinal(set())
0
```

SHELL

- ▶ Comme d'habitude, on s'~~embête~~ pour rien : fonction **len**
 - ▶ C'est **important pédagogiquement** de savoir réécrire les fonctions de base.

```
>>> len({2,2,1,1,3,3,2,1,2,3})
3
>>> len(set())
0
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
```

```
SHELL
```

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}  
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}  
>>> E
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>> set('abc')
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>> set('abc')
{'a', 'c', 'b'}
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>> set('abc')
{'a', 'c', 'b'}
>>> set(['a', 'b', 'c'])
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>> set('abc')
{'a', 'c', 'b'}
>>> set(['a', 'b', 'c'])
{'a', 'c', 'b'}
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>> set('abc')
{'a', 'c', 'b'}
>>> set(['a', 'b', 'c'])
{'a', 'c', 'b'}
>>> set(('a', 'b', 'c'))
{'a', 'c', 'b'}
```

SHELL

- ▶ On peut construire un ensemble en donnant directement ses valeurs

```
>>> E = {1 , 2 , 3 , 4}
>>> E
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ De même que les listes, on peut les construire par compréhension.

```
>>> L = [ x%10 for x in range(100) if x%6==0 ]
>>> L # L est une liste
[0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96]
>>> E = { x%10 for x in range(100) if x%6==0 }
>>> E # E est un ensemble
{0, 2, 4, 6, 8}
```

SHELL

- ▶ On peut utiliser la fonction de conversion `set` (voir cours 5 page 18)

```
>>> set('abc')
{'a', 'c', 'b'}
>>> set(['a', 'b', 'c'])
{'a', 'c', 'b'}
>>> set(('a', 'b', 'c'))
{'a', 'c', 'b'}
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>>
```



- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode **add**

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode **remove**

```
>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```
>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
>>>
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```
>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
>>> E.remove('HA ha ha')
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```
>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```
>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
>>> E.remove('HA ha ha')
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'HA ha ha'
>>>
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```

>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
    
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```

>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
>>> E.remove('HA ha ha')
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'HA ha ha'
>>> E
    
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```

>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
    
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```

>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
>>> E.remove('HA ha ha')
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'HA ha ha'
>>> E
{False, (1, 2, 3), 'Ha ha ha', 'Salut'}
>>>
    
```

SHELL

- ▶ Les ensembles sont mutables : Cela signifie que l'on peut les modifier.
- ▶ On peut ajouter un élément avec la méthode `add`

```

>>> E          # E contient 3 éléments
{1, 2, 3}
>>> E.add(12)
>>> E          # E contient maintenant 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
>>> E.add(1)
>>> E          # E contient toujours 4 éléments
{1, 2, 3, 12}
    
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un élément avec la méthode `remove`

```

>>> E = {'Salut', False, (1,2,3), 'Ha ha ha'}
>>> E.remove('HA ha ha')
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'HA ha ha'
>>> E
{False, (1, 2, 3), 'Ha ha ha', 'Salut'}
>>> E.remove('Ha ha ha')
    
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

>>>

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python !

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

>>>

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):  
    E = set() # ensemble vide  
    for x in A:  
        E.add(x)  
    for x in B:  
        E.add(x)  
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> union(A,B)  
{1, 2, 3, 4, 6, 8}  
>>> union(A,A)  
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}  
>>> B={2,4,6,8}  
>>> A|B
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):
    E = set() # ensemble vide
    for x in A:
        E.add(x)
    for x in B:
        E.add(x)
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> union(A,B)
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
>>> union(A,A)
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> A|B
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
```

SHELL

```
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):
    E = set() # ensemble vide
    for x in A:
        E.add(x)
    for x in B:
        E.add(x)
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> union(A,B)
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
>>> union(A,A)
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> A|B
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
```

SHELL

```
>>> A&B
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):
    E = set() # ensemble vide
    for x in A:
        E.add(x)
    for x in B:
        E.add(x)
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> union(A,B)
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
>>> union(A,A)
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> A|B
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
```

SHELL

```
>>> A&B
{2, 4}
>>>
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):
    E = set() # ensemble vide
    for x in A:
        E.add(x)
    for x in B:
        E.add(x)
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> union(A,B)
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
>>> union(A,A)
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> A|B
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
```

SHELL

```
>>> A&B
{2, 4}
>>> A-B
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):
    E = set() # ensemble vide
    for x in A:
        E.add(x)
    for x in B:
        E.add(x)
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> union(A,B)
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
>>> union(A,A)
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> A|B
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
```

SHELL

```
>>> A&B
{2, 4}
>>> A-B
{1, 3}
```

SHELL

- ▶ On veut écrire l'union de deux ensembles.

```
def union(A,B):
    E = set() # ensemble vide
    for x in A:
        E.add(x)
    for x in B:
        E.add(x)
    return E
```

SCRIPT

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> union(A,B)
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
>>> union(A,A)
{1, 2, 3, 4}
```

SHELL

- ▶ Comme toujours, la fonction existe déjà sous Python!
 - ▶ L'**union** $A \cup B = \{x : x \in A \text{ ou } x \in B\}$ se note $A \mid B$
 - ▶ L'**intersection** $A \cap B = \{x : x \in A \text{ et } x \in B\}$ se note $A \& B$
 - ▶ La **différence** $A \setminus B = \{x : x \in A \text{ et } x \notin B\}$ se note $A - B$

```
>>> A={1,2,3,4}
>>> B={2,4,6,8}
>>> A|B
{1, 2, 3, 4, 6, 8}
```

SHELL

```
>>> A&B
{2, 4}
>>> A-B
{1, 3}
```

SHELL

- ▶ Exercice : écrire l'intersection et la différence sans utiliser d'opérateurs.

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str : immutable
```

```
SHELL
```

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123', 'abc' }           # str : immutable  
{'abc', '123'}  
>>>
```

SHELL

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str : immutable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immutable
```

SHELL

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str : immutable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immutable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>>
```

SHELL

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str  : immutable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immutable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list  : mutable
```

SHELL

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str : immutable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immutable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>>
```

SHELL

- ▶ Bonne question : essayons!

SHELL

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str : immutable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immutable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
```

- ▶ Bonne question : essayons!

SHELL

```
>>> { '123' , 'abc' } # str : immutable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immutable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'set'
```

- ▶ Bonne question : essayons!

SHELL

```
>>> { '123' , 'abc' }           # str : immuable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immuable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'set'
```

- ▶ Un ensemble est **mutable**, mais ses éléments doivent être **immuable**.

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' } # str : immuable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immuable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'set'
```

SHELL

- ▶ Un ensemble est **mutable**, mais ses éléments doivent être **immuable**.
 - ▶ On peut faire des ensembles de tuple (ensembles de points du plan)

- ▶ Bonne question : essayons!

SHELL

```
>>> { '123' , 'abc' } # str : immuable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immuable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'set'
```

- ▶ Un ensemble est **mutable**, mais ses éléments doivent être **immuable**.
 - ▶ On peut faire des ensembles de tuple (ensembles de points du plan)
 - ▶ On ne peut pas faire des ensembles de listes ou d'ensemble.

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' } # str : immuable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immuable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'set'
```

SHELL

- ▶ Un ensemble est **mutable**, mais ses éléments doivent être **immuable**.
 - ▶ On peut faire des ensembles de tuple (ensembles de points du plan)
 - ▶ On ne peut pas faire des ensembles de listes ou d'ensemble.
- ▶ Que signifie *unhashable type* du message d'erreur?

- ▶ Bonne question : essayons!

```
>>> { '123' , 'abc' } # str : immuable
{'abc', '123'}
>>> { (1,2,3) , ('a','b','c') } # tuple : immuable
{(1, 2, 3), ('a', 'b', 'c')}
>>> { [1,2,3] , ['a','b','c'] } # list : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> { {1,2,3} , {'a','b','c'} } # set : mutable
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
TypeError: unhashable type: 'set'
```

SHELL

- ▶ Un ensemble est **mutable**, mais ses éléments doivent être **immuable**.
 - ▶ On peut faire des ensembles de tuple (ensembles de points du plan)
 - ▶ On ne peut pas faire des ensembles de listes ou d'ensemble.
- ▶ Que signifie *unhashable type* du message d'erreur?
 - ▶ En interne, les ensembles utilisent des fonctions de hachage.

- 🍃 Partie I. Ensembles
- 🍃 Partie II. Fonctions de hachage
- 🍃 Partie III. Dictionnaires
- 🍃 Partie IV. Mémoïsation
- 🍃 Partie V. Matrices
- 🍃 Partie VI. Table des matières

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
```

```
SHELL
```

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>>
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>>
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>> h(3)
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>> h(3)
'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'
>>>
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>> h(3)
'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'
>>> h([1,2,3])
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>> h(3)
'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'
>>> h([1,2,3])
'49a5a960c5714c2e29dd1a7e7b950741'
>>>
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>> h(3)
'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'
>>> h([1,2,3])
'49a5a960c5714c2e29dd1a7e7b950741'
>>> h(min)
```

SHELL

- ▶ Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?
 - ▶ C'est un **marqueur** biologique en théorie **unique**.
 - ▶ Facile à stocker, « facile » à comparer, facile à obtenir
- ▶ Existe-il un équivalent numérique ?
 - ▶ Une **fonction de hashage** permet de construire une empreinte numérique.
- ▶ Exemple : la fonction md5
 - ▶ Elle calcule une empreinte (*digest*) de 128 bits.
 - ▶ On représente l'empreinte le plus souvent par son écriture hexadécimale



```
>>> from hashlib import md5
>>> def h(x):
...     return md5(repr(x).encode()).hexdigest()
>>> h(3)
'eccbc87e4b5ce2fe28308fd9f2a7baf3'
>>> h([1,2,3])
'49a5a960c5714c2e29dd1a7e7b950741'
>>> h(min)
'0f61485fd84d673c233e28e1d2a5acfe'
```

SHELL

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?

```
>>> A= '123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> B= '123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>>
```

SHELL

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A='123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> B='123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> h(A)
```

SHELL

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A='123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> B='123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> h(A)  
'c42012567482404030e362f0c3813c15 '  
>>>
```

SHELL

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A='123456789101112131415161718192021222324252627'  
>>> B='123456789101112131415161718192021222324252627'  
>>> h(A)  
'c42012567482404030e362f0c3813c15'  
>>> h(B)
```

SHELL

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A='123456789101112131415161718192021222324252627'  
>>> B='123456789101112131415161718192021222324252627'  
>>> h(A)  
'c42012567482404030e362f0c3813c15'  
>>> h(B)  
'e5a41e2edb893242fe25aad75dfcca66'
```

SHELL

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A= '123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> B= '123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> h(A)  
'c42012567482404030e362f0c3813c15 '  
>>> h(B)  
'e5a41e2edb893242fe25aad75dfcca66 '
```

SHELL

- ▶ Soit s_1 et s_2 deux chaînes et $h(s_1)$ et $h(s_2)$ leurs empreintes.

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A='123456789101112131415161718192021222324252627'  
>>> B='123456789101112131415161718192021222324252627'  
>>> h(A)  
'c42012567482404030e362f0c3813c15'  
>>> h(B)  
'e5a41e2edb893242fe25aad75dfcca66'
```

SHELL

- ▶ Soit s_1 et s_2 deux chaînes et $h(s_1)$ et $h(s_2)$ leurs empreintes.
- ▶ On a la **garantie** suivante :
 - ▶ Si $h(s_1) \neq h(s_2)$ alors forcément $s_1 \neq s_2$ (car h est une fonction)

- ▶ À quoi ces fonctions servent-elles ?
 - ▶ Elles permettent de créer un **identifiant** pour un objet quelconque.
 - ▶ En particulier cela sert à **comparer des données** volumineuses.
 - ▶ Sauriez-vous trouver la différence entre les deux chaînes ?
 - ▶ Grâce à la fonction de hachage, la non-égalité est immédiate.

```
>>> A='123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> B='123456789101112131415161718192021222324252627 '  
>>> h(A)  
'c42012567482404030e362f0c3813c15'  
>>> h(B)  
'e5a41e2edb893242fe25aad75dfcca66'
```

SHELL

- ▶ Soit s_1 et s_2 deux chaînes et $h(s_1)$ et $h(s_2)$ leurs empreintes.
- ▶ On a la **garantie** suivante :
 - ▶ Si $h(s_1) \neq h(s_2)$ alors forcément $s_1 \neq s_2$ (car h est une fonction)
- ▶ Les propriétés suivantes sont **extrêmement probables** :
 - ▶ Si $h(s_1) = h(s_2)$ on peut en pratique considérer que $s_1 = s_2$ (on a 1 chance sur 340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 768 211 455 de se tromper)
 - ▶ Si s_1 et s_2 sont très proches, $h(s_1)$ et $h(s_2)$ sont très différents.

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

```
def ajouter(L,x):  
    for e in L:  
        if x == e: return # terminaison car x est déjà dans L  
    L.append(x) # sinon, on ajoute x  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

```
def ajouter(L,x):  
    for e in L:  
        if x == e: return # terminaison car x est déjà dans L  
    L.append(x) # sinon, on ajoute x  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Pour ajouter un élément, je dois comparer avec tous les éléments.

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

```
def ajouter(L,x):  
    for e in L:  
        if x == e: return # terminaison car x est déjà dans L  
    L.append(x) # sinon, on ajoute x  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Pour ajouter un élément, je dois comparer avec tous les éléments.
 - ▶ S'il y a n éléments de taille T , il faudra faire $n \cdot T$ comparaisons.

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

```
def ajouter(L,x):  
    for e in L:  
        if x == e: return # terminaison car x est déjà dans L  
    L.append(x) # sinon, on ajoute x  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Pour ajouter un élément, je dois comparer avec tous les éléments.
 - ▶ S'il y a n éléments de taille T , il faudra faire $n*T$ comparaisons.
- ▶ Pour gagner en efficacité, on stocke chaque élément avec son empreinte.

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

```
def ajouter(L,x):  
    for e in L:  
        if x == e: return # terminaison car x est déjà dans L  
    L.append(x) # sinon, on ajoute x  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Pour ajouter un élément, je dois comparer avec tous les éléments.
 - ▶ S'il y a n éléments de taille T , il faudra faire $n \cdot T$ comparaisons.
- ▶ Pour gagner en efficacité, on stocke chaque élément avec son empreinte.

```
def ajouter(L,x):  
    hx=h(x) # je calcule l'empreinte de x  
    for e in L:  
        (hy,y) = e # y est stocké avec son empreinte  
        if hx == hy: return # le programme termine  
    L.append((hx,x))  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Supposons que l'on souhaite implémenter les ensembles par des listes
 - ▶ On réimplémente les ensembles pour des questions pédagogiques

```
def ajouter(L,x):  
    for e in L:  
        if x == e: return # terminaison car x est déjà dans L  
    L.append(x) # sinon, on ajoute x  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Pour ajouter un élément, je dois comparer avec tous les éléments.
 - ▶ S'il y a n éléments de taille T , il faudra faire $n \cdot T$ comparaisons.
- ▶ Pour gagner en efficacité, on stocke chaque élément avec son empreinte.

```
def ajouter(L,x):  
    hx=h(x) # je calcule l'empreinte de x  
    for e in L:  
        (hy,y) = e # y est stocké avec son empreinte  
        if hx == hy: return # le programme termine  
    L.append((hx,x))  
    return
```

SCRIPT

- ▶ Dorénavant je dois faire seulement N comparaisons d'empreintes.

- ▶ Dans Python

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.

- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier

 - pour stocker des mots de passe sans les révéler.

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier
 - pour stocker des mots de passe sans les révéler.
 - ▶ On stocke les empreintes

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier
 - pour stocker des mots de passe sans les révéler.
 - ▶ On stocke les empreintes
 - ▶ On compare avec l'empreinte du mot de passe fourni par l'utilisateur.

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.

- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier

 - pour stocker des mots de passe sans les révéler.
 - ▶ On stocke les empreintes
 - ▶ On compare avec l'empreinte du mot de passe fourni par l'utilisateur.
 - ▶ À aucun moment on ne stocke les mots de passe

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.
- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier
 - pour stocker des mots de passe sans les révéler.
 - ▶ On stocke les empreintes
 - ▶ On compare avec l'empreinte du mot de passe fourni par l'utilisateur.
 - ▶ À aucun moment on ne stocke les mots de passe
 - ▶ Une empreinte ne permet pas de retrouver le mot de passe

- ▶ Dans Python
 - ▶ Les ensembles sont implémentés de manière bien plus élaborées.
 - ▶ Mais ils utilisent des tables de hachage.
 - ▶ L'ajout d'élément ne dépend pas de la taille des éléments de E.

- ▶ En informatique en général : on utilise les empreintes
 - pour vérifier qu'un téléchargement correspond au bon fichier
 - ▶ On compare les empreintes (*MD5 check sum*)
 - ▶ Si l'empreinte est bonne, on a bien une version correcte du bon fichier

 - pour stocker des mots de passe sans les révéler.
 - ▶ On stocke les empreintes
 - ▶ On compare avec l'empreinte du mot de passe fourni par l'utilisateur.
 - ▶ À aucun moment on ne stocke les mots de passe
 - ▶ Une empreinte ne permet pas de retrouver le mot de passe

 - pour certifier la liste chaînée d'une *blockchain* (bitcoin) ou de git.

- Partie I. Ensembles
- Partie II. Fonctions de hachage
- Partie III. Dictionnaires
- Partie IV. Mémoïsation
- Partie V. Matrices
- Partie VI. Table des matières

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé : valeur.

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable ;

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable ;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }
```

```
SHELL
```

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé:valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé:valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé:valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']  
243
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']  
243
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire vide se note {} ou mieux dict()

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé:valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']  
243
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire vide se note {} ou mieux dict()
- ▶ Toutes les clés doivent être distinctes

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']  
243
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire vide se note {} ou mieux dict()
- ▶ Toutes les clés doivent être distinctes

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']  
243
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire vide se note {} ou mieux dict()
- ▶ Toutes les clés doivent être distinctes

```
>>> {'pommes':243 , 'poires':123, 'pommes':23 }
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est une collection de couples clé: valeur.
 - ▶ clé est forcément non mutable;
 - ▶ valeur peut être modifiée.

```
>>> mon_panier = {'pommes':243 , 'poires':123 }  
>>> mon_panier  
{'pommes': 243, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ On accède aux valeurs en utilisant les clés comme indices.

```
>>> mon_panier['poires']  
123  
>>> mon_panier['pommes']  
243
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire vide se note {} ou mieux dict ()
- ▶ Toutes les clés doivent être distinctes

```
>>> {'pommes':243 , 'poires':123, 'pommes':23 }  
{'pommes': 23, 'poires': 123}
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }  
>>>
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }  
>>> dico[3.5]
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }  
>>> dico[3.5]  
'Bonjour'  
>>>
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }  
>>> dico[3.5]  
'Bonjour'  
>>> dico['un']
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }  
>>> dico[3.5]  
'Bonjour'  
>>> dico['un']  
234  
>>>
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }  
>>> dico[3.5]  
'Bonjour'  
>>> dico['un']  
234  
>>> dico['Bonjour'] # 'Bonjour' est une valeur !
```

SHELL

- ▶ L'accès à une valeur est extrêmement rapide.
 - ▶ C'est le principal intérêt des dictionnaires.
 - ▶ Les dictionnaires utilisent des tables de hachage
- ▶ La recherche est **unidirectionnelle**
 - ▶ on va de la clé vers les valeurs
- ▶ La clé doit être non mutable.
 - ▶ Typiquement des chaînes et des nombres.
 - ▶ On peut utiliser des tuples ne contenant que des éléments non mutables.

```
>>> dico = { 'un':234 , 2:[3,4,5] , 3.5:'Bonjour' }
>>> dico[3.5]
'Bonjour'
>>> dico['un']
234
>>> dico['Bonjour'] # 'Bonjour' est une valeur !
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Bonjour'
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}  
>>>
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}  
>>> partiel["Gustave"]
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

SHELL

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>>
```


- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

SHELL

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
```

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```
try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```

>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
    
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```

try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
    
```

SCRIPT

```

if étu in partiel:
    note = partiel[étu]
else:
    note = "ABS"
    
```

SCRIPT

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```

>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
    
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```

try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
    
```

SCRIPT

```

if étu in partiel:
    note = partiel[étu]
else:
    note = "ABS"
    
```

SCRIPT

- ▶ Ou plus simplement en une ligne avec la méthode `get`

```

>>>
    
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```
try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

```
if étu in partiel:
    note = partiel[étu]
else:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

- ▶ Ou plus simplement en une ligne avec la méthode `get`

```
>>> partiel.get("Alice", 'ABS')
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```
try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

```
if étu in partiel:
    note = partiel[étu]
else:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

- ▶ Ou plus simplement en une ligne avec la méthode `get`

```
>>> partiel.get("Alice", 'ABS')
15
>>>
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```
try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

```
if étu in partiel:
    note = partiel[étu]
else:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

- ▶ Ou plus simplement en une ligne avec la méthode `get`

```
>>> partiel.get("Alice", 'ABS')
15
>>> partiel.get("Gustave", 'ABS')
```

SHELL

- ▶ Si on utilise une clé qui n'existe pas, une exception est levée.
 - ▶ Pour savoir si une clé existe on peut utiliser mot-clé `in`

```
>>> partiel = { 'Alice':15 , 'Bob':13 , "Charline":9}
>>> partiel["Gustave"]
Traceback (most recent call last):
  File "<console>", line 1, in <module>
KeyError: 'Gustave'
>>> 'Gustave' in partiel # "Gustave" est-il une clé ?
False
```

SHELL

- ▶ On veut affecter à note la valeur associée à l'étudiant étu
 - ▶ Si une telle clé n'existe pas, on pose `note="ABS"`

```
try:
    note = partiel[étu]
except KeyError:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

```
if étu in partiel:
    note = partiel[étu]
else:
    note = "ABS"
```

SCRIPT

- ▶ Ou plus simplement en une ligne avec la méthode `get`

```
>>> partiel.get("Alice", 'ABS')
15
>>> partiel.get("Gustave", 'ABS')
'ABS'
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22: 'Du' , 33: 'tri' }  
>>> dico[22]='du'
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22: 'Du' , 33: 'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22: 'Du' , 33: 'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}  
>>> dico[44]='kvar'
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}  
>>> dico[44]='kvar'  
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}  
>>> dico[44]='kvar'  
>>> dico
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}  
>>> dico[44]='kvar'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }
>>> dico[22]='du'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
>>> dico[44]='kvar'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un couple (clé:valeur) avec la commande **pop**

```
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }  
>>> dico[22]='du'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}  
>>> dico[44]='kvar'  
>>> dico  
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un couple (clé:valeur) avec la commande **pop**

```
>>> dico.pop(33)
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }
>>> dico[22]='du'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
>>> dico[44]='kvar'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un couple (clé:valeur) avec la commande **pop**

```
>>> dico.pop(33)
'tri'
>>>
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }
>>> dico[22]='du'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
>>> dico[44]='kvar'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un couple (clé:valeur) avec la commande **pop**

```
>>> dico.pop(33)
'tri'
>>> dico
```

SHELL

- ▶ Un dictionnaire est **mutable** : il est **modifiable**.
- ▶ On peut modifier la valeur associée à une clé en utilisant l'**affectation**.

```
>>> dico = { 11: 'unu' , 22:'Du' , 33:'tri' }
>>> dico[22]='du'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
```

SHELL

- ▶ On peut ajouter un nouveau couple clé:valeur en utilisant l'**affectation**

```
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri'}
>>> dico[44]='kvar'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 33: 'tri', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ On peut supprimer un couple (clé:valeur) avec la commande **pop**

```
>>> dico.pop(33)
'tri'
>>> dico
{11: 'unu', 22: 'du', 44: 'kvar'}
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620  
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620  
>>> naissance["d'Artagnan"]=1615
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
>>> naissance["Athos"]=1615
>>> naissance["Porthos"]=1617
>>> naissance["Aramis"]=1620
>>> naissance["d'Artagnan"]=1615
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
def clés(dico):  
    for k in dico.keys():  
        v = dico[k]  
        print(f"{k} ({v})")
```

SCRIPT

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620  
>>> naissance["d'Artagnan"]=1615  
>>> clés(naissance)
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
def clés(dico):  
    for k in dico.keys():  
        v = dico[k]  
        print(f"{k} ({v})")
```

SCRIPT

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620  
>>> naissance["d'Artagnan"]=1615  
>>> clés(naissance)  
Athos (1615)  
Porthos (1617)  
Aramis (1620)  
d'Artagnan (1615)  
>>>
```

SHELL

- ▶ On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
def clés(dico):  
    for k in dico.keys():  
        v = dico[k]  
        print(f"{k} ({v})")
```

SCRIPT

```
def valeurs(dico):  
    for v in dico.values():  
        # pas d'accès aux clés  
        print(v, end=' ')  
    print('')
```

SCRIPT

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620  
>>> naissance["d'Artagnan"]=1615  
>>> clés(naissance)  
Athos (1615)  
Porthos (1617)  
Aramis (1620)  
d'Artagnan (1615)  
>>> valeurs(naissance)  
1615 1617 1620 1615
```

SHELL

#une valeur n'est pas forcément unique

- On peut parcourir un dictionnaire en parcourant les clés ou les valeurs.

```
def clés(dico):  
    for k in dico.keys():  
        v = dico[k]  
        print(f"{k} ({v})")
```

SCRIPT

```
def valeurs(dico):  
    for v in dico.values():  
        # pas d'accès aux clés  
        print(v, end=' ')  
    print('')
```

SCRIPT

```
>>> naissance["Athos"]=1615  
>>> naissance["Porthos"]=1617  
>>> naissance["Aramis"]=1620  
>>> naissance["d'Artagnan"]=1615  
>>> clés(naissance)  
Athos (1615)  
Porthos (1617)  
Aramis (1620)  
d'Artagnan (1615)  
>>> valeurs(naissance) #une valeur n'est pas forcément unique  
1615 1617 1620 1615
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>>
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()  
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])  
>>>
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()  
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])  
>>> naissance.values()
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>>
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan']
>>>
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan']
>>> set(naissance.values())
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan']
>>> set(naissance.values())
{1617, 1620, 1615}
```

SHELL

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan']
>>> set(naissance.values())
{1617, 1620, 1615}
```

SHELL

- ▶ On peut itérer directement sur un dictionnaire.

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan']
>>> set(naissance.values())
{1617, 1620, 1615}
```

SHELL

- ▶ On peut itérer directement sur un dictionnaire.
 - ▶ C'est comme si on itérait sur les clés.

- ▶ À quoi correspondent `dico.keys()` et `dico.values()` ?

```
>>> naissance.keys()
dict_keys(['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan'])
>>> naissance.values()
dict_values([1615, 1617, 1620, 1615])
```

SHELL

- ▶ Ce sont des **vues** (*view*).
 - ▶ Ce ne sont pas des listes!
 - ▶ Mais ce sont des objets itérables.
 - ▶ On peut les convertir en tuples, ensembles ou listes.

```
>>> list(naissance.keys())
['Athos', 'Porthos', 'Aramis', 'd'Artagnan']
>>> set(naissance.values())
{1617, 1620, 1615}
```

SHELL

- ▶ On peut itérer directement sur un dictionnaire.
 - ▶ C'est comme si on itérait sur les clés.
 - ▶ `for k in dico.keys():` ⇔ `for k in dico:`

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ On peut aussi comparer la taille des ensembles de clés et de valeurs.

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ On peut aussi comparer la taille des ensembles de clés et de valeurs.

```
def est_injectif(dico):  
    nb_clés = len(set(dico.keys()))  
    nb_values = len(set(dico.values()))  
    return nb_clés==nb_values
```

SCRIPT

>>>

SHELL

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ On peut aussi comparer la taille des ensembles de clés et de valeurs.

```
def est_injectif(dico):  
    nb_clés = len(set(dico.keys()))  
    nb_values = len(set(dico.values()))  
    return nb_clés==nb_values
```

SCRIPT

```
>>> est_injectif(naissance)
```

SHELL

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ On peut aussi comparer la taille des ensembles de clés et de valeurs.

```
def est_injectif(dico):  
    nb_clés = len(set(dico.keys()))  
    nb_values = len(set(dico.values()))  
    return nb_clés==nb_values
```

SCRIPT

```
>>> est_injectif(naissance)  
False  
>>>
```

SHELL

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ On peut aussi comparer la taille des ensembles de clés et de valeurs.

```
def est_injectif(dico):  
    nb_clés = len(set(dico.keys()))  
    nb_values = len(set(dico.values()))  
    return nb_clés==nb_values
```

SCRIPT

```
>>> est_injectif(naissance)  
False  
>>> est_injectif({ 1:'eins' , 2:'zwei' , 3:'drei' })
```

SHELL

- ▶ En mathématique une application est injective si :
 - ▶ $f(x) = f(y)$ implique $x = y$, dit autrement, si $x \neq y$ alors $f(x) \neq f(y)$
- ▶ On cherche à savoir si un dictionnaire est injectif.
 - ▶ C'est-à-dire si chaque valeur est unique

```
def est_injectif(dico):  
    for k1 in dico:  
        for k2 in dico:  
            if k1!=k2 and dico[k1]==dico[k2]:  
                return False # collision !  
    return True
```

SCRIPT

- ▶ On peut aussi comparer la taille des ensembles de clés et de valeurs.

```
def est_injectif(dico):  
    nb_clés = len(set(dico.keys()))  
    nb_values = len(set(dico.values()))  
    return nb_clés==nb_values
```

SCRIPT

```
>>> est_injectif(naissance)  
False  
>>> est_injectif({ 1:'eins' , 2:'zwei' , 3:'drei' })  
True
```

SHELL

- 🍃 Partie I. Ensembles
- 🍃 Partie II. Fonctions de hachage
- 🍃 Partie III. Dictionnaires
- 🍃 **Partie IV. Mémoïsation**
- 🍃 Partie V. Matrices
- 🍃 Partie VI. Table des matières

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.
 - ▶ n sera la clé

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.
 - ▶ n sera la clé
 - ▶ le résultat de `fact(n)` sera la valeur.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.
 - ▶ n sera la clé
 - ▶ le résultat de $\text{fact}(n)$ sera la valeur.
- ▶ Principe de l'algorithme

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.
 - ▶ n sera la clé
 - ▶ le résultat de $\text{fact}(n)$ sera la valeur.
- ▶ Principe de l'algorithme
 - ▶ Si n est une clé du dictionnaire, on renvoie la valeur associée.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.
 - ▶ n sera la clé
 - ▶ le résultat de $\text{fact}(n)$ sera la valeur.
- ▶ Principe de l'algorithme
 - ▶ Si n est une clé du dictionnaire, on renvoie la valeur associée.
 - ▶ Sinon, on calcule $v=n*\text{fact}(n-1)$ et on ajoute $n:v$ dans le dictionnaire.

- ▶ Objectif : mémoriser les calculs déjà faits pour pouvoir les réutiliser.
- ▶ Exemple :
 - ▶ on calcule $100!$ c'est « long », il faut 100 multiplications.
 - ▶ on calcule ensuite $103!$: il faut 103 multiplications.
 - ▶ Si on avait mémorisé $100!$, il aurait suffi de 3 multiplications.
 - ▶ car $103! = 100! * 101 * 102 * 103$
- ▶ Il suffit de stocker les résultats dans un dictionnaire.
 - ▶ n sera la clé
 - ▶ le résultat de $\text{fact}(n)$ sera la valeur.
- ▶ Principe de l'algorithme
 - ▶ Si n est une clé du dictionnaire, on renvoie la valeur associée.
 - ▶ Sinon, on calcule $v=n*\text{fact}(n-1)$ et on ajoute $n:v$ dans le dictionnaire.
- ▶ Cette méthode s'appelle la **mémoïsation**.

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>>
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>>
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>>
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)  
801  
>>>
```

SHELL


```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)  
801  
>>> t=time(); x=fact(810); t810=time()-t; len(mémoire_cache)
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)  
801  
>>> t=time(); x=fact(810); t810=time()-t; len(mémoire_cache)  
811  
>>>
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)  
801  
>>> t=time(); x=fact(810); t810=time()-t; len(mémoire_cache)  
811  
>>> print(t810/t800)
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):  
    global mémoire_cache # global est facultatif  
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu  
    if n in mémoire_cache:  
        return mémoire_cache[n]  
    else:  
        v = n*fact(n-1)  
        mémoire_cache[n]=v  
        return v
```

```
>>> from time import time  
>>> len(mémoire_cache)  
1  
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)  
801  
>>> t=time(); x=fact(810); t810=time()-t; len(mémoire_cache)  
811  
>>> print(t810/t800)  
0.009252405625462621  
>>>
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):
    global mémoire_cache # global est facultatif
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu
    if n in mémoire_cache:
        return mémoire_cache[n]
    else:
        v = n*fact(n-1)
        mémoire_cache[n]=v
        return v
```

```
>>> from time import time
>>> len(mémoire_cache)
1
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)
801
>>> t=time(); x=fact(810); t810=time()-t; len(mémoire_cache)
811
>>> print(t810/t800)
0.009252405625462621
>>> print(f'{t810/t800:.1%}')
```

SHELL

```
mémoire_cache = { 0:1 } # fact(0)=1
```

SCRIPT

```
def fact(n):
    global mémoire_cache # global est facultatif
    # on ne modifie pas l'ensemble mais son contenu
    if n in mémoire_cache:
        return mémoire_cache[n]
    else:
        v = n*fact(n-1)
        mémoire_cache[n]=v
        return v
```

```
>>> from time import time
>>> len(mémoire_cache)
1
>>> t=time(); x=fact(800); t800=time()-t; len(mémoire_cache)
801
>>> t=time(); x=fact(810); t810=time()-t; len(mémoire_cache)
811
>>> print(t810/t800)
0.009252405625462621
>>> print(f'{t810/t800:.1%}')
0.9%
```

SHELL

- Le calcul de fact(810) est 100 fois plus efficace que celui de fact(800)

- ▶ On a rencontré des récurrences doubles. Exemple : la suite de Fibonacci.

```
def fib(n):  
    if n < 2:  
        return 1  
    else:  
        return fib(n-1) + fib(n-2)
```

SCRIPT

- ▶ On a rencontré des récurrences doubles. Exemple : la suite de Fibonacci.
 - ▶ Très peu efficaces

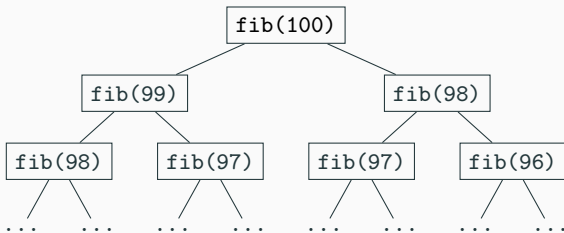
```
def fib(n):  
    if n < 2:  
        return 1  
    else:  
        return fib(n-1) + fib(n-2)
```

SCRIPT

- ▶ On a rencontré des récurrences doubles. Exemple : la suite de Fibonacci.
 - ▶ Très peu efficaces
 - ▶ Les mêmes calculs sont faits de nombreuses fois.

```
def fib(n):  
    if n < 2:  
        return 1  
    else:  
        return fib(n-1) + fib(n-2)
```

SCRIPT

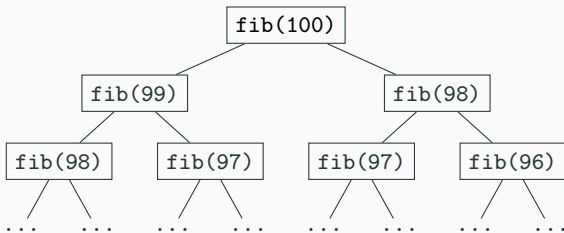


- ▶ On a rencontré des récurrences doubles. Exemple : la suite de Fibonacci.
 - ▶ Très peu efficaces
 - ▶ Les mêmes calculs sont faits de nombreuses fois.

```
def fib(n):  
    if n < 2:  
        return 1  
    else:  
        return fib(n-1) + fib(n-2)
```

SCRIPT

On souhaite retenir les
résultats intermédiaires
(mémorisation)



- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de $\text{fib}(n)$ on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que $\text{fib}(n)$ (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\begin{cases} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{cases}$$

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de $\text{fib}(n)$ on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que $\text{fib}(n)$ (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\begin{cases} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{cases} \quad \text{et donc} \quad \begin{cases} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{cases}$$

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de $\text{fib}(n)$ on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que $\text{fib}(n)$ (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\begin{cases} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{cases} \quad \text{et donc} \quad \begin{cases} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{cases}$$

- ▶ Pour calculer $\text{fib}(100)$ il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\begin{cases} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{cases} \quad \text{et donc} \quad \begin{cases} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{cases}$$

- ▶ Pour calculer `fib(100)` il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs
 - ▶ Supposons que le calcul ne prenne que 10^{-12} s par appel;

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\begin{cases} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{cases} \quad \text{et donc} \quad \begin{cases} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{cases}$$

- ▶ Pour calculer `fib(100)` il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs
 - ▶ Supposons que le calcul ne prenne que 10^{-12} s par appel;
 - ▶ le temps nécessaire sera de $\approx 10^9$ s ≈ 36 années.

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{array} \right. \quad \text{et donc} \quad \left\{ \begin{array}{l} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{array} \right.$$

- ▶ Pour calculer `fib(100)` il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs
 - ▶ Supposons que le calcul ne prenne que 10^{-12} s par appel;
 - ▶ le temps nécessaire sera de $\approx 10^9$ s ≈ 36 années.

```
mem = dict()
def fib(n):
    if n==0 or n==1:
        mem[n] = 1
    elif n not in mem:
        mem[n] = fib(n-1)+fib(n-2)
    return mem[n]
```

SCRIPT

>>>

SHELL

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{array} \right. \quad \text{et donc} \quad \left\{ \begin{array}{l} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{array} \right.$$

- ▶ Pour calculer `fib(100)` il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs
 - ▶ Supposons que le calcul ne prenne que 10^{-12} s par appel;
 - ▶ le temps nécessaire sera de $\approx 10^9$ s ≈ 36 années.

```
mem = dict()
def fib(n):
    if n==0 or n==1:
        mem[n] = 1
    elif n not in mem:
        mem[n] = fib(n-1)+fib(n-2)
    return mem[n]
```

SCRIPT

```
>>> fib(100) #Quasi instantané
```

SHELL

- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{array} \right. \quad \text{et donc} \quad \left\{ \begin{array}{l} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{array} \right.$$

- ▶ Pour calculer `fib(100)` il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs
 - ▶ Supposons que le calcul ne prenne que 10^{-12} s par appel;
 - ▶ le temps nécessaire sera de $\approx 10^9$ s ≈ 36 années.

```
mem = dict()
def fib(n):
    if n==0 or n==1:
        mem[n] = 1
    elif n not in mem:
        mem[n] = fib(n-1)+fib(n-2)
    return mem[n]
```

SCRIPT

```
>>> fib(100) #Quasi instantané
573147844013817084101
```

SHELL

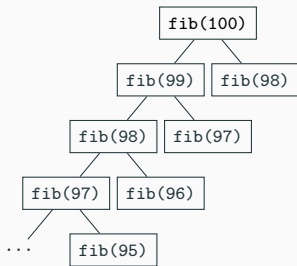
- ▶ Soit T_n le nombre d'appels récursif lors du calcul de `fib(n)` on a
 - ▶ $1 + T_n = 2 \cdot \text{fib}(n)$ car $1 + T_n$ vérifie la même formule de récurrence que `fib(n)` (mais en partant de 2 au lieu de 1)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_n = 1 + T_{n-1} + T_{n-2} \\ T_0 = T_1 = 1 \end{array} \right. \quad \text{et donc} \quad \left\{ \begin{array}{l} (1 + T_n) = (1 + T_{n-1}) + (1 + T_{n-2}) \\ (1 + T_0) = (1 + T_1) = 2 \end{array} \right.$$

- ▶ Pour calculer `fib(100)` il faut donc $2 \cdot \text{fib}(100) - 1$ appels récursifs
 - ▶ Supposons que le calcul ne prenne que 10^{-12} s par appel;
 - ▶ le temps nécessaire sera de $\approx 10^9$ s ≈ 36 années.

<pre>mem = dict() def fib(n): if n==0 or n==1: mem[n] = 1 elif n not in mem: mem[n] = fib(n-1)+fib(n-2) return mem[n]</pre>	SCRIPT
<pre>>>> fib(100) #Quasi instantané 573147844013817084101</pre>	SHELL

Le nouvel arbre d'appels est un « peigne » qui compte seulement 201 appels récursifs.



- 🍃 Partie I. Ensembles
- 🍃 Partie II. Fonctions de hachage
- 🍃 Partie III. Dictionnaires
- 🍃 Partie IV. Mémoïsation
- 🍃 **Partie V. Matrices**
- 🍃 Partie VI. Table des matières

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>>
```

```
SHELL
```

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>>
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
>>> len(A)
3
>>>
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
>>> len(A)
3
>>> (A[0], len(A[0]))
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)
 - ▶ `len(A[0])` donne le nombre de colonnes (largeur)
 - ▶ `A[li]` donne la ligne d'indice `li`

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
>>> len(A)
3
>>> (A[0], len(A[0]))
([0, 1], 2)
>>>
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)
 - ▶ `len(A[0])` donne le nombre de colonnes (largeur)
 - ▶ `A[li]` donne la ligne d'indice li

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```

>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
>>> len(A)
3
>>> (A[0], len(A[0]))
([0, 1], 2)
>>> A[2][1]

```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)
 - ▶ `len(A[0])` donne le nombre de colonnes (largeur)
 - ▶ `A[li]` donne la ligne d'indice `li`
 - ▶ `A[li][co]` donne le coefficient à la ligne `li` et à la colonne `co` : $A_{li,co}$

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```

>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
>>> len(A)
3
>>> (A[0], len(A[0]))
([0, 1], 2)
>>> A[2][1]
3

```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)
 - ▶ `len(A[0])` donne le nombre de colonnes (largeur)
 - ▶ `A[li]` donne la ligne d'indice `li`
 - ▶ `A[li][co]` donne le coefficient à la ligne `li` et à la colonne `co` : $A_{li,co}$
 - ▶ et pour la colonne d'indice `co` ?

- ▶ Nous avons représenté une matrice 2×2 par une liste de listes (cours 7).
- ▶ Généralisons cette idée aux matrices $m \times n$ (m lignes et n colonnes).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} \\ A_{2,0} & A_{2,1} \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
>>> len(A)
3
>>> (A[0], len(A[0]))
([0, 1], 2)
>>> A[2][1]
3
```

SHELL

- ▶ Les lignes et colonnes sont numérotées à partir de 0.
 - ▶ `len(A)` donne le nombre de lignes (hauteur)
 - ▶ `len(A[0])` donne le nombre de colonnes (largeur)
 - ▶ `A[li]` donne la ligne d'indice `li`
 - ▶ `A[li][co]` donne le coefficient à la ligne `li` et à la colonne `co` : $A_{li,co}$
 - ▶ et pour la colonne d'indice `co` ?

```
def dimensions(A): # Fonction utile pour la suite
    return (len(A), len(A[0])) # nombre de lignes et de colonnes
```

SCRIPT

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonesque, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>>
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)  
3  
>>>
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)  
3  
>>> colonne(A,0)
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)  
3  
>>> colonne(A,0)  
[0, 1, 2]  
>>>
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)  
3  
>>> colonne(A,0)  
[0, 1, 2]  
>>> colonne(A,1)
```

SHELL

- ▶ On ne peut accéder directement qu'aux lignes.
- ▶ Comment accéder aux colonnes ?

```
def colonne(A, co):  
    res = []  
    for li in range(len(A)):  
        res.append(A[li][co])  
    return res
```

SCRIPT

- ▶ En plus pythonique, en utilisant les compréhensions de listes.

```
def colonne(A, co):  
    return [A[li][co] for li in range(len(A))]
```

SCRIPT

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

```
>>> A = [[0, 1], [1, 2], [2, 3]]  
>>> len(A)  
3  
>>> colonne(A,0)  
[0, 1, 2]  
>>> colonne(A,1)  
[1, 2, 3]
```

SHELL

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

>>>

SHELL

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

```
>>> est_matrice([])
```

SHELL

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>>
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([[], [], []])
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>>
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>> est_matrice(12)
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

>>>

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SCRIPT

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

```
>>> est_matrice([1,2,3])
```

SHELL

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

```
>>> est_matrice([1,2,3])  
False  
>>>
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

```
>>> est_matrice([1,2,3])  
False  
>>> est_matrice([[1,2], [3,4], [5,6]])
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

SCRIPT

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SHELL

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([], [], [])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

```
>>> est_matrice([1,2,3])  
False  
>>> est_matrice([[1,2], [3,4], [5,6]])  
True  
>>>
```

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SCRIPT

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([[], [], []])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

```
>>> est_matrice([1,2,3])  
False  
>>> est_matrice([[1,2], [3,4], [5,6]])  
True  
>>> est_matrice([[1,2], [3], [5,6]])
```

SHELL

- ▶ Comment déterminer si un objet Python est une matrice ?
 - ▶ c'est une liste de listes
 - ▶ Les lignes et les colonnes doivent être non vides
 - ▶ toutes les colonnes ont la même taille

```
def est_matrice(A):  
    # A doit être une liste non-vide  
    if type(A) != list or A==[]:  
        return False  
    # A[0] doit être une liste non-vide  
    if type(A[0]) != list or A[0]==[]:  
        return False  
    # Toutes les lignes doivent être des listes de même taille  
    for ligne in A:  
        if type(ligne) != list or len(ligne) != len(A[0]):  
            return False  
    return True
```

SCRIPT

```
>>> est_matrice([])  
False  
>>> est_matrice([[], [], []])  
False  
>>> est_matrice(12)  
False
```

SHELL

```
>>> est_matrice([1,2,3])  
False  
>>> est_matrice([[1,2], [3,4], [5,6]])  
True  
>>> est_matrice([[1,2], [3], [5,6]])  
False
```

SHELL

- ▶ Une matrice nulle est une matrice ne contenant que des 0

Matrice 2×3 nulle :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice nulle est une matrice ne contenant que des 0

```
def matrice_nulle(n,m):  
    A=[]  
    for ligne in range(n):  
        L=[]  
        for colonne in range(m):  
            L.append(0)  
        A.append(L)  
    return A
```

SCRIPT

Matrice 2×3 nulle :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice nulle est une matrice ne contenant que des 0

```
def matrice_nulle(n,m):
    A=[]
    for ligne in range(n):
        L=[]
        for colonne in range(m):
            L.append(0)
        A.append(L)
    return A
```

SCRIPT

Matrice 2×3 nulle :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice identité est une matrice carrée contenant des 1 sur la diagonale et des 0 ailleurs.

Matrice identité 4×4 :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice nulle est une matrice ne contenant que des 0

```
def matrice_nulle(n,m):
    A=[]
    for ligne in range(n):
        L=[]
        for colonne in range(m):
            L.append(0)
        A.append(L)
    return A
```

SCRIPT

Matrice 2×3 nulle :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice identité est une matrice carrée contenant des 1 sur la diagonale et des 0 ailleurs.

```
def matrice_identite(n):
    A = matrice_nulle(n,n)
    for i in range(n):
        A[i][i]=1
    return A
```

SCRIPT

Matrice identité 4×4 :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice nulle est une matrice ne contenant que des 0

```
def matrice_nulle(n,m):
    A=[]
    for ligne in range(n):
        L=[]
        for colonne in range(m):
            L.append(0)
        A.append(L)
    return A
```

SCRIPT

Matrice 2×3 nulle :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Une matrice identité est une matrice carrée contenant des 1 sur la diagonale et des 0 ailleurs.

```
def matrice_identite(n):
    A = matrice_nulle(n,n)
    for i in range(n):
        A[i][i]=1
    return A
```

SCRIPT

Matrice identité 4×4 :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- ▶ Exercice : écrire ces fonctions en une ligne avec des compréhensions de liste

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?
 - ▶ On crée une matrice nulle de la bonne taille

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?
 - ▶ On crée une matrice nulle de la bonne taille
 - ▶ On y affecte ensuite les bonnes valeurs

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?
 - ▶ On crée une matrice nulle de la bonne taille
 - ▶ On y affecte ensuite les bonnes valeurs

```
def opposé(A):  
    (n,m) = dimensions(A)  
    B = matrice_nulle(n,m)  
    for i in range(n):  
        for j in range(m):  
            B[i][j] = - A[i][j]  
    return B
```

SCRIPT

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?
 - ▶ On crée une matrice nulle de la bonne taille
 - ▶ On y affecte ensuite les bonnes valeurs

```
def opposé(A):  
    (n,m) = dimensions(A)  
    B = matrice_nulle(n,m)  
    for i in range(n):  
        for j in range(m):  
            B[i][j] = - A[i][j]  
    return B
```

SCRIPT

- ▶ On est obligé de partir d'une nouvelle matrice.

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?
 - ▶ On crée une matrice nulle de la bonne taille
 - ▶ On y affecte ensuite les bonnes valeurs

```
def opposé(A):  
    (n,m) = dimensions(A)  
    B = matrice_nulle(n,m)  
    for i in range(n):  
        for j in range(m):  
            B[i][j] = - A[i][j]  
    return B
```

SCRIPT

- ▶ On est obligé de partir d'une nouvelle matrice.
 - ▶ En effet si j'écris B=A, toute modification de B affectera A.

- ▶ L'opposé d'une matrice est formé des opposés des éléments initiaux.

$$\text{L'opposé de } \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \text{ est } \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix}$$

- ▶ Comment rédiger un tel programme ?
 - ▶ On crée une matrice nulle de la bonne taille
 - ▶ On y affecte ensuite les bonnes valeurs

```
def opposé(A):  
    (n,m) = dimensions(A)  
    B = matrice_nulle(n,m)  
    for i in range(n):  
        for j in range(m):  
            B[i][j] = - A[i][j]  
    return B
```

SCRIPT

- ▶ On est obligé de partir d'une nouvelle matrice.
 - ▶ En effet si j'écris B=A, toute modification de B affectera A.
 - ▶ Voir le cours 5 sur la gestion de la mémoire concernant les listes.

- ▶ La **trace** d'une matrice est la somme des éléments diagonaux.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 & 7 \end{pmatrix}$$

La trace de A vaut $1 + 6 + 2 + 7 = 16$

- ▶ La **trace** d'une matrice est la somme des éléments diagonaux.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 & 7 \end{pmatrix}$$

La trace de A vaut $1 + 6 + 2 + 7 = 16$

- ▶ Le concept n'a de sens que dans une matrice carrée

- ▶ La **trace** d'une matrice est la somme des éléments diagonaux.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 & 7 \end{pmatrix}$$

La trace de A vaut $1 + 6 + 2 + 7 = 16$

- ▶ Le concept n 'a de sens que dans une matrice carrée

```
def trace(A):  
    (n,m)=dimensions(A)  
    if n != m :  
        raise ValueError('Trace : matrice non carrée')  
    tr = 0  
    for i in range(n):  
        tr = tr + A[i][i]  
    return tr
```

SCRIPT

- ▶ On peut ajouter deux matrices coefficient par coefficient
 - ▶ les matrices doivent être de même dimensions.

- ▶ On peut ajouter deux matrices coefficient par coefficient
 - ▶ les matrices doivent être de même dimensions.

$$\begin{pmatrix} 30 & 1 & 20 \\ 3 & 11 & 50 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 4 & 60 & 3 \\ 20 & -1 & 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 34 & 61 & 23 \\ 23 & 10 & 57 \end{pmatrix}$$

- ▶ On peut ajouter deux matrices coefficient par coefficient
 - ▶ les matrices doivent être de même dimensions.

$$\begin{pmatrix} 30 & 1 & 20 \\ 3 & 11 & 50 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 4 & 60 & 3 \\ 20 & -1 & 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 34 & 61 & 23 \\ 23 & 10 & 57 \end{pmatrix}$$

```
def somme(A,B):  
    (n,m) = dimensions(A)  
    if (n,m) != dimensions(B):  
        raise ValueError('Dimensions incompatibles')  
    C = matrice_nulle(n,m)  
    for i in range(n):  
        for j in range(m):  
            C[i][j] = A[i][j] + B[i][j]  
    return C
```

SCRIPT

- ▶ On peut multiplier deux matrices entre elles [[Wikipédia](#)]

- ▶ On peut multiplier deux matrices entre elles [\[Wikipédia\]](#)
 - ▶ la longueur de la première doit être égale à la hauteur de la deuxième

- ▶ On peut multiplier deux matrices entre elles [\[Wikipédia\]](#)
 - ▶ la longueur de la première doit être égale à la hauteur de la deuxième
 - ▶ On pose N ce nombre en commun.

- ▶ On peut multiplier deux matrices entre elles [\[Wikipédia\]](#)
 - ▶ la longueur de la première doit être égale à la hauteur de la deuxième
 - ▶ On pose N ce nombre en commun.
 - ▶ La matrice produit $M = AB$ est définie par $M_{i,j} = \sum_{k=1}^N A_{i,k} \times B_{k,j}$

- ▶ On peut multiplier deux matrices entre elles [\[Wikipédia\]](#)
 - ▶ la longueur de la première doit être égale à la hauteur de la deuxième
 - ▶ On pose N ce nombre en commun.
 - ▶ La matrice produit $M = AB$ est définie par $M_{i,j} = \sum_{k=1}^N A_{i,k} \times B_{k,j}$

```
def coefficient_produit(A,B,i,j):  
    (n,m)=dimensions(A)  
    c = 0  
    for k in range(n):# de 0 à n-1 (et non comme en math de 1 à n)  
        c = c + A[i][k]*B[k][j]  
    return c  
  
def produit(A,B):  
    (la,ca) = dimensions(A) ; (lb,cb) = dimensions(B)  
    if lb != ca:  
        raise ValueError('Dimensions incompatibles')  
    C = matrice_nulle(la,cb)  
    for i in la:  
        for j in cb:  
            C[i][j] = coefficient_produit(A,B,i,j)  
    return C
```

SCRIPT

- ▶ On peut multiplier deux matrices entre elles [\[Wikipédia\]](#)
 - ▶ la longueur de la première doit être égale à la hauteur de la deuxième
 - ▶ On pose N ce nombre en commun.
 - ▶ La matrice produit $M = AB$ est définie par $M_{i,j} = \sum_{k=1}^N A_{i,k} \times B_{k,j}$

```
def coefficient_produit(A,B,i,j):  
    (n,m)=dimensions(A)  
    c = 0  
    for k in range(n):# de 0 à n-1 (et non comme en math de 1 à n)  
        c = c + A[i][k]*B[k][j]  
    return c  
  
def produit(A,B):  
    (la,ca) = dimensions(A) ; (lb,cb) = dimensions(B)  
    if lb != ca:  
        raise ValueError('Dimensions incompatibles')  
    C = matrice_nulle(la,cb)  
    for i in la:  
        for j in cb:  
            C[i][j] = coefficient_produit(A,B,i,j)  
    return C
```

SCRIPT

- ▶ On utilise une sous-fonction pour éviter d'avoir trop de `for` imbriqués.

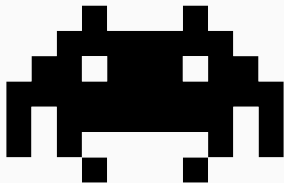
- ▶ Une image est un tableau de pixels.

- ▶ Une image est un tableau de pixels.
- ▶ Un pixel (en noir et blanc) ne peut avoir que deux valeurs :

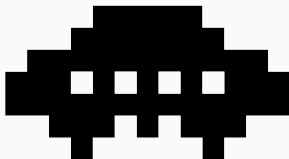
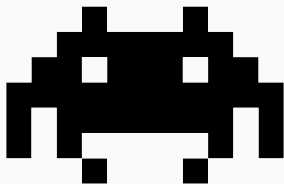
- ▶ Une image est un tableau de pixels.
- ▶ Un pixel (en noir et blanc) ne peut avoir que deux valeurs :
 - ▶ 0 : pixel blanc
 - ▶ 1 : pixel noir

- ▶ Une image est un tableau de pixels.
- ▶ Un pixel (en noir et blanc) ne peut avoir que deux valeurs :
 - ▶ 0 : pixel blanc
 - ▶ 1 : pixel noir
- ▶ Une image pourra donc être représentée par une matrice de 0 et de 1

- ▶ Une image est un tableau de pixels.
- ▶ Un pixel (en noir et blanc) ne peut avoir que deux valeurs :
 - ▶ 0 : pixel blanc
 - ▶ 1 : pixel noir
- ▶ Une image pourra donc être représentée par une matrice de 0 et de 1



- ▶ Une image est un tableau de pixels.
- ▶ Un pixel (en noir et blanc) ne peut avoir que deux valeurs :
 - ▶ 0 : pixel blanc
 - ▶ 1 : pixel noir
- ▶ Une image pourra donc être représentée par une matrice de 0 et de 1



- ▶ Voir TP!

Merci pour votre attention

Questions



Cours 8 — Ensembles, dictionnaires et matrices

Concours Tk

Partie I. Ensembles

Type de données

Ensembles Python

Accès aux éléments d'un ensemble

Appartenance et inclusion

Nombre d'éléments d'un ensemble

Construire un ensemble

Modifier un ensemble

Opérations sur les ensembles

Que puis-je mettre dans un ensemble?

Partie II. Fonctions de hachage

Qu'est-ce?

Pourquoi?

Application aux ensembles

Résumé

Partie III. Dictionnaires

Qu'est-ce?

Accès aux éléments

Exceptions

Modifier un dictionnaire

Itération

Itérations : Clés et valeurs

Exemple : injectivité

Partie IV. Mémoïsation

Principes : exemple de la factorielle

Implémentation de la factorielle

Mémoïsation et Fibonacci

Implémentation de Fibonacci

Partie V. Matrices

Définitions

Extraire une colonne

Reconnaître une matrice

Quelques matrices particulières

Calcul de l'opposé

Calcul de la trace

Calcul de la somme

Calcul du produit

Application : images bitmaps

Partie VI. Table des matières