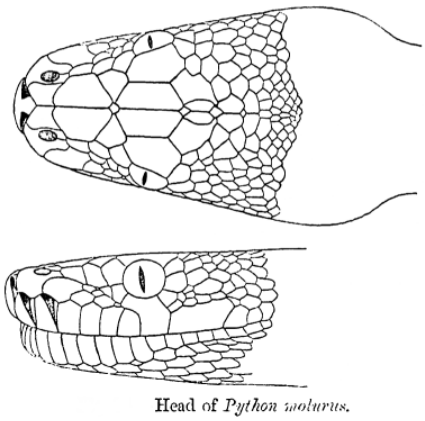
Matthieu Boileau & Vincent Legoll

Apprendre Python

pour les sciences



Head of *Python molurus*.

CNRS - Université de Strasbourg

Table des matières

Chapitre 1

Généralités

1.1 Programme du cours

1.1.1 Généralités

— Prise en main des notebooks
— Généralités sur le langage Python

1.1.2 Variables et types de données

— Qu'est-ce qu'une variable en python ?
— Revue des types de données

1.1.3 Opérations, contrôle, fonctions et modules

— Opérateurs
— Structures de contrôle
— Fonctions
— Exceptions et gestionnaires de contexte
— Compréhensions de listes & expressions génératrices
— Modules
— Bonnes pratiques
— Python 3.x vs 2.x
— Le Zen de Python

1.1.4 Numpy

1.1.5 Microprojet

1.1.6 Introduction à Pandas

1.2 Prise en main des notebooks

Le document que vous lisez est un notebook Jupyter. Il est constitué de cellules comportant :

— soit du texte en **Markdown** comme ici.
— soit du code Python, comme dans la cellule suivante :

```
In [1]: print('Hello world!')
```

```
Hello world!
```

Note : - `print()` est une fonction fournie par python pour afficher du texte à destination de l'utilisateur. - `In [ ]:` indique le nombre d'exécutions du noyau.

1.2.1 Les deux modes du notebook :

— *Commande* : permet de se déplacer d'une cellule à l'autre et d'exécuter les cellules
— *Edition* : permet de modifier le contenu d'une cellule.

1.2.2 Changement de mode

— *Commande* -> *Edition* : touche ou double-clic dans la cellule.
— *Edition* -> *Commande* :
  — Touche `Esc` pour basculer sans exécuter
  — Touches + pour *exécuter* la cellule et passer à la suivante. Exécuter une cellule en Markdown provoque le rendu visuel de celle-ci.

Exercice : Revenez en arrière, sélectionnez et exécutez (+) la cellule de code qui contient

```
print('Hello world!')
```

1.2.3 Mode Commande

— On se déplace à l'aide des flèches ↑↓ ou en cliquant avec la souris.
— On peut ajouter, effacer, déplacer, créer ou modifier le contenu des cellules à l'aide des menus déroulants en haut de la page

1.2.4 Mode Edition

— on entre dans le mode édition avec la touche ou par un double-clic
— signalement par la petite icône "crayon" en haut à droite, dans la barre de menu
— on en sort avec `Ctrl` + (ou + pour passer à la cellule suivante)

Note :

La plupart des actions à la souris peuvent se faire à l'aide des raccourcis du menu *Help* > *Keyboard Shortcuts* (touche `H`)

Exercice : Revenez en arrière, sélectionnez la cellule `print('Hello world!')`. Modifiez son contenu, par exemple en traduisant le message en français. Réexécutez-la et observez le nouveau résultat. Remarquez que le nombre d'exécutions augmente.

1.2.5 Autres commandes utiles

— Redémarrer le kernel Python : Bouton correspondant ou touche `0,0` en mode *Commande*
— Changer le type de cellule : *Code* -> *Markdown* : touche `M` en mode *Commande*
— Changer le type de cellule : *Markdown* -> *Code* : touche `Y` en mode *Commande*
— Ajouter une nouvelle cellule au dessus de l'actuelle : touche `A` (pour above) en mode *Commande*
— Ajouter une nouvelle cellule en dessous de l'actuelle : touche `B` (pour below) en mode *Commande*

Exercice 1. Suivre le tour guidé de l'interface : *Help* > *User Interface Tour* 2. Avancer dans le notebook avec + 3. Passer du mode **Commande** au mode **Edition** de différentes façons 4. Ouvrez la rubrique **Keyboard Shortcuts** de l'aide et tenter de reproduire les actions uniquement avec les touches du clavier

Notes :

— Vous pouvez vous servir de votre copie d'un notebook pour faire office de bloc-notes : vous pouvez rajouter des cellules de texte pour vos commentaires et des cellules de code pour vos essais de résolution d'exercices.
— `Ctrl` + `S` pour sauver vos modifications

Exercice : 1. Ajoutez une cellule de texte ci-dessous (touches `B` puis `M`) et insérez une note. 2. Ajoutez une cellule de code ci-dessous (touche `B`) et insérez un exemple de code.

1.3 Le langage Python

— Langage interprété, originellement écrit en C
— Open-source, portable et disponible sur Unix, Windows, MacOS, etc.
— Syntaxe claire et simple
— Orienté objet
— Types nombreux et puissants
— Interfaces avec de nombreux autres langages et librairies
— Large spectre d'applications

Plus d'informations sur wikipedia ou sur le site officiel de python.

1.3.1 Historique

La genèse du langage date de la fin des années 80. Guido van Rossum, alors à l'Institut de Recherche en Mathématiques et Informatique Hollandais (CWI) à Amsterdam a publié la version 0.9.0 de l'interpréteur en Février 1991. Il travaille maintenant pour dropbox après 7 ans chez google.

— Plus d'histoire sur wikipedia.
— L'histoire racontée par le créateur lui-même sur son blog sous forme d'anecdotes.

1.3.2 Un langage en forte croissance

Dans cet article de 2017, le site stackoverflow.com relevait la forte croissance de Python par rapport aux autres langages depuis 2012.

Depuis cet article, la tendance mensuelle des requêtes Stackoverflow s'est poursuivie. On peut la suivre sur https ://insights.stackoverflow.com/. En mai 2022, elle donne :

1.4 Qu'est-ce qu'un langage interprété ?

— Ordinateur → CPU → jeu d'instructions (ISA) → langage binaire
— Un langage de programmation permet d'écrire des programmes dans des langages mieux adaptés aux humains, mais nécessite une étape de traduction.
— Comme pour une langue étrangère, il nous faut un traducteur ou un interprète…

  — Le traducteur va lire le texte et en produire une version dans la langue étrangère.
  — L'interprète va lire le texte, et pendant sa lecture, effectuer la traduction en direct.

— Pour un langage informatique, c'est quasiment pareil, nous avons des compilateurs et des interpréteurs

  — Les compilateurs, traduisent tout le code source en langage binaire utilisable directement par le CPU.
  — L'interpréteur lit une partie du code source et exécute directement les instructions binaires qui correspondent et passe à la suite.

Un langage interprété sera souvent moins rapide qu'un langage compilé, car les optimisations sont plus faciles a réaliser lors d'une compilation.

Cette différence a tendance a s'estomper avec l'apparition des techniques suivantes :

— JIT : compilation à la volée (Just In Time compilation)
— RTTS : spécialisation de types au moment de l'exécution (Run Time Type Specialization)

Une autre possibilité pour contourner la lenteur d'exécution d'un langage est de faire appel à des bibliothèques externes programmées dans un langage compilé et optimisées. C'est très efficace pour les parties du code qui sont utilisées de manière répétitive.

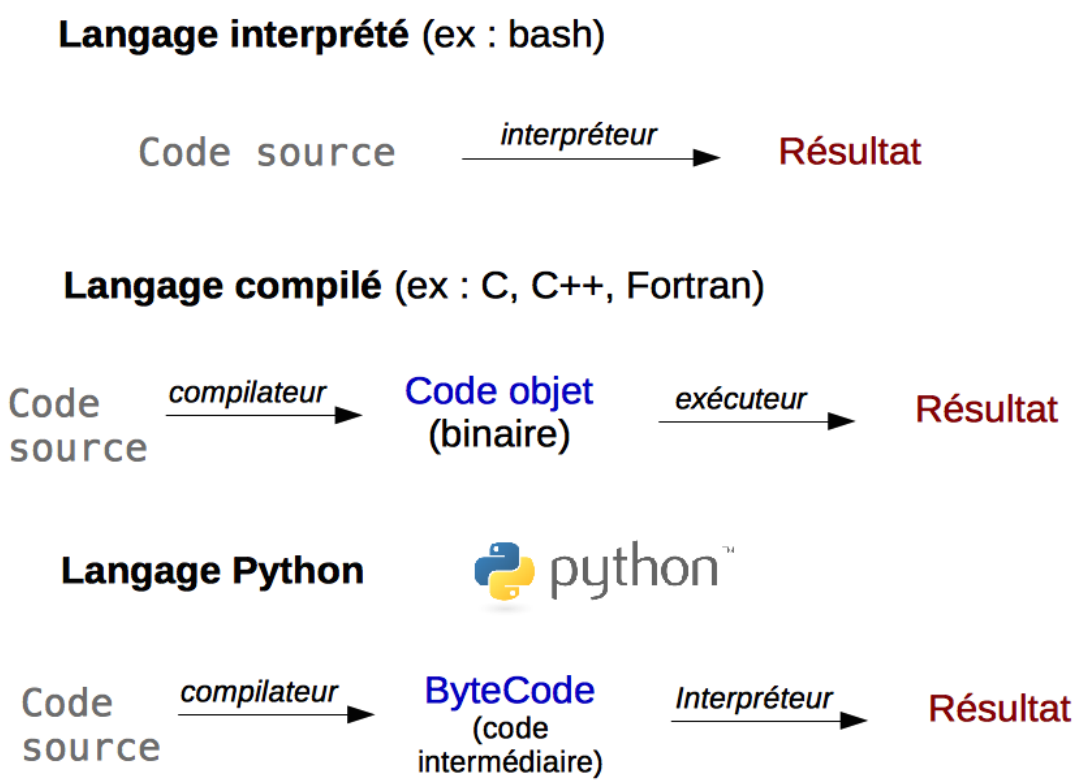


Figure inspirée du livre Apprendre à programmer en Python de G. Swinnen.

1.5 Quelques interpréteurs Python

- CPython : Implémentation de référence
- Jython : Java byte code, accès aux classes java
- IronPython : CLR byte code, accès aux classes .NET
- Pyjamas : JavaScript, Ajax, GWT
- Stackless Python : pas de pile, microthreads, coroutines
- Shed Skin : C++, typage statique
- Cython : C, compilateur créant des modules python
- Pyrex : langage proche de python, C
- Unladen Swallow : origine google, JIT, LLVM
- Pypy : JIT, RTTS, RPython → C, Java byte code, CLR byte code
- Nuitka : C, fortement compatible

1.6 Exécution d'un programme Python

1.6.1 Dans la console Python interactive

La commande `python` lance la console interactive python dans laquelle on peut exécuter le code directement :

```
$ python
Python 3.9.6 (default, Jun 29 2021, 06:20:32)
[Clang 12.0.0 (clang-1200.0.32.29)] on darwin
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> a = 2
```

```
>>> print(a)
2
>>>
```

1.6.2 Depuis la console système

On peut l'exécuter en paramètre de la ligne de commande

```
$ python -c 'a=3;print(a)'
```

Sous windows :

```
C:\> python.exe -c 'a=3;print(a)'
```

On peut exécuter un fichier (par exemple `test.py`) contenant notre code

```
$ python test.py
```

On peut exécuter directement un fichier python contenant notre code, grâce à l'utilisation du mode script avec, en rajoutant en première ligne du fichier :

```
#! python
```

Après avoir rendu le fichier exécutable

```
$ chmod a+x test.py
```

Ensuite il peut être exécuté sans le précéder par le nom de l'interpréteur :

```
$ ./test.py
```

1.6.3 Dans la console iPython

Le terminal interactif iPython peut s'utiliser comme alternative à la console Python classique pour ses fonctionnalités :

- syntaxe additionnelle
- complétion
- commandes système
- historique enrichi

Aperçu du terminal `ipython` :

```
$ ipython
Python 3.6.2 |Anaconda custom (x86_64)| (default, Sep 21 2017, 18:29:43)
Type 'copyright', 'credits' or 'license' for more information
IPython 6.4.0 -- An enhanced Interactive Python. Type '?' for help.

In [1]:
```

Un exemple d'utilisation

Sauvegarde de l'historique des commandes avec la *magic function* `%save`

```
$ ipython
[...]

In [1]: print('- Hello world!')
- Hello world!

In [2]: R = 'Hello you! '

In [3]: print(R*6)
Hello you! Hello you! Hello you! Hello you! Hello you! Hello you!

In [4]: %save hello.py 1-3
The following commands were written to file `hello.py`:
print('- Hello world!')
R = 'Hello you! '
print(R*6)

In [5]: quit
```

1.6.4 Au sein d'un notebook Jupyter

Les cellules de type *code* vous donnent accès à une console qui inclut la plupart des fonctionnalités de la console iPython.

Exercice :

1. Exécuter la cellule de code ci-dessous et observez le résultat
2. Exécuter cette cellule une deuxième fois, observez la différence

```
In [2]: print('- Hello world!')
        R = '- Hello you!\n'
        print(R*6)
        %history

- Hello world!
- Hello you!
- Hello you!
- Hello you!
- Hello you!
- Hello you!
- Hello you!

print('Hello world!')
print('- Hello world!')
R = '- Hello you!\n'
print(R*6)
%history
```

1.6.5 Utilisation d'un IDE (Environnement de développement intégré)

Un grand nombre d'IDE sont disponibles pour Python (cf. la revue wikipedia et la revue wiki.python.org). Citons simplement :

— **IDLE** : l'IDE par défaut de Python.
— **Spyder** : l'IDE qui sera utilisé pour certains exercices de ce cours.

— **Pycharm** : une alternative moins libre que Spyder mais avec de nombreuses fonctionnalités comme le support pour les outils de suivi de version ou la complétion automatique.
— **VSCode** : un IDE gratuit, non limité à Python, aux fonctionnalités très riches grâce à son système d'extensions.

1.6.6 Pourquoi un IDE ?

Dans un IDE, on dispose d'outils intégrés dans une interface (généralement) intuitive :

— débugueur
— analyseur de variables
— outils d'introspection de code
— outils de coloration et de correction syntaxique
— raccourcis d'exécution
— profileurs de code

1.7 Applications du langage Python

Python est un langage complet, utilisable dans un grand nombre de domaines.

1.7.1 Grand public

1.7.2 Mais aussi

— openstack - gestionnaire de cloud
— yum - installeur de paquets redhat, centos
— softimage - modelage et rendu 3D
— maya - modelage et rendu 3D
— inkscape - éditeur de graphiques vectoriels
— gnuradio - SDR (software defined radio) toolkit

Et encore plus d'exemples sur wikipedia.

1.7.3 Intérêt pour les sciences

Pour un usage scientifique, Python est intéressant à plusieurs titres. En effet, il est capable de réaliser de manière automatique et efficace un certain nombre de tâches qui sont le quotidien des scientifiques : - Manipuler et traiter des données de simulations ou d'expériences - Visualiser des résultats - Communiquer

ses résultats sous la forme de données numériques formatées, de figures ou d'animations - Dans le domaine du **calcul scientifique**, Python est particulièrement riche en fonctionnalités grâce à la contribution importante de la communauté des mathématiques et du calcul à travers le projet SciPy.

1.7.4 Le Python scientifique

1. Développement de code de simulation

Bien que généralement moins performant que les langages compilés (C, C++ ou Fortran), Python est particulièrement intéressant et agréable à programmer dans les phases de développement pour tester rapidement de nouvelles méthodes. Une fois le prototypage terminé, il est possible de porter les parties critiques du code vers un langage compilé plus rapide, tout en gardant le reste en python.

2. Traitement de données

- langage de haut niveau produisant du code agréable à lire (par opposition à excel, par exemple…)
- nombreux modules spécialisés (algèbre, statistique, traitement d'images, etc.)
- le concept des **notebooks Jupyter** qui combinent de l'exécution de code, du texte formaté, des formules mathématiques (via LaTeX), des tracés et du contenu média

3. Tracés graphiques :

- tracés 1D, 2D voire 3D
- animations

1.7.5 Les principaux paquets dédiés au Python scientifique :

- NumPy : calcul numérique, opérations mathématiques sur tableaux et matrices de grandes dimensions
- SciPy : ensemble d'outils scientifiques pour le traitement de signal, d'images, algèbre lineaire, etc…
- Sympy and SAGE : bibliothèques et outils mathématiques pour le calcul symbolique
- Matplotlib : tracer et visualiser des données sous forme graphique, à la matlab ou mathematica
- Pandas : analyser vos données
- TensorFlow : bibliothèque d'apprentissage machine développée par Google
- Scikit-learn : apprentissage machine, fouille et analyse de données
- BioPython : problèmes de biologie : génomique, modélisation moléculaire, etc…
- AstroPy : bibliothèque communautaire dédiée à l'astronomie

1.7.6 Python plutôt que Matlab ?

Constat

- On dispose ainsi d'un outil très complet et performant qui représente une alternative sérieuse aux outils commerciaux tels que Matlab, Maple, Mathematica, etc.
- Le site scipy-lectures fournit de bons pointeurs vers les applications scientifiques de Python avec Scipy.

Alors ?

- Une discussion intéressante : Python vs Matlab
- Un guide de migration : Numpy for Matlab users : guide
- Une table de conversion de la syntaxe : NumPy for MATLAB users : syntax

1.8 Documentation et sources

1.8.1 La documentation

- Officielle :

  - L'index
  - La FAQ
  - La librairie standard
  - Des tutoriels
- Stackoverflow : Forum de questions / réponses

1.8.2 Les sources de ce support

Quelques ressources qui ont inspiré le contenu de ce cours et qui pourront vous servir pour aller plus loin...

avec le langage

- Le MOOC de l'INRIA : Python 3 : des fondamentaux à l'utilisation du langage hébergé sur la plateforme FUN
- La formation du groupe Calcul : ANF "Python avancé en calcul scientifique"
- La formation de Pierre Navaro : Python pour le calcul
- Le cours de python scientifique de l'institut de science du téléscope spatial : STSCI's Scientific Python Course 2015 (en anglais)

avec les notebooks Jupyter

- Ce qu'on peut écrire en Markdown et en LaTeX dans les notebooks Jupyter et ce qu'on peut faire dans les cellules de code dans cette série de tutoriels
- Pour mettre vos notebooks en ligne : nbviewer, binder

en s'entrainant

- Site de tutorat social : Python Tutor

Chapitre 2

Variables et types de données

— Variables
— Types de données
— Fichiers

2.1 Langage python et sa syntaxe

2.1.1 Variables et affectation

Pour accéder à une donnée, on lui donne un nom que l'on appelle variable. Cette opération s'appelle une **affectation** (ou *assignation*) et se fait avec l'opérateur `=`.

```
variable_x = donnee_x
```

signifie qu'on affecte la `donnee_x` à la `variable_x`.
Exécutez la cellule suivante pour définir trois variables nommées : `age`, `prenom` et `taille`.

```
In [1]: # Par exemple: donnons la valeur 23 à la variable 'age'
        age = 23
        # Les variables peuvent se référer à divers types de données : des chaînes de caractères...
        prenom = 'Julien'
        # Des nombres réels, etc...
        taille = 1.83
```

2.1.2 Le mécanisme d'affectation en détail

Lors de l'affectation `x = donnee_x`, Python :

1. crée et mémorise le nom de variable `x`
2. crée un objet dont le type dépend de la nature de la donnée et y stocke la valeur particulière `donnee_x`
3. établit une référence entre le nom de la variable `x` et l'emplacement mémoire de `donnee_x`. Cette référence est mémorisée dans l'espace de nom.

2.1.3 Accéder à la valeur d'une variable

Pour se servir de la donnée référencée par une variable, il suffit d'utiliser le nom cette variable.

La fonction `print()` affiche à l'écran ce qui lui est passé en paramètre. On peut lui donner plusieurs paramètres séparés par des virgules : `print()` les affichera tous, séparés par un espace.

```
In [2]: print('Julien', 23, 1.83)
        print(prenom, 'a', age, 'ans, et mesure', taille, 'mètre')
```

```
Julien 23 1.83
Julien a 23 ans, et mesure 1.83 mètre
```

Les variables peuvent changer et ainsi se référer à une autre donnée.

```
In [3]: age = 23
        print(age)
        age = 24
        print(age)
```

```
23
24
```

2.1.4 L'affectation du point de vue de l'objet

La notion d'objet

En python, toute donnée est contenue dans un **objet.** En programmation, un objet est un conteneur qui regroupe :

— des données
— les méthodes pour interagir avec ces données

Exemple de l'objet de type entier relatif (`int`) :

— sa donnée : la valeur du nombre entier
— ses méthodes : les opérations mathématiques, la conversion vers les chaînes de caractères, etc.

Affecter une valeur à une variable revient à nommer un objet, c'est-à-dire référencer cet objet par un nom.

Exemple avec l'entier `7` :

— pour Python, `7` est l'objet de type entier (`int`) dont la donnée est le nombre 7
— lorsqu'on écrit `7` dans un programme, Python crée l'objet correspondant et lui affecte un identifiant unique dans l'espace de nom courant.
— cet identifiant est renvoyé par la fonction intrinsèque `id()` :

```
In [4]: print(id(7))
```

```
94378619786344
```

```
x = 7
```

signifie qu'on nomme l'objet `7` avec la variable `x`. Autrement dit, `x` devient **une référence vers cet objet.**

```
In [5]: print(id(7))
        x = 7
        print(id(x))
        y = x
        print(id(y))  # y référence le même objet que x
```

```
94378619786344
94378619786344
94378619786344
```

2.1.5 Le type

Les variables n'ont pas de type propre : c'est la donnée qui est typée, pas la variable qui la référence. Une variable peut donc faire référence à une donnée d'un autre type après une nouvelle affectation.

La fonction `type()` retourne le type effectif de la donnée passée en paramètre.

```
In [6]: # Des nombres
        age = 23
        print(type(age))
```

```
<class 'int'>
```

```
In [7]: # Les variables peuvent aussi changer de type : chaîne de caractères
        age = 'vingt quatre ans'
        print(type(age))
```

```
<class 'str'>
```

```
In [8]: # Sans limites...
        age = 24.5
        print(type(age))
```

```
<class 'float'>
```

```
In [9]: # Attention aux pièges...
        age = '25'
        print(type(age))
```

```
<class 'str'>
```

Une variable peut être initialisée avec des valeurs constantes, comme vu précédement, mais aussi à partir d'autres variables ou de valeurs retournées par des opérations, des fonctions, etc.

Exemple : La fonction max() retourne le plus grand de ses paramètres.

```
In [10]: a = 1
         b = a
         c = a * 2
         d = max(a, 2, 3, c)
         print(a, b, c, d)
```

```
1 1 2 3
```

Les variables, une fois définies dans une cellule **exécutée**, continuent d'exister dans les suivantes car toutes les cellules sont connectées à la même instance du noyau python.

> **Note :** En cas de redémarrage du notebook, toutes les variables existantes sont détruites, il faut donc ré-exécuter les cellules qui les définissent si l'on veut de nouveau pouvoir les utiliser.

```
In [11]: abcd = 1234
```

Ici, la variable nommée `abcd` survit, d'une cellule à la suivante…

```
In [12]: print(abcd)
```

```
1234
```

Si on veut faire disparaître une variable, on peut utiliser l'instruction `del`.

```
In [13]: # Cette cellule génère une erreur
         a = 2
         print(a)
         del a
         print(a)
```

```
2
```

```
---------------------------------------------------------------------------
NameError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[13], line 5
      3 print(a)
      4 del a
----> 5 print(a)

NameError: name 'a' is not defined
```

Note : `del` est aussi utilisé pour enlever des éléments dans des conteneurs modifiables (listes, dictionnaires). Nous aborderons ce sujet plus tard.

2.2 Types de données

Types de base

- None
- Booléens
- Numériques
  - entiers
  - flottants
  - complexes

Séquences

- Chaines de caractères
- listes
- tuples

Conteneurs

— Dictionnaires
— Ensembles

Fichiers

2.3 Types de base

2.3.1 None

— Il existe dans python un type de données particulier : `None`.
— `None` représente un objet sans valeur. On s'en sert comme valeur de retour en cas d'erreur ou pour représenter un cas particulier.
— `None` est équivalent à `NULL` en Java et en C.

```
In [14]: a = None
         print(a)
         print(type(a))
```

```
None
<class 'NoneType'>
```

2.3.2 Booléens

Les booléens ne peuvent avoir que deux valeurs :

```
True, False
```

On peut utiliser la fonction `bool()` pour construire un booléen.
Dans un contexte booléen, toutes ces valeurs sont équivalentes à `False` :

— `None`
— le zéro des types numériques, par exemple : `0, 0.0, 0j`.
— les séquences vides, par exemple : `'', (), []`.
— les dictionnaires vides, par exemple, `{}`.

Tout le reste est équivalent à `True` :

— une valeur numérique différente de zéro
— une séquence non vide
— un dictionnaire non vide

Exemples de constructions de valeurs booléennes à partir d'autres types

```
In [15]: print(bool(None), bool())
         print(bool(0), bool(1))
         print(bool(0.0), bool(0.5))
         print(bool(0j), bool(3j))
         print(bool(''), bool('abc'))
         print(bool(()), bool((1, 0.5, 'toto')))
         print(bool([]), bool([None]))
         print(bool({}), bool({'ane': True, 'chat': True}))
```

```
False False
False True
False True
False True
```

```
False True
False True
False True
False True
```

Exemple d'utilisation d'un contexte booléen

```
In [16]: Am_I_OK = True
         if Am_I_OK:
             print('OK')
         else:
             print('KO')
         print(Am_I_OK)
         print(type(Am_I_OK))
```

```
OK
True
<class 'bool'>
```

Exercice : 1. Supposons que vous soyez malade, mettez `Am_I_OK` à la valeur `False` puis réexecutez la cellule. 2. Essayez avec d'autres types : `list`, `None`, nombres, etc…

2.3.3 Numériques

Entiers

La taille est illimitée.

```
In [17]: # Il n'y a plus de distinction entre les entiers "courts" et les entiers "longs"
         entier = 4
         print(entier)
         print(type(entier))
         # Ce nombre nécéssite 131 bits
         entier = 14159265358979323846264338327950288419 71
         print(entier)
         print(type(entier))
```

```
4
<class 'int'>
14159265358979323846264338327950288419 71
<class 'int'>
```

Ou plus exactement, la taille n'est pas limitée par le langage mais par la mémoire disponible sur le système.

Note : En python version < 3, il existait deux types distincts `int` et `long`…

— On peut utiliser la fonction interne `int()` pour créer des nombres entiers.
— `int()` peut créer des entiers à partir de leur représentation sous forme de chaîne de caractères
— On peut aussi spécifier la base :

```
In [18]: entier = int(12)
         print(entier)
         print(type(entier))
         entier = int('13')
         print(entier)
```

```
        print(type(entier))
        entier = int('0xFF', 16)
        print(entier)
        print(type(entier))
```

```
12
<class 'int'>
13
<class 'int'>
255
<class 'int'>
```

Flottants (réels 64 bits)

Pour créer des nombres réels (en virgule flottante), on peut utiliser la fonction interne `float()`.
La précision est limitée à 16 chiffres significatifs.

```
In [19]: pi_approx = 3.141592653589793 2
         print(pi_approx)
         print(type(pi_approx))
         print('{:.16f}'.format(pi_approx))
         tropgros = float('Infinity')
         print(type(tropgros))
         print(tropgros)
```

```
  Cell In[19], line 1
    pi_approx = 3.141592653589793 2
                                  ^
SyntaxError: invalid syntax
```

Flottants

Attention ! Python autorise un affichage plus long que la précision des flottants mais tous les chiffres après le 16ème chiffre significatif sont faux :

```
In [20]: # On demande 20 chiffres après la virgule, alors que 16 seulement sont exacts
         print('{:.20f}'.format(pi_approx))
```

```
---------------------------------------------------------------------------
NameError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[20], line 2
      1 # On demande 20 chiffres après la virgule, alors que 16 seulement sont exacts
----> 2 print('{:.20f}'.format(pi_approx))

NameError: name 'pi_approx' is not defined
```

Attention à ne pas effectuer des opérations interdites…

```
In [21]: # Cette cellule génère une erreur
         print(3.14 / 0)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ZeroDivisionError                         Traceback (most recent call last)
Cell In[21], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(3.14 / 0)

ZeroDivisionError: float division by zero
```

```
In [22]: # Cette cellule génère une erreur
         print(34 % 0)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ZeroDivisionError                         Traceback (most recent call last)
Cell In[22], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(34 % 0)

ZeroDivisionError: integer modulo by zero
```

```
In [23]: # Cette cellule génère une erreur
         print(27 // 0.0)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ZeroDivisionError                         Traceback (most recent call last)
Cell In[23], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(27 // 0.0)

ZeroDivisionError: float floor division by zero
```

```
In [24]: # Cette cellule génère une erreur
         print(1 + None)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[24], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(1 + None)

TypeError: unsupported operand type(s) for +: 'int' and 'NoneType'
```

Complexes

Les nombres complexes, à deux dimensions, peuvent être créés en utilisant le suffixe `j` à la fin d'un entier ou réel ou en utilisant la fonction interne `complex()`

```
In [25]: c1 = 1 + 2j
         print('représentation :', c1)
         print(type(c1))
         c2 = .3j
         print(c2)
```

```
représentation : (1+2j)
<class 'complex'>
0.3j
```

2.4 Séquences

Les séquences sont des conteneurs d'objets où les objets référencés sont ordonnés.
Python supporte nativement trois types de séquences :

— les chaînes de caractères
— les listes
— les tuples

2.4.1 Chaînes de caractères

Pour le traitement de données textuelles, python utilise les chaînes de caractères.
Pour délimiter le texte on utilise des guillemets " (double-quote) ou des apostrophes ' (single-quote).

```
In [26]: mois1 = 'janvier'
         mois2 = "février"
         print(mois1, mois2)
```

```
janvier février
```

Les deux formes sont très utiles car elles permettent d'utiliser des guillemets ou des apostrophes dans des chaînes de caractères de manière simple.

```
In [27]: arbre = "l'olivier"
         print(arbre)
         cuisson_pates = "huit minutes (8')"
         print(cuisson_pates)
         record_100m = 'neuf secondes et 58 centièmes (9"58)'
         print(record_100m)
```

```
l'olivier
huit minutes (8')
neuf secondes et 58 centièmes (9"58)
```

Sinon, pour avoir une apostrophe ou un guillemet dans une chaîne de caractères, il faut le faire précéder d'un \ *(backslash)*. Ce qui est beaucoup moins lisible, mais parfois obligatoire (par exemple une chaîne avec à la fois des guillemets et des apostrophes).

```
In [28]: arbre = 'l\'alisier'
         pates = '8\''
         record = "9\"58"
         print(arbre, pates, record)
         duel = 'guillemet: " et apostrophes: \' peuvent être utilisés dans une même chaîne...'
         print(duel)
         multi = '''Dans une "triplequoted" (voire plus loin), on peut (presque) tout utiliser: `"" ",'"«»'"' et ça
         print(multi)
```

```
l'alisier 8' 9"58
guillemet: " et apostrophes: ' peuvent être utilisés dans une même chaîne…
Dans une "triplequoted" (voire plus loin), on peut (presque) tout utiliser: `"" ",'"«»'"' et ça ne pose
```

Caractères spéciaux

Il est possible de définir des chaînes de caractères qui contiennent des caractères spéciaux. Ils sont introduits par des séquences de deux caractères dont le premier est \. On l'appelle le caractère d'échappement.

- retour à la ligne : `\n`
- tabulation : `\t`
- *backslash :* `\\`
- un caractère unicode avec son code : `\uXXXX` (où les `XXXX` sont le code hexadécimal représentant ce caractère)

Plus d'information dans la documentation officielle

```
In [29]: print("Une belle présentation, c'est :\n\t- bien ordonné\n\t- aligné\n\t- même s'il y en a plein\nEt c'est
         print("Une belle présentation, c'est :")
         print('\t- bien ordonné')
         print('\t- aligné')
         print("\t- même s'il y en a plein\nEt c'est plus joli.")
```

```
Une belle présentation, c'est :
        - bien ordonné
        - aligné
        - même s'il y en a plein
Et c'est plus joli.
Une belle présentation, c'est :
        - bien ordonné
        - aligné
        - même s'il y en a plein
Et c'est plus joli.
```

Chaînes multilignes

Pour écrire plusieurs lignes d'une façon plus lisible, il existe les chaînes multilignes :

```
In [30]: # L'équivalent est :
         print("""\
         Une belle présentation, c'est :
         \t- bien ordonné
         \t- aligné
         \t- même s'il y en a plein
         Et c'est plus joli.""")
```

```
Une belle présentation, c'est :
        - bien ordonné
        - aligné
        - même s'il y en a plein
Et c'est plus joli.
```

Exercice : enlevez le caractère \ de la 2ème ligne dans la cellule ci-dessus, et comparez le résultat à celui de la cellule de code précédente (3 cellules plus haut)

Les deux formes de délimiteurs sont aussi utilisables : guillemets triples ou apostrophes triples.

```
In [31]: multi1 = '''m
         a
         r
         s est un mois "multiligne"'''
```

```
        print(multi1, '\n')

        multi2 = """a
        v
        r
        i
        l l'est aussi"""
        print(multi2)
```

```
m

a

r

s est un mois "multiligne"

a
v
r
i
l l'est aussi
```

Unicode

En python 3 , toutes les chaînes de caractères sont unicode, ce qui permet d'utiliser des alphabets différents, des caractères accentués ou des pictogrammes, etc.

Exemples de caractères spéciaux :

```
In [32]: unicode_str = "Les échecs (   ), c'est \u263A"
         print(unicode_str)
         japanese_str = 'Du japonais :   '
         print(japanese_str)
         mix_str = '  kollha    '
         print('"' + mix_str + '"', 'veut dire: "bonjour tout le monde"')
```

```
Les échecs (   ), c'est
Du japonais :
"  kollha    " veut dire: "bonjour tout le monde"
```

Pour une liste de caractères unicode, voir ici.

Chaînes brutes *(raw strings)*

Il s'agit de chaînes dans lesquelles les séquences d'échappement ne sont pas remplacées : `r'...'`, `r'''...'''`, etc.

```
In [33]: normal_str = "chaîne normale: \n est un retour à la ligne, \t est une tabulation"
         print(normal_str)

         raw_str = r"chaîne RAW: \n est un retour à la ligne, \t est une tabulation"
         print(raw_str)
```

```
chaîne normale:
 est un retour à la ligne,          est une tabulation
chaîne RAW: \n est un retour à la ligne, \t est une tabulation
```

Concaténation

Plusieurs chaînes de caractères contigües sont rassemblées.

```
In [34]: b = 'a' 'z' 'e' 'r' 't' 'y'
         print(b)
```

```
azerty
```

On peut mélanger les genres.

```
In [35]: a = 'une chaine qui est \t' r'''la somme de \n ''' """plusieurs morceaux..."""
         print(a)
```

```
une chaine qui est          la somme de \n plusieurs morceaux…
```

On peut utiliser la fonction `str()` pour créer une chaîne de caractère à partir d'autres objets.

```
In [36]: a = 23
         ch_a = str(a)
         print(type(a), a)
         print(type(ch_a), repr(ch_a))
         a = 3.14
         ch_a = str(a)
         print(type(a), a)
         print(type(ch_a), repr(ch_a))
```

```
<class 'int'> 23
<class 'str'> '23'
<class 'float'> 3.14
<class 'str'> '3.14'
```

On ne peut pas mélanger les guillemets et les apostrophes pour délimiter une chaîne de caractères.

```
In [37]: # Cette cellule génère une erreur
         a = "azerty'
```

```
  Cell In[37], line 2
    a = "azerty'
        ^
SyntaxError: unterminated string literal (detected at line 2)
```

```
In [38]: # Cette cellule génère une erreur
         a = 'azerty"
```

```
  Cell In[38], line 2
    a = 'azerty"
        ^
SyntaxError: unterminated string literal (detected at line 2)
```

Exercice : corrigez les deux cellules ci dessus.

Le formatage de chaîne de caractère avec `format()`

On peut formater du texte, c'est à dire utiliser une chaîne de caractères qui va servir de modèle pour en fabriquer d'autres. Historiquement, il existe plusieurs méthodes. Nous ne voyons ici qu'une utilisation basique de la méthode `format()`.

`format()` remplace les occurences de `'{}'` par des valeurs qu'on lui spécifie en paramètre. Le type des valeurs passées n'est pas important, une représentation sous forme de chaîne de caractère sera automatiquement créée, avec la fonction `str()`.

```
'Bonjour {} !'.format('le monde')
```

```
In [39]: variable_1 = 27
         variable_2 = 'vingt huit'
         ch_modele = 'Une chaine qui contient un {} ainsi que {} et là {}'
         ch_modele.format('toto', variable_1, variable_2)
```

```
Out[39]: 'Une chaine qui contient un toto ainsi que 27 et là vingt huit'
```

Les spécifications de format

Des indicateurs peuvent être fournis à la méthode `format()` pour spécifier le type de donnée à intégrer et la manière de formater sa représentation.

- `:d` pour des entiers
- `:s` pour des chaînes de caractères
- `:f` pour des nombres flottants
- `:x` pour un nombre entier affiché en base hexadécimale
- `:o` pour un nombre entier affiché en base octale
- `:e` pour un nombre affiché en notation exponentielle

```
In [40]: import math
         a = 27
         ch = """un entier : {:d},
         une chaîne : {:s},
         un flottant avec une précision spécifiée : {:.02f}"""
         print(type(ch))
         print(ch)
         print(ch.format(a, 'Arte', math.pi))
         print('Des hexadécimaux: {:x} {:x} {:x} {:x}'.format(254, 255, 256, 257))
         print('Des octaux: {:o} {:o} {:o} {:o}'.format(254, 255, 256, 257))
         print('Des nombres en notation exponentielle {:e}'.format(2**64))
```

```
<class 'str'>
un entier : {:d},
une chaîne : {:s},
un flottant avec une précision spécifiée : {:.02f}
un entier : 27,
une chaîne : Arte,
un flottant avec une précision spécifiée : 3.14
Des hexadécimaux: fe ff 100 101
Des octaux: 376 377 400 401
Des nombres en notation exponentielle 1.844674e+19
```

Attention : Si le type de la donnée passée ne correspond pas à la séquence de formatage, python va remonter une erreur.

```
In [41]: # Cette cellule génère une erreur
         variable_3 = 'une chaine de caracteres'
         # Exemple d'erreur de type : on fournit une chaîne de caractères
         # alors que la méthode attend un entier
         print('on veut un entier : {:d}'.format(variable_3))
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ValueError                                Traceback (most recent call last)
Cell In[41], line 5
      2 variable_3 = 'une chaine de caracteres'
      3 # Exemple d'erreur de type : on fournit une chaîne de caractères
      4 # alors que la méthode attend un entier
----> 5 print('on veut un entier : {:d}'.format(variable_3))

ValueError: Unknown format code 'd' for object of type 'str'
```

On peut se servir de cette fonctionnalité pour indenter du texte de taille variable.

```
In [42]: print("""
         Alignons à droite les animaux:
         Un animal : {:>8s}.
         Un animal : {:>8s}.
         Un animal : {:>18s}, qui se croit plus malin que les autres.
         Un animal : {:>8s}.
         Un animal : {:>8s}.""".format('âne', 'becasse', 'chat', 'dinde', 'elephant'))
```

```
Alignons à droite les animaux:
Un animal :      âne.
Un animal :  becasse.
Un animal :                chat, qui se croit plus malin que les autres.
Un animal :    dinde.
Un animal : elephant.
```

Exercice : remettez le chat à sa place.

f-string

Depuis Python 3.6, il existe une autre syntaxe appelée *f-string* qui ajoute de la concision et de la lisibilité :

```
f"La {<variable>:<format>} est nommée dans la chaîne."
```

```
In [43]: print('Soit {:.03f} la valeur de pi sur 3 décimales.'.format(math.pi))
         # devient
         print(f'Soit {math.pi:.03f} la valeur de pi sur 3 décimales.')
```

```
Soit 3.142 la valeur de pi sur 3 décimales.
Soit 3.142 la valeur de pi sur 3 décimales.
```

Remarques :

— cette syntaxe n'est pas toujours utilisable
— le code sera incompatible avec python < 3.6

Pour plus d'informations sur le formatage de chaînes de caractères, voir la doc Python correspondante.

2.4.2 Listes

— Une liste est un objet pouvant contenir d'autres objets
— Ces objets, appelés éléments, sont ordonnés de façon séquentielle, les uns à la suite des autres
— C'est un conteneur dynamique dont le nombre et l'ordre des éléments peuvent varier

On crée une liste en délimitant par des crochets `[]` les éléments qui la composent :

```
In [44]: L = ['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon']
         print(L, 'est de type', type(L))
```

```
['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon'] est de type <class 'list'>
```

Une liste peut contenir n'importe quel type d'objets.

```
In [45]: L0 = [1, 2]
         L1 = []
         L2 = [None, True, False, 0, 1, 2**64, 3.14, '', 0+1j, 'abc']
         L3 = [[1, 'azerty'], L0]
         print(L0, L1)
         print(L2)
         print(L3)
```

```
[1, 2] []
[None, True, False, 0, 1, 18446744073709551616, 3.14, '', 1j, 'abc']
[[1, 'azerty'], [1, 2]]
```

On peut utiliser la fonction `list()` pour créer une liste a partir d'autres séquences ou objets.

```
In [46]: a = list()
         b = list('bzzzzzt')
         print(a)
         print(b)
```

```
[]
['b', 'z', 'z', 'z', 'z', 'z', 't']
```

On accède aux éléments d'une liste grâce à un indice. Le premier élément est **indicé 0.**

```
In [47]: print(L)
         print(L[0])
         print(L[4])
```

```
['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon']
egg
bacon
```

Un dépassement d'indice produit une erreur :

```
In [48]: # Cette cellule génère une erreur
         print(L[10])
```

```
---------------------------------------------------------------------------
IndexError                                Traceback (most recent call last)
Cell In[48], line 2
```

```
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(L[10])

IndexError: list index out of range
```

Les listes sont dites *muables* : on peut modifier la séquence de ses éléments.
Je remplace le deuxième élément :

```
In [49]: L[1] = 'tomatoes'
         print(L)
         L[3] = 9
         print(L)

['egg', 'tomatoes', 'spam', 'spam', 'bacon']
['egg', 'tomatoes', 'spam', 9, 'bacon']
```

Méthodes associées aux listes

Méthodes ne modifiant pas la liste

— La longueur d'une liste est donnée par fonction `len()`
— `L.index(elem)` renvoie l'indice de l'élément `elem` (le 1er rencontré)

Méthodes modifiant la liste

— `L.append()` ajoute un élément à la fin
— `L.pop()` retourne le dernier élément et le retire de la liste
— `L.sort()` trie
— `L.reverse()` inverse l'ordre

Plus d'infos dans la doc officielle.

Exemples

```
In [50]: L = ['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon']
         print('len() renvoie:', len(L))
         L.append('spam') # Ne renvoie pas de valeur
         print('Après append():', L)
         print('len() renvoie:', len(L))

len() renvoie: 5
Après append(): ['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon', 'spam']
len() renvoie: 6
```

```
In [51]: print('pop() renvoie:', L.pop())
         print('Après pop():', L)

pop() renvoie: spam
Après pop(): ['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon']
```

```
In [52]: L.reverse() # Ne renvoie pas de valeur
         print('Après reverse():', L)

Après reverse(): ['bacon', 'spam', 'spam', 'spam', 'egg']
```

```
In [53]: print('index() renvoie:', L.index('egg'))
```

```
index() renvoie: 4
```

```
In [54]: L.remove('spam') # Ne renvoie pas de valeur
         print('Après remove:', L)
```

```
Après remove: ['bacon', 'spam', 'spam', 'egg']
```

Dans les exemples précédents, remarquez la syntaxe qui permet d'appliquer une méthode à un objet :

`objet.methode()`

Ici, `.methode()` est une fonction propre au type de `objet`. Si `.methode()` existe pour un autre type, elle n'a pas forcément le même comportement.

Pour obtenir la liste des méthodes associées aux listes, on peut utiliser la fonction interne `help()` :

```
In [55]: help(L) # ou aussi help([])
```

```
Help on list object:

class list(object)
 |  list(iterable=(), /)
 |
 |  Built-in mutable sequence.
 |
 |  If no argument is given, the constructor creates a new empty list.
 |  The argument must be an iterable if specified.
 |
 |  Methods defined here:
 |
 |  __add__(self, value, /)
 |      Return self+value.
 |
 |  __contains__(self, key, /)
 |      Return key in self.
 |
 |  __delitem__(self, key, /)
 |      Delete self[key].
 |
 |  __eq__(self, value, /)
 |      Return self==value.
 |
 |  __ge__(self, value, /)
 |      Return self>=value.
 |
 |  __getattribute__(self, name, /)
 |      Return getattr(self, name).
 |
 |  __getitem__(…)
 |      x.__getitem__(y) <==> x[y]
 |
 |  __gt__(self, value, /)
```

```
|      Return self>value.
|
|  __iadd__(self, value, /)
|      Implement self+=value.
|
|  __imul__(self, value, /)
|      Implement self*=value.
|
|  __init__(self, /, *args, **kwargs)
|      Initialize self.  See help(type(self)) for accurate signature.
|
|  __iter__(self, /)
|      Implement iter(self).
|
|  __le__(self, value, /)
|      Return self<=value.
|
|  __len__(self, /)
|      Return len(self).
|
|  __lt__(self, value, /)
|      Return self<value.
|
|  __mul__(self, value, /)
|      Return self*value.
|
|  __ne__(self, value, /)
|      Return self!=value.
|
|  __repr__(self, /)
|      Return repr(self).
|
|  __reversed__(self, /)
|      Return a reverse iterator over the list.
|
|  __rmul__(self, value, /)
|      Return value*self.
|
|  __setitem__(self, key, value, /)
|      Set self[key] to value.
|
|  __sizeof__(self, /)
|      Return the size of the list in memory, in bytes.
|
|  append(self, object, /)
|      Append object to the end of the list.
|
|  clear(self, /)
|      Remove all items from list.
|
|  copy(self, /)
|      Return a shallow copy of the list.
|
|  count(self, value, /)
```

```
|      Return number of occurrences of value.
|
|  extend(self, iterable, /)
|      Extend list by appending elements from the iterable.
|
|  index(self, value, start=0, stop=9223372036854775807, /)
|      Return first index of value.
|
|      Raises ValueError if the value is not present.
|
|  insert(self, index, object, /)
|      Insert object before index.
|
|  pop(self, index=-1, /)
|      Remove and return item at index (default last).
|
|      Raises IndexError if list is empty or index is out of range.
|
|  remove(self, value, /)
|      Remove first occurrence of value.
|
|      Raises ValueError if the value is not present.
|
|  reverse(self, /)
|      Reverse *IN PLACE*.
|
|  sort(self, /, *, key=None, reverse=False)
|      Sort the list in ascending order and return None.
|
|      The sort is in-place (i.e. the list itself is modified) and stable (i.e. the
|      order of two equal elements is maintained).
|
|      If a key function is given, apply it once to each list item and sort them,
|      ascending or descending, according to their function values.
|
|      The reverse flag can be set to sort in descending order.
|
|  ----------------------------------------------------------------------
|  Class methods defined here:
|
|  __class_getitem__(…) from builtins.type
|      See PEP 585
|
|  ----------------------------------------------------------------------
|  Static methods defined here:
|
|  __new__(*args, **kwargs) from builtins.type
|      Create and return a new object.  See help(type) for accurate signature.
|
|  ----------------------------------------------------------------------
|  Data and other attributes defined here:
|
|  __hash__ = None
```

On peut créer facilement des listes répétitives grâce a l'opération de multiplication.

```
In [56]: a = ['a', 1] * 5
         print(a)
```

```
['a', 1, 'a', 1, 'a', 1, 'a', 1, 'a', 1]
```

Mais on ne peut pas 'diviser' une liste.

```
In [57]: # Cette cellule génère une erreur
         a = [1, 2, 3, 4]
         print(a / 2)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[57], line 3
      1 # Cette cellule génère une erreur
      2 a = [1, 2, 3, 4]
----> 3 print(a / 2)

TypeError: unsupported operand type(s) for /: 'list' and 'int'
```

Exercice : Manipulez la liste `L` ci-dessous avec les méthodes associées aux listes.

```
In [58]: L = ['egg', 'spam', 'spam', 'spam', 'bacon']
         # Votre code ci-dessous
```

2.4.3 Tuples

Les Tuples (ou n-uplets en Français) sont des séquences *immuables* : on ne peut pas les modifier après leur création.

On les initialise ainsi :

```
In [59]: T = ('a', 'b', 'c')
         print(T, 'est de type', type(T))
         T = 'a', 'b', 'c'  # une autre façon, en ommettant les parenthèses
         print(T, 'est de type', type(T))
         T = tuple(['a', 'b', 'c'])  # à partir d'une liste
         print(T, 'est de type', type(T))
         T = ('a')  # ceci n'est pas un tuple
         print(T, 'est de type', type(T))
         T = ('a',)  # Syntaxe pour initialiser un tuple contenant un seul élément
         print(T, 'est de type', type(T))
         # Syntaxe alternative pour initialiser u n tuple contenant un seul élément.
         # Préférez celle avec parenthèses.
         T = 'a',
```

```
('a', 'b', 'c') est de type <class 'tuple'>
('a', 'b', 'c') est de type <class 'tuple'>
('a', 'b', 'c') est de type <class 'tuple'>
a est de type <class 'str'>
('a',) est de type <class 'tuple'>
```

Une fois créée, cette séquence ne peut être modifiée.

```
In [60]: T = ('a', 'b', 'c')
         print(T[1]) # On peut utiliser un élément
```

```
b
```

```
In [61]: # Cette cellule génère une erreur
         T[1] = 'z'  # mais on ne peut pas le modifier
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[61], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 T[1] = 'z'  # mais on ne peut pas le modifier

TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
```

Intérêt des tuples par rapport aux listes : - plus rapide à parcourir que les listes - immuables donc "protégés" - peuvent être utilisés comme clé de dictionnaires (cf. plus loin)

On peut créer des tuples a partir d'autres séquences ou objets grâce à la fonction `tuple()`.

```
In [62]: a = [1, 2, 3, 'toto']
         print(type(a), a)
         b = tuple(a)
         print(type(b), b)
         a = 'azerty'
         print(type(a), a)
         b = tuple(a)
         print(type(b), b)
```

```
<class 'list'> [1, 2, 3, 'toto']
<class 'tuple'> (1, 2, 3, 'toto')
<class 'str'> azerty
<class 'tuple'> ('a', 'z', 'e', 'r', 't', 'y')
```

Manipulation des tuples

Construire d'autres tuples par concaténation et multiplication

```
In [63]: T1 = 'a', 'b', 'c'
         print('T1 =', T1)
         T2 = 'd', 'e'
         print('T2 =', T2)
         print('T1 + T2 =', T1 + T2)
         print('T2 * 3 =', T2 * 3)
```

```
T1 = ('a', 'b', 'c')
T2 = ('d', 'e')
T1 + T2 = ('a', 'b', 'c', 'd', 'e')
T2 * 3 = ('d', 'e', 'd', 'e', 'd', 'e')
```

2.4.4 Types muables et types immuables

Avant d'aller plus loin dans la revue des types, il est important de comprendre le mécanisme d'affectation en fonction du caractère muable ou immuable de l'objet.

Cas d'un objet muable

— Deux noms de variables différents peuvent référencer le même objet
— Si cet objet est muable, les modifications faites par l'intermédiaire d'une des variables sont visibles par toutes les autres.

```
In [64]: a = ['spam', 'egg']  # on initialise la variable a
         b = a                # b référence le même objet que a
```

`a` et `b` possèdent la même référence :

```
In [65]: print(id(a))
         print(id(b))
         a is b

140653681117312
140653681117312


Out[65]: True
```

`a` et `b` contiennent la même donnée :

```
In [66]: print(a)
         print(b)
         a == b

['spam', 'egg']
['spam', 'egg']


Out[66]: True
```

Si on modifie la donnée de `a`, la donnée de `b` est aussi modifiée !

```
In [67]: a.append('bacon')
         print(a)
         print(b)

['spam', 'egg', 'bacon']
['spam', 'egg', 'bacon']
```

Cas d'un objet immuable

```
In [68]: t = 'spam', 'egg'
         u = t
         print(id(t))
         print(id(u))
         u is t

140653681117120
140653681117120
```

```
Out[68]: True
```

`t` et `u` sont deux variables qui référencent le même objet `tuple` donc leur donnée ne peut être modifiée. Tout ce qu'on peut faire, c'est affecter une nouvelle valeur :

```
In [69]: t = 'bacon', 'egg'
```

Dans ce cas, `t` référence un nouvel objet alors que `u` référence toujours l'objet initial :

```
In [70]: print(id(t))
         print(id(u))
         t is u

140653681200320
140653681117120


Out[70]: False
```

Et bien sûr leurs données sont différentes :

```
In [71]: print(t)
         print(u)
         t == u

('bacon', 'egg')
('spam', 'egg')


Out[71]: False
```

Exercice : analyser ce qu'il se passe dans cette série d'instructions avec Python Tutor .

Un peu plus loin...

Bien que sa séquence soit immuable, si un `tuple` est constitué d'éléments muables, alors ces éléments-là peuvent être modifiés.

Illustration avec un `tuple` dont un des éléments est une `list` :

```
In [72]: T = ('a', ['b', 'c']) # le deuxième élément est une liste donc il est muable
         print('T =', T)
         L = T[1]
         print('L =', L)
         L[0] = 'e'
         print('L =', L)
         print('T =', T)

T = ('a', ['b', 'c'])
L = ['b', 'c']
L = ['e', 'c']
T = ('a', ['e', 'c'])


In [73]: # Ici on fait exactement la même chose...
         T = ('a', ['b', 'c'])
         print('T =', T)
         T[1][0] = 'z'
         print('T après =', T)
```

```
T = ('a', ['b', 'c'])
T après = ('a', ['z', 'c'])
```

```
In [74]: # Cette cellule génère une erreur
         T[0] = 'A'  # Ici, on essaye de modifier le tuple lui même...
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[74], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 T[0] = 'A'  # Ici, on essaye de modifier le tuple lui même…

TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
```

Exercice : analyser ce qu'il se passe dans cette série d'instructions avec Python Tutor .

2.4.5 Le slicing de séquences en Python

- Cela consiste à extraire une sous-séquence à partir d'une séquence.
- Le slicing fonctionne de manière similaire aux intervalles mathématiques : `[début:fin[`
- La borne de fin ne fait pas partie de l'intervalle sélectionné.
- La syntaxe générale est `L[i:j:k]`, où :
  - `i` = indice de début
  - `j` = indice de fin, le premier élément qui n'est pas sélectionné
  - `k` = le "pas" ou intervalle (s'il est omis alors il vaut `1`)
- La sous-liste sera donc composée de tous les éléments de l'indice `i` jusqu'à l'indice `j-1`, par pas de `k`.
- La sous-liste est un nouvel objet.

Dans le sens normal (le pas `k` est positif)

- Si `i` est omis alors il vaut `0`
- Si `j` est omis alors il vaut `len(L)`

Dans le sens inverse (le pas `k` est négatif)

- Si `i` est omis alors il vaut `-1`
- Si `j` est omis alors il vaut `-len(L)-1`

Illustrons ça en créant une liste à partir d'une chaîne de caractères.
La fonction `split()` découpe une chaîne de caractères en morceaux, par défaut en 'mots'.

```
In [75]: L = 'Dans le Python tout est bon'.split()
         print(L)
```

```
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est', 'bon']
```

Pour commencer, on extrait de la liste `L` un nouvel objet liste qui contient tous les éléments de `L` <=> copie de liste

```
In [76]: print(L[0:len(L):1]) # Cette notation est inutilement lourde car :
         print(L[::])         # i = 0, j=len(L) et k=1 donc i, j et k peuvent être omis
         print(L[:])          # on peut même ommettre le 2ème ":"
```

```
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est', 'bon']
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est', 'bon']
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est', 'bon']
```

On extrait une sous-liste qui ne contient que les 3 premiers éléments :

```
In [77]: print(L[0:3:1])  # Notation complète
         print(L[:3:1])  # Le premier indice vaut i=0, donc on peut l'omettre
         print(L[:3])  # Le pas de slicing vaut 1, donc on peut l'omettre, ainsi que le ":"

['Dans', 'le', 'Python']
['Dans', 'le', 'Python']
['Dans', 'le', 'Python']
```

J'extrais une sous-liste qui exclut les trois premiers éléments :

```
In [78]: print(L[3:len(L):1])  # Cette notation est inutilement lourde car :
         print(L[3:])          # j et k peuvent être omis, ainsi que le ":"

['tout', 'est', 'bon']
['tout', 'est', 'bon']
```

Les indices peuvent être négatifs, ce qui permet traiter les derniers éléments :

```
In [79]: # Je veux exclure le dernier élément :
         print(L[0:-1:1])  # Notation complète
         print(L[:-1:1])  # Le premier indice vaut i=0, donc on peut l'omettre
         print(L[:-1])  # Le pas de slicing vaut 1, donc on peut l'omettre

['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est']
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est']
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est']
```

On ne garde que les deux derniers éléments

```
In [80]: print(L[-2:])

['est', 'bon']
```

Note

`L[1]` n'est pas équivalent à `L[1:2]`, ni à `L[1:]`, ni à `L[:1]`.
Illustration :

```
In [81]: a = L[1]
         print(type(a), a) # Je récupère le deuxième élément de la liste
         a = L[1:2]
         print(type(a), a) # Je récupère une liste composée du seul élément L[1]
         a = L[1:]
         print(type(a), a) # Je récupère une liste
         a = L[:1]
         print(type(a), a) # Je récupère une liste

<class 'str'> le
<class 'list'> ['le']
<class 'list'> ['le', 'Python', 'tout', 'est', 'bon']
<class 'list'> ['Dans']
```

Exercice : Retourner une liste composée des éléments de `L` *en ordre inverse* **avec une opération de slicing**. Toute utilisation de `[].reverse()` ou `reversed()` est interdite.

```
In [82]: L[::-1]
```

```
Out[82]: ['bon', 'est', 'tout', 'Python', 'le', 'Dans']
```

```
In [83]: # Solution

         L = "Dans le Python, tout est bon.".split()

         # La solution simple et élégante :
         print(L[::-1])

         # Explications:
         # Pas de bornes => valeurs par défaut => on prend tout
         # Le pas est de -1 => à l'envers

         # La version explicite :
         print(L[-1:-len(L)-1:-1])

         # Explications :
         # On commence à la dernière place
         # On s'arrête à la première, exprimée en indices négatifs
         # Le pas est de -1 => à l'envers

         # Ne pas oublier que les indices vont:
         # dans le sens normal : de 0 à 5
         # dans le sens contraire : de -1 à -6

         # Ne pas oublier que les bornes d'un slice qui prend tout les éléments vont:
         # dans le sens normal : de 0 à 6
         # dans le sens contraire : de -1 à -7

         # La solution "optimale" : elle utilise un iterateur et donc
         # ne consomme aucune ressource tant qu'on ne l'utilise pas
         print(list(reversed(L)))

         # Pour le fun, voici une version fonctionelle récursive
         def rev(alist):
             if not alist:
                 return []
             return alist[-1:] + rev(alist[:-1])

         print(rev(L))
```

```
['bon.', 'est', 'tout', 'Python,', 'le', 'Dans']
['bon.', 'est', 'tout', 'Python,', 'le', 'Dans']
['bon.', 'est', 'tout', 'Python,', 'le', 'Dans']
['bon.', 'est', 'tout', 'Python,', 'le', 'Dans']
```

Le slicing peut être utilisé pour **modifier** une séquence **muable** grâce à l'opération d'affectation.

```
In [84]: L = 'Dans le Python tout est bon'.split()
         print(L)
         L[2:4] = ['nouvelles', 'valeurs', 'et encore plus...', 1, 2, 3]
         print(L)
```

```
['Dans', 'le', 'Python', 'tout', 'est', 'bon']
['Dans', 'le', 'nouvelles', 'valeurs', 'et encore plus…', 1, 2, 3, 'est', 'bon']
```

Le slicing peut être utilisé sur des chaînes de caractères.

```
In [85]: alphabet = 'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz'
```

Exercice : 1. Découpez l'alphabet en deux parties égales 2. Prenez une lettre sur deux

```
In [86]: # Votre code ici
         milieu = len(alphabet) // 2
         print(alphabet[:milieu])
         print(alphabet[milieu:])
         print(alphabet[::2])
```

```
abcdefghijklm
nopqrstuvwxyz
acegikmoqsuwy
```

```
In [87]: # Solution
         alphabet = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"

         # 1.
         milieu = len(alphabet) // 2
         print(alphabet[:milieu])
         print(alphabet[milieu:])

         # 2.
         print(alphabet[::2])
```

```
abcdefghijklm
nopqrstuvwxyz
acegikmoqsuwy
```

2.5 Chaînes de caractères, le retour

Les chaînes de caractères sont des séquences **immuables** donc on les manipule comme telles.

```
In [88]: # Cette cellule génère une erreur
         immuable = 'abcdefgh'
         immuable[3] = 'D'
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[88], line 3
      1 # Cette cellule génère une erreur
      2 immuable = 'abcdefgh'
----> 3 immuable[3] = 'D'

TypeError: 'str' object does not support item assignment
```

Il faut construire une nouvelle chaîne de caractère. En concaténant des morceaux (slices) de la chaîne originale :

```
In [89]: nouvelle_chaine = immuable[:3] + 'D' + immuable[4:]
         print(nouvelle_chaine)
```

```
abcDefgh
```

Ou alors en utilisant une transformation en liste, puis à nouveau en chaîne :

```
In [90]: a = list(immuable)
         print(a)
         a[3] = 'D'
         print(a)
         print(''.join(a))
```

```
['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', 'h']
['a', 'b', 'c', 'D', 'e', 'f', 'g', 'h']
abcDefgh
```

On peut savoir si une chaîne se trouve dans une autre

```
In [91]: print('123' in 'azerty_123_uiop')
         print('AZE' in 'azerty_123_uiop')
         print('aze' in 'azerty_123_uiop')
```

```
True
False
True
```

La longueur d'une chaîne s'obtient avec `len()`.

```
In [92]: print(len(immuable))
```

```
8
```

Exercice, dans la cellule ci-dessous : 1. **Insérez** le caractère `#` au milieu de la chaîne donnée. 2. Idem mais **coupez** la chaine en 3 parties, et insérez le caractère `@` entre chacune d'elles. 3. **Insérez** le caractère `|` entre chaque caractère de la chaîne.

```
In [93]: chaine_donnee = 'azertyuioppoiuytreza'
         # Votre code ici
```

```
In [94]: # Solution
         chaine_donnee = "azertyuioppoiuytreza"

         milieu = len(chaine_donnee) // 2
         print(chaine_donnee[:milieu] + '#' + chaine_donnee[milieu:])

         intervale = len(chaine_donnee) // 3
         print(chaine_donnee[:intervale] + '@' + chaine_donnee[intervale:2 * intervale + 1] + '@' + chaine_donnee[2

         print('|'.join(chaine_donnee))
```

```
azertyuiop#poiuytreza
azerty@uioppoi@uytreza
a|z|e|r|t|y|u|i|o|p|p|o|i|u|y|t|r|e|z|a
```

2.6 Les dictionnaires

Les dictionnaires ou listes associatives sont des conteneurs où les objets ne sont **pas** ordonnés ni accessibles par un indice mais sont associés à une clé d'accès.

L'accès aux éléments se fait comme pour les listes ou tuples, avec les `[]`.

```
dico = {cle1: valeur1, cle2: valeur2, ...}
```

Les clés peuvent avoir n'importe qu'elle valeur à condition qu'elles soient de type immuable : les listes ne peuvent pas servir de clés alors que les chaînes de caractères et les tuples le peuvent.

Dans `dico`, on accède à `valeur1` avec la syntaxe `dico[cle1]`.

2.6.1 Un exemple

```
In [95]: dic_animaux = {'ane': True, 'arbre': False, 'chat': True, 'lune': False, 'humain': True}
         cle = 'chat'
         valeur = dic_animaux[cle]
         print(valeur)
         print('{} est un animal: {}'.format(cle, valeur))
         # Ou encore
         print('{} est un animal: {}'.format('chat', dic_animaux['chat']))
         # En utilisant les f-strings :
         print(f"{'chat'} est un animal: {dic_animaux['chat']}")
```

```
True
chat est un animal: True
chat est un animal: True
chat est un animal: True
```

Exercice : essayez de savoir si un arbre est un animal

```
In [96]: # Votre code ici
```

```
In [97]: # Solution
         print("l'arbre est un animal:", dic_animaux['arbre'])
```

```
l'arbre est un animal: False
```

Les différentes manières de créer des dictionnaires, en particulier grâce à la fonction interne `dict()` :

```
In [98]: a = {'un': 1, 'deux': 2, 'trois': 3}               # Les accolades comme syntaxe
         b = dict(un=1, deux=2, trois=3)                    # La méthode dict()
         c = dict(zip(['un', 'deux', 'trois'], [1, 2, 3]))  # On "zippe" deux listes
         d = dict([('deux', 2), ('un', 1), ('trois', 3)])   # On transforme une liste de 2-tuples
         e = dict({'trois': 3, 'un': 1, 'deux': 2})
         a == b == c == d == e
```

```
Out[98]: True
```

Accéder à un élément qui n'est pas dans le dictionnaire génère une erreur. Il existe la méthode `{}.get()` ou l'opérateur `in` qui permettent d'éviter ce problème.

```
In [99]: # Cette cellule génère une erreur
         err = a['quatre']
```

```
---------------------------------------------------------------------------
KeyError                                  Traceback (most recent call last)
Cell In[99], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 err = a['quatre']

KeyError: 'quatre'
```

Ici on utilise `.get()` et cela ne remonte pas d'erreur.

```
In [100]: print(a.get('quatre'))    # La valeur par défaut est 'None' lorsque .get() ne trouve pas l'élément
          print(a.get('quatre', 5)) # On peut spécifier une autre valeur par défaut

None
5
```

2.6.2 Un autre exemple

```
In [101]: tup_mois = ('jan', 'feb', 'mar', 'apr', 'may', 'jun', 'jul', 'aug', 'sep', 'oct', 'nov', 'dec')
          tup_long = (31, (28, 29), 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31)
          dic_mois = dict(zip(tup_mois, tup_long))
          mois_naissance = 'jul'
          print(f'Il y a {dic_mois[mois_naissance]:d} jours dans votre mois de naissance')

Il y a 31 jours dans votre mois de naissance
```

Exercice :

1. Modifiez la cellule précédente pour y changer mois_naissance (les 3 premiers caractères de votre mois de naissance, en anglais). Ré-exécutez la cellule et vérifiez la réponse.
2. Un problème s'est glissé dans la cellule, lequel ?
3. Corrigez-le (il y a plusieurs manières de faire).

Les dictionnaires sont muables.

```
In [102]: ages = {'albert': 62, 'bob': 34, 'charlie': 1, 'daphne': 67}
          print(ages)
          print(f'Albert a {ages["albert"]} ans.')
          # C'est l'anniversaire de charlie, il a un an de plus...
          ages['charlie'] += 1  # equivalent à : ages['charlie'] = ages['charlie'] + 1
          print(ages)
          # Bob est parti, enlevons-le
          del ages['bob']
          print(ages)

{'albert': 62, 'bob': 34, 'charlie': 1, 'daphne': 67}
Albert a 62 ans.
{'albert': 62, 'bob': 34, 'charlie': 2, 'daphne': 67}
{'albert': 62, 'charlie': 2, 'daphne': 67}
```

— Savoir si une clé est présente dans un dictionnaire est une opération rapide. On utilise, comme pour les séquences, l'opérateur `in`.
— La fonction interne `len()` est utilisable pour savoir combien d'objets sont référencés dans le dictionnaire.

```
In [103]: ages = {'albert': 62, 'bob': 34, 'charlie': 1, 'daphne': 67}
          print('Charlie est dedans ?', 'charlie' in ages)
          print('Zoé est dedans ?', 'zoé' in ages)
          print('Bob est dedans ?', 'bob' in ages)
          print(f'Il y a {len(ages):d} personnes.')
          # Bob est parti, enlevons-le
          del ages['bob']
          print('Bob est dedans ?', 'bob' in ages)
          print(f'Il y a {len(ages):d} personnes.')
```

```
Charlie est dedans ? True
Zoé est dedans ? False
Bob est dedans ? True
Il y a 4 personnes.
Bob est dedans ? False
Il y a 3 personnes.
```

On peut itérer sur les clés ou les objets référencés, ou vider un dictionnaire, en comparer deux, etc. Pour plus d'informations sur les dictionnaires, voir ici.

Exercice :

1. Créez un dictionnaire qui va traduire des chiffres (de 1 à 3) écrits en toutes lettres entre deux langues. Par exemple : `trad_num['un']` → `'one'`
2. Modifiez ce dictionnaire, pour qu'il fonctionne dans les deux sens de traduction (Fr → En et En → Fr)
3. Modifiez ce dictionnaire, pour qu'il fonctionne aussi avec les chiffres sous forme d'entiers. Par exemple : `trad_num[1]` → `'un'`

```
In [104]: # Votre code ici
```

```
In [105]: # -- une première solution --

          # Des tuples
          fr = 'un', 'deux', 'trois'
          en = 'one', 'two', 'three'
          num = 1, 2, 3

          # Des dictionnaires
          trad_fr_en = dict(zip(fr, en))
          trad_en_fr = dict(zip(en, fr))
          trad___num = dict(zip(num, fr))

          # Le dico qui fait rien
          trad = {}

          # Maintenant il peut tout faire
          trad.update(trad_fr_en)
          trad.update(trad_en_fr)
          trad.update(trad___num)

          # La preuve
          print("'un' \t devient:", trad['un'])
          print("'two' \t devient:", trad['two'])
          print("3 \t devient:", trad[3])

          print('trad:', trad)
          # -- une solution concise --
```

```
          trad_num = {'un': 'one', 'deux': 'two', 'trois': 'three'}
          print(trad_num['deux'])  # On teste Fr -> En
          trad_num.update({valeur: cle for cle, valeur in trad_num.items()})
          print(trad_num)
```

```
'un'          devient: one
'two'          devient: deux
3          devient: trois
trad: {'un': 'one', 'deux': 'two', 'trois': 'three', 'one': 'un', 'two': 'deux', 'three': 'trois', 1: '
two
{'un': 'one', 'deux': 'two', 'trois': 'three', 'one': 'un', 'two': 'deux', 'three': 'trois'}
```

2.7 Les ensembles

La fonction `set()` permet de créer des ensembles. Les ensembles sont des conteneurs qui n'autorisent pas de duplication d'objets référencés, contrairement aux listes et tuples.

On peut créer des ensembles de cette façon :

```
ensemble = set(iterable)
```

Où `iterable` peut être n'importe quel objet qui supporte l'itération : liste, tuple, dictionnaire, un autre set (pour en faire une copie), vos propres objets itérables, etc…

Tout comme pour les dictionnaires, l'opérateur `in` est efficace.

2.7.1 Exemples

```
In [106]: tupl1 = ('un', 'un', 'deux', 1, 3)
          list1 = [1, 1, 2]

          a = set(tupl1)
          b = set(list1)

          print(a, b)

          print("La chaîne 'un' est elle dans l'ensemble ?", 'un' in a)
          a.remove('un')
          print("La chaîne 'un' est-elle toujours dans l'ensemble ?", 'un' in a)

          print(a, b)
```

```
{3, 'deux', 'un', 1} {1, 2}
La chaîne 'un' est elle dans l'ensemble ? True
La chaîne 'un' est-elle toujours dans l'ensemble ? False
{3, 'deux', 1} {1, 2}
```

Des opérations supplémentaires sont possibles sur des ensembles. Elles sont calquées sur les opérations mathématiques :

- union
- intersection
- etc…

```
In [107]: print('intersection :', a & b)
          print('union :', a | b)
```

```
intersection : {1}
union : {'deux', 1, 3, 2}
```

Pour plus d'informations sur les ensembles, voir ici

2.8 Fichiers

2.8.1 Ouverture

L'instruction :

```
f = open('interessant.txt', mode='r')
```

ouvre le fichier `interessant.txt` en mode lecture seule et le renvoie dans l'objet `f`.

— On peut spécifier un chemin d'accès complet ou relatif au répertoire courant
— Le caractère de séparation pour les répertoires peut être différent en fonction du système d'exploitation (`/` pour unix et `\` pour windows), voir le module `os.path` ou mieux la bibliothèque `pathlib`.

Modes d'ouverture communs

— `'r'` : lecture seule
— `'w'` : écriture seule
— `'a'` : ajout à partir de la fin du fichier

Note : Avec `'w'` et `'a'`, le fichier est créé s'il n'existe pas.
Pour plus d'informations sur les objets fichiers, voir ici, pour la documentation de la fonction `open()`, voir là.

2.8.2 Fermeture

On ferme le fichier `f` avec l'instruction :

```
f.close()
```

2.8.3 Méthodes de lecture

— `f.read()` : retourne tout le contenu de `f` sous la forme d'une chaîne de caractères.

```
In [108]: f = open('exos/interessant.txt', mode='r')
          texte = f.read()
          f.close()
          print(f'"texte" est un objet de type {type(texte)} de longueur {len(texte)} caractères:')
          print(texte)
          print('Contenu en raw string:')
          print(repr(texte))
          %pycat exos/interessant.txt

"texte" est un objet de type <class 'str'> de longueur 74 caractères:
Si vous lisez ce texte alors
…
vous savez lire un fichier avec Python !

Contenu en raw string:
'Si vous lisez ce texte alors\n…\nvous savez lire un fichier avec Python !\n'
```

— `f.readlines()` : retourne toutes les lignes de `f` sous la forme d'une liste de chaînes de caractères.

```
In [109]: f = open('exos/interessant.txt', mode='r')
          lignes = f.readlines()
          f.close()
          print(f'"lignes" est un objet de type {type(lignes)} contenant {len(lignes)} éléments:')
          print(lignes)
```

```
"lignes" est un objet de type <class 'list'> contenant 3 éléments:
['Si vous lisez ce texte alors\n', '…\n', 'vous savez lire un fichier avec Python !\n']
```

2.8.4 Méthodes d'écriture

— `f.write('du texte')` : écrit la chaine `'du texte'` dans `f`

```
In [110]: chaine = 'Je sais écrire\n...\navec Python !\n'
          # mode 'w' : on écrase le contenu du fichier s'il existe
          f = open('pas_mal.txt', mode='w', encoding='utf-8')
          f.write(chaine)
          f.close()
          %pycat pas_mal.txt
```

Note : du point de vue du système, rien n'est écrit dans le fichier avant l'appel de `f.close()`

— `f.writelines(ma_sequence)` : écrit la séquence `ma_sequence` dans `f` en mettant bout à bout les éléments

```
In [111]: sequence = ['Je sais ajouter\n', 'du texte\n', 'avec Python !\n']
          f = open('pas_mal.txt', mode='a')
          # mode 'a' : on ajoute à la fin du fichier
          f.writelines(sequence)
          f.close()
          %pycat pas_mal.txt
```

Exercice :

1. écrire le contenu de la liste `mystere` dans le fichier `coded.txt` puis fermer ce dernier
2. lire le fichier `coded.txt` et le stocker dans une chaine `coded`
3. Décoder la chaîne `coded` avec les instructions suivantes :

```
import codecs
decoded = codecs.decode(coded, encoding='rot13')
```

4. écrire la chaine `decoded` dans le fichier `decoded.txt` et fermer ce dernier
5. visualiser le contenu du fichier `decoded.txt` dans un éditeur de texte

```
In [112]: mystere = ['Gur Mra bs Clguba, ol Gvz Crgref\n\n',
                     'Ornhgvshy vf orggre guna htyl.\n',
                     'Rkcyvpvg vf orggre guna vzcyvpvg.\n']
          # Votre code ci-dessous
```

```
In [113]: # Solution
          mystere = ["Gur Mra bs Clguba, ol Gvz Crgref\n\n",
                     "Ornhgvshy vf orggre guna htyl.\n",
                     "Rkcyvpvg vf orggre guna vzcyvpvg.\n"]

          # 1. On écrit ces chaînes de caractères dans le fichier "coded.txt"
          f = open('coded.txt', mode='w')
          f.writelines(mystere)
```

```
f.close()

# 2. On relit le contenu du fichier "coded.txt" que l'on vient de créer
f = open('coded.txt', mode='r')
coded = f.read()
f.close()

# 3. On décode le message mystérieux
# Cette ligne permet l'utilisation de codecs.decode(), c.f. ligne 21
import codecs
decoded = codecs.decode(coded, encoding='rot13')

# 4. On écrit le message décodé dans un autre fichier
f = open('decoded.txt', mode='w')
f.write(decoded)
f.close()

# 5. On consulte le contenu du message décodé dans le fichier "decoded.txt"
%pycat decoded.txt
```

Chapitre 3

Opérations, contrôle, fonctions et modules

— Opérateurs
— Structures de contrôle
— Fonctions
— Exceptions & gestionnaires de contexte
— Compréhensions de listes & expressions génératrices
— Modules
— Bonnes pratiques

3.1 Opérateurs

3.1.1 Arithmétiques

`+, -, *, /, //, %, **`

sont des opérateurs classiques qui se comportent de façon habituelle.

Particularités de la division

```
In [1]: # Avec des nombres entiers
        print(16 / 3)  # Quotient de la division euclidienne (produit un réel)
        print(16 // 3) # Quotient de la division euclidienne (produit un entier)
```

```
        print(16 % 3)  # Reste de la division euclidienne (produit un entier)

        # Avec des nombres flottants
        print(16. / 3)  # Division (produit un réel)
        print(16. // 3) # Quotient de la division (produit un réel)
        print(16. % 3)  # Reste de la division ou modulo (produit un réel)
```

```
5.333333333333333
5
1
5.333333333333333
5.0
1.0
```

Puissance

```
In [2]: print(2**10)
        # On peut aussi utiliser la fonction pow() du module math, mais celle-ci renvoie un réel.
        import math
        print(math.pow(2, 10))
```

```
1024
1024.0
```

3.1.2 Logiques

and, or, not

retournent une valeur booléenne.

```
In [3]: print(True or False)
        print(True and False)
        print(not True)
        print(not False)
        print(not [])
        print(not (1, 2, 3))
```

```
True
False
False
True
True
False
```

Attention, ce sont des opérateurs *court-circuit :*

```
In [4]: a = True
        b = False and a  # b vaut False sans que a soit évalué
        c = True or a    # c vaut True, sans que a soit évalué
```

Pour s'en convaincre :

```
In [5]: True or print("nicht a kurz schluss")
        False and print("not a short circuit")
        print('on a prouvé que ce sont des opérateurs "court-circuit"...')
```

`on a prouvé que ce sont des opérateurs "court-circuit"…`

Exercice : Modifiez les valeurs `True` et `False` dans la cellule précédente, pour visualiser le fonctionnement de ces opérateurs.

3.1.3 Comparaison

`==, is, !=, is not, >, >=, <, <=`

L'évaluation de ces opérateurs retourne une valeur booléenne.

```
In [6]: print(2 == 2)
        print(2 != 2)
        print(2 == 2.0)
        print(type(2) is int)
```

```
True
False
True
True
```

On peut utiliser ces opérateurs avec des variables et des appels à des fonctions.

```
In [7]: x = 3
        print(1 > x)
        y = [0, 1, 42, 0]
        print(x <= max(y))
        print(x <= min(y))
```

```
False
True
False
```

On peut chaîner ces opérateurs, mais ils fonctionnent en mode *court-circuit* et l'opérande centrale n'est évaluée qu'une seule fois.

```
In [8]: x = 3
        print(2 < x <= 9) # équivalent à 2 < x and x <= 9
```

```
True
```

Attention : comparer des types **non numériques** peut avoir des résultats surprenants.

```
In [9]: # Chaînes de caractères
        print("aaa" < "abc")
        print("aaa" < "aaaa")
        print("22" > "3")
```

```
True
True
False
```

```
In [10]: # Listes
         print([1, 2, 3, 4] > [42, 42])
         print([666] > [42, 42])
```

```
False
True
```

Attention : comparer des types **incompatibles** peut avoir des résultats surprenants.

```
In [11]: # Cette cellule génère des erreurs
         print('chaîne:\t', "a" < 2)
         print('liste:\t', ["zogzog"] > 42)
         print('vide:\t', [] > 1)
         print('tuple:\t', [23, 24] >= (23, 24))
         print('dict:\t', [23, 24] >= {23: True, 24: "c'est pas faux"})
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[11], line 2
      1 # Cette cellule génère des erreurs
----> 2 print('chaîne:\t', "a" < 2)
      3 print('liste:\t', ["zogzog"] > 42)
      4 print('vide:\t', [] > 1)

TypeError: '<' not supported between instances of 'str' and 'int'
```

Attention, l'égalité de valeur n'implique pas forcément que l'identité des objets comparés est la même.

```
In [12]: a = []  # a est une liste vide
         b = []  # b est une AUTRE liste vide

         print(a == b) # test de valeur
         print(a is b) # test d'identité
         print(f'{id(a) = }')
         print(f'{id(b) = }')
```

```
True
False
id(a) = 140474522237440
id(b) = 140474522238208
```

Mais, comme vu précédemment, des variables différentes peuvent référencer le même objet.

```
In [13]: c = a
         print(a == c) # test de valeur
         print(a is c) # test d'identité
```

```
True
True
```

3.1.4 bits à bits *(bitwise)*

`|`, `^`, `&`, `<<`, `>>`, `~`

— Ces opérateurs permettent de manipuler individuellement les bits d'un entier.
— Ce sont des opérations bas-niveau, souvent utilisées pour piloter directement du matériel, pour implémenter des protocoles de communication binaires (par exemple réseau ou disque).

— L'utilisation d'entiers comme ensemble de bits permet des encodages de données très compacts, un booléen (True, False) ne prendrait qu'un bit en mémoire, c'est a dire que l'on peut encoder 64 booléens dans un entier.

Description complète ici.

```
In [14]: val = 67 # == 64 + 2 + 1 == 2**6 + 2**1 + 2**0 == 0b1000011
         print(bin(val))

         mask = 1 << 0 # On veut récupérer le 1er bit
         print('le 1er  bit vaut', (val & mask) >> 0)

         mask = 1 << 1 # On veut récupérer le 2ème bit
         print('le 2ème bit vaut', (val & mask) >> 1)

         mask = 1 << 2 # On veut récupérer le 3ème bit
         print('le 3ème bit vaut', (val & mask) >> 2)

         mask = 1 << 6 # On veut récupérer le 7ème bit
         print('le 7ème bit vaut', (val & mask) >> 6)

         # Si on positionne le 4ème bit a 1 (on rajoute 2**3 = 8)
         newval = val | (1 << 3)
         print(newval)

         # Si on positionne le 6ème bit a 0 (on soustrait 2**7 = 64)
         print(newval & ~(1 << 6))
```

```
0b1000011
le 1er  bit vaut 1
le 2ème bit vaut 1
le 3ème bit vaut 0
le 7ème bit vaut 1
75
11
```

Exercice : Retournez une chaîne de caractères représentant le nombre contenu dans `x` écrit en notation binaire. Par exemple :

$$5 \rightarrow 101_{16} \rightarrow 110_{17} \rightarrow 111$$

```
In [15]: x = 7
         # votre code ici

In [16]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
         #%load exos/snippets/bits_a_bits.py
```

3.1.5 Affectation augmentée

```
+=, -=, *=, /=, **=  # etc.
```

```
In [17]: a = 4
         a += 1  # <=> a = a + 1
         print(a)
         a //= 2
         print(a)
         a **= 3
```

```
        print(a)
        a %= 2
        print(a)
```

```
5
2
8
0
```

3.1.6 Compatibilité de type, coercition de type

Python effectue certaines conversions implicites quand on ne perd pas d'information (par exemple d'entier vers flottant).

```
In [18]: print(1 + 0b1)
         print(1 + 1.0)
         print(1.0 + 2 + 0b11 + 4j)
```

```
2
2.0
(6+4j)
```

Mais dans d'autres cas, la conversion doit être explicite.

```
In [19]: # Cette cellule génère une erreur
         a = 1
         b = '1'
         a + b
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[19], line 4
      2 a = 1
      3 b = '1'
----> 4 a + b

TypeError: unsupported operand type(s) for +: 'int' and 'str'
```

Exercice :
Sans toucher au `+`, corrigez la ligne `4` de la celulle ci-dessus afin d'afficher :

1. la chaîne `'11'`
2. l'entier `2`
3. l'entier `11`

```
In [20]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
         #%load exos/snippets/compatibilite.py
```

3.1.7 Priorité des opérateurs

Les opérateurs ont des priorités classiques en python.
Par exemple, dans l'ordre :

1. puissance : `**`
2. multiplication, division : `*` et `/`

3. addition, soustraction : `+` et `-`

etc.
Utilisez des parenthèses quand elles aident à la lisibilité et à la clarté.
Pour plus d'informations, voir ici.

3.2 Structures de contrôle

— La mise en page comme syntaxe
— `pass`
— tests conditionels : `if/elif/else`
— boucles
  — `for <element> in <iterable>`
  — `while`
  — `break`
  — `continue`

3.2.1 La mise en page comme syntaxe

— La mise en page est importante en python, c'est une différence majeure avec les autres langages (Java, C/C++, etc.)
— Python utilise l'indentation du code avec des caractères blancs plutôt que des mots clés (`begin`/`end` en pascal) ou des symboles (`{}` en java et C/C++). Cela permet de rendre le code plus compact.
— Elle va servir à délimiter des blocs de code sur lesquels les structures de contrôle comme les boucles ou les tests de conditions vont s'appliquer.
— De toute façon, dans les autres langages, on indente aussi le code pour l'aspect visuel et la lisibilité.
— L'indentation faisant partie de la syntaxe du langage, il faut être rigoureux et suivre la règle suivante :
  — 4 espaces pour passer au niveau suivant
  — éviter les tabulations et préférer les espaces et surtout ne pas les mélanger !

```
In [21]: if True:
             print("toutes")
             print("les")
             print("lignes")
             print("au même niveau d'indentation forment un bloc de code")
         print('et quand on remonte, on "termine" un bloc de code')
```

```
toutes
les
lignes
au même niveau d'indentation forment un bloc de code
et quand on remonte, on "termine" un bloc de code
```

Exercice : changez le True en False, et observez quelles lignes de code ne sont plus exécutées.

3.2.2 `pass`

En cas de besoin d'un bloc de code qui ne fait rien, on utilise le mot clé `pass` (équivalent à NOP ou NO-OP)

Exemple : une boucle infinie

```
while True:
    pass
```

(à ne pas exécuter dans une cellule sous peine de bloquer le noyau de ce notebook)

3.2.3 Tests conditionnels

Les instructions `if/elif/else` permettent d'exécuter des blocs d'instructions en fonction de conditions :

```
if test1:
    <bloc d instructions 1>
elif test2:
    <bloc d instructions 2>
else:
    <bloc d instructions 3>
```

`elif` est la contraction de "`else if`".

```
In [22]: if True:
             print("c'est vrai!")
```

```
c'est vrai!
```

```
In [23]: if False:
             print("je suis caché!")
         else:
             print("mais moi je suis en pleine lumière...")
```

```
mais moi je suis en pleine lumière…
```

```
In [24]: # Pour cet exemple, on itère sur les éléments d'un tuple (cf. boucle for plus loin)
         for position in 2, 9, 3, 1, 8:
             if position == 1:
                 print(position, "Or")
             elif position == 2:
                 print(position, "Argent")
             elif position == 3:
                 print(position, "Bronze")
             else:
                 print(position, "Vestiaires")
```

```
2 Argent
9 Vestiaires
3 Bronze
1 Or
8 Vestiaires
```

```
In [25]: taille = 1.2
         if taille >= 1.70:  # La taille moyenne en France
             print('grand')
         else:
             print('petit')
```

```
petit
```

Exercices :

1. Editez la cellule pour y mettre votre taille et exécutez-la pour savoir si vous êtes grand ou petit.
2. Gérez le cas des gens de taille moyenne.

```
In [26]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
         #%load exos/snippets/condition.py
```

3.3 Boucles

Les boucles sont les structures de contrôle permettant de répéter l'exécution d'un bloc de code plusieurs fois.

3.3.1 Boucle `while`

La plus simple est la boucle de type `while` :

```
while <condition>:
    <bloc 1>
<bloc 2>
```

Tant que `<condition>` est True, le `<bloc 1>` est exécuté, quand la condition passe à False, l'exécution continue au `<bloc 2>`.

```
In [27]: compteur = 3
         while compteur > 0:
             print('le compteur vaut :', compteur)
             compteur -= 1
         print('le compteur a été décrémenté 3 fois et vaut maintenant', compteur)
```

```
le compteur vaut : 3
le compteur vaut : 2
le compteur vaut : 1
le compteur a été décrémenté 3 fois et vaut maintenant 0
```

Exercice :
C'est la soirée du réveillon. Ecrivez une boucle `while` qui décompte les secondes à partir de `5` pour souhaiter la bonne année.
Allez voir par ici pour passer le temps…

```
In [28]: import time
         # Votre code ici

In [29]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
         #%load exos/snippets/while.py
```

3.3.2 Boucle `for`

Une boucle plus complexe : `for/in`

```
for <variable> in <iterable>:
    <bloc 1>
<bloc 2>
```

A chaque tour de boucle, la variable `<variable>` va référencer un des éléménts de l'`<iterable>`. La boucle s'arrête quand tous les éléménts de l'itérable ont été traités. Il est fortement déconseillé de modifier l'itérable en question dans le `<bloc 1>`.

```
In [30]: invites = ('Aline', 'Bernard', 'Céline', 'Dédé')
         for invite in invites:
             print(f'Bonjour {invite}, bienvenue à la soirée de gala !')
         print('Maintenant, tout le monde a été bien accueilli.')
```

```
Bonjour Aline, bienvenue à la soirée de gala !
Bonjour Bernard, bienvenue à la soirée de gala !
Bonjour Céline, bienvenue à la soirée de gala !
Bonjour Dédé, bienvenue à la soirée de gala !
Maintenant, tout le monde a été bien accueilli.
```

Exercice : Rajoutez des invités à la fête. Vérifiez que tout le monde est accueilli correctement.

```
In [31]: # Maintenant, si nous avons reçu des réponses à notre invitation, utilisons un dictionnaire :
         invites = {'Aline': True, 'Bernard': False, 'Céline': True, 'Dédé': True}
         for (personne, presence) in invites.items():
             if presence:
                 print(f'Bonjour {personne}, bienvenue à la soirée de gala !')
             else:
                 print(f'Malheureusement, {personne} ne sera pas avec nous ce soir.')
         print('Maintenant, tout le monde a été bien accueilli ou excusé.')
```

```
Bonjour Aline, bienvenue à la soirée de gala !
Malheureusement, Bernard ne sera pas avec nous ce soir.
Bonjour Céline, bienvenue à la soirée de gala !
Bonjour Dédé, bienvenue à la soirée de gala !
Maintenant, tout le monde a été bien accueilli ou excusé.
```

La méthode `.items()` renvoie une vue itérable des éléments du dictionnaire.

Exercice : Rajoutez des invités à la fête. Certains ayant répondu qu'ils ne pourraient pas venir. Vérifiez que tout le monde est accueilli ou excusé correctement.

Si on souhaite itérer sur une liste et que l'on a besoin de l'indice de ses éléments, on utilise une combinaison de `range()` et `len()`.

```
In [32]: nombres = [2, 4, 8, 6, 8, 1, 0, 1j]
         for i in range(len(nombres)):
             nombres[i] **= 2

         print("valeurs de i:", list(range(len(nombres))))
         print("carrés      :", nombres)
```

```
valeurs de i: [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
carrés      : [4, 16, 64, 36, 64, 1, 0, (-1+0j)]
```

Il existe une forme raccourcie pour faire ce genre de choses, la fonction interne `enumerate()`

```
In [33]: nombres = [2, 4, 8, 6, 8, 1, 0]
         impairs = nombres[:]  # On copie la liste nombres
         for (i, nombre) in enumerate(nombres):
             impairs[i] = bool(nombre % 2)
         # Les impairs
         print(impairs)
```

```
[False, False, False, False, False, True, False]
```

Note

La fonction interne `range()` retourne un itérateur. C'est un objet qui se comporte comme une liste sans pour autant allouer la mémoire nécessaire au stockage de tous ses éléments. Le coût de création d'une vraie liste augmente avec sa taille (son empreinte mémoire aussi !).

— une liste (ou un tuple) contient des données
— un itérateur possède la méthode qui permet de calculer l'élément suivant dans une boucle `for`.

Note de la note

En Python version 2.x, Il existait deux versions de cette fonctionnalité : `range()` et `xrange()`. La première retournait une vraie liste, allouée complètement, alors que `xrange()` retournait un itérateur.

```
In [34]: print(type(range(3)))        # comme xrange() en python2
         print(repr(range(3)))        # comme xrange() en python2
         print(type(list(range(3))))  # comme range en python2
```

```
<class 'range'>
range(0, 3)
<class 'list'>
```

3.3.3 Instruction `break`

Il est possible d'arrêter prématurément une boucle grâce a l'instruction `break`.
L'instruction `break` est utilisable indifférement dans les boucles `for` ou `while`.

```
In [35]: compteur = 3
         while True:  # Notre boucle infinie
             compteur -= 1
             print('Dans la boucle infinie! compteur =', compteur)
             if compteur <= 0:
                 break  # On sort de la boucle while immédiatement
             print('on continue, compteur =', compteur)
         print("c'était pas vraiment une boucle infinie...")
```

```
Dans la boucle infinie! compteur = 2
on continue, compteur = 2
Dans la boucle infinie! compteur = 1
on continue, compteur = 1
Dans la boucle infinie! compteur = 0
c'était pas vraiment une boucle infinie…
```

En cas d'imbrication de plusieurs boucles, l'instruction `break` sort de la plus imbriquée (la plus proche).

```
In [36]: for i in (1, 2, 3):
             for j in (1, 2, 3, 4):
                 if i == 2:
                     break
                 print(f"{i, j = }")
```

```
i, j = (1, 1)
i, j = (1, 2)
i, j = (1, 3)
i, j = (1, 4)
i, j = (3, 1)
i, j = (3, 2)
i, j = (3, 3)
i, j = (3, 4)
```

3.3.4 Instruction `continue`

Si, dans une boucle, on veut passer immédiatement à l'itération suivante, on utilise l'instruction `continue`.

```
In [37]: compteur = 9
         while compteur > 0:
             compteur -= 1
             if compteur % 2:
                 compteur /= 2
                 print('impair, on divise :', compteur)
                 continue  # retourne immédiatement au début de la boucle
             print("pair, RAS")
         print("c'est fini...")
```

```
pair, RAS
impair, on divise : 3.5
impair, on divise : 1.25
impair, on divise : 0.125
impair, on divise : -0.4375
c'est fini…
```

3.4 Fonctions

Les fonctions permettent de réutiliser des blocs de code à plusieurs endroits différents sans avoir à copier ce bloc.

En python, il n'y a pas de notion de sous-routine. Les procédures sont gérées par les objets de type fonctions, avec ou sans valeur de retour.

```
def <nom fonction>(arg1, arg2, ...):
    <bloc d instructions>
    return <valeur>  # Instruction optionnelle
```

On distingue :

- les fonctions avec `return` des fonctions sans `return`
- les fonctions sans arguments (pour lesquelles `()` est vide) des fonctions avec arguments `(arg1, arg2, ...)`

`<nom fonction>(arg1, arg2, ...)` est appelé **signature** de la fonction.

3.4.1 Fonctions sans arguments

Fonction sans `return`

Pour définir une fonction :

```
In [38]: def func():  # Definition de la fonction
             print('You know what?')
             print("I'm happy!")
```

Pour utiliser une fonction que l'on a défini :

```
In [39]: func()  # 1er Appel de la fonction
         func()  # 2eme appel
         func()  # 3eme appel, etc...
         print(func())  # On l'appelle et on affiche sa valeur de retour
```

```
You know what?
I'm happy!
You know what?
I'm happy!
```

```
You know what?
I'm happy!
You know what?
I'm happy!
None
```

Exercice : Ecrivez une fonction nommée `rien` qui ne fait rien et appelez là deux fois.

```
In [40]: # Votre code ici
```

```
In [41]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/rien.py
```

Fonction avec `return`

```
In [42]: def func():  # Definition de la fonction
             return "I'm happy"  # La fonction retourne une chaine de caractère

         print("1er appel:")
         func()  # 1er Appel de la fonction : la valeur retournée n'est pas utilisée
         print("2eme appel:")
         ret_val = func()  # Le retour du 2eme appel est stocké
         print("La fonction func() nous a renvoyé la valeur:", ret_val)
```

```
1er appel:
2eme appel:
La fonction func() nous a renvoyé la valeur: I'm happy
```

Exercice : Ecrivez une fonction nommée `eloge_de_rien` qui retourne la chaine de caractères `rien`. Appelez-là et affichez sa valeur de retour.

```
In [43]: # Votre code ici
```

```
In [44]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/eloge_de_rien.py
```

Important : l'instruction `return` provoque une sortie de la fonction. Dans le code suivant, la ligne qui appelle la fonction `print()` n'est pas exécutée.

```
In [45]: def func():
             return 'je sors'
             print('après return')

         func()
```

```
Out[45]: 'je sors'
```

3.4.2 Fonctions avec arguments

Pour définir une fonction qui prend des arguments, on nomme ces arguments entre les parenthèses de la ligne `def`. Ces paramètres seront définis comme des variables à l'intérieur de la fonction et recevrons les valeurs passées lors des appels de celle-ci.

```
In [46]: def somme(x, y):
             return x + y
```

Pour utiliser cette fonction avec diverses valeurs, il suffit de l'appeler plusieurs fois :

```
In [47]: print(somme(1, 2))
         print(somme(4, 7))
         print(somme(2 + 2, 7))
         print(somme(somme(2, 2), 7))
```

```
3
11
11
11
```

Exercice : - Définissez une fonction nommée `chevalier` qui prend un paramètre `n` et qui affiche `n` fois (avec `print()`) la chaîne de caractères `Nee!` - appelez cette fonction pour vérifier que `chevalier(3)` dit bien `Nee!` trois fois comme il convient !

Voici quelques exemples montrant comment cette fonction doit se comporter :

```
chevalier(1)
Nee!
chevalier(3)
Nee!Nee!Nee!
chevalier(6)
Nee!Nee!Nee!Nee!Nee!Nee!
```

```
In [48]: def chevalier(n):
             # Votre code ici
             pass
```

```
In [49]: # Vérifions que tout fonctionne bien:
         chevalier(1)
         chevalier(3)
         chevalier(6)
```

```
In [50]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/chevalier.py
```

Exercice : Ecrivez une autre fonction, nommée `chevalier_ret` : - qui prend 2 paramètres : un entier `n` et un booléen - qui retourne une chaine de caractères de la chaîne `nee!` ou `NEE!` en fonction du paramètre booléen, chaîne répétée `n` fois.

Appelez cette fonction et affichez sa valeur de retour.

Voici quelques exemples montrant comment cette fonction doit se comporter :

```
a = chevalier_ret(1, True)
print(a)
NEE!
print(chevalier_ret(3, False))
nee!nee!nee!
print(chevalier_ret(6, True))
NEE!NEE!NEE!NEE!NEE!NEE!
```

```
In [51]: # Votre code ici
         def chevalier_ret(n, cri):
             pass
```

```
In [52]: # Vérifions que tout fonctionne bien:
         a = chevalier_ret(1, True)
         print(a)
         a = chevalier_ret(3, False)
         print(a)
         a = chevalier_ret(6, True)
         print(a)
```

```
None
None
None
```

```
In [53]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/chevalier_ret.py
```

Utilisation de valeurs par défaut

```
In [54]: def somme(x, y=1):
             return x + y

         print(somme(1, 2))
```

```
3
```

Si sa valeur n'est pas spécifiée lors de l'appel, le paramètre `y` prend la valeur par défaut (ici : `1`)

```
In [55]: print(somme(4))
```

```
5
```

Note : Les arguments ayant une valeur par défaut doivent être placés **en dernier**.

Utilisation des arguments par leur nom

Si les arguments sont explicitiment nommés lors de l'appel, leur ordre peut être changé :

```
In [56]: def diff(x, y):
             return x - y

         print(diff(4, 7))
         print(diff(y=7, x=4))
```

```
-3
-3
```

Capture d'arguments non définis

Arguments positionnels dans un tuple On définit une fonction dont l'argument est `*args` :

```
In [57]: def fonc(*args):
             # args est un tuple :
             print(type(args))
             # ses éléments sont les arguments passés lors de l'appel :
             print(args)
```

On l'appelle avec n'importe quelle séquence d'arguments :

```
In [58]: fonc("n'importe", "quel nombre et type de", "paramètres", 5, [1, 'toto'], None)
```

```
<class 'tuple'>
("n'importe", 'quel nombre et type de', 'paramètres', 5, [1, 'toto'], None)
```

Arguments nommés dans un dictionnaire On définit une fonction dont l'argument est `**kwargs` :

```
In [59]: def fonc(**kwargs):
             # kwargs est un dictionnaire :
             print(type(kwargs))
             # ses éléments sont les arguments nommés passés lors de l'appel
             print(kwargs)
```

On l'appelle en nommant les arguments :

```
In [60]: fonc(x=1, y=2, couleur='rouge', epaisseur=2)

<class 'dict'>
{'x': 1, 'y': 2, 'couleur': 'rouge', 'epaisseur': 2}
```

On peut combiner ce type d'arguments pour une même fonction :

```
In [61]: def fonc(n, *args, **kwargs):  # cet ordre est important
             print("n =", n)
             print("args =", args)
             print("kwargs =", kwargs)

         print("appel 1")
         fonc(3)
         print("appel 2")
         fonc(3, 'bacon')
         print("appel 3")
         fonc(2, 'spam', 'egg', x=1, y=2, couleur='rouge', epaisseur=2)

appel 1
n = 3
args = ()
kwargs = {}
appel 2
n = 3
args = ('bacon',)
kwargs = {}
appel 3
n = 2
args = ('spam', 'egg')
kwargs = {'x': 1, 'y': 2, 'couleur': 'rouge', 'epaisseur': 2}
```

Remarques :

- les noms `args` et `kwargs` ne sont que des conventions (à respecter, toutefois !), seul le caractère `*` est déterminant
- l'ordre `(arg1, arg2, ..., *args, **kwargs)` doit être strictement respecté

Packing/unpacking

- La syntaxe `*args` dans la définition de la fonction correspond à une opération de *packing* : Python transforme une séquence de variables en tuple.
- L'inverse existe : ça s'appelle l'*unpacking*.
- Le *packing/unpacking* se pratique déjà par la manipulation des tuples :

```
In [62]: trio = "sax", "drums", "bass"  # packing
         print(trio)
         you, her, him = trio           # unpacking
         print(you)
         print(her)
         print(him)
```

```
('sax', 'drums', 'bass')
sax
drums
bass
```

Il peut également se pratiquer dans le passage d'arguments de fonction

```
In [63]: def fonc(*args):
             print(args)

         fonc(you, her, him)  # ici on liste directement les arguments
         fonc(*trio)          # là on "unpack" un tuple
```

```
('sax', 'drums', 'bass')
('sax', 'drums', 'bass')
```

Et de la même façon pour un dictionnaire :

```
In [64]: def fonc(**kwargs):
             print(kwargs)

         trio_dict = {"sax": "you", "drums": "her", "bass": "him"}
         fonc(sax="you", drums="her", bass="him")  # ici on liste directement les arguments nommés
         fonc(**trio_dict)                         # là on "unpack" un dictionnaire
```

```
{'sax': 'you', 'drums': 'her', 'bass': 'him'}
{'sax': 'you', 'drums': 'her', 'bass': 'him'}
```

3.4.3 Espace de nommage et portée des variables

1er exemple

On veut illustrer le mécanisme de l'espace de nommage des variables :

```
In [65]: def func1():
             a = 1
             print("Dans func1(), a =", a)

         def func2():
             print("Dans func2(), a =", a)

         a = 2
         func1()
         func2()
         print("Dans l'espace englobant, a =", a)
```

```
Dans func1(), a = 1
Dans func2(), a = 2
Dans l'espace englobant, a = 2
```

Cet exemple montre deux comportements :

1. Une variable définie localement à l'intérieur d'une fonction cache une variable du même nom définie dans l'espace englobant (cas de `func1()`).
2. Quand une variable n'est pas définie localement à l'intérieur d'une fonction, Python va chercher sa valeur dans l'espace englobant (cas de `func2()`).

2ème exemple

On veut illustrer le mécanisme de portée des variables au sein des fonctions :

```
In [66]: def func():
             a = 1
             bbb = 2
             print('Dans  func() : a =', a)

         a = 2
         print("Avant func() : a =", a)
         func()
         print("Après func() : a =", a)
```

```
Avant func() : a = 2
Dans  func() : a = 1
Après func() : a = 2
```

Les variables définies localement à l'intérieur d'une fonction sont détruites à la sortie de cette fonction. Ici, la variable `bbb` n'existe pas hors de la fonction `func()`, donc Python renvoie une erreur si on essaye d'utiliser `bbb` depuis l'espace englobant :

```
In [67]: # Cette cellule génère une erreur
         print(bbb)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
NameError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[67], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(bbb)

NameError: name 'bbb' is not defined
```

3.4.4 Fonctions *built-in*

Ces fonctions sont disponibles dans tous les contextes. La liste complète est détaillée ici. En voici une sélection :

— `dir(obj)` : retourne une liste de toutes les méthodes et attributs de l'objet `obj`
— `dir()` : retourne une liste de tous les objets du contexte courant
— `eval(expr)` : analyse et exécute la chaîne de caractère `expr`

```
In [68]: a = 1
         b = eval('a + 1')
         print(f"b est de type {type(b)} et vaut {b}")
```

```
b est de type <class 'int'> et vaut 2
```

— `globals()` : retourne un dictionnaire des variables présentes dans le contexte global
— `locals()` : idem `globals()` mais avec le contexte local
— `help(obj)` : affiche l'aide au sujet d'un objet
— `help()` : affiche l'aide générale (s'appelle depuis l'interpréteur interactif)

— `input(prompt)` : retourne une chaîne de caractère lue dans la console après le message `prompt`

```
In [69]: reponse = input('Ca va ? ')  # Seule la variante input() fonctionne dans un notebook

         if reponse.lower() in ('o', 'oui', 'yes', 'y', 'ok', 'da', 'jawohl', 'ja'):
             print('Supercalifragilisticexpialidocious')
         else:
             print('Faut prendre des vacances...')
```

```
---------------------------------------------------------------------------
StdinNotImplementedError                  Traceback (most recent call last)
Cell In[69], line 1
----> 1 reponse = input('Ca va ? ')  # Seule la variante input() fonctionne dans un notebook
      3 if reponse.lower() in ('o', 'oui', 'yes', 'y', 'ok', 'da', 'jawohl', 'ja'):
      4     print('Supercalifragilisticexpialidocious')

File /opt/conda/lib/python3.11/site-packages/ipykernel/kernelbase.py:1201, in Kernel.raw_input(self, p
   1199 if not self._allow_stdin:
   1200     msg = "raw_input was called, but this frontend does not support input requests."
-> 1201     raise StdinNotImplementedError(msg)
   1202 return self._input_request(
   1203     str(prompt),
   1204     self._parent_ident["shell"],
   1205     self.get_parent("shell"),
   1206     password=False,
   1207 )

StdinNotImplementedError: raw_input was called, but this frontend does not support input requests.
```

— `len(seq)` : retourne la longueur de la séquence `seq`
— `max(seq)` : retourne le maximum de la séquence `seq`
— `min(seq)` : retourne le minimum de la séquence `seq`
— `range([start=0], stop[, step=1])` : retourne un itérateur d'entiers allant de `start` à `stop - 1`, par pas de `step`.

```
In [70]: print(list(range(10)))
         print(list(range(5, 10, 2)))
```

```
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
[5, 7, 9]
```

— `repr(obj)` : affiche la représentation de l'objet `obj`.
— `reversed(seq)` : retourne l'inverse de la séquence `seq`
— `sorted(seq)` : retourne une séquence triée à partir de la séquence `seq`
— `sum(seq)` : retourne la somme des éléments de la séquence `seq`

3.4.5 Exercices sur les fonctions

Exercice 1

Ecrire une fonction `stat()` qui prend en argument une liste d'entiers et retourne un tuple contenant : - la somme - le minimum - le maximum
des éléments de la liste

```
In [71]: def stat(a_list):
             # votre fonction
             pass
```

```
In [72]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/stat.py
```

Exercice 2 : écriture d'un *wrapper* de fonction

Noël arrive vite… Amusez-vous avec les boules de décoration !

Soit une fonction `boule()` capable d'accrocher une boule de couleur à la position `(x, y)` d'un sapin.

Exercice inspiré du Mooc de l'INRIA Python : des fondamentaux à l'utilisation du langage

```
In [73]: def boule(x, y, couleur='bleue'):
             print(f"J'accroche une boule en ({x}, {y}) de couleur {couleur}")

         # On place la première boule sur le sapin
         boule(1, 2)
         # Puis une autre, etc.
         boule(3, 4, couleur='rouge')
```

```
J'accroche une boule en (1, 2) de couleur bleue
J'accroche une boule en (3, 4) de couleur rouge
```

Ecrire une fonction *wrapper* `boule_or()` qui crée des boules dorées en appelant la fonction `boule()`. Dans le futur, on souhaite modifier la fonction `boule()` pour lui faire accepter un nouvel argument `rendu (brillant, mat, etc.)`. La fonction `boule_or()` devra continuer à fonctionner après cette modification de la fonction `boule()` et intégrer la nouvelle fonctionnalité `rendu` sans qu'il soit nécessaire de modifier `boule_or()`.

```
In [74]: # Cellule à modifier
         def boule_or(*args, **kwargs):
             # Votre code ici
             pass

         # On place une boule en or sur le sapin
         boule_or(1, 2)
```

Maintenant, on met à jour la fonction `boule()` :

```
In [75]: def boule(x, y, couleur='bleue', rendu='mat'):
             print(f"J'accroche une boule en ({x}, {y}) de couleur {couleur} et de rendu {rendu}.")
         boule(1, 3, couleur='jaune', rendu='brillant')
```

```
J'accroche une boule en (1, 3) de couleur jaune et de rendu brillant.
```

Vérifier que votre fonction `boule_or()` marche encore et gère la nouvelle fonctionnalité :

```
In [76]: boule_or(3, 1, rendu='brillant') # doit retourner :
         # J'accroche une boule en (3, 1) de couleur or et de rendu brillant.

In [77]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/boule.py
```

3.5 Exceptions

Pour signaler des conditions particulières (erreurs, évenements exceptionnels), Python utilise un mécanisme de levée d'exceptions.

```
In [78]: # Cette cellule génère une erreur
         raise Exception
```

```
---------------------------------------------------------------------------
Exception                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[78], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 raise Exception

Exception:
```

Ces exceptions peuvent embarquer des données permettant d'identifier l'évenement producteur.

```
In [79]: # Cette cellule génère une erreur
         raise Exception('Y a une erreur')
```

```
---------------------------------------------------------------------------
Exception                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[79], line 2
```

```
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 raise Exception('Y a une erreur')

Exception: Y a une erreur
```

La levée d'une exception interrompt le cours normal de l'exécution du code et "remonte" jusqu'à l'endroit le plus proche gérant cette exception.

Pour intercepter les exceptions, on écrit :

```
try:
    <bloc de code 1>
except Exception:
    <bloc de code 2>
```

```
In [80]: try:
             print('ici ca fonctionne')
             # ici on détecte une condition exceptionnelle, on signale une exception
             raise Exception('y a un bug')
             print("on n'arrive jamais ici")
         except Exception as e:
             # L'exécution continue ici
             print(f"ici on peut essayer de corriger le problème lié à l'exception : Exception({e})")
         print("et après, ça continue ici")

ici ca fonctionne
ici on peut essayer de corriger le problème lié à l'exception : Exception(y a un bug)
et après, ça continue ici
```

Exemple illustrant le mécanisme de remontée des exceptions d'un bloc à l'autre :

```
In [81]: def a():
             raise Exception('coucou de a()')

         def b():
             print('b() commence')
             a()
             print('b() finit')

         try:
             b()
         except Exception as e:
             print("l'exception vous envoie le message :", e)

b() commence
l'exception vous envoie le message : coucou de a()
```

3.5.1 Exercice

Ecrivez une fonction `openfile()` :

— qui demande à l'utilisateur un nom de fichier à ouvrir
— qui gère correctement les fichiers inexistants.
— qui affiche la première ligne du fichier ouvert
— qui retourne une valeur booléenne indiquant que le fichier a été ouvert ou non.

```
In [82]: # Votre code ici
         def openfile():
             pass

         print(openfile())
```

```
None
```

```
In [83]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/openfile.py
```

Pour plus d'informations sur les exceptions, lire ce tutoriel.

3.6 Les gestionnaires de contexte

Pour faciliter la gestion des obligations liées à la libération de ressources, la fermeture de fichiers, etc… Python propose des gestionnaires de contexte introduits par le mot-clé `with`.

```
In [84]: with open('exos/interessant.txt', 'r') as fichier_ouvert:
             # Dans ce bloc de code le fichier est ouvert en lecture, on peut l'utiliser normalement
             print(fichier_ouvert.read())
         # Ici, on est sorti du bloc et du contexte : le fichier à été fermé automatiquement
```

```
Si vous lisez ce texte alors
…
vous savez lire un fichier avec Python !
```

```
In [85]: # Cette cellule génère une erreur
         print(fichier_ouvert.read())
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ValueError                                Traceback (most recent call last)
Cell In[85], line 2
      1 # Cette cellule génère une erreur
----> 2 print(fichier_ouvert.read())

ValueError: I/O operation on closed file.
```

Exercice : Reprenez le code de l'exercice précédent, et utilisez `with` pour ne pas avoir à utiliser la méthode `close()`.

```
In [86]: # Votre code ici
```

```
In [87]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
         #%load exos/snippets/openfile2.py
```

Il est possible de créer de nouveaux gestionnaires de contexte, pour que vos objets puissent être utilisés avec `with` et que les ressources associées soient correctement libérées.

Pour plus d'informations sur la création de gestionnaires de contexte, voir la documentation.

3.7 Les compréhensions de listes

Python a introduit une facilité d'écriture pour les listes qui permet de rendre le code plus lisible car plus concis.

On construit par exemple la liste `[0, 1, 2, ..., 9]` :

```
In [88]: Liste1 = list(range(10))
         print(Liste1)
```

```
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```

On veut maintenant une liste ne contenant que les éléments pairs de la liste Liste1.

```
In [89]: ListePaire = []
         for i in Liste1:
             if (i % 2) == 0:
                 ListePaire.append(i)
         print(ListePaire)
```

```
[0, 2, 4, 6, 8]
```

À présent, on fait la même chose en compréhension de liste

```
In [90]: ListePaire = [i for i in Liste1 if (i % 2) == 0]
         print(ListePaire)
```

```
[0, 2, 4, 6, 8]
```

Cette concision peut être utile, mais n'en abusez pas, si vous commencez à avoir une compréhension de liste trop complexe à écrire en une simple ligne, utilisez plutôt des boucles et conditions explicites.
Plus d'informations dans ce tutoriel.

3.8 Les expressions génératrices

C'est une forme d'écriture, très proche des compréhensions de listes, mais qui ne crée pas de nouvel objet liste immédiatement. Les items sont produits à la demande, plus loin dans le code, là où ils sont nécessaires, ce qui économise du temps et de la mémoire.

```
In [91]: generateur_pairs = (i for i in Liste1 if (i % 2) == 0)
```

Le générateur ne contient pas de données à proprement parler :

```
In [92]: print(generateur_pairs)
```

```
<generator object <genexpr> at 0x7fc2d747e4d0>
```

Pour visualiser son comportement, on peut l'utiliser pour créer une liste :

```
In [93]: print(list(generateur_pairs))
```

```
[0, 2, 4, 6, 8]
```

Plus d'informations dans ce tutoriel.

3.9 Modules

— Python fournit un système de modularisation du code qui permet d'organiser un projet contenant de grandes quantités de code et de réutiliser et de partager ce code entre plusieurs applications.

— L'instruction `import` permet d'accéder à du code situé dans d'autres fichiers. Cela inclut les nombreux modules de la bibliothèque standard, tout comme vos propres fichiers contenant du code.

— Les objets (variables, fonctions, classes, etc.) du module sont accessibles de la manière suivante :

```
module.variable
module.fonction(parametre1, parametre2, ...)
```

Ou plus généralement :

```
module.attribut
```

```
In [94]: # Pour utiliser les fonctions mathématiques du module 'math'
         import math

         print(f'{math.pi:.2f}')
         print(f'{math.sin(math.pi):.2f}')
```

```
3.14
0.00
```

3.9.1 Créer ses propres modules

— Il suffit de placer votre code dans un fichier avec l'extension `.py`

— Le module stocké dans le fichier `mon_module.py` s'importe avec la syntaxe :

```
import mon_module
```

Cas 1 : le fichier module est directement importable

— **Cas 1.a :** le module est déjà installé dans l'environnement d'exécution

  — soit il fait partie de la bibliothèque standard

  — soit il a été installé (avec `conda`, avec `pip`, etc.)

— **Cas 1.b :** le fichier module se trouve :

  — dans le même répertoire que le script qui l'importe

  — dans un répertoire référencé par la variable d'environnement `PYTHONPATH`

Le fichier `exos/mon_module.py` contient du code définissant `ma_variable` et `ma_fonction()`. On copie ce fichier dans le répertoire courant.

```
In [95]: import shutil  # shutil fait partie de la bibliothèque standard
         shutil.copy("exos/mon_module.py", ".")  # On copie le fichier dans le répertoire d'exécution du notebook
         %pycat mon_module.py
```

On peut maintenant importer `mon_module` depuis le notebook :

```
In [96]: import mon_module  # Notez la syntaxe: nom_du_fichier sans l'extension.
         print(mon_module.ma_variable)
         mon_module.ma_fonction()  # On accède ainsi à l'attribut ma_fonction() du module mon_module
```

```
27
un appel à ma_fonction()
```

On peut importer un module sous un autre nom (pour le raccourcir, en général) :

```
In [97]: import mon_module as mm
         mm.ma_fonction()
```

```
un appel à ma_fonction()
```

On peut importer un objet particulier d'un module :

```
In [98]: from mon_module import ma_fonction
         ma_fonction()
```

```
un appel à ma_fonction()
```

Ou encore en définissant un alias avec `as`

```
In [99]: from mon_module import ma_fonction as ma_fonc
         ma_fonc()
```

```
un appel à ma_fonction()
```

Note :
Dans le code :

```
import mon_module
[...]
import mon_module
```

Le deuxième `import` n'a pas d'effet car le module n'est importé qu'une seule fois au sein d'une même instance Python. Toutefois, il existe des moyens de le réimporter de force avec la bibliothèque importlib.

> **Exercice** : Modifiez le code contenu dans le fichier `mon_module.py`, et reexécutez la cellule ci-dessus. Que remarquez-vous ?

Cas 2 : le fichier module se trouve ailleurs

On peut distinguer deux cas d'usage :

- **Cas 2.a :** on veut aller chercher du code dans un autre projet python qui n'est pas installé dans l'environnement courant
- **Cas 2.b :** on travaille sur un gros projet structuré en modules stockés dans une arborescence de sous-répertoires.

Cas 2.a : exemple avec le fichier `exos/ext_dir/module_externe.py` Le fichier `module_externe.py` contient :

```
In [100]: %pycat exos/ext_dir/module_externe.py
```

On ajoute le répertoire `exos/ext_dir` à la liste des répertoires scannés par Python :

```
In [101]: import sys
          sys.path.append("./exos/ext_dir")
          print(sys.path)
```

```
['/builds/urfist/cours-python/notebooks', '/opt/conda/lib/python311.zip', '/opt/conda/lib/python3.11',
```

Le module s'importe alors directement avec :

```
In [102]: import module_externe
```

```
Je suis dans le module module_externe
```

Cas 2.b : un projet structuré en sous-répertoires Dans ce cas, on parle de paquets (*packages*) et de sous-paquets :

— n'importe quel répertoire contenant un fichier `__init__.py` est un **paquet python**
— chaque sous-répertoire est un sous-paquet du répertoire (ou paquet) parent
— une arborescence de paquets permet d'organiser le code de manière hiérarchique.
— On accède aux sous-paquets avec la notation :

```
import paquet.sous_paquet.sous_sous_paquet...
```

Exemple avec le répertoire `exos` :

```
In [103]: #!tree  exos -P "*.py" -I __pycache__
```

```
exos
[...]
   sous_paquet
       __init__.py
       module_a.py
       module_b.py
   sous_paquet2
       __init__.py
       module_c.py
[...]
```

Dans ce cas, le module `exos/sous_paquet/module_a.py` contenant :

```
In [104]: %pycat exos/sous_paquet/module_a.py
```

s'importe de la façon suivante :

```
In [105]: import exos.sous_paquet.module_a
          # On appelle fonction()
          exos.sous_paquet.module_a.fonction()
```

```
Je suis dans le module exos.sous_paquet.module_a
Je suis dans fonction() du module exos.sous_paquet.module_a
```

ou encore :

```
In [106]: from exos.sous_paquet import module_a
          # On appelle fonction()
          module_a.fonction()
```

```
Je suis dans fonction() du module exos.sous_paquet.module_a
```

Exercice : Importer directement la fonction `fonction` de `exos/sous_paquet/module_b.py` sous le nom `func` et appelez-là.

```
In [107]: %pycat exos/sous_paquet/module_b.py
```

```
In [108]: # Votre code ici
          # func()
```

```
In [109]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé:
          #%load exos/snippets/import_module.py
```

Remarque

Si `__init__.py` existe, le code qu'il contient est exécuté lors de l'import du paquet.

```
In [110]: %pycat exos/sous_paquet/__init__.py
```

Dans ce cas, on peut importer directement `module_a` et `module_b` :

```
In [111]: from exos.sous_paquet import *
          module_b.fonction()
```

```
Je suis dans le module exos.sous_paquet.module_b
Je suis dans fonction() du module exos.sous_paquet.module_b
```

3.9.2 Imports relatifs

Depuis le module

`exos/sous_paquet2/module_c.py`

on peut importer le module

`exos/sous_paquet/module_b.py`

en utilisant la syntaxe :

```
from .. import sous_paquet
from ..sous_paquet import module_b
```

```
In [112]: %pycat exos/sous_paquet2/module_c.py
```

On importe `module_c` et on appelle ses attributs :

```
In [113]: from exos.sous_paquet2 import module_c
          module_c.fonction()
          module_c.module_b.fonction()
```

```
Je suis dans le module exos.sous_paquet2.module_c
Je suis dans fonction() du module exos.sous_paquet2.module_c
Je suis dans fonction() du module exos.sous_paquet.module_b
```

Pour plus d'informations sur les modules et paquets, voir ce tutoriel.

3.9.3 Exercice

1. dans le répertoire exos/sous_paquet2/ copiez la définition de la fonction `boule()` (cf. Section ??) dans un fichier nommé `deco.py`
2. dans le répertoire exos/sous_paquet/ éditez un fichier nommé `noel.py` contenant :

— l'import de la fonction `boule()` depuis `exos/sous_paquet2/deco.py`
— la définition de la fonction `boule_or()` (cf. corrigé de l'exercice)

```
def boule_or(*args, **kwargs):
    # seule instruction qui fait une hypothèse
    # sur la signature de la fonction boule() :
    kwargs['couleur'] = "or"
    return boule(*args, **kwargs)
```

3. Décommentez la cellule ci-dessous, et exécutez-là pour vérifier que la fonction `boule_or()` est bien importée.

```
In [114]: # from exos.sous_paquet.noel import boule_or
          # boule_or(1, 2)

In [115]: # Solution : décommentez les lignes suivantes pour positionner le corrigé

          #!cp exos/sous_paquet/deco.py exos/sous_paquet2/
          #!cp exos/sous_paquet2/noel.py exos/sous_paquet/

          from exos.sous_paquet.noel import boule_or
          boule_or(1, 2)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ModuleNotFoundError                       Traceback (most recent call last)
Cell In[115], line 6
      1 # Solution : décommentez les lignes suivantes pour positionner le corrigé
      2
      3 #!cp exos/sous_paquet/deco.py exos/sous_paquet2/
      4 #!cp exos/sous_paquet2/noel.py exos/sous_paquet/
----> 6 from exos.sous_paquet.noel import boule_or
      7 boule_or(1, 2)

ModuleNotFoundError: No module named 'exos.sous_paquet.noel'
```

3.9.4 Quelques modules de la stdlib

La bibliothèque standard de Python est incluse dans toute distribution de Python. Elle contient en particulier une panoplie de modules à la disposition du développeur.

string

- find()
- count()
- split()
- join()
- strip()
- upper()
- replace()

math

- log()
- sqrt()
- cos()
- pi
- e

os

- listdir()
- getcwd()
- getenv()
- chdir()

- `environ()`
- `os.path : exists(), getsize(), isdir(), join()`

sys

- `argv`
- `exit()`
- `path`

Mais bien plus sur la doc officielle de la stdlib !

3.10 Bonnes pratiques

3.10.1 Commentez votre code

- pour le rendre plus lisible
- pour préciser l'utilité des fonctions, méthodes, classes, modules, etc...
- pour expliquer les parties complexes

3.10.2 Documentez en utilisant les *docstrings*

- Juste après la signature de la fonction, on utilise une chaîne de caractère appelée *docstring* délimitée par `"""  """`
- la *docstring* permet de documenter la fonction au plus près de sa définition
- cette *docstring* est affichée par `help(fonction)`
- la *docstring* est utilisée par les outils de documentation automatique comme Sphinx.

```
In [116]: def nrien(n):
              """Retourne n fois 'rien'"""
              return 'rien' * n

          help(nrien)
          # ou dans ipython:
          nrien?
```

```
Help on function nrien in module __main__:

nrien(n)
    Retourne n fois 'rien'
```

Plus d'information sur les Docstrings dans la documentation officielle et l'extension Napoleon pour Sphinx.

3.10.3 Utilisez les annotations de type

Dans la version 3.5, Python a introduit le mécanisme d'annotation de type :

```
In [117]: def nrien(n: int) -> str:
              """Retourne n fois 'rien'"""
              return 'rien' * n

          nrien(3)
```

```
Out[117]: 'rienrienrien'
```

Ces annotations ne modifient pas l'exécution du code, mais elles présentent des avantages :

— elles indiquent au lecteur le type des arguments et de valeurs de retour,
— elles sont utilisées par Sphinx et par les vérificateurs de code statique comme mypy.

Cela permet d'éviter de nombreux bugs !

3.10.4 Conventions d'écriture

Habituez-vous assez tôt aux conventions préconisées dans la communauté des utilisateurs de python. Cela vous aidera a relire plus facilement le code écrit par d'autres, et aidera les autres (et vous-même !) à relire votre propre code.

Ces conventions sont décrites dans le document PEP n°8 (Python Enhancement Proposal). Les outils comme pep8 ou ruff permettent de formater automatiquement le code source pour respecter ces règles.

Exercice :

1. Lisez le PEP8, et corrigez toutes les fautes commises dans ce notebook
2. Envoyez le résultat à votre enseignant

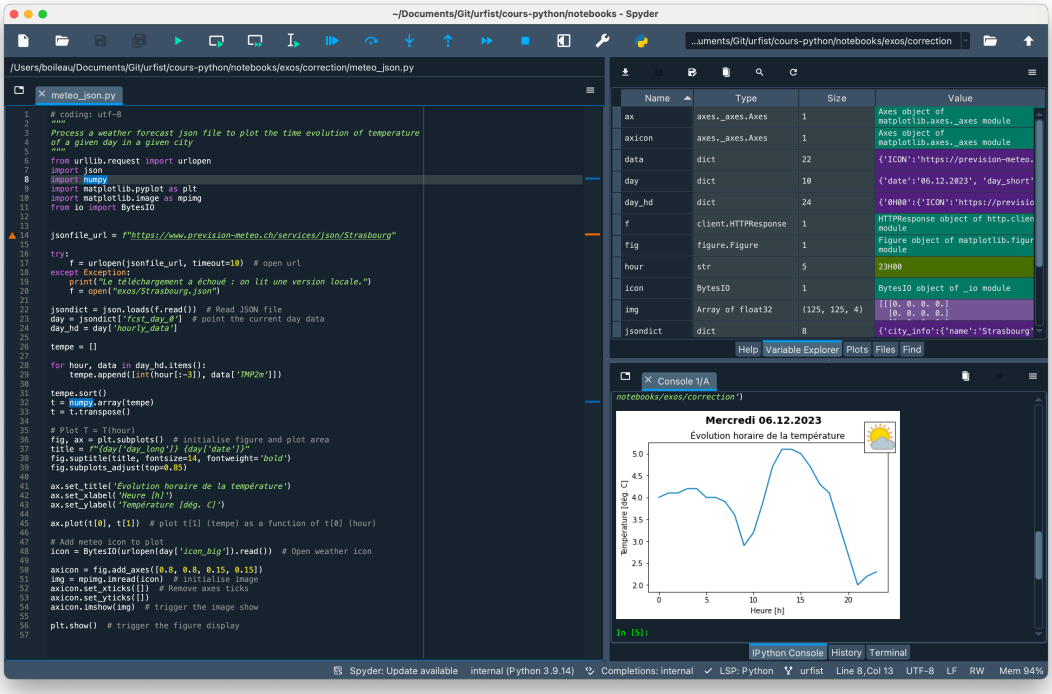
3.10.5 Organisez votre code source

Pour la lisibilité, la réutilisation et la maintenance, le principe à retenir est **d'évitez le copier-coller** de code :

— placez dans une même fonction les portions de code exécutées plusieurs fois
— placez dans un même module les variables, fonctions et classes partagées entre plusieurs parties ou programmes
— dans les projets importants, regrouper vos modules en packages

3.11 Utiliser les environnements de développement intégrés :

— spyder
— pycharm
— VSCode



3.11.1 Utilisez un gestionnaires de versions

— git : gestion distribuée, largement majoritaire aujourd'hui
— subversion : gestion centralisée, outil plus ancien

Faire des enregistrements *(commits)* fréquents et cohérents.

3.11.2 Héberger vos dépôts de sources

— github : des millions d'utilisateurs et de dépôts
— gitlab : un concurrent moins visibles mais aux fonctionnalités très intéressantes

3.11.3 Vérificateurs de code source

— autopep8, ruff ou black : pour normaliser la mise en page
— pylint ou ruff : pour vérifier que la syntaxe est correcte
— mypy : pour la vérification de type

Ces modules sont généralement disponibles dans les IDE avancées.

3.11.4 Tests en Python

En programmation, on utilise des tests de non régression pour vérifier que les nouveaux développements et les corrections de bugs n'entraînent pas de pertes de fonctionalités et de nouveaux bugs. On distingue généralement : - les tests unitaires (comportement de fonctions prises séparément) - les tests d'intégration (interaction entre plusieurs parties de programme) - les tests du système complet

Python dispose de nombreux modules dédiés aux deux premières catégories. Quelques exemples :

— `unittest` : fait partie de la bibliothèque standard
— `doctest` : le test est basé sur des sorties de sessions interactives stockées généralement dans la *docstring* de la fonction testée (alourdit le code…)

— `nose` : une extension de `unittest`
— `pytest` : syntaxe simple et nombreuses fonctionnalités

Une synthèse des outils existants sur cette page.

3.11.5 Environnements virtuels

Les environnements virtuels sont très utiles pour le développement car ils permettent d'isoler les installations et les exécutions.

— virtualenv
— conda environments

3.12 Philosophie du langage : le zen de Python

PEP 20

```
In [118]: import this
```

```
The Zen of Python, by Tim Peters

Beautiful is better than ugly.
Explicit is better than implicit.
Simple is better than complex.
Complex is better than complicated.
Flat is better than nested.
Sparse is better than dense.
Readability counts.
Special cases aren't special enough to break the rules.
Although practicality beats purity.
Errors should never pass silently.
Unless explicitly silenced.
In the face of ambiguity, refuse the temptation to guess.
There should be one-- and preferably only one --obvious way to do it.
Although that way may not be obvious at first unless you're Dutch.
Now is better than never.
Although never is often better than *right* now.
If the implementation is hard to explain, it's a bad idea.
If the implementation is easy to explain, it may be a good idea.
Namespaces are one honking great idea -- let's do more of those!
```

3.13 Python 3.x vs 2.x

C'est le futur, et incidemment aussi le présent voire même le passé…

— Quoi : une version qui casse la compatibilité ascendante
— Pourquoi : nettoyage de parties bancales du langage accumulées au fil du temps
— Python 3.0 est sorti en 2008
— Python 2.7 est sorti en 2010 : EOL, fin de vie, (mal-)heureusement longue à venir
— Un certain nombre de choses n'a pas encore été converti pour fonctionner avec
— Les distributions linux majeures proposent encore la 2.X par défaut, mais la 3 est disponible en parallèle
— Une partie, la moins disruptive, a quand même été portée vers 2.6 et 2.7 pour aider à la transition
— Les tutoriels, et autres documentations disponibles sur internet ne sont pas forcément migrées
— Pour un nouveau projet, recherchez un peu avant de vous lancer, pour vérifier les besoins en librairies externes
— Les implémentations tierces d'interpréteurs python peuvent avoir des degrés variables de compatibilité avec les versions 3.x
— Les modules comportant des extentions en C sont plus compliqués à porter.

3.13.1 Différences notables entre Python 2 et Python 3

— Division entière
— `print()`
— variable à durée de vie plus stricte (boucles, etc…)
— toutes les classes sont du nouveau type
— Les chaînes de caractères sont en UTF-8 par défaut & encoding(s) & byte() interface
— stdlib changée
— `range()` vs `xrange()`
— outils `2to3.py, 3to2, python-modernize, futurize`
— `pylint --py3k`
— module de compatibilité : `six`

Plus d'informations sur le wiki officiel.

3.14 Exercice de synthèse : décodage de l'ARN

3.14.1 Enoncé

On souhaite traduire une séquence d'ARN stockée dans le fichier `exos/arn.txt` en une séquence d'acides aminés. Pour ce faire, on dispose du code génétique (simplifié) stocké dans `exos/code_genetique.txt` (tableau tiré de wikipedia).

Le fichier `code_genetique.txt` contient pour chaque ligne :

```
Nom de l'acide aminé; lettre unique; nom abrégé; codon1, codon2, etc.
```

```
In [119]: %pycat exos/code_genetique.txt
```

3.14.2 Consignes

1. Ecrire le code qui :
   — ouvre le fichier code génétique
   — lit son contenu pour générer le dictionnaire suivant :

```
code = {letter: {name: ...,
                 abrv: ...,
                 codons: [..., ..., ]}}
```

```
In [120]: # votre code ici
```

```
In [121]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
          #%load exos/snippets/arn_1.py
```

2. Construire le dictionnaire inverse `icode = {codon: letter}` qui traduit un codon en acide aminé représenté par sa lettre symbole.

```
In [122]: # votre code ici
```

```
In [123]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
          #%load exos/snippets/arn_2.py
```

3. Ecrire la fonction `decode()` qui admet comme argument la chaîne de caractères représentant une séquence d'ARN et retourne la séquence d'acides aminés (appelée peptide) correspondante sous forme de chaîne de caractères. En fonction de l'argument optionnel `form`, cette fonction retournera :
   - soit une séquence de symboles (lettres)
   - soit des abréviations d'acides aminés (séparées par des `-`).

```
In [124]: # votre code ici
```

```
In [125]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
          #%load exos/snippets/arn_3.py
```

4. Appliquer la fonction `decode()` à la chaîne de caractères représentant l'ARN contenue dans `exos/arn.txt`.

```
In [126]: # votre code ici
```

```
In [127]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le ccorrigé :
          #%load exos/snippets/arn_4.py
```

3.14.3 Solution complète

```
In [128]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le ccorrigé :
          #%load exos/snippets/arn.py
```

3.15 Exercices complémentaires

3.15.1 Chaines de caractères

Ecrivez les fonctions suivantes, sans utiliser `upper()` ni `lower()` :

- `majuscule('azERtyUI')` → `'AZERTYUI'`
- `minuscule('azERtyUI')` → `'azertyui'`
- `inverse_casse('azERtyUI')` → `'AZerTYui'`
- `nom_propre('azERtyUI')` → `'Azertyui'`

Indice : cet exercice s'apparente à de la "traduction"...

```
In [129]: def majuscule(chaine):
              # Votre code ici
              pass

          def minuscule(chaine):
              # Votre code ici
              pass

          def inverse_casse(chaine):
```

```
        # Votre code ici
        pass

    def nom_propre(chaine):
        # Votre code ici
        pass

    assert majuscule('azERtyUI') == 'AZERTYUI'
    assert minuscule('azERtyUI') == 'azertyui'
    assert inverse_casse('azERtyUI') == 'AZerTYui'
    assert nom_propre('azERtyUI') == 'Azertyui'
```

```
---------------------------------------------------------------------------
AssertionError                            Traceback (most recent call last)
Cell In[129], line 17
     13 def nom_propre(chaine):
     14     # Votre code ici
     15     pass
---> 17 assert majuscule('azERtyUI') == 'AZERTYUI'
     18 assert minuscule('azERtyUI') == 'azertyui'
     19 assert inverse_casse('azERtyUI') == 'AZerTYui'

AssertionError:
```

```
In [130]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le ccorrigé :
          #%load exos/snippets/casse.py
```

3.15.2 Récursion

Les fonctions dites récursives sont des fonctions qui font appel à elles-même, en résolvant une partie plus petite du problème à chaque appel, jusqu'à avoir un cas trivial à résoudre.

Par exemple, pour calculer *la somme de tous les nombres de 0 jusqu'à x*, on peut utiliser une fonction récursive. Par exemple, pour $x = 10$, on a :

- $\sum_{n=0}^{10} n = 10 + \sum_{n=0}^{9} n$
- $\sum_{n=0}^{9} n = 9 + \sum_{n=0}^{8} n$
- etc.

```
In [131]: def sum_to(x):
              if x == 0:
                  return 0
              return x + sum_to(x - 1)
```

```
In [132]: print(sum_to(9))
```

```
45
```

La fonction mathématique factorielle est similaire, mais calcule *le produit de tous les nombres de 1 jusqu'à x.*

```
In [133]: def fact(x):
              if x == 1:
                  return 1
              return x * fact(x - 1)
```

```
In [134]: print(fact(5), fact(9))
```

```
120 362880
```

La fonction mathématique qui calcule la suite des nombres de Fibonacci, peut être décrite de la façon suivante :

- `fibo(0) = 0`
- `fibo(1) = 1`

Et pour toutes les autres valeurs :

- `fibo(x) = fibo(x - 1) + fibo(x - 2)`

Exercice : écrivez une fonction récursive `fibo(x)` qui renvoie le x-ième nombre de la suite de Fibonnaci.

```
In [135]: def fibo(x):
              # Votre code ici
              pass
```

```
In [136]: print(fibo(9))
```

```
None
```

```
In [137]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le ccorrigé :
          #%load exos/snippets/fibo.py
```

Chapitre 4

Une introduction à Numpy

— Tableaux Numpy
— Création de tableaux
— Opérations basiques
— Indexation et slicing
— Algèbre linéaire
— Méthodes sur les tableaux

4.1 Numpy

Le Python pur est peu performant pour le calcul. Les listes ne sont pas des objets efficaces pour représenter les tableaux numériques de grande taille. Numpy a été créé à l'initiative de développeurs qui souhaitaient combiner la souplesse du langage python et des outils de calcul algébrique performants.

Numpy se base sur :

— le `ndarray` : tableau multidimensionnel
— des objets dérivés comme les *masked arrays* et les matrices
— les `ufuncs` : opérations mathématiques optimisées pour les tableaux
— des méthodes pour réaliser des opération rapides sur les tableaux :
  — manipulation des *shapes*
  — tri
  — entrées/sorties
  — FFT

— algébre linéaire
— statistiques
— calcul aléatoire
— et bien plus !

Numpy permet de calculer *à la Matlab* en Python. Il est un élément de base de l'écosystème SciPy

4.2 Démarrer avec Numpy

```
In [1]: import numpy as np
        print(np.__version__)
```

```
1.26.2
```

Utilisez l'auto-complétion pour lister les objets numpy :

```
In [2]: #np.nd<TAB>
```

La rubrique d'aide est également précieuse

```
In [3]: ?np.ndarray
```

4.3 Tableaux Numpy

4.3.1 Une question de performance

— Les listes Python sont trop lentes pour le calcul et utilisent beaucoup de mémoire
— Représenter des tableaux multidimensionnels avec des listes de listes devient vite brouillon à programmer

```
In [4]: from random import random
        from operator import truediv
```

```
In [5]: L1 = [random() for i in range(100000)]
        L2 = [random() for i in range(100000)]
        %timeit s = sum(map(truediv, L1, L2))
```

```
3.33 ms ± 66.1 µs per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 100 loops each)
```

```
In [6]: a1 = np.array(L1)
        a2 = np.array(L2)
        %timeit s = np.sum(a1/a2)
```

```
124 µs ± 485 ns per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10,000 loops each)
```

4.3.2 La différence avec les listes

Les différences entre tableaux Numpy et listes Python : - un `ndarray` a une taille fixée à la création - un `ndarray` est composé d'éléments du même type - les opérations sur les tableaux sont réalisées par des routines C pré-compilées et optimisées (éventuellement parallèles)

```
In [7]: a = np.array([0, 1, 2, 3])  # list
        b = np.array((4, 5, 6, 7))  # tuple
        c = np.matrix('8 9 0 1')    # string (syntaxe matlab)
```

```
In [8]: print(a, b, c)
```

```
[0 1 2 3] [4 5 6 7] [[8 9 0 1]]
```

4.3.3 Propriétés

```
In [9]: a = np.array([1, 2, 3, 4, 5])  # On crée un tableau

In [10]: type(a)  # On vérifie son type

Out[10]: numpy.ndarray

In [11]: a.dtype  # On affiche le type de ses éléments

Out[11]: dtype('int64')

In [12]: a.itemsize  # On affiche la taille mémoire (en octets) de chaque élément

Out[12]: 8

In [13]: a.shape  # On retourne un tuple indiquant la longueur de chaque dimension

Out[13]: (5,)

In [14]: a.size  #  On retourne le nombre total d'éléments

Out[14]: 5

In [15]: a.ndim   # On retourne le nombre de dimensions

Out[15]: 1

In [16]: a.nbytes  # On retourne l'occupation mémoire

Out[16]: 40
```

— Toujours utiliser `shape` ou `size` pour les tableaux numpy plutôt que `len`
— `len` est réservé aux tableaux 1D

4.4 Création de tableaux Numpy

4.4.1 Avec des valeur constantes

```
In [17]: x = np.zeros((5, 3))  # On ne précise pas le type : on crée des flottants
         print(x)
         print(x.dtype)
```

```
[[0. 0. 0.]
 [0. 0. 0.]
 [0. 0. 0.]
 [0. 0. 0.]
 [0. 0. 0.]]
float64
```

```
In [18]: x = np.zeros((5, 3), dtype=int)  # On explicite le type
         print(x)
         print(x.dtype)
```

```
[[0 0 0]
 [0 0 0]
 [0 0 0]
 [0 0 0]
 [0 0 0]]
int64
```

On dispose d'une panoplie de fonctions pour allouer des tableaux avec des valeurs constantes ou non initialisées (`empty`) :

`empty, empty_like, ones, ones_like, zeros, zeros_like, full, full_like`

4.4.2 Création à partir d'une séquence

arange

C'est l'équivalent de `range` pour les listes.

```
In [19]: np.arange(5)  # entiers de 0 à 4
```

```
Out[19]: array([0, 1, 2, 3, 4])
```

```
In [20]: np.arange(5, dtype=np.double)  # flottants de 0. à 4.
```

```
Out[20]: array([0., 1., 2., 3., 4.])
```

```
In [21]: np.arange(2, 7)  # entiers de 2 à 6.
```

```
Out[21]: array([2, 3, 4, 5, 6])
```

```
In [22]: np.arange(2, 7, 0.5)  # flottants avec incrément de 0.5.
```

```
Out[22]: array([2. , 2.5, 3. , 3.5, 4. , 4.5, 5. , 5.5, 6. , 6.5])
```

linspace et logspace

```
In [23]: # 5 éléments régulièrement espacés entre 1 et 4, 1 et 4 inclus
         np.linspace(1, 4, 5)
```

```
Out[23]: array([1.  , 1.75, 2.5 , 3.25, 4.  ])
```

```
In [24]: # 5 éléments régulièrement espacés selon une progression géométrique entre 10^1 et 10^4
         np.logspace(1, 4, 5)
```

```
Out[24]: array([   10.        ,    56.23413252,   316.22776602,  1778.27941004,
                10000.        ])
```

Consulter l'aide contextuelle pour plus de fonctionnalités

```
In [25]: ?np.logspace
```

4.4.3 Exercice : créer les tableaux suivants

```
[100 101 102 103 104 105 106 107 108 109]
```

Astuce : `np.arange()`

```
In [26]: # Votre code ici
```

```
In [27]: # Solution
         np.arange(100, 110)
```

```
Out[27]: array([100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109])
```

```
[-2. -1.8 -1.6 -1.4 -1.2 -1. -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.
0.2 0.4 0.6 0.8 1. 1.2 1.4 1.6 1.8]
```

Astuce : `np.linspace()`

```
In [28]: # Votre code ici
```

```
In [29]: # Solution
         np.linspace(-2., 2., num=20, endpoint=False)
```

```
Out[29]: array([-2. , -1.8, -1.6, -1.4, -1.2, -1. , -0.8, -0.6, -0.4, -0.2,  0. ,
                0.2,  0.4,  0.6,  0.8,  1. ,  1.2,  1.4,  1.6,  1.8])
```

```
[ 0.001 0.00129155 0.0016681 0.00215443 0.00278256
  0.00359381 0.00464159 0.00599484 0.00774264 0.01]
```

Astuce : `np.logspace()`

```
In [30]: # Votre code ici
```

```
In [31]: # Solution
         np.logspace(-3, -2, num=10)
```

```
Out[31]: array([0.001     , 0.00129155, 0.0016681 , 0.00215443, 0.00278256,
                0.00359381, 0.00464159, 0.00599484, 0.00774264, 0.01      ])
```

```
[[ 0. 0. -1. -1. -1.]
 [ 0. 0.  0. -1. -1.]
 [ 0. 0.  0.  0. -1.]
 [ 0. 0.  0.  0.  0.]
 [ 0. 0.  0.  0.  0.]
 [ 0. 0.  0.  0.  0.]
 [ 0. 0.  0.  0.  0.]]
```

Astuce : `np.tri()`, `np.ones()`

```
In [32]: # Votre code ici
```

```
In [33]: # Solution
         np.tri(7, 5, k=1) - np.ones((7, 5))
```

```
Out[33]: array([[ 0.,  0., -1., -1., -1.],
                [ 0.,  0.,  0., -1., -1.],
                [ 0.,  0.,  0.,  0., -1.],
                [ 0.,  0.,  0.,  0.,  0.],
                [ 0.,  0.,  0.,  0.,  0.],
                [ 0.,  0.,  0.,  0.,  0.],
                [ 0.,  0.,  0.,  0.,  0.]])
```

4.4.4 Création de tableaux à partir de fichiers

Afin d'illustrer la création d'un tableau numpy à partir de données lues dans un fichier texte, on commence par sauvegarder un tableau dans un fichier.

```
In [34]: x = np.arange(0.0, 5.0, 1.0)
         y = x*10.
         z = x*100.
```

```
In [35]: np.savetxt('test.out', (x, y, z))
         %pycat test.out
```

```
In [36]: np.savetxt('test.out', (x, y, z), fmt='%1.4e')   # Notation exponentielle
         %pycat test.out
```

```
In [37]: np.loadtxt('test.out')
```

```
Out[37]: array([[  0.,   1.,   2.,   3.,   4.],
                [  0.,  10.,  20.,  30.,  40.],
                [  0., 100., 200., 300., 400.]])
```

`savetxt` et `loadtxt` ont leurs correspondants binaires :

— `save` : enregistrer un tableau dans un fichier binaire au format `.npy`
— `load` : créer un tableau numpy à partir d'un fichier binaire numpy

4.4.5 Format HDF5 avec H5py

Le format `.npy` n'est lisible que par Numpy. À l'inverse, le format HDF5 est partagé par un grand nombre d'applications. De plus, il permet de structurer des données binaires : - en les nommants - en ajoutant des métadonnées - en assurant une portabilité indépendante de la plateforme

voir le manuel utilisateur

H5py est une interface Python pour HDF5.
On écrit dans le fichier `test.h5`

```
In [38]: import h5py as h5

         with h5.File('test.h5', 'w') as f:
             f['x'] = x
             f['y'] = y
             f['z'] = z
```

On lit le fichier `test.h5` (qui pourrait provenir d'une autre application)

```
In [39]: with h5.File('test.h5', 'r') as f:
             for field in f.keys():
                 print(f"{field}: {f[field][()]}")
```

```
x: [0. 1. 2. 3. 4.]
y: [ 0. 10. 20. 30. 40.]
z: [  0. 100. 200. 300. 400.]
```

4.5 Opérations basiques sur les tableaux

Par défaut, Numpy réalise les opérations arithmétiques éléments par éléments

```
In [40]: a = np.array([0, 1, 2, 3])
         b = np.array((4, 5, 6, 7))

         print(a * b)  # Produit éléments par éléments : pas le produit matriciel !
         print(a + b)
```

```
[ 0  5 12 21]
[ 4  6  8 10]
```

```
In [41]: print(a**2)
```

```
[0 1 4 9]
```

```
In [42]: print(5 * a)
         print(5 + a)
```

```
[ 0  5 10 15]
[5 6 7 8]
```

```
In [43]: print(a < 2)
```

```
[ True  True False False]
```

```
In [44]: print(np.cos(a*np.pi))  # Utilisation de ufunc
```

```
[ 1. -1.  1. -1.]
```

De nombreuses ufunc dans la doc officielle.

4.6 Indexation et slicing

4.6.1 Indexation

Les règles différent légèrement des listes pour les tableaux multi-dimensionnels

```
In [45]: # Indexation d'un tableau numpy
         a = np.arange(9).reshape(3, 3)  # Notez l'effet de la méthode reshape()
         print(a)
         print(a[1, 2])
```

```
[[0 1 2]
 [3 4 5]
 [6 7 8]]
5
```

```
In [46]: # Indexation de la liste équivalente
         liste = a.tolist()
         print(liste)
         print(liste[1][2])
```

```
[[0, 1, 2], [3, 4, 5], [6, 7, 8]]
5
```

4.6.2 Slicing

Pour les tableaux unidimensionnels, les règles de slicing sont les mêmes que pour les séquences. Pour les tableaux multidimensionnels numpy, le slicing permet d'extraire des séquences dans n'importe quelle direction.

```
In [47]: print(a)
         print(a[2, :])  # Retourne la 3ème ligne
         print(a[:, 1])  # Retourne la deuxième colonne
```

```
[[0 1 2]
 [3 4 5]
 [6 7 8]]
[6 7 8]
[1 4 7]
```

Attention : contrairement aux listes, le slicing de tableaux ne renvoie pas une copie mais constitue une ***vue*** du tableau.

```
In [48]: b = a[:, 1]
         b[0] = -1
         print(a)
```

```
[[ 0 -1  2]
 [ 3  4  5]
 [ 6  7  8]]
```

`a` est aussi une vue du tableau `np.arange(9)` obtenue avec la méthode `reshape()` donc `a` et `b` sont deux vues différentes du même tableau :

```
In [49]: b.base is a.base  # b.base retourne le tableau dont b est la vue
```

```
Out[49]: True
```

Si on veut réaliser une copie d'un tableau, il faut utiliser la fonction `copy()`

```
In [50]: b = a[:, 1].copy()
```

ici `b` n'est pas une vue mais une copie donc `b.base` vaut `None` et `a` n'est pas modifié.

```
In [51]: print(b.base)
         b[0] = 200
         print(a)
```

```
None
[[ 0 -1  2]
 [ 3  4  5]
 [ 6  7  8]]
```

4.6.3 Exercice

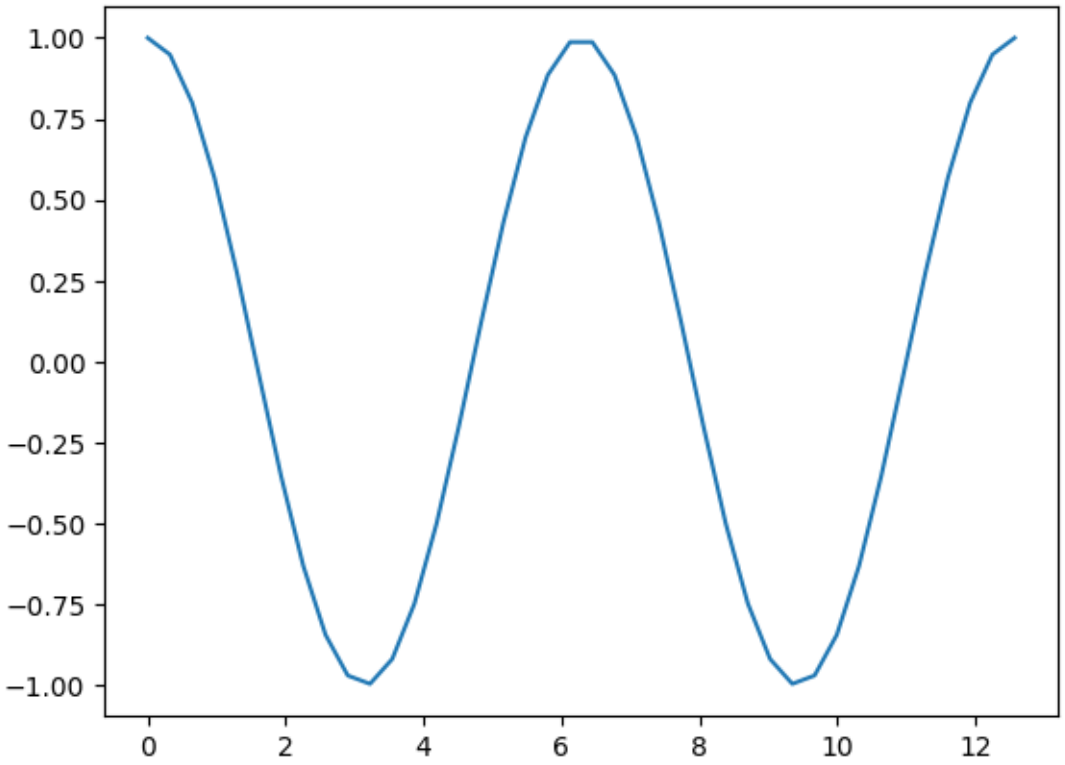
Approcher la dérivée de $f(x) = \sin(x)$ par la méthode des différences finies :

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

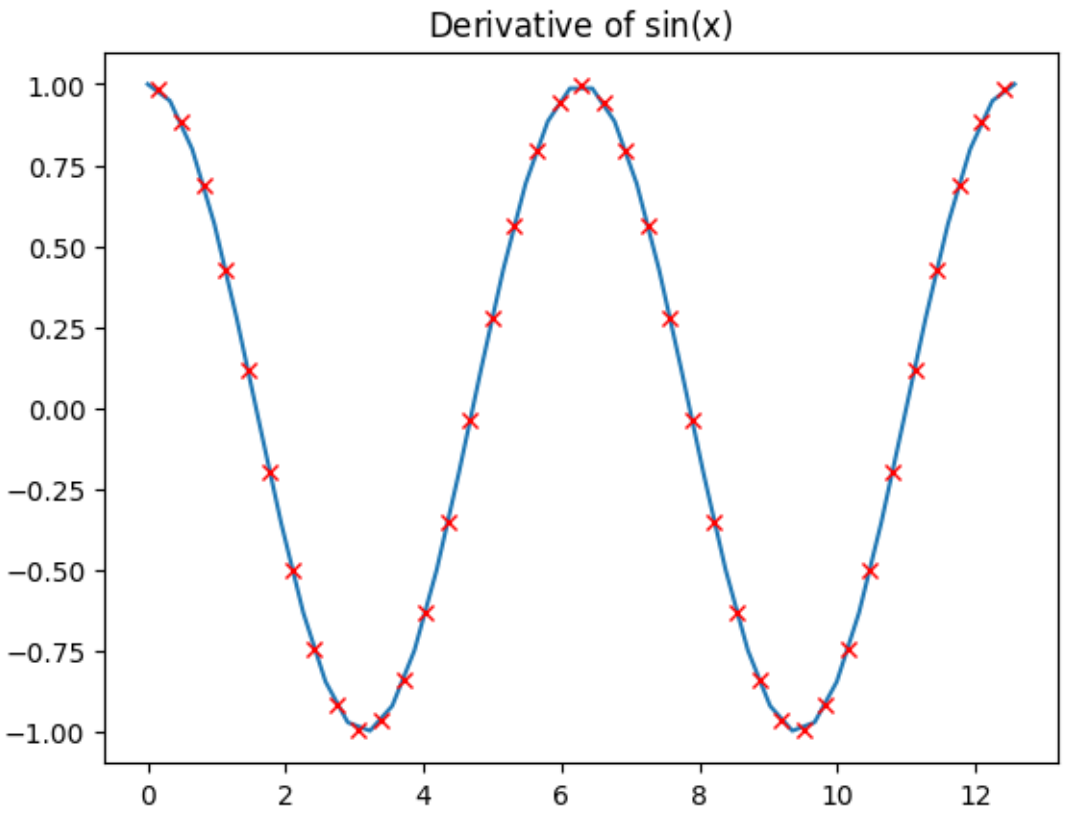
Les valeurs seront calculées au milieu de deux abscisses discrètes successives.

```
In [52]: # On crée un tableau de 40 points d'abscisse
         x, dx = np.linspace(0., 4.*np.pi, 40, retstep=True)
         y = np.sin(x)
```

```
In [53]: %matplotlib inline
         import matplotlib.pyplot as plt
         plt.plot(x, np.cos(x));  # la dérivée analytique de sin() est cos()
         # Votre code ici

         # Décommentez la dernière ligne pour tracer la dérivée numérique dy_dx
         # en fonction du milieu de 2 abscisses x_mil
         #plt.plot(x_mil, dy_dx, 'rx');
```



In [54]:
```
# Solution
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
plt.plot(x, np.cos(x))  # la dérivée analytique de sin() est cos()

x_mil = 0.5*(x[1:] + x[:-1])
dy = y[1:] - y[:-1]
dy_dx = dy/dx
plt.plot(x_mil, dy_dx, 'rx')  # x_mil est le milieu de deux abscisses
plt.title(r"$\rm{Derivative\ of}\ \sin(x)$");
```



4.7 Quelques opérations d'algèbre linéaire

```
In [55]: A = np.array([[1, 1],
                       [0, 1]])
         B = np.array([[2, 0],
                       [3, 4]])
         print(A*B)           # produit élément par élément
         print(A.dot(B))      # produit matriciel
         print(np.dot(A, B))  # une autre syntaxe de produit matriciel
         print(A@B)           # encore un autre produit matriciel
```

```
[[2 0]
 [0 4]]
[[5 4]
 [3 4]]
[[5 4]
 [3 4]]
[[5 4]
 [3 4]]
```

```
In [56]: a = np.array([[1.0, 2.0],
                       [3.0, 4.0]])
         print(a)
```

```
[[1. 2.]
 [3. 4.]]
```

```
In [57]: # Deux syntaxes équivalentes pour la transposition
         print(a.transpose())
         print(a.T)
```

```
[[1. 3.]
 [2. 4.]]
[[1. 3.]
 [2. 4.]]
```

```
In [58]: print(np.linalg.inv(a))  # inversion de matrice
```

```
[[-2.   1. ]
 [ 1.5 -0.5]]
```

```
In [59]: print(np.trace(a))  # trace
```

```
5.0
```

```
In [60]: print(np.eye(2))     # "eye" représente "I", la matrice identité
```

```
[[1. 0.]
 [0. 1.]]
```

```
In [61]: y = np.array([[5.], [7.]])  # Résoudre A*x = y
         x = np.linalg.solve(a, y)
         print(x)
         print(a@x == y)
```

```
[[-3.]
 [ 4.]]
[[ True]
 [ True]]
```

```
In [62]: j = np.array([[0.0, -1.0], [1.0, 0.0]])
         print(np.dot(j, j))     # produit matriciel
         print(np.linalg.eig(j))  # Extraction des valeurs propres
```

```
[[-1.  0.]
 [ 0. -1.]]
EigResult(eigenvalues=array([0.+1.j, 0.-1.j]), eigenvectors=array([[0.70710678+0.j        , 0.70710678-0
       [0.        -0.70710678j, 0.        +0.70710678j]]))
```

4.8 Les méthodes associées aux tableaux

Elles sont très nombreuses : impossible de toutes les lister dans le cadre de ce cours. Citons brièvement :

- `min`, `max`, `sum`
- `sort`, `argmin`, `argmax`
- statistiques basiques : `cov`, `mean`, `std`, `var`

À chercher dans la doc officielle.

4.9 Programmation avec Numpy

— Les opérations sur les tableaux sont rapides, les boucles python sont lentes => **Éviter les boucles !**
— C'est une gymnastique qui nécessite de l'entraînement
— Le résultat peut devenir difficile à lire et à débugguer, par exemple dans le cas de boucles contenant de multiples conditions
— D'autres options sont alors envisageables (Cython, Pythran, Numba, etc.)

4.10 Références

— NumPy reference
— Numpy by Konrad Hinsen
— Cours de Pierre Navaro
— Scipy Lecture notes

Chapitre 5

Microprojet

— Utiliser les modules de la bibliothèque standard pour récupérer des données via un service web.
— Manipuler les dictionnaires et les chaînes de caractères
— Utiliser la bibliothèque de tracés graphiques matplotlib
— Utiliser un IDE (Spyder)
— Exécuter un fichier script en gérant les arguments de la ligne de commande

5.1 Exercice

Exploiter les données du site `https://www.prevision-meteo.ch` pour tracer l'évolution horaire de la température à Strasbourg aujourd'hui.

5.1.1 Ouverture du fichier de prévisions

Le site `https://www.prevision-meteo.ch` fournit des prévisions sous forme de fichier au format json. On veut récupérer les données relatives à Strasbourg avec la méthode `urlopen()` du module `urllib.request`.

```
In [1]: %config InlineBackend.figure_format = 'retina'
        %matplotlib inline
        from urllib.request import urlopen

        jsonfile_url = "https://www.prevision-meteo.ch/services/json/Strasbourg"
        try:
            f = urlopen(jsonfile_url, timeout=10)  # open url
        except Exception as e:
            print(f"Erreur: {e}")
            print("Le téléchargement a échoué : on lit une version locale.")
            f = open("exos/Strasbourg.json")
```

5.1.2 Chargement du fichier json ouvert

La méthode `json.loads()` permet de charger un fichier json comme un dictionnaire python :

```
In [2]: import json
        jsondict = json.loads(f.read())  # Read JSON file
```

5.1.3 Exploration des données

On commence naïvement par afficher le contenu du fichier :

```
In [3]: print(type(jsondict))
        print(jsondict)
```

```
<class 'dict'>
{'city_info': {'name': 'Strasbourg', 'country': 'France', 'latitude': '48.5844421', 'longitude': '7.755
```

On essaie de faire mieux en affichant uniquement les clés du dictionnaire :

```
In [4]: for k in jsondict:
            print(repr(k))
```

```
'city_info'
'forecast_info'
'current_condition'
'fcst_day_0'
'fcst_day_1'
'fcst_day_2'
'fcst_day_3'
'fcst_day_4'
```

On est intéressé par le temps d'aujourd'hui :

```
In [5]: day = jsondict['fcst_day_0']
        print(day)
```

```
{'date': '08.12.2023', 'day_short': 'Ven.', 'day_long': 'Vendredi', 'tmin': 1, 'tmax': 8, 'condition':
```

Là aussi, on cherche les clés :

```
In [6]: for k in day:
            print(repr(k))
```

```
'date'
'day_short'
'day_long'
'tmin'
'tmax'
'condition'
'condition_key'
'icon'
'icon_big'
'hourly_data'
```

Vérifions qu'il s'agit d'aujourd'hui :

```
In [7]: print(day['day_long'], day['date'])
```

```
Vendredi 08.12.2023
```

C'est bon ! Maintenant, une entrée particulière nous intéresse :

```
In [8]: day_hd = day['hourly_data']
        for k in day_hd:
            print(repr(k))
```

```
'0H00'
'1H00'
'2H00'
'3H00'
'4H00'
'5H00'
'6H00'
'7H00'
'8H00'
'9H00'
'10H00'
'11H00'
'12H00'
'13H00'
'14H00'
'15H00'
'16H00'
'17H00'
'18H00'
'19H00'
'20H00'
'21H00'
'22H00'
'23H00'
```

Regardons ce que contient une `hourly_data` :

```
In [9]: for k in day_hd['8H00']:
            print(repr(k))
```

```
'ICON'
'CONDITION'
'CONDITION_KEY'
'TMP2m'
'DPT2m'
'WNDCHILL2m'
'HUMIDEX'
'RH2m'
'PRMSL'
'APCPsfc'
'WNDSPD10m'
'WNDGUST10m'
'WNDDIR10m'
'WNDDIRCARD10'
'ISSNOW'
'HCDC'
'MCDC'
'LCDC'
'HGT0C'
'KINDEX'
'CAPE180_0'
'CIN180_0'
```

La clé qui nous intéresse est la chaîne `'TMP2m'` qui correspond à la température à 2m du sol.

```
In [10]: hour = '12H00'
         print(f"Aujourd'hui à {hour}, il fera : {day_hd[hour]['TMP2m']} deg. C.")
```

```
Aujourd'hui à 12H00, il fera : 6.5 deg. C.
```

Sauver ces lignes de commandes dans le fichier `today_stras.py` en allant de l'exécution 1 au compteur d'exécution courant indiqué dans la cellule de code ci-dessus `In [XX]`. Dans le cas présent :

```
In [11]: # Décommenter la ligne ci-dessous
         #%save today_stras.py 1-10
```

5.1.4 Tracé de la température

1. Ouvrir le fichier `today_stras.py` dans Spyder et nettoyer les `print` inutiles.
2. Exécutez le code dans Spyder et utilisez la fenêtre "Variable explorer" en haut à droite pour parcourir les données de votre dictionnaire.
3. Extraire la liste des couples `(hour, temperature)` où :
   - `hour` est un entier
   - `temperature` est un flottant
4. ordonner la liste selon les heures croissantes
5. convertir la liste en un *numpy array* `t` avec la méthode `numpy.array()`
6. Transposer `t` pour obtenir le tableau `[[array of hours], [array of temperatures]]`
7. réaliser un tracé matplotlib en suivant ce tutoriel ou en intégrant les lignes de code suivantes :

```
In [12]: import matplotlib.pyplot as plt  # To be placed at the top of python file

         # [Your previous code...]
```

```
# Plot T = T(hour)
# Décommentez les lignes ci-dessous
#
# fig = plt.figure()  # initialise figure
# title = f"{day_of_the_week} {date_of_today}"
# fig.suptitle(title, fontsize=14, fontweight='bold')
#
# ax = fig.add_subplot(111)  # initialise a plot area
# fig.subplots_adjust(top=0.85)
# ax.set_title('Day temperature')
# ax.set_xlabel('Time [h]')
# ax.set_ylabel('Temperature [deg. C]')
#
# ax.plot(t[0], t[1])  # plot t[1] (tempe) as a function of t[0] (hour)
```

Option : intégrer l'icone de la météo du jour en utilisant le module `matplotlib.image`.

Solution : exos/correction/meteo_json.py.

5.2 Exercice sur les fonctions

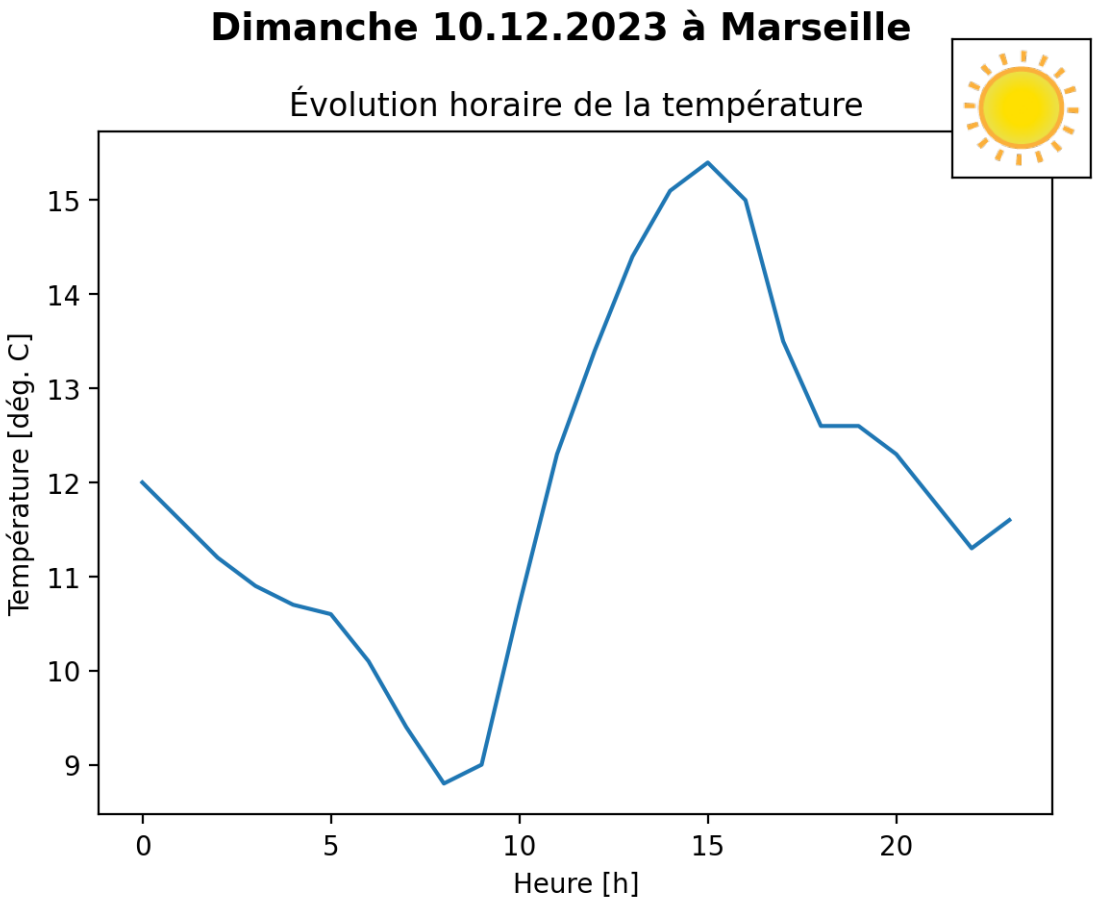
À partir de exos/correction/meteo_json.py, écrivez le programme `meteo_json_func.py` qui contient une fonction `plot_day_tempe()` admettant deux arguments :

— `day_key` : un entier représentant le jour visé (`0` : aujourd'hui, `1` : demain, `2` : après-demain…)
— `city_name` : une chaîne de caractère de la ville recherchée

```
In [13]: # Pour tester votre script dans cette cellule, décommenter les lignes suivantes
         # et redémarrer le noyau avant chaque modification:

         #from meteo_json_func import plot_day_tempe
         #plot_day_tempe(2, city_name='Marseille')
```

Solution dans exos/correction/meteo_json_func.py

```
In [14]: from exos.correction.meteo_json_func import plot_day_tempe
         plot_day_tempe(2, city_name='Marseille')
```



5.3 Exécution avec les widgets ipython

Jupyter ipywidgets permet de créer très facilement des menus interactifs pour faciliter l'exécution de code dans les notebooks.

Un exemple avec notre courbe de température :

```
In [15]: import exos.correction.meteo_json_func as meteo
         from ipywidgets import interact

         interact(meteo.plot_day_tempe,
                  day_key=list(range(5)),
                  city_name=["Marseille", "Paris", "Toulouse", "Strasbourg"]
                  );
```

```
interactive(children=(Dropdown(description='day_key', options=(0, 1, 2, 3, 4), value=0), Dropdown(descr
```

5.4 Exécution en script

5.4.1 Utilisation de `if __name__ == '__main__':`

Dans un fichier python `test_module.py`, on souhaite généralement différencier : - le code exécuté lors de l'import du fichier **comme un module** depuis un autre programme python ou depuis un notebook Jupyter

avec :

```
import test_module
```

Dans ce cas, la variable interne `__name__` vaut le nom du module (ici `test_module`).

— le code éxécuté lorsque le fichier est appelé directement **comme un script** depuis le terminal système :

```
python test_module.py
```

Dans ce cas, la variable interne `__name__` vaut la chaîne de caractère `__main__`.
Prenons comme exemple la cellule suivante que l'on sauvegarde dans le fichier `test_module.py`.

```
In [16]: %%writefile test_module.py
         def main():
             print(f'je suis dans {__name__}')

         if __name__ == '__main__':
             print("Je suis appelé comme programme principal")
             main()
         else:
             # En mode module importé, on ne fait rien de plus
             pass
```

```
Writing test_module.py
```

Appelons le fichier `test_module.py` comme un script python directement depuis le système :

```
In [17]: %run test_module.py
```

```
Je suis appelé comme programme principal
je suis dans __main__
```

```
<Figure size 640x480 with 0 Axes>
```

La variable `__name__` vaut `__main__`.
Importons maintenant le fichier comme un module.

```
In [18]: import test_module
```

Le bloc qui appelle la fonction `main()` n'est pas exécuté. En revanche cette fonction est accessible à la demande :

```
In [19]: test_module.main()
```

```
je suis dans test_module
```

Cette fois-ci, la variable `__name__` vaut `test_module`, c'est-à-dire le nom du module importé.

Plus d'information sur `__name__` dans la doc officielle.

5.4.2 Gestion des arguments de la ligne de commande

Afin de positionner les paramètres d'un script à exécuter (noms de fichier, taille du problème, etc.), on a le choix entre :

- éditer le script là où les variables sont définies : si c'est envisageable pour des tests ou dans le contexte d'un notebook, ça ne l'est pas pour un programme destiné à être exécuté plusieur fois avec des paramètres variables
- positionner des variables d'environnement qui peuvent être lues avec la fonction `os.getenv()` : le risque est de dissocier la définition des paramètres de l'exécution du programme.
- lire un fichier d'entrée, par exemple avec `configparser`. C'est particulièrement utile lorsque les paramètres sont nombreux et variés et que l'on souhaite faciliter la reproductibilité des exécutions mais ça demande d'éditer le fichier d'entrée à chaque changement de paramètre.
- interpréter les arguments de la ligne de commande : c'est la façon la plus souple d'exécuter un script avec des paramètres variables.

Une façon très simple et très rapide créer une interface de ligne de commande (CLI en anglais) est d'utiliser la bibliothèque `fire` développée par Google.

C'est une biblithèque externe : commençons par l'installer avec pip.

```
In [20]: %pip install fire
```

```
Requirement already satisfied: fire in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (0.5.0)
Requirement already satisfied: six in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fire) (1.16.0)
Requirement already satisfied: termcolor in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (from fire)
Note: you may need to restart the kernel to use updated packages.
```

À titre d'exemple, le fichier `exos/correction/meteo_json_func.py` appelle `fire` dans son bloc final :

```
if __name__ == '__main__':
    import fire
    fire.Fire(plot_day_tempe)
```

`fire` utilise la signature et la docstring de la fonction `plot_day_tempe()` :

```
In [21]: from exos.correction.meteo_json_func import plot_day_tempe
         help(plot_day_tempe)
```

```
Help on function plot_day_tempe in module exos.correction.meteo_json_func:

plot_day_tempe(day_key=0, city_name='strasbourg')
    Plot the time evolution of predicted temperature
```

pour créer la CLI suivante :

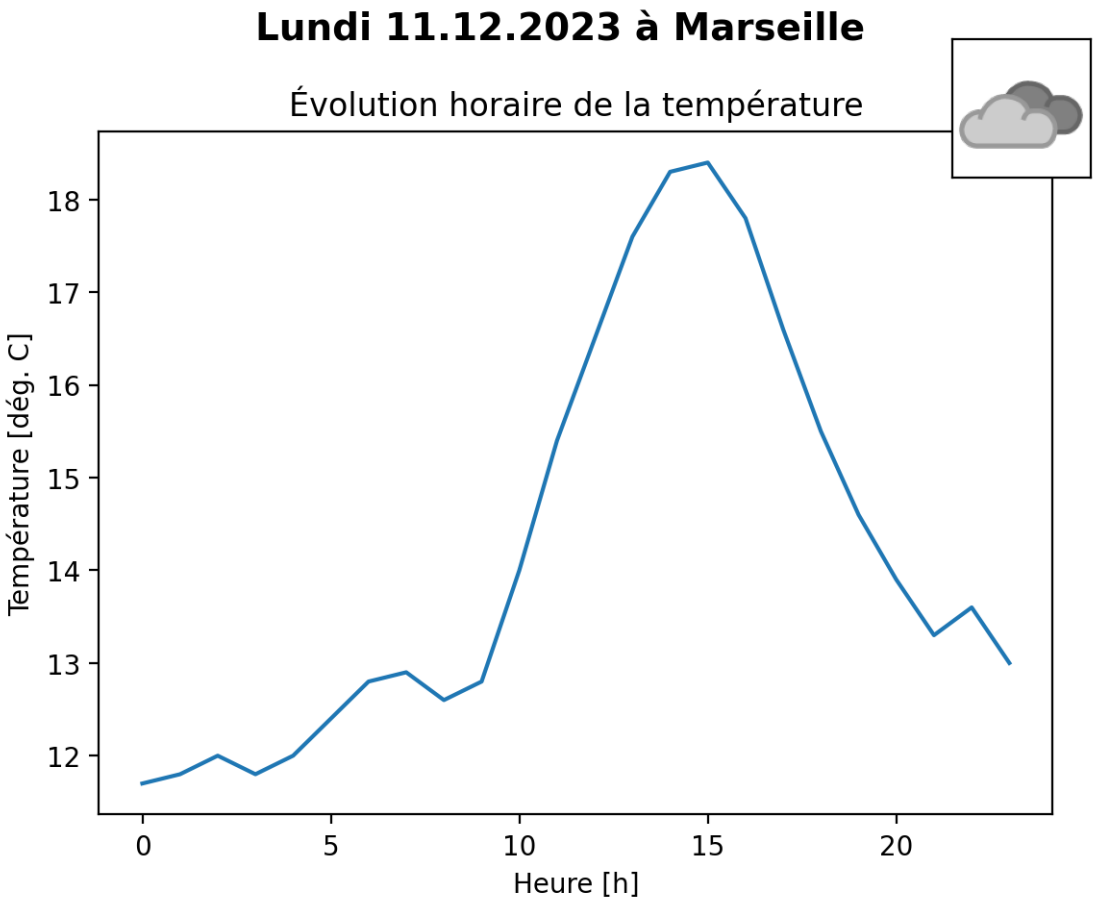
```
In [22]: %run exos/correction/meteo_json_func.py -h
```

```
INFO: Showing help with the command 'meteo_json_func.py -- --help'.

NAME
    meteo_json_func.py - Plot the time evolution of predicted temperature

SYNOPSIS
    meteo_json_func.py <flags>
```

```
DESCRIPTION
    Plot the time evolution of predicted temperature

FLAGS
    -d, --day_key=DAY_KEY
        Default: 0
    -c, --city_name=CITY_NAME
        Default: 'strasbourg'
```

De sorte qu'on peut tracer la température à Marseille dans 3 jours en tapant :

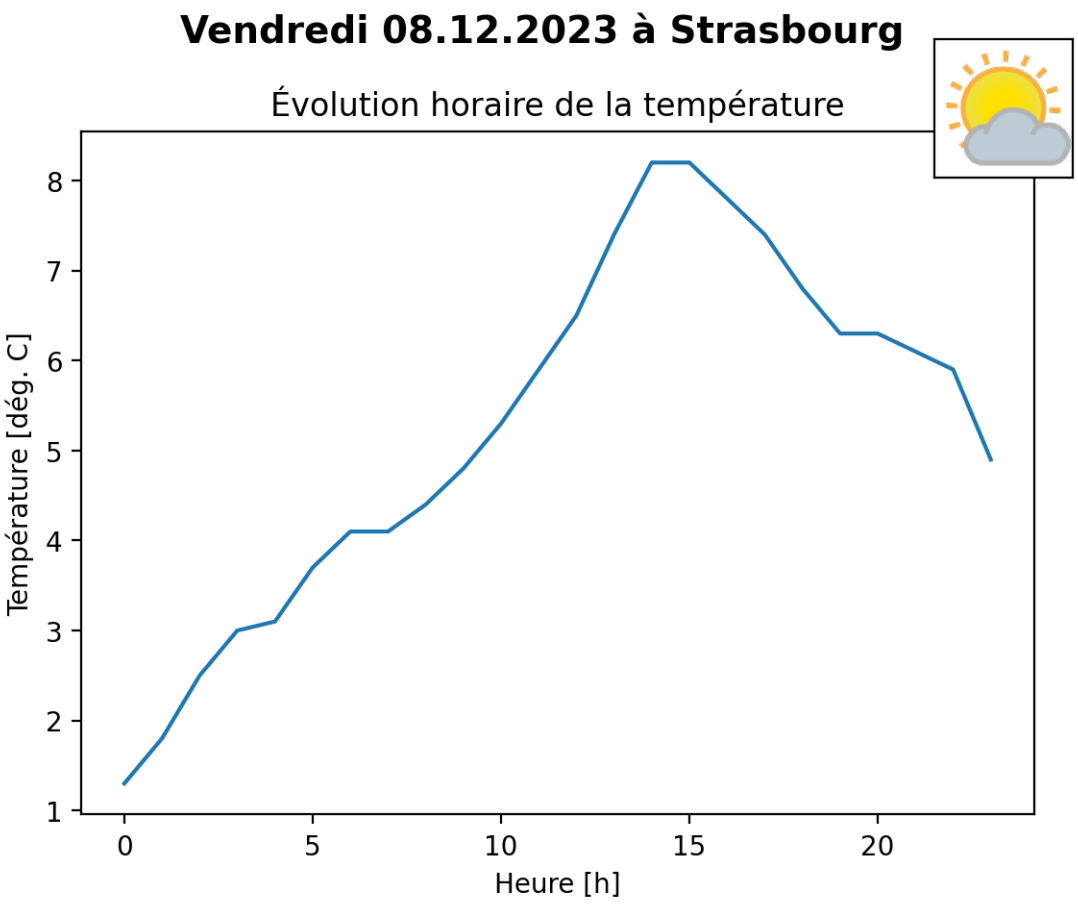
```
In [23]: %run exos/correction/meteo_json_func.py --day_key=3 --city_name=Marseille
```




```
<Figure size 640x480 with 0 Axes>
```

Ou avec les valeurs par défaut :

```
In [24]: %run exos/correction/meteo_json_func.py
```




```
<Figure size 640x480 with 0 Axes>
```

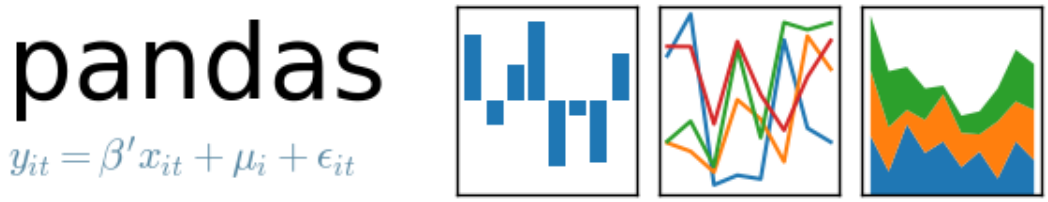
Si on se limite ici à la présentation de `fire`, il faut mentionner l'existence du module `argparse` qui fait partie de la bibliothèque standard. Moins immédiate mais aussi plus souple, l'utilisation d'`argparse` est décrite dans ce tutoriel.

5.5 Utilisation avancée de Spyder

— explorer le système de debugging
— explorer le profiler

Chapitre 6

Une introduction à Pandas



— les *Series*
— les *Dataframes*
— Des exemples de traitement de données publiques

6.1 Un outil pour l'analyse de données

— première version en 2011
— basé sur NumPy
— largement inspiré par la toolbox R pour la manipulation de données
— structures de données auto-descriptives
— Fonctions de chargement et écriture vers les formats de fichiers courants
— Fonctions de tracé
— Outils statistiques basiques

6.2 Les *Pandas series*

Documentation officielle

— Une *series* Pandas :

  — un tableau 1D de données (éventuellement hétérogènes)
  — une séquence d'étiquettes appelée *index* de même longueur que le tableau 1D

— l'index peut être du contenu numérique, des chaînes de caractères, ou des dates-heures.
— si l'index est une valeur temporelle, alors il s'agit d'une *time series*
— l'index par défaut est `range(len(data))`

6.2.1 Illustration

```
In [1]: import pandas as pd
        import numpy as np
        pd.set_option("display.max_rows", 8)  # Pour limiter le nombre de lignes affichées

In [2]: print(pd.Series([10, 8, 7, 6, 5]))
        print(pd.Series([4, 3, 2, 1, 0.]))
```

```
0    10
1     8
2     7
3     6
4     5
dtype: int64
0    4.0
1    3.0
2    2.0
3    1.0
4    0.0
dtype: float64
```

6.2.2 Une série temporelle

Par exemple, les jours qui nous séparent du nouvel an.

```
In [3]: today = pd.Timestamp.today()
        next_year = today.year + 1
        time_period = pd.period_range(today, f'01/01/{next_year}', freq="D")
        pd.Series(index=time_period, data=range(len(time_period) - 1, -1, -1))
```

```
Out[3]: 2023-12-08    24
        2023-12-09    23
        2023-12-10    22
        2023-12-11    21
                      ..
        2023-12-29     3
        2023-12-30     2
        2023-12-31     1
        2024-01-01     0
        Freq: D, Length: 25, dtype: int64
```

6.2.3 Un exemple de traitement

On exploite un texte tiré de ce site non officiel : http ://www.sacred-texts.com/neu/mphg/mphg.htm

```
In [4]: with open("exos/nee.txt") as f:
            nee = f.read()

        print(nee)
```

```
HEAD KNIGHT:  Nee!
  Nee!
  Nee!
  Nee!
ARTHUR:  Who are you?
```

```
HEAD KNIGHT:  We are the Knights Who Say… Nee!
ARTHUR:  No!  Not the Knights Who Say Nee!
HEAD KNIGHT:  The same!
BEDEMIR:  Who are they?
HEAD KNIGHT:  We are the keepers of the sacred words:  Nee, Pen, and
  Nee-wom!
RANDOM:  Nee-wom!
ARTHUR:  Those who hear them seldom live to tell the tale!
HEAD KNIGHT:  The Knights Who Say Nee demand a sacrifice!
ARTHUR:  Knights of Nee, we are but simple travellers who seek the
  enchanter who lives beyond these woods.
HEAD KNIGHT:  Nee!  Nee!  Nee!  Nee!
ARTHUR and PARTY:  Oh, ow!
HEAD KNIGHT:  We shall say 'nee' again to you if you do not appease us.
ARTHUR:  Well, what is it you want?
HEAD KNIGHT:  We want… a shrubbery!
  [dramatic chord]
ARTHUR:  A what?
HEAD KNIGHT:  Nee!  Nee!
ARTHUR and PARTY:  Oh, ow!
ARTHUR:  Please, please!  No more!  We shall find a shrubbery.
HEAD KNIGHT:  You must return here with a shrubbery or else you will
  never pass through this wood alive!
ARTHUR:  O Knights of Nee, you are just and fair, and we will return
  with a shrubbery.
HEAD KNIGHT:  One that looks nice.
ARTHUR:  Of course.
HEAD KNIGHT:  And not too expensive.
ARTHUR:  Yes.
HEAD KNIGHTS:  Now… go!
```

Dénombrer les occurrences de mots

On supprime la ponctuation

```
In [5]: for s in '.', '!', ',', '?', ':', '[', ']', 'ARTHUR', 'HEAD KNIGHT', 'PARTY':
            nee = nee.replace(s, '')
```

On transforme en minuscule et on découpe en une liste de mots

```
In [6]: nees = nee.lower().split()
        print(nees)
```

```
['nee', 'nee', 'nee', 'nee', 'who', 'are', 'you', 'we', 'are', 'the', 'knights', 'who', 'say', 'nee', '
```

On crée un object compteur

```
In [7]: from collections import Counter
        c = Counter(nees)
```

On ne retient que les mots qui apparaissent plus de 2 fois

```
In [8]: c = Counter({x: c[x] for x in c if c[x] > 2})
        c
```

```
Out[8]: Counter({'nee': 16,
                 'who': 8,
                 'the': 8,
                 'you': 7,
                 'we': 7,
                 'are': 6,
                 'and': 6,
                 'a': 6,
                 'knights': 5,
                 'say': 4,
                 'of': 4,
                 'shrubbery': 4,
                 'not': 3})
```

Création d'une série Pandas à partir de l'objet `c`

Notons que la série est ordonnée avec un index croissant (dans l'ordre alphabétique).

```
In [9]: words = pd.Series(c)
        words
```

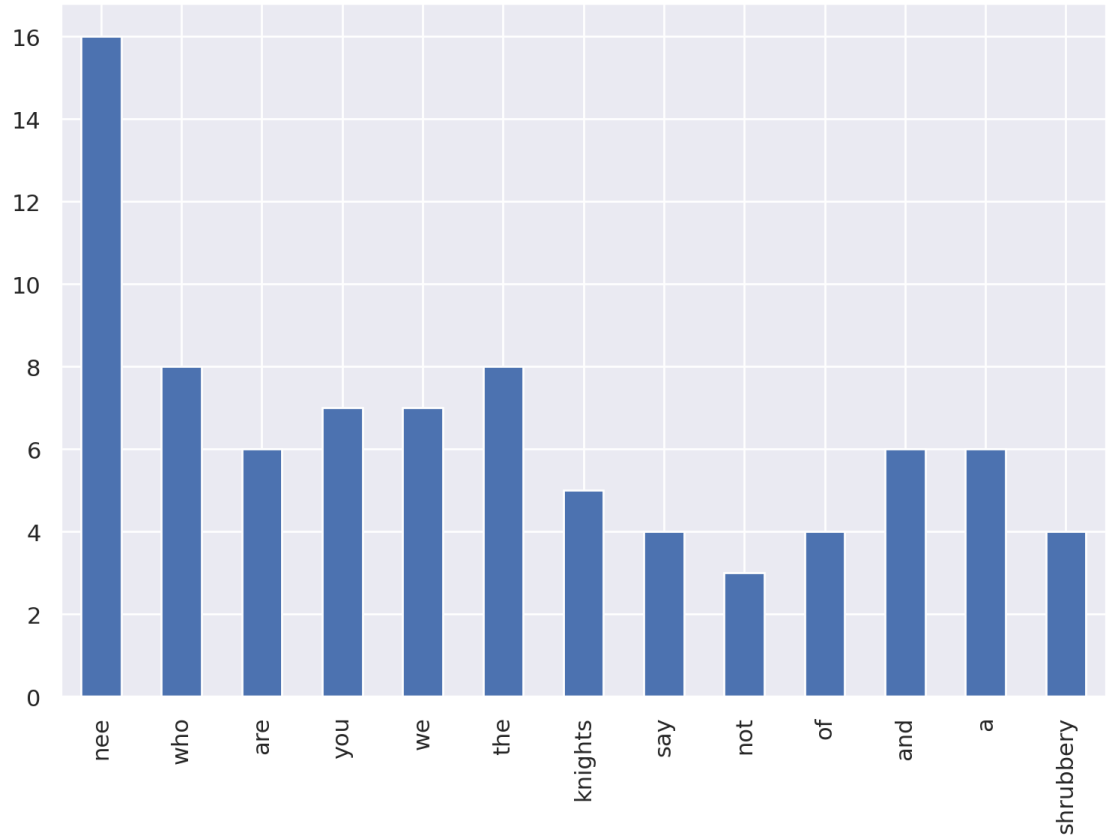
```
Out[9]: nee          16
        who           8
        are           6
        you           7
                     ..
        of            4
        and           6
        a             6
        shrubbery     4
        Length: 13, dtype: int64
```

Représentation dans un histogramme

On commence par positionner certains paramètres de tracé

```
In [10]: %matplotlib inline
         %config InlineBackend.figure_format = 'retina'

         # Pour un rendu plus abouti https://seaborn.pydata.org/introduction.html
         import seaborn as sns
         sns.set()

         import matplotlib.pyplot as plt
         plt.rcParams['figure.figsize'] = (9, 6)  # Pour obtenir des figures plus grandes
```

```
In [11]: words.plot(kind='bar');
```



6.2.4 Indexation et slicing

L'indexation et le slicing est une sorte de mélange entre les listes et les dictionnaires :

— `series[index]` pour accéder à la donnée correspondant à `index`
— `series[i]` où `i` est un entier qui suit les règles de l'indexation en python

Nombre d'occurrences de la chaîne `nee`

```
In [12]: print(words.index)  # Pour rappel
         words["nee"]
```

```
Index(['nee', 'who', 'are', 'you', 'we', 'the', 'knights', 'say', 'not', 'of',
       'and', 'a', 'shrubbery'],
      dtype='object')
```

```
Out[12]: 16
```

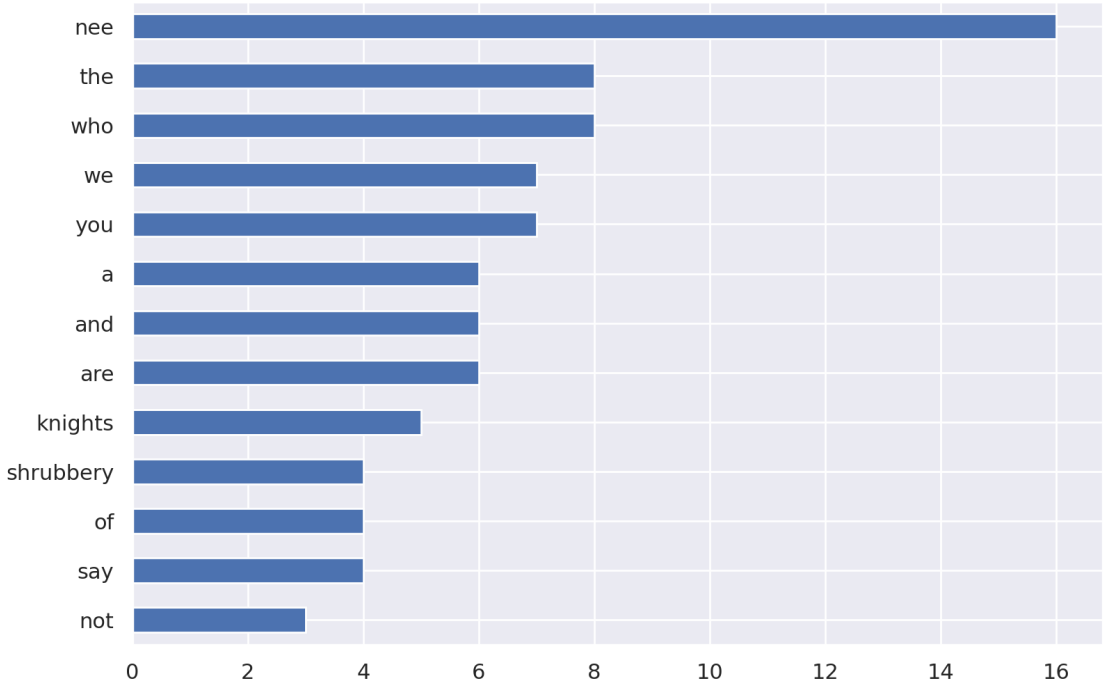
Trois dernières données de la série

```
In [13]: words[-3:]
```

```
Out[13]: and          6
         a            6
         shrubbery    4
         dtype: int64
```

6.2.5 Ordonner la série

```
In [14]: words.sort_values(inplace=True)
         words.plot(kind='barh');  # On change pour un histogramme horizontal
```



6.3 Les *Pandas Dataframes*

— C'est la structure de base de Pandas
— un *Dataframe* est une structure de données tabulées à deux dimensions, potentiellement hétérogène
— un *Dataframe* est constitué de lignes et colonnes portant des étiquettes
— C'est en quelque sorte un "dictionnaire de *Series*".

6.3.1 Un exemple avec les arbres de la ville de Strasbourg

Conformément à l'ordonnance du 6 juin 2005 (qui prolonge la loi CADA), la ville de Strasbourg a commencé à mettre en ligne ses données publiques.

En particulier des données sur ses arbres : https ://www.strasbourg.eu/arbres-alignements-espaces-verts

On veut exploiter ces données. Pour ce faire, on va :

1. télécharger les données
2. les charger dans un *Dataframe*
3. les nettoyer/filtrer
4. les représenter graphiquement

On télécharge et on nettoie

On commence par définir une fonction qui télécharge et extrait une archive zip.

```
In [15]: from io import BytesIO
         from urllib.request import urlopen
         from zipfile import ZipFile

         def download_unzip(zipurl, destination):
             """Download zipfile from URL and extract it to destination"""
             with urlopen(zipurl) as zipresp:
                 with ZipFile(BytesIO(zipresp.read())) as zfile:
                     zfile.extractall(destination)
```

On l'utilise pour télécharger l'archive des données ouvertes de la ville de Strasbourg.

```
In [16]: download_unzip("https://www.strasbourg.eu/documents/976405/1168331/CUS_CUS_DEPN_ARBR.zip", "arbres")
```

On liste le contenu de l'archive

```
In [17]: %ls -R arbres
```

```
arbres:
CUS_CUS_DEPN_ARBR.csv
```

On charge le fichier csv comme un *Dataframe*.

```
In [18]: arbres_all = pd.read_csv("arbres/CUS_CUS_DEPN_ARBR.csv",
                                  encoding='latin',  # Pour prendre en compte l'encoding qui n'est pas utf-8
                                  delimiter=";",     # Le caractère séparateur des colonnes
                                  decimal=',')       # Pour convertir les décimaux utilisant la notation ,
         arbres_all
```

```
Out[18]:        Num point vert point vert NOM_USUEL           point vert ADRESSE  \
         0                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
         1                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
         2                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
         3                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
         …                  …                 …                          …
         79134            859.0          Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')
         79135            859.0          Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')
         79136            859.0          Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')
         79137            859.0          Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')

               point vert VILLE Point vert Quartier usuel  \
         0           STRASBOURG                    CENTRE
         1           STRASBOURG                    CENTRE
         2           STRASBOURG                    CENTRE
         3           STRASBOURG                    CENTRE
         …                 …                         …
         79134       STRASBOURG                STOCKFELD
         79135       STRASBOURG                STOCKFELD
         79136       STRASBOURG                STOCKFELD
         79137       STRASBOURG                STOCKFELD

                                    point vert TYPOLOGIE  n°arbre SIG  \
         0           ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15783
         1           ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15784
         2           ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15785
         3           ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15786
```

```
…                                                …          …
79134  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87652
79135  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87653
79136  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87654
79137  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87655

          Libellé_Essence  Diam fût à 1m  Hauteur arbre
0      Tilia x 'Euchlora'           25.0            8.0
1      Tilia x 'Euchlora'            8.0            6.5
2      Tilia x 'Euchlora'           33.0            7.5
3      Tilia x 'Euchlora'           23.0            9.0
…                     …              …              …
79134         Picea abies           30.0           10.0
79135         Picea abies           30.0           10.0
79136         Picea abies           30.0           10.0
79137         Picea abies           30.0           10.0

[79138 rows x 10 columns]
```

```
In [19]: print(f"{len(arbres_all)} arbres recensés !")
```

```
79138 arbres recensés !
```

On commence par lister les villes citées.

```
In [20]: print(set(arbres_all['point vert VILLE']))
```

```
{'LINGOLSHEIM', 'WOLFISHEIM', 'ESCHAU', 'OBERSCHAEFFOLSHEIM', 'ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN', 'HOENHEIM', 'FE
```

On ne s'intéresse qu'à la ville de Strasbourg

```
In [21]: arbres = arbres_all[arbres_all['point vert VILLE'] ==  "STRASBOURG"]
         print(f"Il ne reste plus que {len(arbres)} arbres.")
```

```
Il ne reste plus que 64624 arbres.
```

On enlève les données incomplètes.

```
In [22]: arbres = arbres.dropna(axis=0, how='any')
         print(f"Il ne reste plus que {len(arbres)} arbres.")
```

```
Il ne reste plus que 61382 arbres.
```

On veut comptabiliser les essences

On extrait la série des essences.

```
In [23]: essences = set(arbres['Libellé_Essence'])
         print(f"Il y a {len(essences)} essences différentes !")
```

```
Il y a 456 essences différentes !
```

Les 5 premières dans l'ordre alphabétique :

```
In [24]: sorted(list(essences))[:5]
```

```
Out[24]: ['Abies (sp non determinée)',
          'Abies alba',
          'Abies cephalonica',
          'Abies concolor',
          'Abies grandis']
```

C'est bientôt Noël, on se limite aux sapins !

```
In [25]: sapins = arbres[arbres['Libellé_Essence'].str.match("^Abies")]
         sapins
```

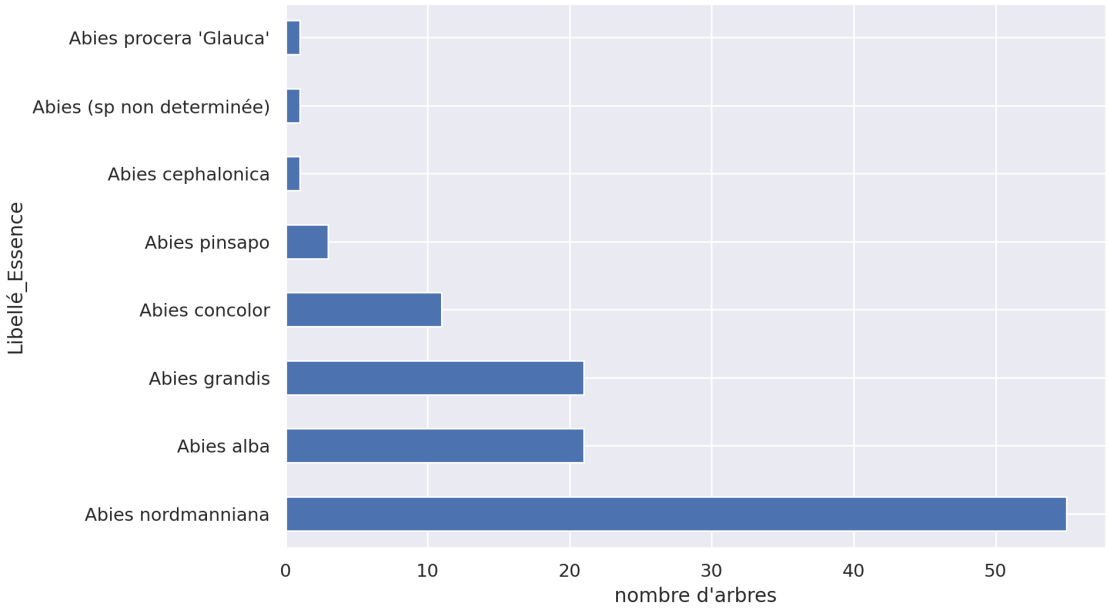
```
Out[25]:        Num point vert                                point vert NOM_USUEL  \
         2656           620.0                                   Parc des Contades
         2657           620.0                                   Parc des Contades
         9235           704.0                               Groupe scolaire Ampère
         9575          1151.0                    Groupe scolaire Charles Adolphe Wurtz
         …                …                                                      …
         75935          318.0  Parc de la Citadelle -(01)- Secteur Centre et Est
         75940          318.0  Parc de la Citadelle -(01)- Secteur Centre et Est
         75941          318.0  Parc de la Citadelle -(01)- Secteur Centre et Est
         78276          997.0                                   Parc de Pourtalès

                   point vert ADRESSE point vert VILLE Point vert Quartier usuel  \
         2656      Hirschler (rue René)       STRASBOURG                CONSEIL-XV
         2657      Hirschler (rue René)       STRASBOURG                CONSEIL-XV
         9235   Wattwiller (39, rue de)       STRASBOURG                   NEUDORF
         9575        Rieth (51, rue du)       STRASBOURG                CRONENBOURG
         …                          …             …                             …
         75935       Belges (quai des)       STRASBOURG                  ESPLANADE
         75940       Belges (quai des)       STRASBOURG                  ESPLANADE
         75941       Belges (quai des)       STRASBOURG                  ESPLANADE
         78276           Mélanie (rue)       STRASBOURG                  ROBERTSAU

                                          point vert TYPOLOGIE  n°arbre SIG  \
         2656                                        PARC - Parcs        20379
         2657                                        PARC - Parcs        20380
         9235   EESE2 - Espaces des établissements sociaux et …        25143
         9575   EESE2 - Espaces des établissements sociaux et …        44237
         …                                                    …            …
         75935                                       PARC - Parcs        11419
         75940                                       PARC - Parcs        11424
         75941                                       PARC - Parcs        11425
         78276                                       PARC - Parcs        40616

                   Libellé_Essence  Diam fût à 1m  Hauteur arbre
         2656       Abies concolor           26.0           14.0
         2657       Abies concolor           23.0           13.5
         9235           Abies alba           10.0            6.0
         9575   Abies nordmanniana           10.0            4.0
         …                     …             …              …
         75935  Abies nordmanniana           38.0           18.6
         75940      Abies concolor           28.0           11.6
         75941      Abies concolor           18.0            5.4
```

```
78276          Abies alba           29.0           16.0

[114 rows x 10 columns]
```

On trace leur répartition

```
In [26]: ax = sapins['Libellé_Essence'].value_counts().plot(kind="barh");
         ax.set_xlabel("nombre d'arbres")
```

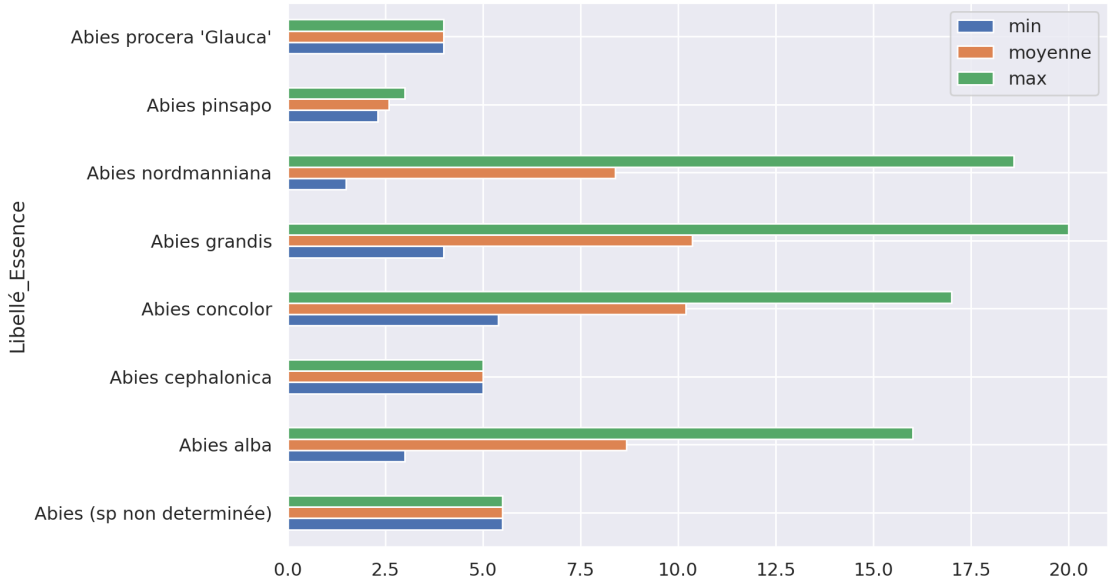
```
Out[26]: Text(0.5, 0, "nombre d'arbres")
```



On veut faire des stastistiques par essence

On veut connaître la hauteur moyenne par essence pour chaque type *Abies*.

```
In [27]: hauteurs_sapins = sapins.groupby(['Libellé_Essence'])["Hauteur arbre"]
         pd.concat([hauteurs_sapins.min().rename('min'),
                    hauteurs_sapins.mean().rename('moyenne'),
                    hauteurs_sapins.max().rename('max')],
                    axis=1).plot(kind='barh');
```



6.4 Représentation géographique

On voudrait maintenant représenter la répartition des arbres par quartiers.

On utilise à nouveau les données ouvertes de la ville de Strasbourg, cette fois-ci concernant les quartiers : https://data.strasbourg.eu/explore/dataset/strasbourg-15-quartiers/information/

On télécharge, on extrait l'archive et on liste son contenu.

```
In [28]: download_unzip("https://data.strasbourg.eu/explore/dataset/strasbourg-15-quartiers/download/?format=shp&ti
         %ls -R quartiers
```

```
quartiers:
strasbourg-15-quartiers.dbf  strasbourg-15-quartiers.shp
strasbourg-15-quartiers.prj  strasbourg-15-quartiers.shx
```

C'est le fichier `.shp` qui nous intéresse.

À ce stade, nous avons besoin des bibliothèques GeoPandas et Folium que l'on installe avec conda.

```
In [29]: %pip install geopandas folium
```

```
Requirement already satisfied: geopandas in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (0.14.1)
Requirement already satisfied: folium in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (0.15.1)
Requirement already satisfied: fiona>=1.8.21 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from geopandas)
Requirement already satisfied: packaging in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from geopandas) (23
Requirement already satisfied: pandas>=1.4.0 in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (from g
Requirement already satisfied: pyproj>=3.3.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from geopandas)
Requirement already satisfied: shapely>=1.8.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from geopandas
Requirement already satisfied: branca>=0.6.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from folium) (0
Requirement already satisfied: jinja2>=2.9 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from folium) (3.1
Requirement already satisfied: numpy in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (from folium)
Requirement already satisfied: requests in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from folium) (2.31.0
Requirement already satisfied: xyzservices in /home/jovyan/.local/lib/python3.11/site-packages (from fol
```

```
Requirement already satisfied: attrs>=19.2.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fiona>=1.8
Requirement already satisfied: certifi in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fiona>=1.8.21->g
Requirement already satisfied: click~=8.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fiona>=1.8.21
Requirement already satisfied: click-plugins>=1.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fiona
Requirement already satisfied: cligj>=0.5 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fiona>=1.8.21
Requirement already satisfied: six in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from fiona>=1.8.21->geopa
Requirement already satisfied: MarkupSafe>=2.0 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from jinja2>=
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.8.2 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from p
Requirement already satisfied: pytz>=2020.1 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from pandas>=1.4
Requirement already satisfied: tzdata>=2022.1 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from pandas>=1
Requirement already satisfied: charset-normalizer<4,>=2 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (fron
Requirement already satisfied: idna<4,>=2.5 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from requests->f
Requirement already satisfied: urllib3<3,>=1.21.1 in /opt/conda/lib/python3.11/site-packages (from requ
Note: you may need to restart the kernel to use updated packages.
```

On charge le fichier comme un `GeoDataFrame` :

```
In [30]: import geopandas as gpd
         gdf_quartiers = gpd.read_file("quartiers/strasbourg-15-quartiers.shp")
         print(f"gdf_quartiers est de type {type(gdf_quartiers)}.")
         gdf_quartiers
```

```
gdf_quartiers est de type <class 'geopandas.geodataframe.GeoDataFrame'>.
```

```
Out[30]:    code_sct                    libelle  \
         0        1B                 CRONENBOURG
         1       10B                PORT DU RHIN
         2         5  BOURSE-ESPLANADE-KRUTENAU
         3       11A                      NEUHOF1
         ..      …                          …
         11        6   ORANGERIE-CONSEIL DES XV
         12       2A               KOENIGSHOFFEN
         13      11B                      NEUHOF2
         14        4                      CENTRE

                                                 geometry
         0   POLYGON ((7.71391 48.58707, 7.71380 48.58767, …
         1   POLYGON ((7.78154 48.57908, 7.78152 48.57925, …
         2   POLYGON ((7.75002 48.57454, 7.74983 48.57463, …
         3   POLYGON ((7.75904 48.56022, 7.75924 48.55992, …
         ..                                              …
         11  POLYGON ((7.78101 48.57854, 7.78127 48.57923, …
         12  POLYGON ((7.72644 48.57736, 7.72633 48.57730, …
         13  POLYGON ((7.76317 48.52212, 7.76333 48.52212, …
         14  POLYGON ((7.75878 48.58799, 7.75891 48.58792, …

         [15 rows x 3 columns]
```

Avec Folium, on commence par représenter ces données géographiques sur un fond de carte.

```
In [31]: import folium

         # On crée une carte initialement centrée sur Strasbourg
         STRASBOURG_COORD = (48.58, 7.75)
```

```
        stras_map = folium.Map(STRASBOURG_COORD, zoom_start=11, tiles='cartodbpositron')

        # On ajoute les données des quartiers
        folium.GeoJson(gdf_quartiers).add_to(stras_map)

        # On enregistre dans un fichier html
        stras_map.save('stras_map.html')

        # On trace dans le notebook
        display(stras_map)
```

```
<folium.folium.Map at 0x7fdbcc820650>
```

À l'emplacement de ces quartiers, on souhaite représenter une échelle de couleur en fonction de la densité d'arbres.

On constate que les noms de quartiers sont différents de ceux du jeu de données sur les arbres.

```
In [32]: from pprint import pformat

        set_quartiers = set(gdf_quartiers['libelle'])
        set_arbres = set(arbres['Point vert Quartier usuel'])

        def print_set_data(s: set):
            """Print set and its length"""
            print(f"{pformat(s)} -> {len(s)}")

        print_set_data(set_quartiers)
        print_set_data(set_arbres)
```

```
{'BOURSE-ESPLANADE-KRUTENAU',
 'CENTRE',
 'CRONENBOURG',
 'ELSAU',
 'HAUTEPIERRE',
 'KOENIGSHOFFEN',
 'MEINAU',
 'MONTAGNE-VERTE',
 'NEUDORF',
 'NEUHOF1',
 'NEUHOF2',
 'ORANGERIE-CONSEIL DES XV',
 'PORT DU RHIN',
 'ROBERTSAU',
 'TRIBUNAL-GARE-PORTE DE SCHIRMECK'} -> 15
{'BOURSE',
 'CENTRE',
 'CONSEIL-XV',
 'CRONENBOURG',
 'ELSAU',
 'ESPLANADE',
 'GARE',
 'HAUTEPIERRE',
 'KOENIGSHOFFEN',
 'KRUTENAU',
 'MEINAU',
 'MONTAGNE VERTE',
 'MUSAU',
```

```
 'NEUDORF',
 'NEUHOF',
 'ORANGERIE',
 'PLAINE DES BOUCHERS',
 'POLYGONE',
 'PORT DU RHIN',
 'PORTE DE SCHIRMECK',
 'ROBERTSAU',
 'STOCKFELD',
 'TRIBUNAL',
 'WACKEN'} -> 24
```

Certains noms figurent dans les deux jeux de données :

```
In [33]: intersection = set_quartiers.intersection(set_arbres)
         print_set_data(intersection)
```

```
{'CENTRE',
 'CRONENBOURG',
 'ELSAU',
 'HAUTEPIERRE',
 'KOENIGSHOFFEN',
 'MEINAU',
 'NEUDORF',
 'PORT DU RHIN',
 'ROBERTSAU'} -> 9
```

D'autres sont différents :

```
In [34]: difference = set_arbres.difference(set_quartiers)
         print_set_data(difference)
```

```
{'BOURSE',
 'CONSEIL-XV',
 'ESPLANADE',
 'GARE',
 'KRUTENAU',
 'MONTAGNE VERTE',
 'MUSAU',
 'NEUHOF',
 'ORANGERIE',
 'PLAINE DES BOUCHERS',
 'POLYGONE',
 'PORTE DE SCHIRMECK',
 'STOCKFELD',
 'TRIBUNAL',
 'WACKEN'} -> 15
```

Afin d'obtenir de faire correspondre parfaitement les noms des deux jeux de données, on convertit les noms dans le Dataframe `arbres` en supposant les correspondances ci-dessous.

```
In [35]: convertion_dict = {
             'BOURSE': 'BOURSE-ESPLANADE-KRUTENAU',
```

```
    'CONSEIL-XV': 'ORANGERIE-CONSEIL DES XV',
    'ESPLANADE': 'BOURSE-ESPLANADE-KRUTENAU',
    'GARE': 'TRIBUNAL-GARE-PORTE DE SCHIRMECK',
    'KRUTENAU': 'BOURSE-ESPLANADE-KRUTENAU',
    'MONTAGNE VERTE': 'MONTAGNE-VERTE',
    'MUSAU': 'NEUDORF',
    'NEUHOF': 'NEUHOF1',
    'ORANGERIE': 'ORANGERIE-CONSEIL DES XV',
    'PLAINE DES BOUCHERS': 'MEINAU',
    'POLYGONE': 'NEUHOF1',
    'PORTE DE SCHIRMECK': 'TRIBUNAL-GARE-PORTE DE SCHIRMECK',
    'STOCKFELD': 'NEUHOF2',
    'TRIBUNAL': 'TRIBUNAL-GARE-PORTE DE SCHIRMECK',
    'WACKEN': 'ROBERTSAU'
}

for k, v in convertion_dict.items():
    arbres['Point vert Quartier usuel'] = \
        arbres['Point vert Quartier usuel'].replace(to_replace=k, value=v)

arbres
```

Out[35]:

```
       Num point vert point vert NOM_USUEL           point vert ADRESSE  \
0                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
1                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
2                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
3                450.0       Rue du Houblon             Houblon (rue du)
…                  …                  …                          …
79134            859.0           Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')
79135            859.0           Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')
79136            859.0           Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')
79137            859.0           Krummerort  Oberjaegerhof (route de l')

      point vert VILLE Point vert Quartier usuel  \
0           STRASBOURG                    CENTRE
1           STRASBOURG                    CENTRE
2           STRASBOURG                    CENTRE
3           STRASBOURG                    CENTRE
…                 …                         …
79134       STRASBOURG                   NEUHOF2
79135       STRASBOURG                   NEUHOF2
79136       STRASBOURG                   NEUHOF2
79137       STRASBOURG                   NEUHOF2

                              point vert TYPOLOGIE  n°arbre SIG  \
0            ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15783
1            ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15784
2            ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15785
3            ACCE - Accompagnement de cours d'eau        15786
…                                          …          …
79134  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87652
79135  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87653
79136  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87654
79137  ACJF - Accompagnement de jardins familiaux        87655

          Libellé_Essence  Diam fût à 1m  Hauteur arbre
```

```
0      Tilia x 'Euchlora'           25.0            8.0
1      Tilia x 'Euchlora'            8.0            6.5
2      Tilia x 'Euchlora'           33.0            7.5
3      Tilia x 'Euchlora'           23.0            9.0
…                     …              …              …
79134         Picea abies           30.0           10.0
79135         Picea abies           30.0           10.0
79136         Picea abies           30.0           10.0
79137         Picea abies           30.0           10.0

[61382 rows x 10 columns]
```

On vérifie que l'ensemble des quartiers est le même pour les deux Dataframes `quartiers` et `arbres`.

```
In [36]: set(arbres['Point vert Quartier usuel']) == set_quartiers
```

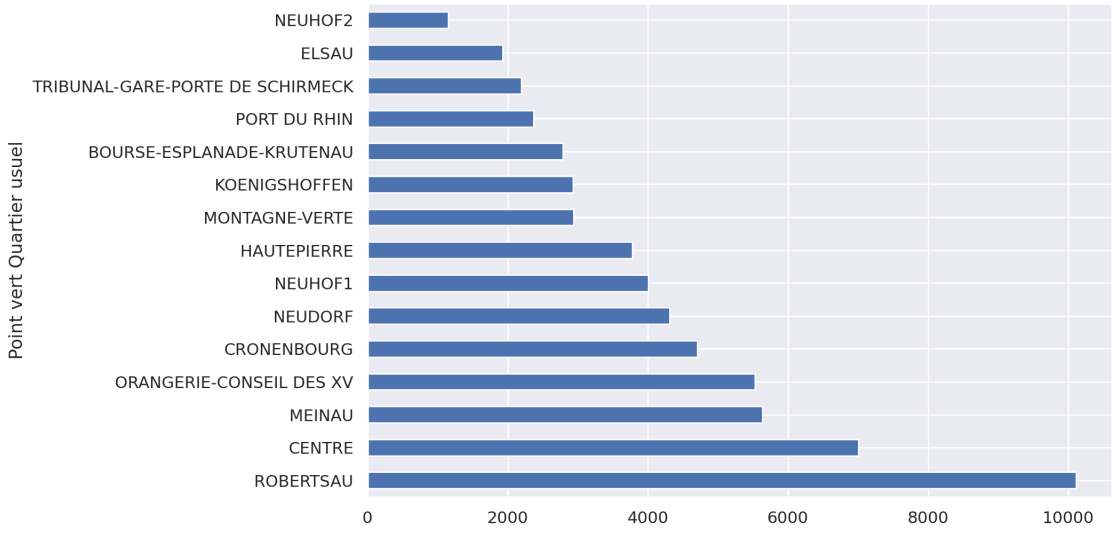
```
Out[36]: True
```

On construit une série qui contient le nombre d'arbres par quartier.

```
In [37]: arbres_quartiers = arbres['Point vert Quartier usuel'].value_counts()
```

On trace le graphique en barres correspondant.

```
In [38]: arbres_quartiers.plot(kind='barh');
```



On construit une nouvelle *Series* correspondant à l'aire de chaque quartier en m^2. Pour que le calcul des aires soit fiables, les données de `gdf_quartier` doivent être projetées. Pour la France métropolitaine, on utilise la projection EPSG :2154, c'est-à-dire Lambert 93.

```
In [39]: aires = gdf_quartiers.to_crs(2154).area
         aires.index = gdf_quartiers["libelle"]
         aires.sum()
```

```
Out[39]: 78225408.33604598
```

On calcule la densité d'arbres par hectare.

```
In [40]: densite = arbres_quartiers / aires * 10000
         densite
```

```
Out[40]: BOURSE-ESPLANADE-KRUTENAU          15.316666
         CENTRE                             39.367782
         CRONENBOURG                        12.038048
         ELSAU                              10.169214
                                              …
         ORANGERIE-CONSEIL DES XV           19.344847
         PORT DU RHIN                        4.874460
         ROBERTSAU                           5.607219
         TRIBUNAL-GARE-PORTE DE SCHIRMECK    6.536751
         Length: 15, dtype: float64
```

On trace une carte colorée par la densité d'arbres avec l'objet `Choropleth`.

```
In [41]: folium.Choropleth(geo_data=gdf_quartiers,
                           data=densite,
                           key_on='feature.properties.libelle',
                           fill_color='YlGn',
                           fill_opacity=0.5,
                           line_opacity=0.2,
                           legend_name=r"Nombre d\'arbres par hectare").add_to(stras_map)
         stras_map.save('stras_tree.html')
         display(stras_map)
```

```
<folium.folium.Map at 0x7fdbcc820650>
```

6.4.1 Exercice

Ecrire la fonction `plot_essence()` qui prend en argument une essence d'arbres et qui trace le nombre d'arbres correspondant par quartier en utilisant `choropleth`.

```
In [42]: def plot_essence(essence):
             pass
             # Votre code ici

         plot_essence("Acer")
```

```
In [43]: # Décommentez puis exécutez pour afficher le corrigé :
         #%load exos/snippets/plot_essence.py
```

6.4.2 Utilisation des widgets ipython

On souhaite proposer à l'utilisateur un menu de sélection pour afficher le nombre d'essences par quartier. Pour limiter la taille du menu, on regroupe les essences par genre (première partie du nom latin).

```
In [44]: genres = set([nom.split()[0] for nom in essences])
```

La bibliothèque ipywidgets permet de générer très facilement un menu déroulant. La fonction `plot_essence()` est alors appelée avec comme

```
In [45]: from ipywidgets import interact

         interact(plot_essence, essence=sorted(genres));
```

```
interactive(children=(Dropdown(description='essence', options=('Abies', 'Acer', 'Aesculus', 'Ailanthus'
```

6.4.3 Vers des applications web

ipywidgets permet de faire beaucoup plus que l'exemple ci-dessus. De plus, on peut transformer facilement un notebook en application avec voilà. Par exemple, transformons le notebook `exos/stras_arbres.ipynb` :

Dans un terminal, installer `voila` :

```
pip install voila
```

Exécuter `voila` sur le notebook :

```
voila exos/stras_arbres.ipynb
```

6.5 Références

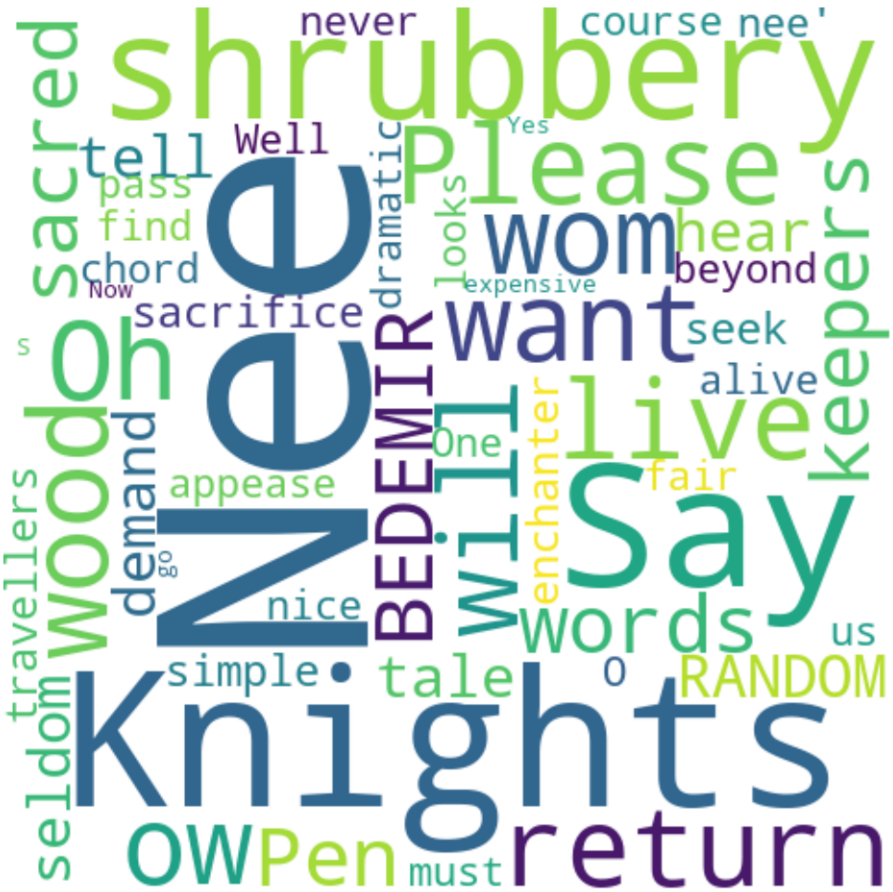
— La documentation officielle
— Le cours de Pierre Navaro
— Le cours de Jake Vanderplas
— Des sites personnels de développeurs :

  — http ://wesmckinney.com/
  — https ://matthewrocklin.com/

6.6 Annexe : une autre façon de représenter les occurences de mots

Cette fois, on n'utilise pas `pandas` mais le module `wordcloud`.

```
In [46]: from wordcloud import WordCloud

         # On crée un objet Wordcloud
         wcloud = WordCloud(background_color="white", width=480, height=480, margin=0).generate(nee)

         # On affiche l'image avec matplotlib
         plt.imshow(wcloud, interpolation='bilinear')
         plt.axis("off")
         plt.margins(x=0, y=0)
```


shrubbery
never
course
nee'
Yes
Please
Well
tell
sacred
pass
find
chord
Now
dramatic
Nee
wom
hear
looks
beyond
expensive
want
sacrifice
seek
s
Oh
BEDEMIR
alive
live
keepers
will
One
wood
demand
enchanter
fair
appease
Say
travellers
go
nice
words
us
simple
tale
O
RANDOM
seldom
Knights
ow
Pen
must
return