

Une introduction à Python

voire un peu plus...

Xavier Olive, ONERA

version 0.9999



Python est un langage de programmation :

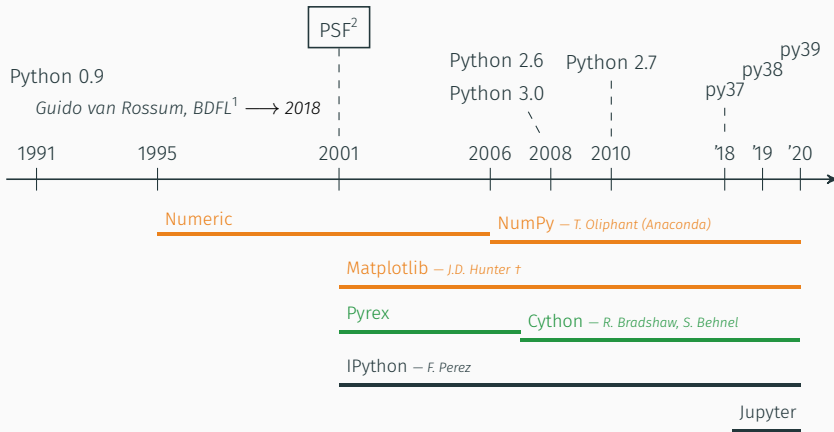
- interprété;
- multi-paradigme;
- multi-plateforme;



utilisé par une communauté importante :

- une syntaxe simple;
- de nombreuses extensions;
- libre et gratuit.

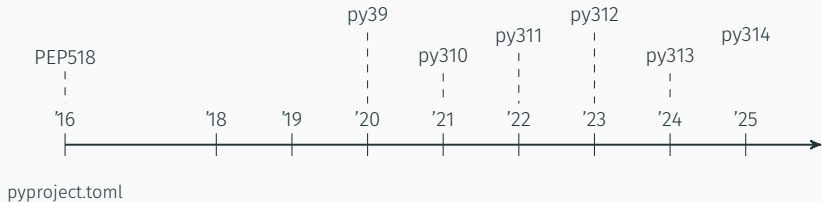
Historique



¹BDFL : Benevolent Dictator For Life

²PSF : Python Software Foundation

L'écosystème moderne



Mypy (2012) – J. Lehtosalo

Poetry – S. Eustache

Maturin – A. Ronacher

Ruff – Astral

uv – Astral

ty – Astral

- Amélioration des performances (15-20% plus rapide)
- Nouveau REPL interactif amélioré
- Support expérimental du JIT (Just-In-Time compilation)
- Amélioration du garbage collector
- Suppression du GIL en version expérimentale

Les références à garder à portée de souris :

- le site officiel : www.python.org;
- la documentation des *core packages* : docs.python.org;
- les PEP (Python Enhancement Proposals),
notamment le PEP 8 : *Style Guide for Python Code*;
- le glossaire;

et d'une manière générale :

- la commande `help`;
- les moteurs de recherche du type www.google.com;
- les forums du type www.stackoverflow.com.

Les bases du langage

L'interpréteur Python

```
Python 3.12.6 (main, Sep 6 2024, 10:03:22)
[Clang 15.0.0 (clang-1500.3.9.4)] on darwin
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
```

```
>>> 2 + 3                                # Addition d'entiers
5
>>> 1 + 0.03                             # Entiers et flottants
1.03
>>> (2 + 3) / 7                           # Division flottante
0.7142857142857143
>>> 12 // 5                               # Division entière
2
>>> 0.1 + 0.2                             # Le classique!
0.30000000000000004
>>> print("hello", "y'all")              # Affichage de variables/valeurs
hello y'all
```


Ouvrez votre interpréteur Python!

La fonction print

```
>>> print("hello")
hello

>>> a = 4
>>> print("hello, you are now", a)
hello, you are now 4

>>> print("history:", [0, 1, 2, 3])
history: [0, 1, 2, 3]

>>> import math
>>> print(math.pi)
3.141592653589793

>>> print("C-style format: %.2f" % math.pi)
C-style format: 3.14

>>> print("{} has value {}".format("π", math.pi))
π has value 3.141592653589793

>>> print(f"Today style: π = {math.pi:.2f}")
Today style: π = 3.14
```

Le typage à la Python

- Les variables Python sont des références non typées :

```
>>> a = 12          # a est un entier
>>> a = "hello"     # a est désormais une chaîne de caractères
```

- En revanche, les valeurs Python sont typées :

```
>>> type(2)
<class 'int'>
>>> type(3.14)
<class 'float'>
>>> type("hello")
<class 'str'>
```

- Dans l'interpréteur, `_` rappelle la dernière valeur évaluée :

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

Conversion de types

- On peut « convertir » le type de certains objets.

```
>>> int(2.4)
```

```
2
```

```
>>> str(2)
```

```
'2'
```

```
>>> float("3.14")
```

```
3.14
```

- On peut appeler ces fonctions sans paramètre :

```
>>> int()
```

```
0
```

```
>>> float()
```

```
0.0
```

```
>>> str()
```

```
''
```

L'indentation

En Python, c'est l'indentation qui définit les blocs;

- PEP 8 recommande l'utilisation de 4 espaces;
(bannir les tabulations)

```
>>> a, b = 15, 9
>>> while (a != b):
...     if (a > b):
...         a = a - b
...     else:
...         b = b - a
...
>>> print("GCD =", a)
GCD = 3
```

- Python fournit un mécanisme de gestion d'erreurs :

```
>>> float("hello")
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

```
ValueError: could not convert string to float: 'hello'
```

```
>>> pi
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

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

- Le code est écrit dans un fichier avec l'extension `.py`;

- Modèle d'exécution similaire aux scripts shell :

```
shell> python script.py arg 12
```

- Transformation du script en commande shell :

```
#!/usr/bin/env python3
```

```
shell> ./script.py arg 12
```

- On peut appeler le code d'un autre fichier par un mécanisme de modules :

```
import script
```

- Support par défaut de l'UTF-8 depuis Python 3.

Les structures de données

- Les entiers Python sont munis des opérations habituelles.

```
>>> 2 * 2
4
>>> 7 // 3 # integer division
2
>>> 7 % 4 # modulo
3
>>> 2 ** 8 # power
256
>>> 7 & 3 # bitwise and (equivalent to "modulo 4")
3
>>> 123 ^ 24 # bitwise xor
99
>>> 1 << 8 # bit shifting (equivalent to 2 ** 8)
256
```

- On peut manipuler les entiers par leurs représentations binaire, octale, décimale ou hexadécimale.

```
>>> bin(127)
'0b1111111'
>>> oct(127)
'0o177'
>>> hex(127)
'0x7f'
>>> 0b1111111
127
>>> 0o177
127
>>> 0x7f
127
```

- Les entiers Python ont une amplitude illimitée.

```
>>> 123 ** 24 # no overflow (would need 168 bits!)  
143788010446775248848237875203163336494653562343841
```

```
>>> 123 ** 24 * 134 ** 45 # besides it is fast!  
754116773913301291674484428969148011550171822575090416487017684  
057230784745923800513525439801776494774185798453198912700344174  
39450350881010089984
```

Les flottants Python suivent le standard IEEE 754

- Représentation double précision sur 64 bits :
 - 1 bit de signe
 - 11 bits d'exposant (-1022 à 1023)
 - 52 bits de mantisse (bit 1 implicite)

```
>>> float.hex(1.)
'0x1.0000000000000p+0'
>>> float.hex(2.)
'0x1.0000000000000p+1'
>>> float.hex(.5)
'0x1.0000000000000p-1'
>>> float.hex(10.) # (1 + 4/16) * 2**3
'0x1.4000000000000p+3'
>>> float.hex(1.5) # (1 + 8/16)
'0x1.8000000000000p+0'
```

Les flottants

```
>>> float.hex(0.1)
'0x1.999999999999ap-4'
# 2**-4 + 2**-5 + 2**-8 + 2**-9 + 2**-12 + ... = 0.0999999...
>>> float.hex(0.2)
'0x1.999999999999ap-3'
# 2**-3 + 2**-4 + 2**-7 + 2**-8 + 2**-11 + ... = 0.1999999...

>>> float.hex(0.3)
'0x1.3333333333333p-2'
# 2**-2 + 2**-5 + 2**-6 + 2**-9 + 2**-10 + ... = 0.3333333...
>>> float.hex(0.1 + 0.2)
'0x1.3333333333334p-2'

>>> 0.1 + 0.2
0.30000000000000004
>>> import sys
>>> 0.1 + 0.2 - 0.3 < sys.float_info.epsilon
True
```

Les complexes sont écrits en notation cartésienne à partir de deux flottants. La partie imaginaire est suffixée par `j`.

```
>>> a = 3+4j
>>> a.real
3.0
>>> a.imag
4.0
>>> a * a.conjugate()
(25+0j)
>>> abs(a)
5.0
```

Les chaînes de caractères

Les chaînes de caractères sont écrites à l'aide de guillemets simples, doubles ou retriplées (multi-lignes).

```
>>> "hel" + 'lo'
'hello'
>>> a = """Hello
- dear students;
- dear all"""
>>> a[0]
'H'
>>> a[2:4]
'll'
>>> a[-1]
'l'
>>> a[-8:]
'dear all'
>>> "dear all"[:-1]
"lla read"
```

Les chaînes de caractères offrent les opérations usuelles.

```
>>> a = "hello"
>>> (a + ' ') * 2
'hello hello '
>>> len(a)
5
>>> a.capitalize()
'Hello'
>>> " hello ".strip()
'hello'
>>> "hello y'all".split()
['hello', "y'all"]

>>> help(str)
```


Le *backslash* est un caractère d'échappement.

```
>>> print("\u0127") # 16-bit Unicode
```

```
ñ
```

```
>>> print('hello students\n') # end of line
```

```
hello students
```

```
>>> print(r'hello students\n') # raw string -- ignore backslashes
```

```
hello students\n
```

```
>>> print(u"àççèñtüe") # forcing unicode (Python 2)
```

```
àççèñtüe
```

Les chaînes de caractères ne sont pas modifiables :

```
>>> a = "hello"
```

```
>>> a[1] = "a"
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

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

Il faut procéder par copie :

```
>>> a = "hello"
```

```
>>> a[:1] + "a" + a[2:]
```

```
"hallo"
```

Les chaînes de caractères

- Python manipule des chaînes de caractères en UTF-8.

Le type **bytes** donne accès à sa représentation mémoire.

```
>>> type("hello")
<class 'str'>
>>> b"hello", type(b"hello")
(b'hello', <class 'bytes'>)
>>> b"accentué"
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1
SyntaxError: bytes can only contain ASCII literal characters.
>>> "accentué".encode('utf8')
b'accentu\xc3\xa9'
```



```
>>> list("123")
["1", "2", "3"]
>>> " ".join(["1", "2", "3"])
"1 2 3"
```

La liste est un conteneur Python mutable :

- une séquence de valeurs hétérogènes;
- tout objet Python peut être placé dans une liste;
- algorithmique associée (recherche, cycles, etc.)

```
>>> a = [1, "deux", 3.0]
>>> a[0]
1
>>> len(a)
3
>>> a.append(1)
>>> a
[1, 'deux', 3.0, 1]
```

Les listes

```
>>> a
[1, 'deux', 3.0, 1]

>>> a.count(1)
2
>>> 3 in a
True

>>> a[1] = 2 # mutable
>>> a
[1, 2, 3.0, 1]

>>> a.sort()
>>> a
[1, 1, 2, 3.0]

>>> a[1:3]
[1, 2]
```

Le mécanisme de compréhension de listes

Python offre des facilités de syntaxe pour les listes.

```
>>> [i for i in range(5)] # similar to list(range(5))
```

```
[0, 1, 2, 3, 4]
```

```
>>> [str(i) for i in range(5)]
```

```
['0', '1', '2', '3', '4']
```

```
>>> [i**2 for i in range(5)] # list(i**2 for i in range(5))
```

```
[0, 1, 4, 9, 16]
```

```
>>> [i**2 for i in range(5) if i&1 == 0] # smarter than i%2 == 0
```

```
[0, 4, 16]
```

```
>>> [x.upper() for x in "hello"] # even with strings
```

```
['H', 'E', 'L', 'L', 'O']
```

Les ensembles

```
>>> a = set()
>>> a.add(1)
>>> a.add(2)
>>> a.add(3)
>>> a.add(1)
>>> a
{1, 2, 3}

>>> a.intersection({2, 3, 4}) # set theory
{2, 3}
>>> a.isdisjoint({4, 5})
True

>>> [i == 2 for i in a] # list comprehension
[False, True, False]

>>> set([1, 2, 4, 1]) # conversion
{1, 2, 4}
```

Les dictionnaires

Les dictionnaires sont des tables associatives conçues pour structurer des données sur le modèle clé/valeur.

```
>>> d = dict()
>>> d[1] = 'Ain', "Bourg-en-Bresse"
>>> d[2] = 'Aisne', "Laon"
>>> d
{1: ('Ain', 'Bourg-en-Bresse'), 2: ('Aisne', 'Laon')}
>>> d[1]
('Ain', 'Bourg-en-Bresse')
>>> d['01']
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
KeyError: '01'
>>> d[1] = "un"
>>> d
{1: 'un', 2: ('Aisne', 'Laon')}
```


On peut parcourir les clés et les valeurs :

```
>>> d.keys()
dict_keys([1, 2])
>>> d.values()
dict_values(['Ain', 'Bourg-en-Bresse'], ('Aisne', 'Laon'))
>>> d.items()
dict_items([(1, ('Ain', 'Bourg-en-Bresse')), (2, ('Aisne', 'Laon'))])

>>> e = {}
>>> for key, value in d.items():
...     e[ "%02d" % key ] = value
>>> e
{'02': ('Aisne', 'Laon'), '01': ('Ain', 'Bourg-en-Bresse')}
```

Les tuples

Le séparateur « virgule » définit le tuple.

```
>>> x = 1, 2, 3
```

```
>>> x[0]
```

```
1
```

```
>>> x[0] = -1
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

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

```
>>> a, b, c = x # associativity!
```

```
>>> b
```

```
2
```

```
>>> a, b = x
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

```
ValueError: too many values to unpack (expected 2)
```

Interlude



Une fonction est un bloc de code réutilisable :

- mots-clés `def` et `return`;
- arguments, variables locales, variables globales;
- gestion des cas limites;
- documentation associée, cas tests (`doctest`);

Important!

La présentation d'une interface claire, générique et robuste est fondamentale.

```
def gcd(a: int, b: int) -> int:
    """Computes the GCD of two positive integers.

    >>> gcd(12, 8)
    4
    If necessary, a and b will be cast into integers.
    >>> gcd(4, 2.3)
    2
    """
    a, b = int(a), int(b)
    while a != b:
        if (a > b):
            a = a - b
        else:
            b = b - a
    return a
```

- Les annotations de type sont optionnelles en Python.
- Elles permettent d'améliorer la lisibilité du code.
- Elles peuvent être utilisées par des outils externes de vérification statique du code (type checkers).

Abusez-en!!

La documentation est accessible par la fonction `help`.

```
>>> help(gcd)
```

```
Help on function gcd in module __main__:
```

```
gcd(a, b)
```

```
    Computes the GCD of two positive integers.
```

```
>>> gcd(12, 8)
```

```
4
```

```
If necessary, a and b will be cast into integers.
```

```
>>> gcd(4, 2.3)
```

```
2
```

Le module `doctest` permet d'automatiser les tests unitaires :

```
>>> import doctest
>>> doctest.testmod()
TestResults(failed=0, attempted=2)
```

Il permet également de gérer les exceptions :

```
"""
[...]
>>> gcd(12, -8)
Traceback (most recent call last):
...
AssertionError: Input values must be positive integers
"""
```


On peut définir des valeurs par défaut pour les paramètres d'entrée d'une fonction.

```
>>> import cmath
>>> def rotate(value: complex, angle: complex, radian: bool = True):
...     if not radian:
...         angle *= cmath.pi / 180.
...     return value * cmath.exp(angle*1j)
...
>>> rotate(1+2j, cmath.pi/2)
(-2+1.0000000000000002j)
```

En nommant les arguments, l'ordre n'a plus d'importance :

```
>>> rotate(angle=cmath.pi/2, value=1+2j)
(-2+1.0000000000000002j)
```

Interlude



- Construire et documenter une fonction qui calcule l'aire d'un triangle équilatéral de côté a .
- Construire et documenter une fonction qui calcule la liste des nombres premiers inférieurs ou égaux à n .

```
import doctest
import math

def area(x: float) -> float:
    """Computes the area of an equilateral triangle.

    >>> area(2)
    1.7320508075688772
    """
    return x * x * math.sqrt(3) / 4

if __name__ == "__main__":
    print(doctest.testmod())
```

Interlude

```
import doctest
import math

def prime(n: int) -> set:
    """Computes all prime numbers below n.

    Computes the sieve of Eratosthenes
    >>> prime(20)
    {1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19}
    """
    p = set(range(1, n))
    for i in range(2, int(math.sqrt(n)) + 1):
        p = p - set(x * i for x in range(2, n // i + 1))
    return p

if __name__ == "__main__":
    print(doctest.testmod())
```

Python fournit un mécanisme d'exceptions pour la gestion des cas limites (erreurs et comportements imprévus) :

- déclenchement par `raise`;
- rattrapage par `try/except`;

Saut de contexte automatique :

- affichage de la pile d'appel qui a mené à l'erreur.

On peut créer un modèle d'exception ad-hoc mais la sémantique des built-in exceptions suffit généralement.

Les exceptions

```
>>> def check(value: int) -> None:
...     if (int (value) < 0):
...         raise ValueError("Cannot handle negative value (%s)" % (value))
...
>>> check(3)
>>> check(-7)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File "<stdin>", line 3, in check
ValueError: Cannot handle negative value (-7)
```

Les exceptions

```
>>> def analyze(s: str) -> list[int]:
...     r = []
...     try:
...         vlist = s.split()
...         for v in vlist:
...             r.append(int(v))
...         return r
...     except ValueError as val:
...         print("Python said: %s" % val)
...     except AttributeError:
...         print("The argument must be a string of space-separated int")
...
>>> analyze("1 2 3 4 5")
[1, 2, 3, 4, 5]
>>> analyze("1 2 3 4 a")
Python said: invalid literal for int() with base 10: 'a'
>>> analyze(["1 2 3 4 5"])
The argument must be a string of space-separated int
```


Easier to Ask for Forgiveness than Permission (EAFP)

On suppose vraies les conditions nécessaires à l'exécution d'un code pour lever des exceptions si ces hypothèses se révèlent fausses. \neq Look

Before You Leap (LBYP)

```
# LBYP
if "key" in my_dict:
    x = my_dict["key"]
else:
    # handle missing key
```

```
# EAFP
try:
    x = my_dict["key"]
except KeyError:
    # handle missing key
```

- Toutefois, le mécanisme étant coûteux, les exceptions sont à réserver au traitement des cas limites, exceptionnels.

```
>>> text = "We usually consider that pi = 3.14159"
>>> for f in text.split():
...     try:
...         f = float(f)
...         print(f)
...     except ValueError: # not smart in that case...
...         pass
...
3.14159
```

Il faut repenser la logique. On pourrait par exemple écrire :

```
>>> import re # next episode!
>>> for f in re.finditer("\d+(\.\d+)?", text):
...     f = float(f.group())
...     print(f)
...
3.14159
```

Note : `\d+(\.\d+)?` est une *expression régulière* qui décrit le format :

« suite non vide (+) d'entiers (`\d`) suivie éventuellement (?) d'un point (`\.`) et d'une suite non vide d'entiers ».

Python scientifique

Un éventail de bibliothèques Python performantes fait autorité dans la communauté Python *scientifique* :

- **NumPy** joue sur la performance des traitements numériques basés sur les tableaux;
- **SciPy** intègre des algorithmes scientifiques (optimisation, algèbre linéaire, interpolation, intégration, etc.);
- **Matplotlib** permet des tracés graphiques à la Gnuplot;
- **IPython** propose une version plus interactive de l'interpréteur Python habituel.

- NumPy fournit le type `ndarray`;
- Les tableaux sont constitués d'éléments du même type;
- Les opérations arithmétiques sont vectorisées/optimisées.

```
>>> import numpy as np
>>> a = np.array([1, 2, 3, 4]) # <class 'numpy.ndarray'>
>>> a.dtype
dtype('int64')
>>> a
array([1, 2, 3, 4])
>>> b = 2.5 * a # scalar multiplication
>>> b.dtype
dtype('float64')
>>> b - a # vector subtraction
array([ 1.5,  3. ,  4.5,  6. ])
```

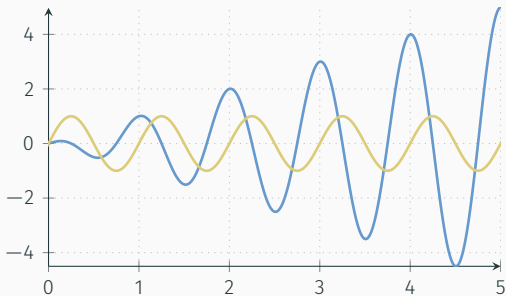
- NumPy permet d'exprimer des traitements de manière efficace et élégante;

Exemple de calcul des décimales de π (Monte-Carlo):

```
>>> import numpy as np
>>> size = 1e8
>>> positions = np.random.rand(size, 2)
>>> x, y = positions[:, 0], positions[:, 1] # memory views
>>> x0, y0 = 0.5, 0.5
>>> distances = (x - x0)**2 + (y - y0)**2
>>> sum(distances < .25)/size * 4
3.14154144
```

Matplotlib

```
>>> import numpy as np
>>> import matplotlib.pyplot as plt
>>> x = np.linspace(0, 5, 1000)
>>> plt.plot(x, x * np.cos(2*np.pi*x))
>>> plt.plot(x, np.sin(2*np.pi*x))
>>> plt.show()
```



IPython propose un interpréteur plus puissant que celui par défaut, avec notamment :

- l'auto-complétion;
- la coloration syntaxique;
- l'aide *docstring* accessible via le préfixe `?` ou `??`;
- des *commandes magiques* accessibles via le préfixe `%` :
 - `%timeit` évalue le temps d'exécution de la commande qui suit;
- l'exécution de commandes systèmes préfixées par `!` :
 - `!ls` (Unix ou Mac) liste les fichiers du répertoire courant.

L'interpréteur IPython

```
Python 3.12.6 (default, Aug 11 2015, 08:57:25)
```

```
Type "copyright", "credits" or "license" for more information.
```

```
IPython 8.18.1 -- An enhanced Interactive Python.
```

```
?          -> Introduction and overview of IPython's features.
```

```
%quickref -> Quick reference.
```

```
help       -> Python's own help system.
```

```
object?   -> Details about 'object', use 'object??' for extra details.
```

```
In [1]: import numpy as np
```

```
In [2]: np.si<TAB>
```

```
np.sign          np.sin          np.singlecomplex
```

```
np.signbit       np.sinc         np.sinh
```

```
np.signedinteger np.single      np.size
```

```
In [2]: np.si
```

Le format « Jupyter notebook » (extension `.ipynb`) permet :

- d'écrire du texte dans un langage à balises simple;
- d'exécuter du code dans un langage interprété (IPython);
- d'exploiter, de présenter et d'analyser les résultats dans le même document.

À retenir!

La commande `%matplotlib inline` permet l'inclusion de figures produites par Matplotlib au sein du même document.

Interlude



- Présentation des modules NumPy et Matplotlib;
- Introduction à Pandas;
- <https://github.com/ASPP/2021-bordeaux-dataviz>

Ressources pour aller plus loin :

- <https://github.com/rougier/scientific-visualization-book>

La bibliothèque standard Python

Python propose par défaut :

- des fonctions intégrées (comme `print()`, `help()`, etc.);
- des bibliothèques d'utilitaires usuels;

 *batteries included*

<https://docs.python.org/3.13/library/index.html>

6.2. re – Regular expression operations

8.1. datetime – Basic date and time types

9.2. math – Mathematical functions

11.1. pathlib – Object-oriented filesystem paths

16.1. os – Miscellaneous operating system interfaces

26.2. doctest – Test interactive Python examples

29.1. sys – System-specific parameters and functions

Une expression régulière décrit un motif applicable à une chaîne de caractères.

Syntaxe de base :

- les caractères usuels, `a` ou `0`, se décrivent eux-mêmes;
- `.` décrit un caractère quelconque;
- `*` marque 0 occurrence ou plus d'un motif;
- `+` marque 1 occurrence ou plus d'un motif;
- `?` marque 0 ou 1 occurrence d'un motif;
- `[]` décrit un ensemble de caractères;
- `()` regroupe un motif (à identifier, répéter, etc.)
- des raccourcis : `\d` pour `[0-9]`, `\w` pour `[a-zA-Z0-9_]` en ASCII, etc.


```
>>> import re

# Match simple words
>>> re.search("and", "lorem ipsum dolor sit amet")
>>> re.search("or", "lorem ipsum dolor sit amet")
<_sre.SRE_Match object; span=(1, 3), match='or'>
>>> re.findall("or", "lorem ipsum dolor sit amet")
['or', 'or']

# Match hexadecimal colors
>>> re.search(r"([\da-fA-F]){6}", "color=#aa3d1f;")
<_sre.SRE_Match object; span=(7, 13), match='aa3d1f'>
>>> _.group()
'aa3d1f'
```

Le module re

```
>>> m = re.match(r"(\w+) (\w+)", "Isaac Newton, physicist")
>>> m.group(0)          # The entire match
'Isaac Newton'
>>> m.group(1)          # The first parenthesized subgroup.
'Isaac'
>>> m.group(2)          # The second parenthesized subgroup.
'Newton'

# Find all adverbs
>>> text = "He was carefully disguised but captured quickly by police."
>>> for m in re.finditer(r"\w+ly", text):
...     print('%02d-%02d: %s' % (m.start(), m.end(), m.group(0)))
07-16: carefully
40-47: quickly
```

Le module datetime

```
>>> from datetime import datetime, timedelta, timezone

>>> now = datetime.now()
>>> now
datetime.datetime(2016, 5, 19, 9, 40, 30, 390247)
>>> print(now)
2016-05-19 09:40:30.390247

>>> now + timedelta(minutes=10)
datetime.datetime(2016, 5, 19, 9, 50, 30, 390247)

>>> xmas = datetime(now.year, 12, 25, tzinfo=datetime.timezone.utc)
>>> print(xmas)
2021-12-25 00:00:00+00:00
>>> xmas - now
datetime.timedelta(219, 51569, 609753)
>>> print(xmas - now)
219 days, 14:19:29.609753
```

Les modules os et sys

```
>>> import os
>>> import sys

>>> sys.platform
'darwin'

>>> help(sys.argv) # you may prefer argparse or click

>>> os.getcwd(), os.path.abspath(os.getcwd())
('.', '/Users/xo')

>>> [x for x in os.listdir() if re.match(".*rc", x)]
['.bashrc', '.condarc', '.curlrc', '.vimrc', '.wgetrc', '.zshrc']
```

Le module pathlib

```
>>> from pathlib import Path
>>> p = Path(".")
>>> p.isdir()
True
>>> p.absolute()
PosixPath('/home/xo')
>>> sorted(p.glob(".*rc"))
[
    PosixPath('/home/xo/.bashrc'), PosixPath('/home/xo/.condarc'),
    PosixPath('/home/xo/.curlrc'), PosixPath('/home/xo/.vimrc'),
    PosixPath('/home/xo/.wgetrc'), PosixPath('/home/xo/.zshrc'),
]
>>> # Read and write
>>> bashrc = (p / ".bashrc").read_text()
>>> (p / "contents").write_text("some text")
```

Interlude



- Construire et documenter une fonction qui lève une exception `ValueError` si une chaîne de caractères ne représente pas un numéro d'immatriculation de véhicule.
- Lister les éléments du dossier `/tmp` qui ont été modifiés il y a moins de 24 heures.
- Construire et documenter une fonction qui décompose une chaîne de caractères représentant un entier pour reconstruire l'entier correspondant.

👉 *ne pas utiliser `int()`*

```
import re

def verify(string: str):
    """Match valid registration numbers.

    >>> verify("AA-229-BY")
    >>> verify("1234-WC-75")
    Traceback (most recent call last):
        ...
    ValueError: Not a valid registration number: 1234-WC-75
    """
    if not re.match(r"[A-Z]{2}-\d{3}-[A-Z]{2}$", string):
        raise ValueError("Not a valid registration number: %s" % string)
```



```
from datetime import datetime, timedelta
from pathlib import Path

files: list[Path] = []

for p in Path("/tmp").glob("*"):
    timestamp = p.stat().st_mtime
    ts_date = datetime.fromtimestamp(timestamp)
    delta_max = timedelta(days=1)
    if datetime.now() - ts_date < delta_max:
        files.append(p)

print(files)
```

Interlude

```
import functools
```

```
def horner(string):
```

```
    """Horner's method. Equivalent to int(string) for strings.
```

```
    >>> horner("12583")
```

```
    12583
```

```
    >>> horner("1234a")
```

```
    Traceback (most recent call last):
```

```
        ...
```

```
    TypeError: 'a' is not a number
```

```
    """
```

```
    tab = [x - b"0"[0] for x in string.encode()]
```

```
    for i, x in enumerate(tab):
```

```
        if x > 9 or x < 0:
```

```
            raise TypeError("'" + string[i] + "' is not a number")
```

```
    return functools.reduce(lambda rec, x: rec * 10 + x, tab, 0)
```

```
if __name__ == '__main__':
```

```
    import doctest
```

```
    print(doctest.testmod())
```

- Python est livré avec des fonctions de bases, notamment `print()`, `type()` ou `help()`;
- D'autres fonctions s'appliquent à des structures qui répondent à des spécifications particulières :
 - `len()` renvoie la longueur d'une structure séquentielle;
 - `max()` renvoie le plus grand élément d'une structure séquentielle si ces éléments peuvent se comparer entre eux;
 - `sum()` renvoie la somme d'éléments d'une structure séquentielle si ces éléments peuvent se sommer entre eux;
 - `sorted()` renvoie une liste triée d'éléments d'une structure séquentielle si ces éléments peuvent se comparer entre eux;

La fonction `range` produit une forme d'itération :

- les éléments sont générés explicitement, un par un, à chaque passage dans une boucle;
- `len`, `sorted`, etc. savent manipuler cette structure *itérable*.

```
>>> r = range(1, 1024, 3) # range does not produce a list
>>> r
range(1, 1024, 3)

>>> import collections
>>> isinstance(r, collections.Iterable)
True
>>> list(r)
# (truncated: the full list is expanded in memory)
```

`enumerate` ajoute un index lors de l'itération sur une séquence :

```
# anti-pattern
n = len(x)
for i in range(n):
    a = x[i]
    ...
```

```
# préférer
for i, a in enumerate(x):
    ...
```

```
# exemples
s = list(x**2 for x in range(5)) # [0, 1, 4, 9, 16]
list(enumerate(s)) # [(0, 0), (1, 1), (2, 4), (3, 9), (4, 16)]
```

zip et enumerate

zip et enumerate sont des fonctions utiles pour l'itération :

```
>>> names = ['Alice', 'Bob', 'Charlie']  
>>> ages = [25, 30, 35]  
>>> scores = [85, 90, 78]
```

```
# zip pour itérer sur plusieurs séquences
```

```
>>> for name, age, score in zip(names, ages, scores):  
...     print(f"{name} ({age} ans): {score}/100")  
Alice (25 ans): 85/100  
Bob (30 ans): 90/100  
Charlie (35 ans): 78/100
```

```
# enumerate pour obtenir l'index
```

```
>>> for i, name in enumerate(names):  
...     print(f"Position {i}: {name}")  
Position 0: Alice  
Position 1: Bob  
Position 2: Charlie
```

Exercice

Trouver la paire d'éléments consécutifs d'une liste telle que leur différence en valeur absolue soit la plus grande de la liste.

Exercice

Trouver la paire d'éléments consécutifs d'une liste telle que leur différence en valeur absolue soit la plus grande de la liste.

```
>>> s = [1, 0, 3, 7, 2, 5, 8, 9, 4, 6]
>>> list(zip(s, s[1:]))
[(1, 0), (0, 3), (3, 7), (7, 2), (2, 5), (5, 8), (8, 9), (9, 4), (4, 6)]
>>> list(abs(x-y) for x, y in zip(s, s[1:]))
[1, 3, 4, 5, 3, 3, 1, 5, 2]
>>> max(abs(x-y) for x, y in zip(s, s[1:]))
5
>>> max((abs(x-y), i) for i, (x, y) in enumerate(zip(s, s[1:])))
(5, 7)
>>> list(zip(s, s[1:]))[7]
(9, 4)
>>> max((abs(x-y), (x, y)) for x, y in zip(s, s[1:]))
(5, (9, 4))
>>> max(zip(s, s[1:]), key=lambda elt: abs(elt[1] - elt[0]))
(7, 2)
```


Keyword & positional arguments

Python permet d'appeler une fonction en passant ses arguments avec la notation `(*args, **kwargs)` :

- sous la forme d'un dictionnaire  *keyword arguments*

```
>>> d = {'real': 3, 'imag': 5}
>>> complex(**d) # complex(real=3, imag=5)
(3+5j)
```

- sous la forme d'un tuple  *positional arguments*

```
>>> t = (3, 5)
>>> complex(*t) # complex(3, 5)
(3+5j)
```

Use case :

```
def function(name, *args, **kwargs):
    print(name)
    other_function(*args, **kwargs)
```

- Le mot-clé `yield` remplace le mot `return` :

```
>>> def syracuse(n):
...     yield n
...     while n != 1:
...         if n % 2 == 0:
...             n = n // 2
...         else:
...             n = 3*n + 1
...         yield n
...
>>> syracuse(58)
<generator object syracuse at 0x7f9386164d38>
>>> list(syracuse(58)) # or for s in syracuse(58): ...
[58, 29, 88, 44, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1]
```

- Des mots-clés venus du paradigme *fonctionnel*.

```
>>> temperatures = [36.5, 37, 37.5, 38, 39] # celsius
>>> fahrenheit = map(lambda t: 9/5 * t + 32, temperatures)
>>> list(fahrenheit)
[97.7, 98.600000000000001, 99.5, 100.4, 102.2]
```

```
>>> fever = filter(lambda t: t > 37.5, temperatures)
>>> list(fever)
[38, 39]
```

- La compréhension de liste peut être plus lisible.

```
>>> [9./5 * t + 32 for t in temperatures]
[97.7, 98.600000000000001, 99.5, 100.4, 102.2]
>>> [t for t in temperatures if t > 37.5]
[38, 39]
```

Comment appliquer à une liste $[x_0, x_1 \dots x_n]$ l'opération :

$$f(\dots f(f(x_0, x_1), x_2) \dots x_n)$$

```
>>> import functools
>>> l = [1, 7, 2, 4]
>>> functools.reduce(lambda x, y: x + y, l) # prefer sum here
14
>>> import operator
>>> same_result = functools.reduce(operator.add, l)
>>> functools.reduce(lambda x, y: x * y, l)
56
>>> same_result = functools.reduce(operator.mul, l)
>>> functools.reduce(lambda x, y: 10*x + y, l)
1724
```

Python orienté objet

Les valeurs, ou **instances**, Python ont un type, ou **classe** :
`int`, `bool`, `str`, `list` ou `numpy.ndarray`, etc.

Chaque classe présente des propriétés :

- on peut comparer des `int`, des `float` :

```
>>> 1 < 3.14  
True
```

- on peut parcourir et indexer des `str`, des `list` :

```
>>> 'object'[2]  
'j'
```

- certaines classes exposent des **méthodes** :

```
>>> 'help!'.upper()  
'HELP!'
```

Les fonctions Python sont codées en supposant que les données d'entrées ont les mêmes propriétés :

- `sorted` trie une structure séquentielle formée de valeurs comparables.

```
>>> sorted([1, 4, 7])  
[1, 4, 7]  
>>> sorted("help")  
['e', 'h', 'l', 'p']
```

Le typage canard (*duck-typing*)

«*S'il marche comme un canard et cancanne comme un canard, alors c'est un canard!*»

- Python ne s'intéresse pas tant aux objets qu'à leur comportement.
- Si deux instances offrent la même interface, alors on peut appeler les mêmes fonctions dessus.
- Le contrôle est assuré par les exceptions.

👉 style EAFP

L'orienté objet est un style de programmation qui repose sur trois grands principes :

- la notion d'**encapsulation** : un objet embarque des propriétés (attributs, méthodes, etc.);
- la notion d'**interface** : un objet présente et documente des services tout en cachant sa structure interne;
- la notion de **factorisation** : on met en commun des objets au comportement similaire.

Python³ offrent des facilités pour mettre en œuvre ces principes.

³et a fortiori les langages orienté objet

On souhaite trier une liste de points (coordonnées complexes) dans le plan par module croissant :

```
>>> coords = [1+2j, 3j, 2+1j, 4]
>>> sorted(coords)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: unorderable types: complex() < complex()
```

- *Il n'y a pas de relation d'ordre total sur les complexes.*

Un exemple

On crée un objet `Point` qui hérite des complexes :

```
>>> class Point(complex):
...     """A class for representing 2-dimension points."""
...     def __lt__(self, pt):
...         """An order relation based on the L2-norm."""
...         return self.real**2 + self.imag**2 < pt.real**2 + pt.imag**2
...
>>> points = [Point(p) for p in coords]
>>> sorted(points)
[(1+2j), (2+1j), 3j, (4+0j)]
```

Le `Point` garde toutes les propriétés des complexes.

```
>>> points[0] * points[1]
5j
>>> 2+3j + Point(3j)
(2+6j)
>>> points[1].real
2.0
```

Les `doctests` produisent la documentation habituelle.

```
>>> help(Point)
```

Une instance Python permet l'ajout dynamique d'attributs.

```
class Vector(object):  
    pass
```

```
v = Vector()  
v.x = 4.2  
v.y = 2.3  
v.z = 0.2  
  
print(v.x, v.y, v.z)
```

similaire à un dictionnaire...

```
v = {'x': 4.2, 'y': 2.3, 'z': 0.2}  
  
print(v['x'], v['y'], v['z'])
```

Construction d'une classe

```
import numpy as np

class Vector(object):
    # By convention, self refers to the instance itself
    def norm(self):
        """The L2-norm of the structure."""
        return np.sqrt(self.x**2 + self.y**2 + self.z**2)

v = Vector()
v.x = 4.2
v.y = 2.3
v.z = 0.2

print(v.norm()) # 4.792702786528704
```

Construction d'une classe

```
class Vector(object):
    null = 0.0
    def norm(self):
        """The L2-norm of the structure."""
        return np.sqrt(self.x**2 + self.y**2 + self.z**2)
    # Methods may modify the instance.
    def zero(self):
        """Bring back to zero."""
        self.x, self.y, self.z = self.null, self.null, self.null

v = Vector()
v.x = 4.2
v.y = 2.3
v.z = 0.2
v.zero()

print(v.norm()) # 0.0
```

Construction d'une classe

```
class Vector(object):
    null = 0.0
    def __init__(self, x, y, z):
        """Creates a new vector from its coordinates."""
        self.x, self.y, self.z = x, y, z
    def norm(self):
        """The L2-norm of the structure."""
        return np.sqrt(self.x**2 + self.y**2 + self.z**2)
    def zero(self):
        """Bring back to zero."""
        self.x, self.y, self.z = self.null, self.null, self.null

v = Vector(4.2, 2.3, 0.2)
print(v.norm()) # 4.792702786528704

v.zero()
print(v.norm()) # 0.0
```


☞ On n'a jamais dit que x , y et z doivent être des flottants.

Ils doivent simplement pouvoir :

- être additionnés;
- être valides vis-à-vis du calcul de la norme.

```
>>> a = np.linspace(0, 5, 3)
>>> b = np.linspace(5, 0, 3)
>>> c = 0
>>> v = Vector(a, b, c)
>>> v.norm()
array([ 5.          ,  3.53553391,  5.          ])
```

Si une classe A veut donner aux accès aux services fournis par la classe B, on peut procéder par :

- **composition** : la classe A donne accès à un attribut de la classe B : les méthodes de B sont appelées via des appels à des méthodes de A;
- **héritage** : la classe A reproduit le comportement de la classe B quitte à surcharger certains comportements.

```
class Triangle:

    def __init__(self, a, b, c):
        self.points = a, b, c # composition

    def translate(self, t):
        for point in self.points:
            point.translate(t) # accès aux méthodes de point
```

```
class TriangleCompteur(Triangle): # héritage

    compteur = 0

    def __init__(self, a, b, c): # surcharge
        super().__init__(a, b, c) # appel à la méthode de Triangle
        self.__class__.compteur += 1

    def __repr__(self): # surcharge
        return f"Un triangle parmi {self.__class__.compteur}"

# def translate(self, t): # inutile: accès offert par l'héritage
#     for point in self.points:
#         point.translate(t) # accès aux méthodes de point

>>> [TriangleCompteur(p1, p2, p3), TriangleCompteur(p2, p3, p4)]
[Un triangle parmi 2, Un triangle parmi 2]
```

Composition ou héritage ?

On dit souvent qu'il faut préférer la composition à l'héritage. Retenons plutôt qu'il vaut mieux **éviter de faire de l'héritage pour les mauvaises raisons**.

D'une manière générale, si on pense faire hériter B de A :

- toutes les instances d'une classe B pour fonctionner telles quelles avec du code écrit pour A;
- construire une liste qui mélange des instances de A et des instances de B aurait du sens;

on peut préférer l'héritage.

Sinon, il vaut sans doute mieux procéder par composition.

Composition ou héritage ?

```
class Rectangle(Triangle):
```

```
    ...
```

```
class Point3D(Point2D):
```

```
    ...
```

NON!

Un rectangle n'est pas un triangle. À la limite, Point2D est un cas particulier de Point3D (pas l'inverse).

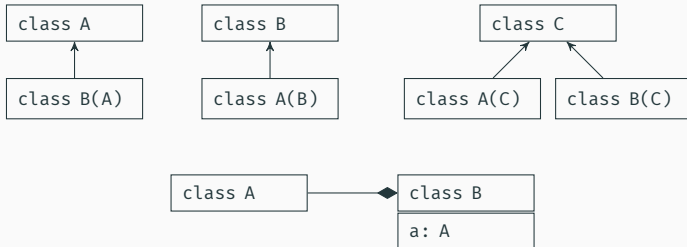
→ Il vaut mieux créer une classe **Forme** (ou **PointnD**) qui factorise les comportements et créer l'héritage à partir de là.

- La factorisation se conçoit sur les valeurs (les données). Elle se formalise ensuite sur les types.
- La factorisation est arbitraire.
- La factorisation dépend de l'application cible.

On peut factoriser deux classes A et B si :

- elles ont la même interface;
- leur interface a une partie commune.

La factorisation peut s'exprimer suivant ces modèles :



Les protocoles sont des interfaces informelles à la base du fonctionnement du polymorphisme.

L'exemple fondamental est celui de structure itérable.

Les classes n'héritent pas d'une interface **Iterable** mais si l'interpréteur trouve des méthodes qui lui permettent d'itérer, (`__iter__` ou `__getitem__`) alors il reconnaît la classe comme suivant le protocole **Iterable**.

```
from collections.abc import Iterable

class Point:
    coords = (0, 0, 0)

isinstance(Point(), Iterable) # False

class Point:
    coords = (0, 0, 0)

    def __iter__(self):
        yield from self.coords

isinstance(Point(), Iterable) # True

list(Point()) # [0, 0, 0]
```

Protocoles

```
from collections.abc import Container, Sized
```

```
isinstance(Point(), Container) # False
```

```
isinstance(Point(), Sized) # False
```

```
class Point:
```

```
    coords = (0, 0, 0)
```

```
    def __iter__(self):
```

```
        yield from self.coords
```

```
    def __len__(self): # Sized
```

```
        return len(self.coords)
```

```
    def __contains__(self, elt): # Container
```

```
        return elt in self.coords
```

```
isinstance(Point(), Container) # True
```

```
isinstance(Point(), Sized) # True
```

```
len(Point()) # 3
```

Les dataclasses simplifient la création de classes principalement utilisées pour stocker des données :

```
from dataclasses import dataclass

@dataclass
class Point:
    x: float
    y: float
    z: float = 0.0 # valeur par défaut

# Équivalent à définir __init__, __repr__, __eq__ automatiquement
p1 = Point(1.0, 2.0)
p2 = Point(1.0, 2.0, 3.0)

print(p1) # Point(x=1.0, y=2.0, z=0.0)
print(p1 == Point(1.0, 2.0)) # True
```

Avantages des dataclasses :

- Génération automatique de `__init__`, `__repr__`, `__eq__`
- Support des annotations de type
- Options : `frozen=True` pour l'immutabilité, `order=True` pour la comparaison
- Attention aux champs mutables

```
from dataclasses import dataclass, field
```

```
@dataclass(order=True)
```

```
class Personne:
```

```
    name: str
```

```
    siblings: list[Personne] = field(default_factory=list, compare=False)
```

Interlude



- Créer une dataclass **Student** avec les attributs **name** (str), **age** (int) et **grades** (list[float]) avec une liste vide par défaut.
- Ajouter une méthode **average** qui calcule la moyenne des notes.
- Créer quelques étudiants et les trier par moyenne décroissante.

Interlude

```
from dataclasses import dataclass, field

@dataclass
class Student:
    name: str
    age: int
    grades: list[float] = field(default_factory=list)

    def average(self) -> float:
        return sum(self.grades) / len(self.grades) if self.grades else 0.0

alice = Student(name="Alice", age=20, grades=[15.0, 20.0, 18.0])
bob = Student(name="Bob", age=22)
charlie = Student(name="Charlie", age=19, grades=[12.0, 8.0])

sorted([alice, bob, charlie], key=lambda student: student.average(), reverse=True)
# [Student(name='Alice', age=20, grades=[15.0, 20.0, 18.0]), Student(name='Charlie'
```


- Construire et documenter une classe **Container** qui contient un **set** de valeurs accompagné d'un ensemble de valeurs autorisées :
 - la méthode **add** ajoute une valeur si elle est autorisée;
 - la méthode **extend** ajoute une valeur à la liste autorisée;
 - la méthode **restrict** enlève une valeur de la liste des valeurs autorisées.

Note : Il faut aussi gérer et documenter les cas limites.

```
"""Specifications and unit tests for the exercise.
```

```
>>> e = Container()
>>> for v in [1, 2, 'a', 3.14]:
...     e.extend(v)
>>> e.add(3.14)
>>> e.add(2)
>>> e.add(2)
>>> e
Container({2, 3.14})

>>> e.add(5)
Traceback (most recent call last):
...
ValueError: Value '5' is not allowed.
```

```
>>> e.extend(5)
>>> e.add(5)

>>> e.restrict(1)
>>> e.restrict(2)
Traceback (most recent call last):
...
ValueError: Value '2' is present in the Container.
"""
```

Interlude

```
class Container(set):
    def __init__(self):
        self.allowedValues = set()
        super().__init__()

    def extend(self, v):
        """Add a value in the list of allowed values."""
        self.allowedValues.add(v)

    def add(self, v):
        """Add a value in the set."""
        if v not in self.allowedValues:
            raise ValueError("Value '%s' is not allowed." % v)
        super().add(v)

    def restrict(self, v):
        """Remove a value from the list of allowed values."""
        if v in self:
            raise ValueError("Value '%s' is present in the Container." % v)
        self.allowedValues.remove(v)
```


Reprenons...

Le cycle de vie de l'objet

Les objets Python sont détruits automatiquement par un *garbage collector* qui compte le nombre de références vers chaque objet.

Quand le compteur arrive à zéro, l'objet est détruit :

```
>>> class foo(object):
...     def __del__(self):
...         print("bye bye")
...
>>> e = foo()    # Py_INCREF()    --> 1
>>> f = []
>>> f.append(e)   # Py_INCREF()    --> 2
>>> del e         # Py_DECREF()    --> 1
>>> f.clear()     # Py_DECREF()    --> 0
bye bye
```

- Les attributs et méthodes « classiques » sont accessibles par la notation pointée.
- En revanche, les attributs préfixés par `__` sont inaccessibles en dehors de l'instance.  *attribut privé*

Des noms de méthodes sont réservés :

- `__init__(self)`, appelé lors de la création de l'objet;
- `__del__(self)`, appelé lors de la destruction de l'objet;
- `__repr__(self)`, appelé lors de l'affichage dans le terminal;
- `__add__(self, other)`, appelé par l'opérateur +;
- `__lt__(self, other)`, appelé par l'opérateur <;
- `__next__(self)`, appelé lors d'un `for i in ...`;
- etc.

Properties, getters & setters

```
class Circle(object):
    def __init__(self, radius):
        self.radius = radius

    @property
    def area(self):
        return math.pi * self.r**2

    @area.setter
    def area(self, value):
        self.r = math.sqrt(value/math.pi)
```

```
>>> a = Circle(2)
>>> a.area
12.566370614359172
>>> a.radius = 3
>>> a.area
28.274333882308138
>>> a.area = 2
>>> a.radius
0.7978845608028654
```


Interlude



- Trier par ordre croissant de surface des formes géométriques définies comme suit :
 - un cercle : son rayon;
 - un triangle : ses trois sommets;
 - un quadrilatère : ses quatre sommets (dans l'ordre)

```
"""
```

```
Make a list of geometrical shapes and order them by area.
```

```
>>> c = Circle(1)
```

```
>>> t = Triangle(0, 4, 3j)
```

```
>>> q = Quadrilateral(0, 2, 2+2.5j, 2.5j)
```

```
>>> sorted([c, t, q])
```

```
[Circle of area 3.14, Quadrilateral of area 5.00, Triangle of area 6.00]
```

```
"""
```

```
class Shape(object):
```

```
    def __lt__(self, shape):
```

```
        return self.area() < shape.area()
```

```
    def __repr__(self):
```

```
        return f"{type(self).__name__} of area {self.area():.2f}"
```

```
class Circle(Shape):
    """Define a circle by its radius.

    >>> c = Circle(2)
    >>> c.area()/math.pi
    4.0
    """

    def __init__(self, radius):
        assert radius > 0, "Only positive radius"
        self.r = radius

    def area(self):
        # not very spectacular
        return math.pi * self.r ** 2
```

```
class Triangle(Shape):
    """Define a triangle by three vertices.

    >>> t = Triangle(0, 4, 3j)
    >>> t.area()
    6.0
    """

    def __init__(self, a, b, c):
        self.v1 = b - a
        self.v2 = c - a

    def area(self):
        # z1.conjugate() * z2 = dot(z1, z2) + cross(z1, z2) * j
        # area is half of the abs value of the cross product
        return abs((self.v1.conjugate() * self.v2).imag) / 2.0
```

```
class Quadrilateral(Shape):
    """Define a quadrilateral by four vertices.

    >>> q = Quadrilateral(0, 2, 2+2.5j, 2.5j)
    >>> q.area()
    5.0
    """

    def __init__(self, a, b, c, d):
        # cut the quadrilateral into two triangles and sum the areas
        self.t1 = Triangle(a, b, c)
        self.t2 = Triangle(c, d, a)

    def area(self):
        return self.t1.area() + self.t2.area()
```

Modules – Interfaces

Le module est l'unité de nommage Python (\approx fichier).

C'est une **unité de services** qui fournit :

- des constantes;
- des types et des classes;
- des fonctions.

```
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt
from math import pi, cos
```

La commande **import** procède à de l'interprétation de code Python et/ou au chargement de bibliothèques compilées.

L'interpréteur recherche le module dans :

- le répertoire courant;
- la liste de répertoires du `PYTHONPATH`;
- les répertoires systèmes.

Important!

Chaque module n'est importé **qu'une seule fois** par session.

Si le module est changé, il faut redémarrer l'interpréteur.

Note : Python produit et maintient une version compilée d'un fichier à l'extension `.pyc` dans un dossier `__pycache__`.

Les modules présentent une interface à des *services génériques et réutilisables*, tout en masquant les détails techniques : algorithmique, code, choix du langage !

Rappel

La présentation d'une interface claire, générique et robuste est fondamentale.

Questions fondamentales :

- Quelles sont les fonctions à forte plus-value ?
- Où trouver la documentation et des exemples d'utilisation ?

Python fournit des outils performants pour la livraison de modules, mais il faut penser en amont à :

- une méthodologie (tests, documentation, développement);
- des bonnes pratiques sur l'interface.

On distingue souvent :

- tests unitaires (non régression, à granularité fine);
- tests d'intégration (l'articulation du code);
- tests de performance.

Python propose maintenant `pyproject.toml` (PEP 518) comme standard moderne pour la configuration des projets, remplaçant `setup.py`.

L'arborescence suivante est recommandée :

```
geography/  
- src/  
  - geography/  
    - __init__.py  
    - core.py  
    - geodesy.py  
    - projection.py  
- tests/  
- LICENSE  
- README.md  
- pyproject.toml
```

- Le fichier `__init__.py` permet de charger des fichiers dans un répertoire. Il est souvent vide;
- Les `import` relatifs au module courant sont permis :

```
import .core  
from ..foo import bar # go up one directory
```

- Le fichier `pyproject.toml` décrit le module;
- Construction, installation, distribution du *paquet* :

```
uv sync                # install dependencies  
uv build               # build distributable package  
uv pip install dist/*.whl # install from built wheel
```

Le fichier `setup.py`

Le fichier `pyproject.toml` remplace `setup.py` comme standard moderne :

```
[build-system]
requires = ["setuptools>=61.0", "wheel"]
build-backend = "setuptools.build_meta"

[project]
name = "geography"
version = "0.1"
authors = [{name = "Xavier Olive", email = "me@example.com"}]
description = "A fantastic module for geography"
readme = "README.md"
license = {text = "MIT"}
dependencies = ["numpy>=2.0"]
```

- Le site <https://pypi.org/>⁴ recense des milliers de paquets.
- **pip**⁵ est un outil de gestion des paquets et dépendances :

```
pip install numpy
pip uninstall numpy
pip install numpy=1.9
pip install -r requirements.txt
```
- Le nouvel outil **uv** propose une gestion moderne des environnements :

⁴The Python Package Index

⁵Acronyme récursif pour « Pip Installs Packages »

Interlude



- Reprendre le code des séances précédentes et commencer la production d'un module livrable.

Python avancé

La syntaxe « décorateur » utilise une notation à base de @ :

```
>>> def explicit_call(func):
...     def func_wrapper(*args, **kwargs):
...         print("calling " + func.__name__)
...         return func(*args, **kwargs)
...     return func_wrapper
...
>>> @explicit_call
... def is_positive(number):
...     return number > 0
...
>>> is_positive(4)
calling is_positive
True
```

La notation est équivalente à :

```
>>> is_positive = explicit_call(is_positive)
```

"Premature optimization is the root of all evil in programming."

"If you optimize everything, you will always be unhappy."

"I've never been a good estimator of how long things are going to take."

— Donald Knuth

Pour analyser les performances d'un code :

- le module `time` (➡ `%timeit` avec IPython);
- le module `cProfile`, plus complet.

```
import cProfile
cProfile.run('main()', sort='time')
```

- Cython permet à la fois :
 - d'optimiser du code Python en le compilant pour une architecture spécifique de machine;
 - de créer une interface Python pour appeler du code écrit dans un autre langage, via son API C/C++.

- Rust offre d'excellentes performances et sécurité mémoire
- De nombreuses bibliothèques performantes sont disponibles en Rust
- Plusieurs outils pour créer des bindings Python-Rust :
 - **PyO3** : Framework principal pour les extensions Python en Rust
 - **maturin** : Outil de build et distribution (déjà mentionné dans l'historique)
- Avantages par rapport à Cython :
 - Sécurité mémoire garantie
 - Performance native
 - Écosystème Rust moderne
- Exemples d'usage : cryptographie, parsers, calculs intensifs
- Outils célèbres : uv, ruff, etc.

- Un mécanisme interne à Python (le GIL) ne permet pas aux *threads* qui manipulent des objets Python de s'exécuter en parallèle;
 - ☞ possible, mais sans gain de performance
- Les extensions C (notamment NumPy) peuvent désactiver le GIL pour paralléliser des traitements;
- Le *multiprocessing* est une alternative mais les espaces de variables de chaque processus sont isolés.
- Numpy, Cython, Numba sont des bibliothèques optimisées pour le traitement parallèle.

PyQt5 propose une interface vers l'API de Qt⁶ (Nokia).

- joli, convivial, portable,
- mais chronophage!

Le principe est de fournir des fonctions, ou *callbacks*, à appeler lors d'un événement (clic sur un bouton, etc.)

- Dropbox, QGIS, calibre (ebooks), etc.

⁶prononcé *cute*


```
>>> import this
```