Python, perfectionnement

Cours conçu par Razvan BIZOÏ

Razvan@BIZOI.fr

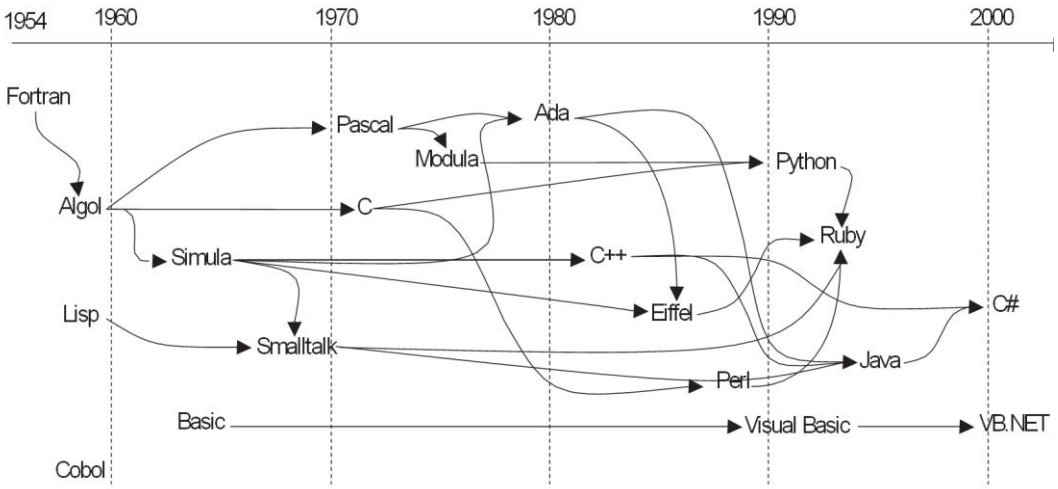
Table des matières

1

L'Introduction

Un peu d'histoire

Un peu d'histoire



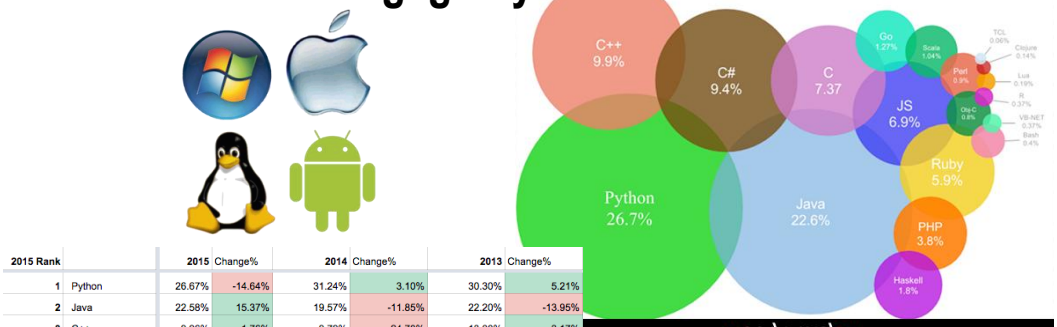
Les des langages de programmation ont ouvert la voie de l'abstraction, principe fondamental qui cherche à éloigner autant que possible le programmeur des contingences matérielles, pour le rapprocher des concepts, de la "chose" concrète ou abstraite qu'il doit traiter.

C'est ainsi qu'au fil du temps différents ensembles de règles et de principes de conception de programmation se sont développés. Programmation structurée, fonctionnelle, orientée objet… À chaque évolution, l'objectif est toujours le même : permettre la meilleure représentation informatique possible, la plus intuitive possible, de l'idée sur laquelle opère le programme.

Il ne s'agit là que d'une vue vraiment très simplifiée, presque caricaturale. Mais vous pouvez constater que les langages s'inspirent fortement les uns des autres. Par ailleurs, la plupart de ceux présentés sur ce schéma sont toujours utilisés et continuent d'évoluer – c'est, par exemple, le cas du vénérable ancêtre Fortran, notamment dans les applications très gourmandes en calculs scientifiques.

Présentation du langage Python

Présentation du langage Python



2015 Rank		2015	Change%	2014	Change%	2013	Change%
1	Python	26.67%	-14.64%	31.24%	3.10%	30.30%	5.21%
2	Java	22.58%	15.37%	19.57%	-11.85%	22.20%	-13.95%
3	C++	9.96%	1.76%	9.79%	-24.70%	13.00%	3.17%
4	C#	9.39%	27.37%	7.37%	47.37%	5.00%	100.00%
5	C	7.37%	21.37%	6.07%	48.14%	4.10%	-16.33%
6	JavaScript	6.88%	6.09%	6.48%	24.66%	5.20%	33.33%
7	Ruby	5.88%	-17.27%	7.11%	-32.90%	10.60%	10.42%
8	PHP	3.82%	5.45%	3.62%	9.84%	3.30%	-54.79%
9	Haskell	1.77%	17.24%	1.51%	25.83%	1.20%	
10	Go	1.27%	-44.00%	2.26%	50.67%	1.50%	-25.00%
11	Scala	1.04%	-17.80%	1.27%	27.00%	1.00%	66.67%
12	Perl	0.95%	-37.33%	1.52%	-6.17%	1.62%	
13	Objective-C	0.82%	-17.62%	1.00%	265.76%	0.27%	173.40%
14	Bash	0.46%	7.21%	0.43%	290.91%	0.11%	
15	R	0.37%	165.71%	0.14%	-30.00%	0.20%	
16	Visual Basic,NET	0.37%	825.50%	0.04%			
17	Lua	0.19%	-44.51%	0.35%	337.50%	0.08%	
18	Clojure	0.14%	-8.53%	0.15%	-48.28%	0.29%	-63.75%
19	Tcl	0.06%	-8.57%	0.07%	133.33%	0.03%	50.00%

Détaillons un peu les principales caractéristiques de Python, plus précisément, du langage et de ses deux implantations actuelles.

- Python est portable, non seulement sur les différentes variantes d'Unix, mais aussi sur les OS propriétaires.
- Python est gratuit, mais on peut l'utiliser sans restriction dans des projets commerciaux.
- Python convient aussi bien à des scripts d'une dizaine de lignes qu'à des projets complexes de plusieurs dizaines de milliers de lignes.
- La syntaxe de Python est très simple et, combinée à des types de données évolués (listes, dictionnaires...), conduit à des programmes à la fois très compacts et très lisibles. À fonctionnalités égales, un programme Python (abondamment commenté et présenté selon les canons standards) est souvent de 3 à 5 fois plus court qu'un programme C ou C++ (ou même Java) équivalent, ce qui représente en général un temps de développement de 5 à 10 fois plus court et une facilité de maintenance largement accrue.
- Python gère ses ressources (mémoire, descripteurs de fichiers...) sans intervention du programmeur, par un mécanisme de comptage de références (proche, mais différent, d'un garbage collector).
- Python est orienté-objet. Il supporte l'héritage multiple et la surcharge des opérateurs. Dans son modèle objets, et en reprenant la terminologie de C++, toutes les méthodes sont virtuelles.
- Python intègre, comme Java ou les versions récentes de C++, un système d'exceptions, qui permettent de simplifier considérablement la gestion des erreurs.
- Python est **dynamique** (l'interpréteur peut évaluer des chaînes de caractères représentant des expressions ou des instructions Python), **orthogonal** (un petit nombre de concepts suffit à engendrer des constructions très riches), **réflectif** (il supporte la métaprogrammation, par exemple la capacité pour un objet de se

rajouter ou de s'enlever des attributs ou des méthodes, ou même de changer de classe en cours d'exécution) et **introspectif** (un grand nombre d'outils de développement, comme le debugger ou le profiler, sont implantés en Python lui-même).

- Comme Scheme ou SmallTalk, Python est dynamiquement typé. Tout objet manipulable par le programmeur possède un type bien défini à l'exécution, qui n'a pas besoin d'être déclaré à l'avance.
- Python possède actuellement deux implémentations. L'une, interprétée, dans laquelle les programmes Python sont compilés en instructions portables, puis exécutés par une machine virtuelle (comme pour Java, avec une différence importante : Java étant statiquement typé, il est beaucoup plus facile d'accélérer l'exécution d'un programme Java que d'un programme Python). L'autre génère directement du bytecode Java.
- Python est extensible : comme Tcl ou Guile, on peut facilement l'interfacer avec des bibliothèques C existantes. On peut aussi s'en servir comme d'un langage d'extension pour des systèmes logiciels complexes.
- La bibliothèque standard de Python, et les paquetages contribués, donnent accès à une grande variété de services : chaînes de caractères et expressions régulières, services UNIX standards (fichiers, pipes, signaux, sockets, threads...), protocoles Internet (Web, News, FTP, CGI, HTML...), persistance et bases de données, interfaces graphiques.
- Python est un langage qui continue à évoluer, soutenu par une communauté d'utilisateurs enthousiastes et responsables, dont la plupart sont des supporters du logiciel libre. Parallèlement à l'interpréteur principal, écrit en C et maintenu par le créateur du langage, un deuxième interpréteur, écrit en Java, est en cours de développement.

Installation sous Linux

Installation sous Linux

```
wget https://www.python.org/ftp/python/3.6.1/Python-3.6.1.tgz
tar xzf Python-3.6.1.tgz
cd Python-3.6.1
./configure
make
make install

which python3
python3 -V
```

```
wget \
https://repo.continuum.io/archive/Anaconda3-4.3.1-Linux-x86_64.sh

bash Anaconda3-4.3.1-Linux-x86_64.sh
```

Python est souvent préinstallé sur la plupart des distributions GNU/Linux. Vous pouvez contrôler sa présence en tapant la commande python dans un terminal.

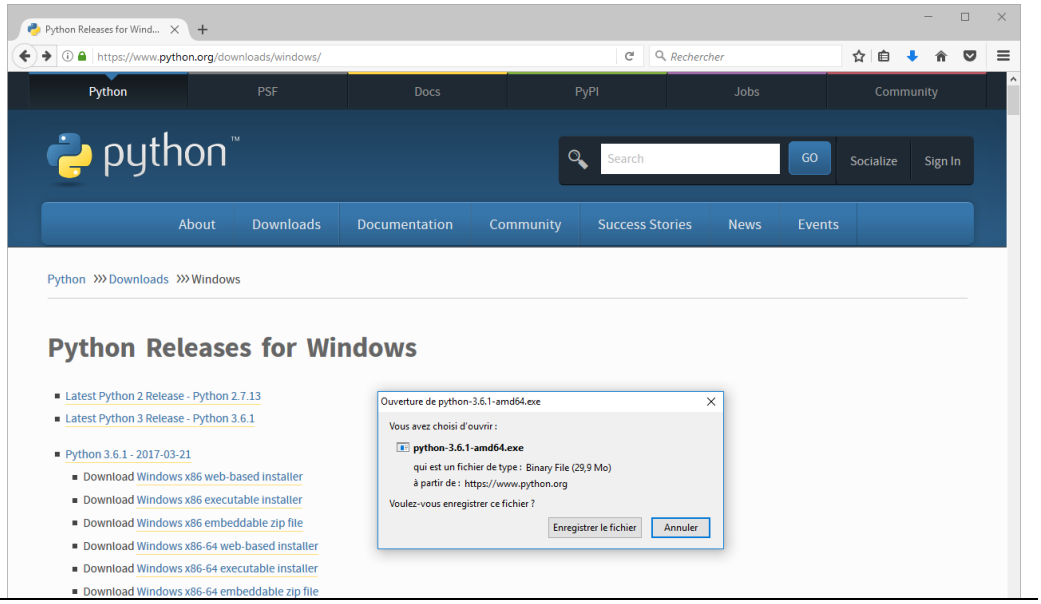
```
[root@ocean Python-3.6.1]# which python3
/usr/local/bin/python3
[root@ocean Python-3.6.1]# python3 -V
Python 3.6.1
[root@ocean Python-3.6.1]# which python
/usr/bin/python
[root@ocean Python-3.6.1]# python -V
Python 2.6.6
```

S'il vous est nécessaire d'installer Python ou de mettre à jour une version existante, vous pouvez le faire par le biais du système de package de la distribution ou le recompiler manuellement. Les manipulations d'installation se font en tant que super-utilisateur, ou root.

```
[root@mercure ~]# yum -y install gcc make zlib-devel
[root@mercure ~]# wget
https://www.python.org/ftp/python/3.6.1/Python-3.6.1.tgz
...
[root@mercure ~]# tar xzf Python-3.6.1.tgz
[root@mercure ~]# cd Python-3.6.1
[root@mercure Python-3.6.1]# ./configure
...
[root@mercure Python-3.6.1]# make
...
Successfully installed pip-9.0.1 setuptools-28.8.0
[root@mercure Python-3.6.1]# which python3
/usr/local/bin/python3
[root@mercure Python-3.6.1]# python3 -V
Python 3.6.1
```

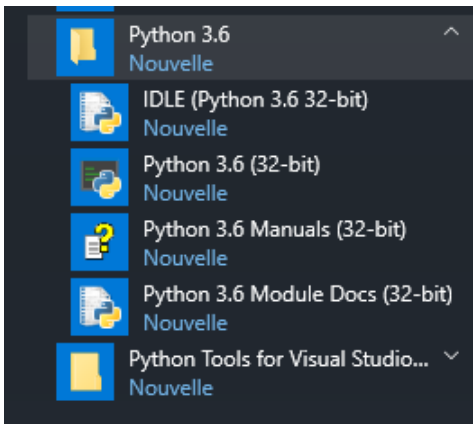
Installation sous Windows

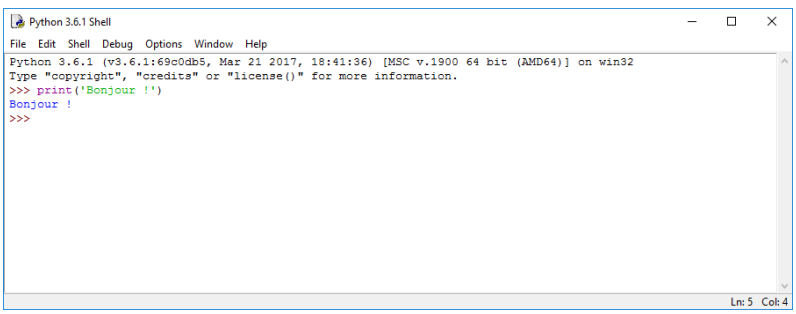
Installation sous Windows



Les plates-formes Windows bénéficient d'un installeur graphique automatique, présenté sous la forme d'un assistant. Si vous n'avez pas les droits administrateurs sur la machine, il est possible de sélectionner dans les options avancées une installation en tant que non-administrateur. L'installation de Python par ce biais ne présente aucune difficulté.

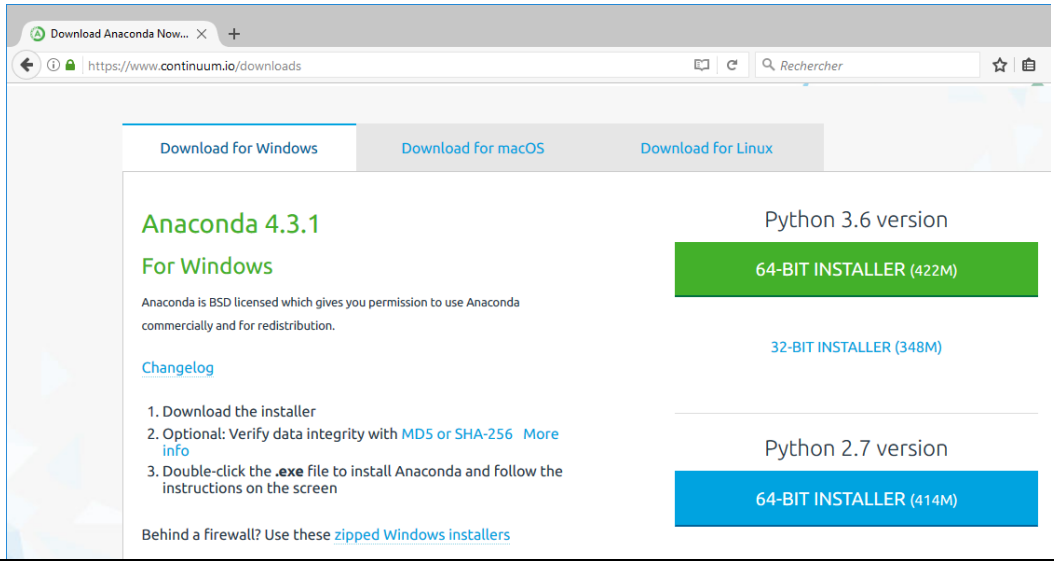
Une fois l'installation achevée, une nouvelle entrée Python apparaît dans le menu Démarrer>Programmes.





L'écosystème Python scientifique

L'écosystème Python scientifique



Au fil des années Python est devenu un outil du quotidien pour les ingénieurs et chercheurs de toutes les disciplines scientifiques. Il est devenu un des outils incontournables des Data Scientists!

Pourquoi utiliser Python pour le calcul scientifique ?

Python est devenu une alternative viable aux solutions propriétaires leader du marché, comme MatLab, Maple, Mathematica, Statistica, ...

Anaconda

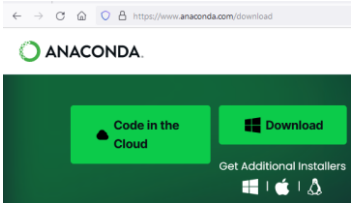
Anaconda est peut-être la distribution la plus répandue en raison de la diversité des plateformes qu'elle supporte et d'une plus grande ouverture des outils sur lesquels elle se base.

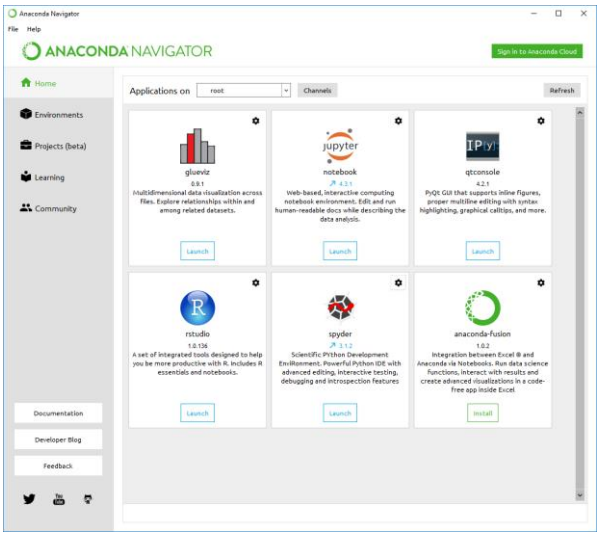
Elle propose une distribution communautaire et partiellement optimisée ainsi qu'une version payante mieux optimisée offrant de nombreux outils complémentaires.

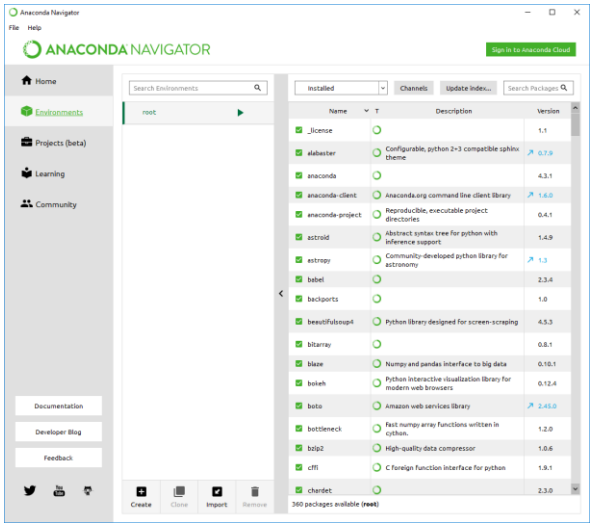
Elle est « cross-platform » et s'appuie sur l'outil de virtualisation d'environnement « conda »

Elle inclue plus de 100 librairies pré-installées et en propose 600 de plus en téléchargement. Enfin, elle est compatible avec « pip ».

https://www.anaconda.com/download

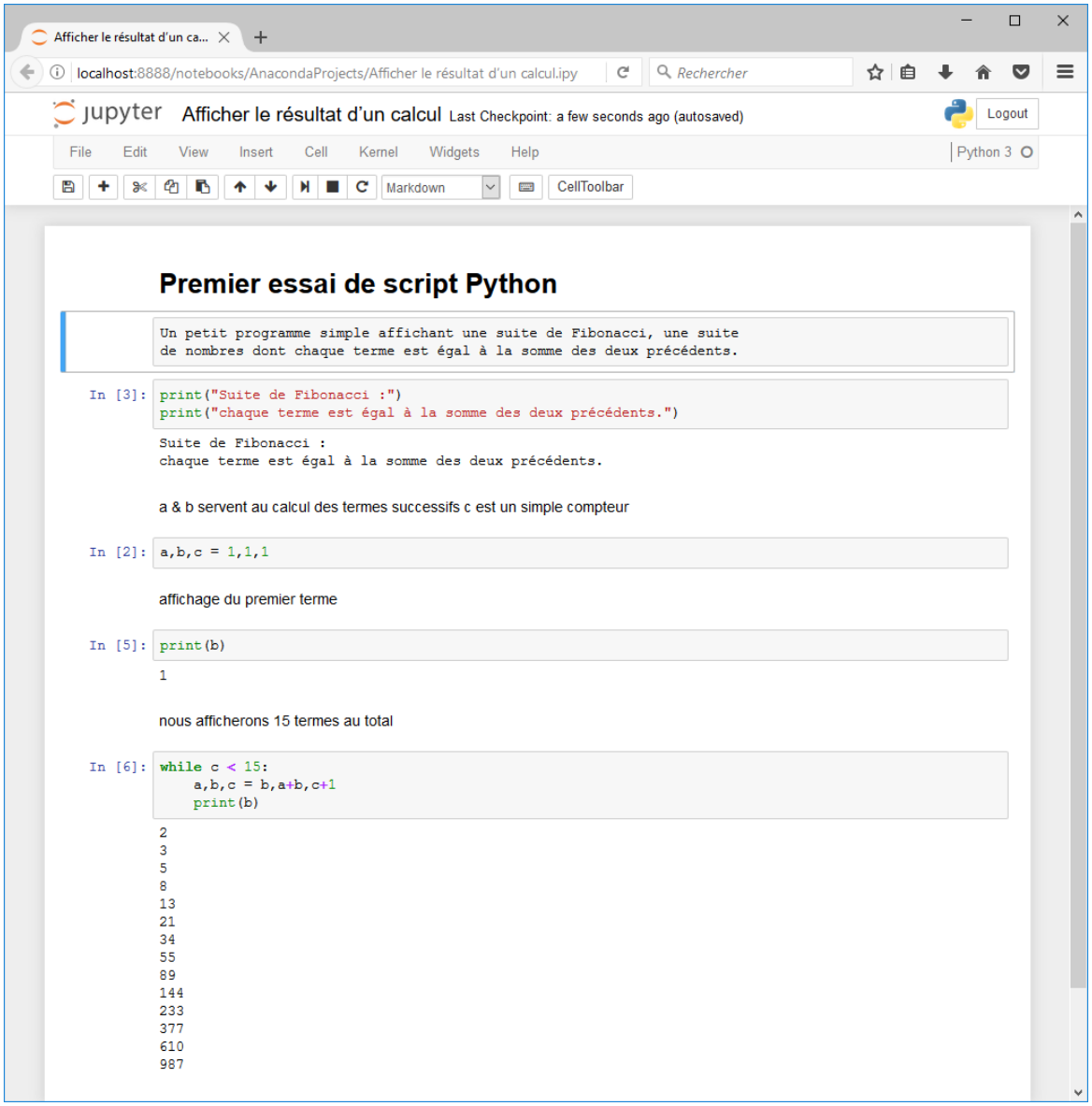




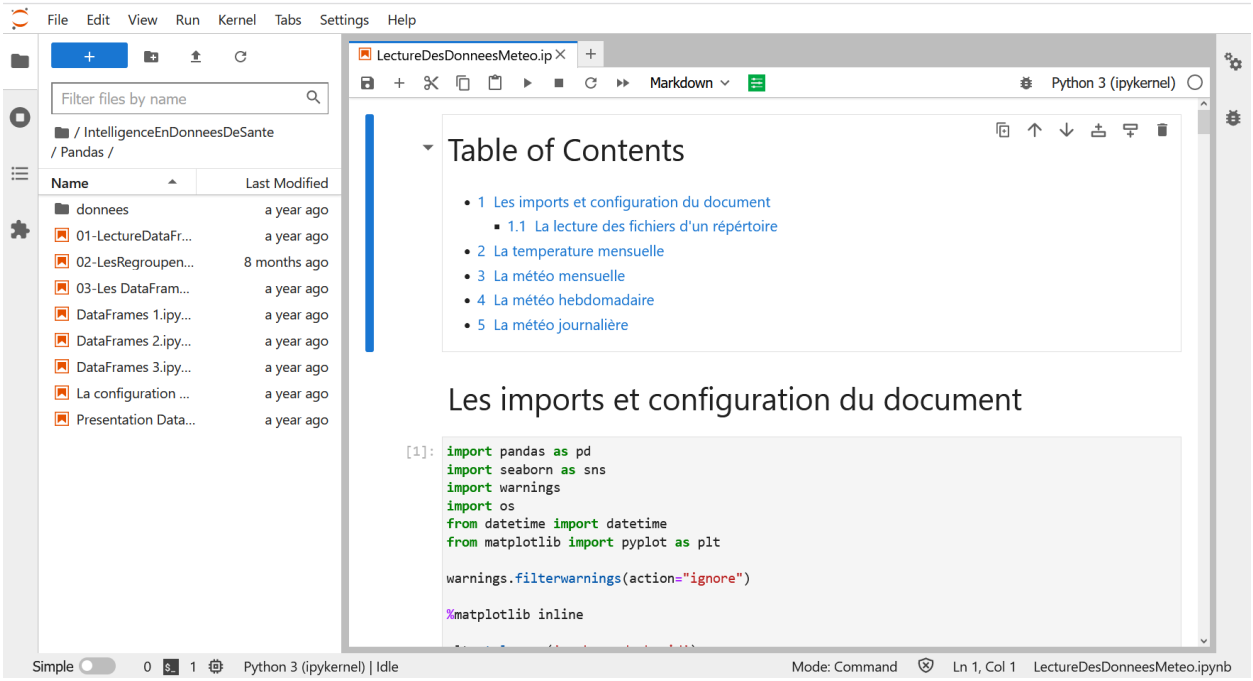


Jupyter Notebook est un projet open source dérivé d'iPython et fournit une interface web riche dans le cadre d'une programmation interactive.

Jupyter Notebook permet à ses utilisateurs de travailler sur des documents associant du code, du texte, des équations, des images, des vidéos et des graphiques.

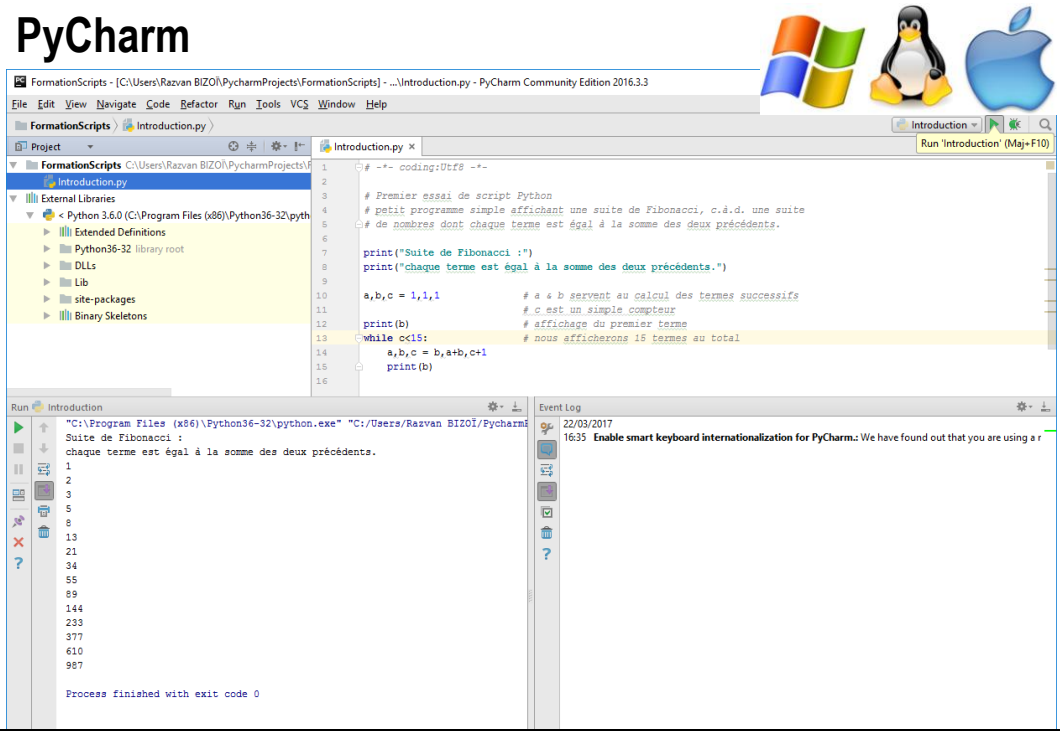


JupyterLab est le successeur de Jupyter Notebook avec plus de fonctionnalités dans la gestion des développements.



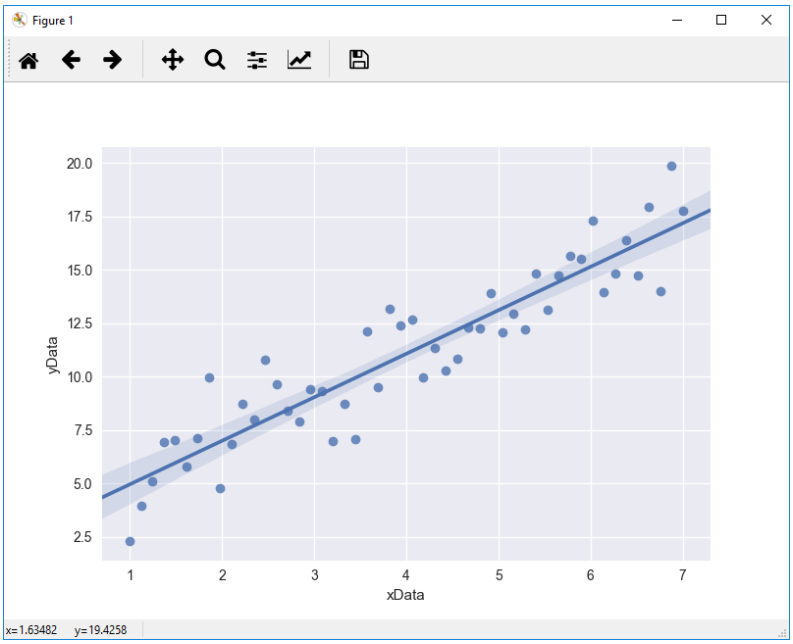
PyCharm

PyCharm




```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd
import seaborn as sns
x = np.linspace(1, 7, 50)
y = 3 + 2*x + 1.5*np.random.randn(len(x))
df = pd.DataFrame({'xData':x, 'yData':y})
sns.regplot('xData', 'yData', data=df)
plt.show()
```



2

La syntaxe basique

Le nom de variable

Pour pouvoir accéder aux données, le programme d'ordinateur fait abondamment usage d'un grand nombre de variables de différents types. Une variable est une référence désignant une adresse mémoire, c'est-à-dire un emplacement précis dans la mémoire vive.

Les noms de variables doivent obéir à quelques règles simples :

- Un nom de variable est une séquence de lettres (**`a ÷ z, A ÷ Z`**) et de chiffres (**`0 ÷ 9`**), qui doit toujours commencer par une lettre.
- Seules les lettres ordinaires sont autorisées. Les lettres accentuées, les cédilles, les espaces, les caractères spéciaux tels que **`$`**, **`#`**, **`@`**, etc. sont interdits, à l'exception du caractère _ (souligné).
- La casse est significative (les caractères majuscules et minuscules sont distingués). Attention : **`Variable`**, **`variable`**, **`VARIABLE`** sont donc des variables différentes.

Prenez l'habitude d'écrire l'essentiel des noms de variables en caractères minuscules. Il s'agit d'une simple convention, mais elle est largement respectée. N'utilisez les majuscules qu'à l'intérieur même du nom, pour en augmenter éventuellement la lisibilité, comme dans **`tableDesMatieres`**.

En plus de ces règles, il faut encore ajouter que vous ne pouvez pas utiliser les mots réservés ci-dessous :

`and`	**`as`**	**`assert`**	**`break`**	**`class`**	**`continue`**	**`def`**
`del`	**`elif`**	**`else`**	**`except`**	**`False`**	**`finally`**	**`for`**
`from`	**`global`**	**`if`**	**`import`**	**`in`**	**`is`**	**`lambda`**
`None`	**`nonlocal`**	**`not`**	**`or`**	**`pass`**	**`raise`**	**`return`**
`True`	**`try`**	**`while`**	**`with`**	**`yield`**		

Pour leur première initialisation, une variable reçoit dans la plupart des cas une constante. Les constantes sont le contraire des variables, ce sont toutes les valeurs numériques, chaînes de caractères, ..., tout ce qui n'est pas désigné par un nom. Les constantes possèdent un type mais pas d'identificateur.

L'affectation

L'affectation désigne l'opération par laquelle on établit un lien entre le nom de la variable et sa valeur. En Python comme dans de nombreux autres langages, l'opération d'affectation est représentée par le signe égale « **=** ».

Python fait la distinction entre l'opérateur d'affectation « **=** » et l'opérateur de comparaison **« == »**.

```
>>> varInt = 12
>>> varStr = 'chaîne de caractères'
>>> varFloat = 15.5
>>> varInt == varFloat
False
>>> varInt == varStr
False
```

Les trois instructions d'affectation ci-dessus ont eu pour effet chacune de réaliser plusieurs opérations dans la mémoire de l'ordinateur :

- créer et mémoriser un nom de variable ;
- lui attribuer un type bien déterminé ;
- créer et mémoriser une valeur particulière ;
- établir un lien (par un système interne de pointeurs) entre le nom de la variable et l'emplacement mémoire de la valeur correspondante.

Les trois noms de variables sont des références, mémorisées dans une zone particulière de la mémoire que l'on appelle **espace de noms**, alors que les valeurs correspondantes sont situées ailleurs, dans des emplacements parfois fort éloignés les uns des autres.

L'affichage de la valeur d'une variable

Pour afficher leur valeur à l'écran, il existe deux possibilités. La première consiste à entrer au clavier le nom de la variable. Il s'agit cependant là d'une fonctionnalité secondaire de l'interpréteur, qui est destinée à vous faciliter la vie lorsque vous faites de simples exercices à la ligne de commande. À l'intérieur d'un programme, vous utiliserez toujours la fonction **`print()`**.

```
>>> varInt,varStr,varFloat
(12, 'chaîne de caractères', 15.5)
>>> varStr
'chaîne de caractères'
>>> print(varStr)
chaîne de caractères
```

La fonction **`print()`** n'affiche strictement que la valeur de la variable, telle qu'elle a été encodée, alors que l'autre méthode affiche aussi des apostrophes afin de vous rappeler que la variable traitée est du type **« `chaîne de caractères` »**.

Le typage des variables

Dans Python, il n'est pas nécessaire d'écrire des lignes de programme spécifiques pour définir le type des variables avant de pouvoir les utiliser. On dira à ce sujet que le typage des variables sous Python est un typage dynamique, par opposition au typage statique qui est de règle par exemple en C++ ou en Java.

Le typage dynamique quant à lui permet d'écrire plus aisément des constructions logiques de niveau élevé, en particulier dans le contexte de la programmation orientée objet. Il facilite également l'utilisation de structures de données très riches telles que les listes et les dictionnaires.

```
>>> varInt,varStr,varFloat
 (12, 'chaîne de caractères', 15.5)
>>> varInt = varStr = varFloat
>>> varInt,varStr,varFloat
(15.5, 15.5, 15.5)
>>> varStr = 'chaîne de caractères'
>>> varInt,varStr,varFloat
(15.5, 'chaîne de caractères', 15.5)
>>> varInt == 20                    # ce n'est pas une affectation
False
>>> varInt,varStr,varFloat
(15.5, 'chaîne de caractères', 15.5)
>>> varInt = 20
>>> varInt,varStr,varFloat
(20, 'chaîne de caractères', 15.5)
```

Les affectations multiples

Dans Python, on peut assigner une valeur à plusieurs variables simultanément. On peut aussi effectuer des affectations parallèles à l'aide d'un seul opérateur.

```
>>> varInt,varStr,varFloat
 (12, 'chaîne de caractères', 15.5)
>>> varInt = varStr = varFloat
>>> varInt,varStr,varFloat
(15.5, 15.5, 15.5)
>>> varInt,varStr,varFloat = (30, "l'autre chaîne", 3.14)
>>> varInt,varStr,varFloat
(30, "l'autre chaîne", 3.14)
>>> r , pi = 12, 3.14159
>>> s = pi * r**2
>>> print(s)
452.38896
>>> print(type(r), type(pi), type(s))
<class 'int'> <class 'float'> <class 'float'>
>>> h, m, s = 15, 27, 34
>>> print("secondes écoulées depuis minuit = ", h*3600 + m*60 + s)
secondes écoulées depuis minuit =  55654
```

La virgule, est très généralement utilisée pour séparer différents éléments comme on le voit dans notre exemple, pour les variables elles-mêmes ainsi que pour les valeurs qu'on leur attribue.

Lorsqu'il y a plus d'un opérateur dans une expression, l'ordre dans lequel les opérations doivent être effectuées dépend de règles de priorité. Sous Python, les règles de priorité sont les mêmes que celles qui vous ont été enseignées au cours de mathématique. Vous pouvez les mémoriser aisément à l'aide d'un acronyme mnémotechnique, **PEMDAS** (parenthèses, exposants, multiplications, divisions, additions et soustractions).

La réaffectation

L'effet d'une réaffectation est de remplacer l'ancienne valeur d'une variable par une nouvelle.

```
>>> altitude = 320
>>> print(altitude)
320
>>> altitude = 375
>>> print(altitude)
375
>>> a = 5
>>> b = a       # a et b contiennent des valeurs égales
>>> b = 2       # a et b sont maintenant différentes
>>> print("a = ",a,"b = ",b)
a =  5 b =  2
```

Rappelons ici que Python permet d'affecter leurs valeurs à plusieurs variables simultanément.

```
>>> a, b, c, d = 3, 4, 5, 7
>>> print("a = ",a,"b = ",b,"c = ",c,"d = ",d)
a =  3 b =  4 c =  5 d =  7
```

Supposons par exemple que nous voulions maintenant échanger les valeurs des variables **a** et **b**.

```
>>> a,b = b,a
>>> print("a = ", a,"b = ", b)
a =  4 b =  3
```

On pourrait bien entendu échanger d'autres variables en même temps, dans la même instruction.

Les types de données

Les types incontournables en Python sont classés le plus souvent en deux catégories : types immuables ou modifiables. Tous les types du langage Python sont également des objets, c'est pourquoi on retrouve dans ce chapitre certaines formes d'écriture similaires à celles présentées plus tard dans le chapitre concernant les classes.

Types immuables

Une variable de type immuable ne peut être modifiée. Une opération sur une variable de ce type entraîne nécessairement la création d'une autre variable du même type, même si cette dernière est temporaire.

Autrement dit, la simple instruction **x += 3** qui consiste à ajouter à la variable **x** la valeur **3** crée une seconde variable dont la valeur est celle de **x** augmentée de **3** puis à en recopier le contenu dans celui de la variable **x**. Les nombres sont des types immuables tout comme les chaînes de caractères et les tuple qui sont des tableaux d'objets. Il n'est pas possible de modifier une variable de ce type, il faut en recréer une autre du même type qui intègrera la modification.

Type « rien »

Python propose un type **None** pour signifier qu'une variable ne contient rien. La variable est de type **None** et est égale à **None**.

```
>>> s = None
>>> print ( s ) # affiche None
None
```

Certaines fonctions utilisent cette convention lorsqu'il leur est impossible de retourner un résultat. Ce n'est pas la seule option pour gérer cette impossibilité : il est possible de générer une exception, de retourner une valeur par défaut ou encore de retourner **None**. Il n'y a pas de choix meilleur, il suffit juste de préciser la convention choisie.

Les types numériques

Il existe deux types de nombres en Python, les nombres réels « **float** » et les nombres entiers « **int** ». L'instruction **x = 3** crée une variable de type « **int** » initialisée à **3** tandis que **y = 3.0** crée une variable de type **« float »** initialisée à **3.0**. Le programme suivant permet de vérifier cela en affichant pour les variables x et y, leurs valeurs et leurs types respectifs grâce à la fonction type.

```
>>> x = 3
>>> y = 3.0
>>> print ("x =", x, type(x))
x = 3 <class 'int'>
>>> print ("y =", y, type(y))
y = 3.0 <class 'float'>
```

La liste des opérateurs qui s'appliquent aux nombres réels et entiers.

opérateur	signification	exemple
<< >>	décalage à gauche, à droite	x = 8 « 1 (résultat = 16)
|	opérateur logique ou bit à bit	x = 8|1 (résultat = 9)
&	opérateur logique et bit à bit	x = 11&2 (résultat = 2)
+ -	addition, soustraction	x = y + z
+= -=	addition ou soustraction puis affectation	x += 3
* /	multiplication, division le résultat est de type réel si l'un des nombres est réel	x = y * z
//	division entière	x = y//3
%	reste d'une division entière (modulo)	x = y%3
*= /=	multiplication ou division puis affectation	x *= 3
**	puissance (entière ou non, racine carrée = ** 0.5)	x = y ** 3

Les fonctions **« int »** et « **float** » permettent de convertir un nombre quelconque ou une chaîne de caractères respectivement en un entier (arrondi) et en un nombre réel.

```
>>> x = int (3.5)
>>> y = float (3)
>>> z = int ("3")
>>> print ("x:", type(x), " y:", type(y), " z:", type(z))
x: <class 'int'>  y: <class 'float'>  z: <class 'int'>
```

Il existe un cas pour lequel cet opérateur cache un sens implicite : lorsque la division opère sur deux nombres entiers ainsi que le montre l'exemple suivant.

```
>>> x  =  11
>>> y  =  2
>>> z = x // y
>>> z  #le résultat est 5 et non 5.5 car la division est entière
5
>>> z = x / y
>>> z  #le résultat est 5.5 car c'est une division entre deux réels
5.5
```

Le type integer

Le type integer en Python, est un entier représenté sous forme décimale, binaire, octale ou hexadécimale. Il n'y a pas de limite de représentation pour les entiers longs mise à part la mémoire virtuelle disponible de l'ordinateur.

```
>>> a, b, c = 1, 1, 1
>>> while c < 80 :
...     print(c,":",b,type(b))
...     a, b, c = b, a+b, c+1
...
1 : 1 <class 'int'>
2 : 2 <class 'int'>
...
74 : 2111485077978050 <class 'int'>
75 : 3416454622906707 <class 'int'>
76 : 5527939700884757 <class 'int'>
77 : 8944394323791464 <class 'int'>
78 : 14472334024676221 <class 'int'>
79 : 23416728348467685 <class 'int'>
```

Python est capable de traiter des nombres entiers de taille illimitée. La fonction **`type()`** nous permet de vérifier à chaque itération que le type de la variable **`b`** reste bien en permanence de ce type.

```
>>> a, b, c = 3, 2, 1
>>> while c < 15:
...     print(c, ": ", b)
...     a, b, c = b, a*b, c+1
...
1 :  2
...
12 :
6488003054466075279073683736910497769500103428422804289182764945618623458261160742092 8
13 :
7005669890111832002923764139957621692162454505797269791738369231327175488362123506443467340026896520469610300883250624900843742470237847552
14 :
4545280764562657998563629404824935120516823987072294615140165565565839864222761633581512382578246019698020614153674711609417355051422794795300591700969504226930790382476340558291752968319462245039335017547760330040127583682 56
```

Vous pouvez donc effectuer avec Python des calculs impliquant des valeurs entières comportant un nombre de chiffres significatifs quelconque. Ce nombre n'est limité en effet que par la taille de la mémoire disponible sur l'ordinateur utilisé. Il va de soi cependant que les calculs impliquant de très grands nombres devront être décomposés par l'interpréteur en calculs multiples sur des nombres plus simples, ce qui pourra nécessiter un temps de traitement considérable dans certains cas.

La forme binaire est obtenue avec le préfixe « **`0b`** » ou « **`0B`** ». La fonction « **`bin`** » permet d'afficher la représentation binaire d'un entier.

```
>>> 0b0101101001
361
>>> bin(14)
```

```
'0b1110'
```

La forme octale est obtenue par une séquence de chiffres de 0 à 7, préfixée d'un « **0o** » ou « **0O** ». La fonction « **oct** » permet d'afficher la représentation octale d'un entier.

```
>>> 0o76453
32043
>>> oct(543)
'0o1037'
```

La forme hexadécimale est obtenue par une séquence de chiffres et de lettres de A à F, préfixée par la séquence « **0x** » ou « **0X** ».

```
>>> 0x3ef7b66
66026342
>>> hex(43676)
'0xaa9c'
```

Le type float

La représentation de valeurs à virgule flottante, que l'on notera littéraux réels, permet de décrire des valeurs réelles. Les parties entière et fractionnelle de la valeur réelle sont séparées par le signe « **.** », chaque partie étant composée de chiffres. Si le premier chiffre de la partie entière est 0, le nombre représenté ne sera néanmoins pas considéré comme un octal et restera traité en base 10. Les nombres à virgule flottante utilisés pour représenter des réels sont tous à double précision en Python, soit des nombres codés sur 64 bits.

```
>>> a, b, c = 1., 2., 1
>>> while c < 18:
...     print(c, ": ", b)
...     a, b, c = b, a*b, c+1
...
1 :  2.0
2 :  2.0
3 :  4.0
4 :  8.0
5 :  32.0
6 :  256.0
7 :  8192.0
8 :  2097152.0
9 :  17179869184.0
10 :  3.602879701896397e+16
11 :  6.189700196426902e+26
12 :  2.2300745198530623e+43
13 :  1.3803492693581128e+70
14 :  3.078281734093319e+113
15 :  4.249103942534137e+183
16 :  1.307993905256674e+297
17 :  inf
```

Au dixième terme, Python passe automatiquement à la notation scientifique « **e+n** » signifie en fait : « `fois dix à l'exposant n` ». Après le seizième terme, nous assistons à nouveau à un dépassement de capacité, ainsi les nombres vraiment trop grands sont tout simplement notés « **inf** ».

Ce type autorise les calculs sur de très grands ou très petits nombres, avec un degré de précision constant. Pour qu'une donnée numérique soit considérée par Python comme étant du type « **float** », il suffit qu'elle contienne dans sa formulation un élément tel qu'un point décimal ou un exposant de 10.

Attention à la conversion des valeurs de type « **integer** » en type « **float** », car il est effectué avec une perte de précision.

```
>>> varInt = 99999999999999999999999999999999999999999999999
>>> varFloat = float(varInt)
>>> print(varFloat,varInt)
1e+48 99999999999999999999999999999999999999999999999
>>> varInt == varFloat
False
```

Les nombres complexes

Les nombres complexes sont formés d'un couple de nombres à virgule flottante et subissent donc les mêmes contraintes.

```
>>> varComplex = 1 + 20j
>>> print(varComplex)
(1+20j)
>>> varComplex.real
1.0
>>> varComplex.imag
20.0
>>> varComplex + 10
(11+20j)
>>> print(varComplex)
(1+20j)
```

Les types booléens

Les booléens sont le résultat d'opérations logiques et ont deux valeurs possibles : « **`True`** » ou « **`False`** ». Voici la liste des opérateurs qui s'appliquent aux booléens.

opérateur	signification	exemple
`and or`	et, ou logique	`x = True or False (résultat = True)`
`not`	négation logique	`x = not x`
`< >`	inférieur, supérieur	`x = 5 < 5`
`<= >=`	inférieur ou égal, supérieur ou égal	`x = 5 <= 5`
`== !=`	égal, différent	`x = 5 == 5`

```
>>> x = 4 < 5
>>> print (x) #affiche True
True
>>> print (not x) #affiche False
False
>>> x
True
```

Python accepte l'écriture résumée qui enchaîne des comparaisons : **`3 < x and x < 7`** est équivalent à **`3 < x < 7`**.

Les listes

Les chaînes que nous avons abordées à la rubrique précédente constituaient un premier exemple de données composites. Vous apprendrez progressivement à utiliser plusieurs autres types de données composites, parmi lesquelles les listes, les tuples et les dictionnaires. Sous Python, on peut définir une liste comme une collection d'éléments séparés par des virgules, l'ensemble étant enfermé dans des crochets.

```
>>> jour = ['lundi', 'mardi', 'mercredi', 1800, \
            20.357, 'jeudi', 'vendredi']
>>> print(jour)
['lundi', 'mardi', 'mercredi', 1800, 20.357, 'jeudi', 'vendredi']
>>> print(jour[3])
1800
>>> print(jour[6])
vendredi
```

À la différence de ce qui se passe pour les chaînes, qui constituent un type de données non-modifiables, il est possible de changer les éléments individuels d'une liste :

```
>>> jour = ['lundi', 'mardi', 'mercredi', 1800, 20.357, 'jeudi']
>>> print(jour)
['lundi', 'mardi', 'mercredi', 1800, 20.357, 'jeudi']
>>> jour[3] = jour[3] +47
>>> jour[3] = 'Juillet'
>>> print(jour)
['lundi', 'mardi', 'mercredi', 'Juillet', 20.357, 'jeudi']
```

La fonction intégrée **« `len` »**, que nous avons déjà rencontrée à propos des chaînes, s'applique aussi aux listes. Elle renvoie le nombre d'éléments présents dans la liste.

Une autre fonction intégrée permet de supprimer d'une liste un élément quelconque (à partir de son index). Il s'agit de la fonction **« `del` »**.

```
>>> len(jour)
7
>>> del(jour[3])
>>> del(jour[4])
>>> print(jour)
['lundi', 'mardi', 'mercredi', 'jeudi']
```

Il est également tout à fait possible d'ajouter un élément à une liste, mais pour ce faire, il faut considérer que la liste est un objet, dont on va utiliser l'une des méthodes.

```
>>> jour.append('vendredi')
>>> jour.append('samedi')
>>> print(jour)
['lundi', 'mardi', 'mercredi', 'jeudi', 'vendredi', 'samedi']
```

Les instructions conditionnelles

La plus simple de ces instructions conditionnelles est l'instruction if avec la syntaxe suivante :

```
if condition :
     suite
[elif condition :
     suite , ...]
[else :
     suite]
```

```
>>> varInt = 150
>>> if (varInt > 100):
...     print("varInt dépasse la centaine")
...
```

Frappez encore une fois « **Enter** » et le programme s'exécute, et vous obtenez :

```
varInt dépasse la centaine
>>> varInt = 150
>>> if (varInt > 100):
...     print("varInt dépasse la centaine")
... else:
...     print("varInt ne dépasse pas cent")
...
varInt dépasse la centaine
>>> varInt = 10
>>> if (varInt > 100):
...     print("varInt dépasse la centaine")
... else:
...     print("varInt ne dépasse pas cent")
...
varInt ne dépasse pas cent
```

On peut faire mieux encore en utilisant aussi l'instruction « **elif** ».

```
>>> varInt = 0
>>> if varInt > 0 :
...     print("varInt est positif")
... elif varInt < 0 :
...     print("varInt est négatif")
... else:
...     print("varInt est égal à zéro")
...
varInt est égal à zéro
>>> varInt = -1
>>> if varInt > 0 :
...     print("varInt est positif")
... elif varInt < 0 :
...     print("varInt est négatif")
... else:
...     print("varInt est égal à zéro")
```

```
...
varInt est négatif
```

Les opérateurs de comparaison

La condition évaluée après l'instruction if peut contenir les opérateurs de comparaison suivants :

```
x == y          # x est égal à y
x != y          # x est différent de y
x > y           # x est plus grand que y
x < y           # x est plus petit que y
x >= y          # x est plus grand que, ou égal à y
x <= y          # x est plus petit que, ou égal à y
and    or   not
```

```
>>> varInt = 4
>>> if (varInt % 2 == 0):
...     print("varInt est pair")
...     print("parce que le reste de sa division par 2 est nul")
... else:
...     print("varInt est impair")
...
varInt est pair
parce que le reste de sa division par 2 est nul
```

Passer, instruction pass

Dans certains cas, aucune instruction ne doit être exécutée même si un test est validé. En Python, le corps d'un test ne peut être vide, il faut utiliser l'instruction « **pass** ». Lorsque celle-ci est manquante, Python affiche un message d'erreur.

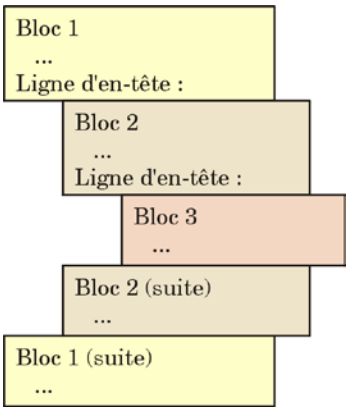
```
>>> signe = 0
>>> x = 0
>>> if x < 0 :
   signe = -1
elif x == 0:
   pass #signe est déjà égal à 0
else :
   signe = 1
>>> print(signe)
0
```

Les blocs d'instructions

La construction que vous avez utilisée avec l'instruction **« `if` »** est votre premier exemple de blocs d'instructions. Sous Python, les instructions composées ont toujours la même structure : une ligne d'en-tête terminée par un double point, suivie d'une ou de plusieurs instructions indentées sous cette ligne d'en-tête.

```
Ligne d'en-tête:
    première instruction du bloc
    ...
    dernière instruction du bloc
```

Ces instructions indentées constituent ce que nous appellerons désormais un bloc d'instructions. Un bloc d'instructions est une suite d'instructions formant un ensemble logique, qui n'est exécuté que dans certaines conditions définies dans la ligne d'en-tête.



Les blocs d'instructions sont toujours associés à une ligne d'en-tête contenant une instruction bien spécifique (**`if, elif, else, while, def`**, etc.) se terminant par un double point.

Les blocs sont délimités par l'indentation : toutes les lignes d'un même bloc doivent être indentées exactement de la même manière. Le nombre d'espaces à utiliser pour l'indentation est quelconque.

Notez que le code du bloc le plus externe ne peut pas lui-même être écarté de la marge de gauche, il n'est imbriqué dans rien.

Les espaces et les commentaires sont normalement ignorés à part ceux qui servent à l'indentation, en début de ligne, les espaces placés à l'intérieur des instructions et des expressions sont presque toujours ignorés. Il en va de même pour les commentaires : ceux-ci commencent toujours par un caractère dièse « `#` » et s'étendent jusqu'à la fin de la ligne courante.

Attention

Vous pouvez aussi indenter à l'aide de tabulations, mais alors vous devrez faire très attention à ne pas utiliser tantôt des espaces, tantôt des tabulations pour indenter les lignes d'un même bloc. En effet, même si le résultat paraît identique à l'écran, espaces et tabulations sont des codes binaires distincts : Python considérera donc que ces lignes indentées différemment font partie de blocs différents. Il peut en résulter des erreurs difficiles à déboguer.

L'instruction while

L'instruction tant que commence par évaluer la validité de la condition et si la condition est vraie, alors Python exécute tout le bloc d'instructions constituant le corps de la boucle. Voici la syntaxe de boucle tant que :

```
while expression :
    suite
[else :
    suite]
```

```
>>> varInt = 0
>>> while (varInt < 7):          # ( n'oubliez pas le double point !)
...     varInt = varInt + 1      # ( n'oubliez pas l'indentation !)
...     print("La valeur de varInt est : ",varInt)
...
La valeur de varInt est :  1
La valeur de varInt est :  2
La valeur de varInt est :  3
La valeur de varInt est :  4
La valeur de varInt est :  5
La valeur de varInt est :  6
La valeur de varInt est :  7
```

La variable évaluée dans la condition doit exister au préalable. Si la condition est fausse au départ, le corps de la boucle n'est jamais exécuté. Si la condition reste toujours vraie, alors le corps de la boucle est répété indéfiniment.

```
>>> i = 0
>>> while i < 2:
...     varInt = int(input("Entrez une valeur pour varInt :"))
...     while varInt < 8:
...         varInt = varInt +1
...         print(varInt , varInt**2 , varInt**3)
...     else:
...         print('Valeur de varInt >= 8')
...     i = i + 1
...
Entrez une valeur pour varInt :8
Valeur de varInt >= 8
Entrez une valeur pour varInt :4
5 25 125
6 36 216
7 49 343
8 64 512
Valeur de varInt >= 8
```

Le petit programme ci-dessous permet d'afficher les dix premiers termes d'une suite de Fibonacci. Il s'agit d'une suite de nombres dont chaque terme est égal à la somme des deux termes qui le précèdent.

```
>>> a, b, c = 1, 1, 1
>>> while c < 11 :
...     print(b, end =" ")
...     a, b, c = b, a+b, c+1
```

```
... else :
...     print(" ")
...
1 2 3 5 8 13 21 34 55 89
```

La fonction **print()** ajoute en effet un caractère de saut à la ligne à toute valeur qu'on lui demande d'afficher. L'argument **« end =" " »** signifie que vous souhaitez remplacer le saut à la ligne par un simple espace. Si vous supprimez cet argument, les nombres seront affichés les uns en-dessous des autres.

Note

La variable évaluée dans la condition doit exister au préalable.

Si la condition est fausse au départ, le corps de la boucle n'est jamais exécuté.

Si la condition reste toujours vraie, alors le corps de la boucle est répété indéfiniment (tout au moins tant que Python lui-même continue à fonctionner).

L'instruction break pour sortir d'une boucle

Dans une boucle « **while** » on peut interrompre le bouclage indépendamment de la condition de continuation en faisant appel à l'instruction break.

```
while <condition 1> :
    --- instructions diverses ---
    if <condition 2> :
         break
    --- instructions diverses ---
```

```
>>> a, b, c = 3, 2, 1
>>> while c < 15:
    print(c, ": ", b)
    a, b, c = b, a*b, c+1
    if b > 99999999999 : break


1 :  2
2 :  6
3 :  12
4 :  72
5 :  864
6 :  62208
7 :  53747712
```

Atelier 2 - Exercice 1.2- Exercice 1.3- Exercice 1.4- Exercice 1.5

Les chaînes de caractères

Le terme "chaîne de caractères" ou string en anglais signifie une suite finie de caractères, autrement dit, du texte. Ce texte est compris entre deux guillemets ou deux apostrophes, ces deux symboles sont interchangeables.

```
>>> t = "string = texte"
>>> print (type (t), t)
<class 'str'> string = texte
>>> t = 'string = texte, initialisation avec apostrophes'
>>> print (type (t), t)
<class 'str'> string = texte, initialisation avec apostrophes
>>> t = "morceau 1" \
       "morceau 2"
>>> #second morceau ajouté au premier par l'ajout du symbole \,
>>> #il ne doit rien y avoir après le symbole \,
>>> #pas d'espace ni de commentaire
>>> print (t)
morceau 1morceau 2
>>> t = """première ligne
seconde ligne"""
>>> # chaîne de caractères qui s'étend sur deux lignes
>>> print(t)
première ligne
seconde ligne
>>> t = '''première ligne
          seconde ligne'''
>>> t
'première ligne\n          seconde ligne'
>>> print(t)
première ligne
          seconde ligne
```

Python offre la possibilité de couper le texte en deux chaînes de caractères recollées à l'aide du symbole **** à condition que ce symbole soit le dernier de la ligne sur laquelle il apparaît. De même, lorsque le texte contient plusieurs lignes, il suffit de les encadrer entre deux symboles **« """ »** ou **« ''' »** pour que l'interpréteur Python considère l'ensemble comme une chaîne de caractères et non comme une série d'instructions.

opérateur	signification
\"	guillemet
\'	apostrophe
\n	passage à la ligne
\f	saut de ligne
****	insertion du symbole \
\%	pourcentage, ce symbole est aussi un caractère spécial
\t	Tabulation
\v	tabulation verticale
\r	retour à la ligne, peu usité, il a surtout son importance lorsqu'on passe d'un système Windows à Linux car Windows l'ajoute automatiquement à tous ses fichiers textes

Il peut être fastidieux d'avoir à doubler tous les symboles **** d'un nom de fichier. Il est plus simple dans ce cas de préfixer la chaîne de caractères par « **r** » de façon à éviter que l'utilisation du symbole **** ne désigne un caractère spécial.

```
>>> s1 = "C:\\Users\\exemple.txt"
>>> s2 =r"C:\Users\exemple.txt"
>>> s1 == s2
True
```

Triple quotes

Pour insérer plus aisément des caractères spéciaux ou « exotiques » dans une chaîne, sans faire usage de l'antislash, ou pour faire accepter l'antislash lui-même dans la chaîne, on peut encore délimiter la chaîne à l'aide de triples guillemets ou de triples apostrophes :

```
>>> a1 = """
... Exemple de texte préformaté, c'est-à-dire
... dont les indentations et les
... caractères spéciaux \ ' " sont
... conservés sans
... autre forme de procès."""
>>> print(a1)
... Exemple de texte préformaté, c'est-à-dire
... dont les indentations et les
... caractères spéciaux \ ' " sont
... conservés sans
... autre forme de procès.
```

Manipulation d'une chaîne

Une chaîne de caractères est semblable à un tableau et certains opérateurs qui s'appliquent aux tableaux s'appliquent également aux chaînes de caractères. La fonction « **str** » permet de convertir un nombre, un tableau, un objet en chaîne de caractères afin de pouvoir l'afficher. La fonction **« len »** retourne la longueur de la chaîne de caractères.

```
>>> x = 5.567
>>> s = str(x)
>>> print(type(s),s)
<class 'str'> 5.567
>>> print(len(s))
5
```

Opérations applicables aux chaînes de caractères.

opérateur	signification	exemple
+	concaténation de chaînes de caractères	`t="abc"+"def"`
+=	concaténation puis affectation	`t+="abc"`
in, not in	une chaîne en contient-elle une autre ?	`"ed" in "med"`
*****	répétition d'une chaîne de caractères	`t="abc"*4`
[n]	obtention du $n^{ième}$ caractère, le premier caractère a pour indice 0	`t="abc"` `print(t[0])`
[i : j]	obtention des caractères compris entre les indices i et j − 1 inclus, le premier caractère a pour indice 0	`t="abc"` `print t[0:2]`

Il existe d'autres fonctions qui permettent de manipuler les chaînes de caractères.

opérateur	signification
count(sub[,start[,end]])	Retourne le nombre d'occurrences de la chaîne de caractères « **sub** », les paramètres par défaut « **start** » et « **end** » permettent de réduire la recherche entre les caractères d'indice « **start** » et « **end** » exclu.
find(sub[,start[,end]])	Recherche une chaîne de caractères « **sub** », les paramètres par défaut ont la même signification que ceux de la fonction count.
index(car)	Retrouve l'indice de la première occurrence du caractère « **car** » dans la chaîne
isalpha()	Retourne True si tous les caractères sont des lettres, False sinon.
isdigit()	Retourne True si tous les caractères sont des chiffres, False sinon.
replace(old,new[,count])	Retourne une copie de la chaîne de caractères en remplaçant toutes les occurrences de la chaîne « **old** » par « **new** ». Si le paramètre optionnel « **count** » est renseigné, alors seules les premières occurrences seront remplacées.
split(sep=None,maxsplit=-1)	Découpe la chaîne de caractères en se servant de la chaîne « **sep** » comme délimiteur. Si le paramètre « **maxsplit** » est renseigné, au plus « **maxsplit** » coupures seront effectuées.
strip([s])	Supprime les espaces au début et en fin de chaîne. Si le paramètre « **s** » est renseigné, tous les caractères qui font partie de « **s** » au début et en fin de chaîne sont supprimes.
upper()	Remplace les minuscules par des majuscules

lower()	Remplace les majuscules par des minuscules.
join(words)	Fait la somme d'un tableau de chaînes de caractères (une liste ou un T-uple). La chaîne de caractères sert de séparateur qui doit être ajouté entre chaque élément du tableau words.
title	Convertit en majuscule l'initiale de chaque mot (suivant l'usage des titres anglais)
capitalize	Convertit en majuscule seulement la première lettre de la chaîne
swapcase	Convertit toutes les majuscules en minuscules, et vice-versa

Python considère qu'une chaîne de caractères est un objet de la catégorie des séquences, lesquelles sont des collections ordonnées d'éléments. Cela signifie simplement que les caractères d'une chaîne sont toujours disposés dans un certain ordre. Par conséquent, chaque caractère de la chaîne peut être désigné par sa place dans la séquence, à l'aide d'un index.

```
>>> phrase1 = 'les oeufs durs.'
>>> phrase2 = '"Oui", répondit-il,'
>>> phrase3 = "j'aime bien"
>>> print(phrase2, phrase3, phrase1)
"Oui", répondit-il, j'aime bien les oeufs durs.
>>> phrase = phrase2 + phrase3 + ' ' + phrase1
>>> print(phrase)
"Oui", répondit-il,j'aime bien les oeufs durs.
>>> phrase.count('o')
2
>>> phrase.find('oeuf')
35
>>> phrase[35:40]
'oeufs'
>>> phrase.replace('\"','')
"Oui, répondit-il,j'aime bien les oeufs durs."
>>> '1,2,3'.split(',')
['1', '2', '3']
>>> phrase.split(',', maxsplit=1)
['"Oui"', " répondit-il,j'aime bien les oeufs durs."]
>>> phrase.split(',')
['"Oui"', ' répondit-il', "j'aime bien les oeufs durs."]
>>> s = '#....... Section 3.2.1 Issue #32 .......'
>>> s.strip('.#! ')
'Section 3.2.1 Issue #32'
```

Attention les chaînes constituent un type de données non-modifiables il est impossible de changer les éléments individuels d'une chaîne.

```
>>> s="abcd"
>>> s[1]='c'
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#46>", line 1, in <module>
    s[1]='c'
TypeError: 'str' object does not support item assignment
```

À toutes fins utiles, rappelons également ici que l'on peut aussi appliquer aux chaînes un certain nombre de fonctions intégrées dans le langage :

len(ch) renvoie la longueur de la chaîne ch, ou en d'autres termes, son nombre de caractères.

`float(ch)` convertit la chaîne ch en un nombre réel **« `float` »** (bien entendu, cela ne pourra fonctionner que si la chaîne représente bien un nombre, réel ou entier)

`int(ch)` convertit la chaîne ch en un nombre entier (avec des restrictions similaires)

`str(obj)` convertit (ou représente) l'objet **`obj`** en une chaîne de caractères. **`obj`** peut être une donnée d'à peu près n'importe quel type :

Formatage d'une chaîne

Python offre une manière plus concise de former une chaîne de caractères à l'aide de plusieurs types d'informations en évitant la conversion explicite de ces informations et leur concaténation. Il est particulièrement intéressant pour les nombres réels qu'il est possible d'écrire en imposant un nombre de décimales fixe.

Le format est le suivant :

```
".... %c1   ....  %c2 " % (v1,v2)
```

« **c1** » est un code du format dans lequel la variable « **v1** » devra être transcrite. Il en est de même pour le code « **c2** » associé à la variable **« v2 »**. Les codes insérés dans la chaîne de caractères seront remplacés par les variables citées entre parenthèses après le symbole **« % »** suivant la fin de la chaîne de caractères. Il doit y avoir autant de codes que de variables, qui peuvent aussi être des constantes.

code	signification
d	entier relatif
e	nombre réel au format exponentiel
f	nombre réel au format décimal
g	nombre réel, format décimal ou exponentiel si la puissance est trop grande ou trop petite
s	chaîne de caractères

La seconde affectation de la variable « **res** » propose une solution équivalente à la première en utilisant l'opérateur de concaténation « **+** ».

```
>>> x,d,s = 5.5,7,"caractères"
>>> res = "un nombre réel %f et un entier %d, une chaîne de %s, \n"\
      "un réel d'abord converti en  chaîne de  caractères %s" \
      %  (x,d,s, str(x+4))
>>> print(res)
un nombre réel 5.500000 et un entier 7, une chaîne de caractères,
un réel d'abord converti en  chaîne de  caractères 9.5
>>> res = "un nombre réel " + str (x) + \
          " et un entier " + str (d) + \
          ", une chaîne de " + s + \
          ",\n un réel d'abord converti en chaîne de caractères "\
          + str(x+4)
>>> print(res)
un nombre réel 5.5 et un entier 7, une chaîne de caractères,
 un réel d'abord converti en chaîne de caractères 9.5
```

Les deux solutions sont équivalentes, tout dépend des préférences de celui qui écrit le programme. La première option permet néanmoins un formatage plus précis des nombres réels en imposant par exemple un nombre défini de décimal.

```
>>> x = 0.123456789
>>> print (x)
0.123456789
>>> print ("%1.2f"%x)
0.12
>>> print ("%06.2f"%x)
000.12
```

format

La fonction se révèle particulièrement utile dans tous les cas où vous devez construire une chaîne de caractères complexe à partir d'un certain nombre de morceaux, tels que les valeurs de variables diverses. Vous pouvez préparer une chaîne « **patron** » contenant l'essentiel du texte invariable, avec des balises particulières aux endroits où vous souhaitez qu'apparaissent des contenus variables. Vous appliquerez ensuite à cette chaîne la méthode « **format** », à laquelle vous fournirez comme arguments les divers objets à convertir en caractères et à insérer en remplacement des balises. Les balises à utiliser sont constituées d'accolades, contenant ou non des indications de formatage.

```
>>> coul ="verte"
>>> temp =1.347 + 15.9
>>> ch ="La couleur est {} et la température vaut {} °C"
>>> print(ch.format(coul, temp))
La couleur est verte et la température vaut 17.247 °C
```

Si les balises sont vides, la méthode « **format** » devra recevoir autant d'arguments qu'il y aura de balises dans la chaîne. Python appliquera alors la fonction « **str** » à chacun de ces arguments, et les insérera ensuite dans la chaîne à la place des balises, dans le même ordre. Les arguments peuvent être n'importe quel objet ou expression :

```
>>> pi =3.14159265358979323846264338327950288419716939937510582
>>> r =4.7
>>> ch ="L'aire d'un disque de rayon {} est égale à {:2.4f}."
>>> print(ch.format(r, pi * r**2))
L'aire d'un disque de rayon 4.7 est égale à 69.3978.
```

Les balises peuvent contenir des numéros d'ordre pour désigner précisément lesquels des arguments transmis à « **format** » devront les remplacer. Cette technique est particulièrement précieuse si le même argument doit remplacer plusieurs balises :

```
>>> phrase ="Le{0} chien{0} aboie{1} et le{0} chat{0} miaule{1}."
>>> print(phrase.format("", ""))
Le chien aboie et le chat miaule.
>>> print(phrase.format("s", "nt"))
Les chiens aboient et les chats miaulent.
```

Le formatage permet d'afficher très facilement divers résultats numériques en notation binaire, octale ou hexadécimale :

```
>>> n =789
>>> txt ="Le nombre {0:d} (décimal) \n"\
         "vaut {0:x} en hexadécimal \n"\
         "et {0:b} en binaire."
>>> print(txt.format(n))
Le nombre 789 (décimal)
vaut 315 en hexadécimal
et 1100010101 en binaire.
```

Le type bytes et la page de code

Comme tous les langages de programmation Python est conçu pour le monde anglophone et l'utilisation des accents ne va pas de soi. Si vous avez rédigé votre script avec un éditeur récent (tels ceux que nous avons déjà indiqués), le script décrit ci-dessus devrait s'exécuter sans problème avec la version actuelle de Python 3. Si votre logiciel est ancien ou mal configuré, il se peut que vous obteniez un message d'erreur similaire à celui-ci :

File "fibo2.py", line 2

SyntaxError: Non-UTF-8 code starting with '\xe0' in file fibo2.py on line 2, but no encoding declared; see http://python.org/dev/peps/pep-0263/ for details

Avec les versions de Python antérieures à la version 3.0, comme dans beaucoup d'autres langages, il fallait fréquemment convertir les chaînes de caractères d'une norme d'encodage à une autre. Du fait des conventions et des mécanismes adoptés désormais, vous ne devrez plus beaucoup vous en préoccuper pour vos propres programmes traitant des données récentes.

Afin que Python puisse les interpréter correctement, il vous est conseillé d'y inclure toujours l'un des pseudo-commentaires suivants (obligatoirement à la 1e ou à la 2e ligne).

```
# -*- coding:latin-1 -*-
```

ou

```
# -*- coding:utf-8 -*-
```

Ainsi l'interpréteur Python sait décoder correctement les chaînes de caractères littérales que vous avez utilisées dans le script. Notez que vous pouvez omettre ce pseudo-commentaire si vous êtes certain que vos scripts sont encodés en « **utf-8** », car c'est cet encodage qui est désormais la norme par défaut pour les scripts Python.

```
>>> import  locale
>>> import sys
>>> print (sys.getdefaultencoding ())
utf-8
>>> locale.getdefaultlocale()
('fr_FR', 'cp1252')
>>> import encodings
>>> print (''.join('- ' + e + '\n' \
       for e in sorted(set(encodings.aliases.aliases.values()))))
- ascii
- base64_codec
- big5
- big5hkscs
- bz2_codec
- cp037
...
- cp1254
...
- iso8859_16
...
- latin_1
...
- utf_16
```

```
- utf_16_be
- utf_16_le
- utf_32
- utf_32_be
- utf_32_le
- utf_7
- utf_8
- uu_codec
- zlib_codec
```

Le type « **bytes** » représente un tableau d'octets. Il fonctionne quasiment pareil que le type « **str** ». Les opérations qu'on peut faire dessus sont quasiment identiques. Les deux méthodes suivantes de la classe « **str** » permettent de convertir une chaîne de caractères en **« bytes »** et l'invers.

`encode( enc)`	Cette fonction permet de passer d'un jeu de caractères, celui de la variable, au jeu de caractères précisé par **enc** à moins que ce ne soit le jeu de caractères par défaut. Cette fonction retourne un type **« bytes »**.
`decode( enc)`	Cette fonction est la fonction inverse de la fonction encode. Avec les mêmes paramètres, elle effectue la transformation inverse.

Le type « **bytes** » est très utilisé quand il s'agit de convertit une chaîne de caractères d'une page de code à une autre.

```
>>> b = b"345"
>>> print(b, type(b))
b'345' <class 'bytes'>
>>> b = bytes.fromhex('2Ef0 F1f2 ')
>>> print(b, type(b))
b'.\xf0\xf1\xf2' <class 'bytes'>
>>> b = "abc".encode("utf-8")
>>> s = b.decode("ascii")
>>> print(b, s)
b'abc' abc
>>> print(type(b), type(s))
<class 'bytes'> <class 'str'>
>>> varStr = '圖形碼常用字次常用字'
>>> varBytes = varStr.encode()
>>> print(type(varStr), type(varBytes))
<class 'str'> <class 'bytes'>
>>> print(varStr,'\n',varBytes)
圖形碼常用字次常用字

b'\xe5\x9c\x96\xe5\xbd\xa2\xe7\xa2\xbc\xe5\xb8\xb8\xe7\x94\xa8\xe5\x
ad\x97\xe6\xac\xa1\xe5\xb8\xb8\xe7\x94\xa8\xe5\xad\x97'
```

L'instruction for

Le parcours d'une séquence est une opération très fréquente en programmation. Pour en faciliter l'écriture, Python vous propose une structure de boucle plus appropriée que la boucle « **while** », basée sur le couple d'instructions « **for...in...** ».

```
>>> nom ="Cléopâtre"
>>> for car in nom : print(car + ' *', end =' ')
C * l * é * o * p * â * t * r * e *
```

L'instruction for permet donc d'écrire des boucles, dans lesquelles l'itération traite successivement tous les éléments d'une séquence donnée.

```
>>> liste = ['chien', 'chat', 'crocodile', 'éléphant']
>>> for animal in liste:
        print('longueur de la chaîne', animal, '=', len(animal))

longueur de la chaîne chien = 5
longueur de la chaîne chat = 4
longueur de la chaîne crocodile = 9
longueur de la chaîne éléphant = 8
```

Lors de l'affichage d'une liste, les éléments n'apparaissent pas triés, le langage Python propose néanmoins la fonction « **sorted** ».

```
>>> liste = [3, 2, 1, 6, 4, 9, 7, 8, 5]
>>> for x in liste: print (x)

3
2
1
6
4
9
7
8
5
>>> for x in sorted(liste): print (x)

1
2
3
4
5
6
7
8
9
```

La boucle la plus répandue est celle qui parcourt des indices entiers compris entre 0 et n − 1. On utilise pour cela la boucle for et la fonction « **range** ».

```
range (debut, fin [,marche])
```

Retourne une liste incluant tous les entiers compris entre « **debut** » et « **fin** » exclu. Si le paramètre facultatif marche est renseigné, la liste contient tous les entiers n compris « **debut** » et « **fin** » exclu et tels que « **n – debut** » soit un multiple de « **marche** ».

```
>>> liste = [3, 2, 1, 6, 4, 9, 7, 8, 5]
>>> for x in range(0,len(liste)):print(x,":",liste[x])

0 : 3
1 : 2
2 : 1
3 : 6
4 : 4
5 : 9
6 : 7
7 : 8
8 : 5
>>> for x in range(0,len(liste),2):print(x,":",liste[x])

0 : 3
2 : 1
4 : 4
6 : 7
8 : 5
```

3

Les fonctions

Les fonctions prédéfinies

L'un des concepts les plus importants en programmation est celui de fonction. Les fonctions permettent en effet de décomposer un programme complexe en une série de sous-programmes plus simples, lesquels peuvent à leur tour être décomposés en fragments plus petits, et ainsi de suite. D'autre part, les fonctions sont réutilisables : si nous disposons d'une fonction capable de calculer une racine carrée, par exemple, nous pouvons l'utiliser un peu partout dans nos programmes sans avoir à la réécrire à chaque fois.

Vous avez déjà rencontré d'autres fonctions intégrées au langage lui-même, « **`print`** », « **`input`** », « **`len`** », etc.

Importer un module de fonctions

Les fonctions intégrées au langage sont relativement peu nombreuses : ce sont seulement celles qui sont susceptibles d'être utilisées très fréquemment. Les autres sont regroupées dans des fichiers séparés que l'on appelle des modules.

Il existe un grand nombre de modules préprogrammés qui sont fournis d'office avec Python. Vous pouvez en trouver d'autres chez divers fournisseurs. Souvent on essaie de regrouper dans un même module des ensembles de fonctions apparentées, que l'on appelle des bibliothèques.

Le module « **`math`** », contient les définitions de nombreuses fonctions mathématiques. Pour pouvoir utiliser ces fonctions, il vous suffit d'incorporer la ligne suivante au début de votre script :

```
from math import [* | listeObjets]
```

Cette ligne indique à Python qu'il lui faut inclure dans le programme courant toutes les fonctions du module « **`math`** », lequel contient une bibliothèque de fonctions mathématiques préprogrammées.

```
>>> from math import sqrt
>>> nombre = 121
>>> print("racine carrée de", nombre, "=", sqrt(nombre))
racine carrée de 121 = 11.0
>>> angle = pi/6 # soit 30°
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: name 'pi' is not defined

>>> from math import *
>>> nombre,angle = 121,pi/6 # soit 30°
>>> # (la bibliothèque math inclut aussi la définition de pi)
>>> print("racine carrée de", nombre, "=", sqrt(nombre))
racine carrée de 121 = 11.0
>>> print("sinus de", angle, "radians", "=", sin(angle))
sinus de 0.5235987755982988 radians = 0.49999999999999994
```

Les modules internes

Python dispose de nombreux modules préinstallés. Cette liste est trop longue pour figurer dans ce document, elle est aussi susceptible de s'allonger au fur et à mesure du développement du langage Python. Voici une liste des modules les plus utilisés.

module	signification
asyncio	Thread, socket, protocol.
calendar	Gérer les calendriers, les dates.
cgi	Utilisé dans les scripts CGI (programmation Internet)
cmath	Fonctions mathématiques complexes.
copy	Copies d'instances de classes.
csv	Gestion des fichiers au format CSV.
datetime	Calculs sur les dates et heures.
gc	Gestion du garbage collector.
getopt	Lire les options des paramètres passés en arguments d'un programme Python.
glob	Chercher des fichiers.
hashlib	Fonctions de cryptage.
htmllib	Lire le format HTML.
math	Fonctions mathématiques standard telles que cos, sin, exp, log...
os	Fonctions systèmes dont certaines fonctions permettant de gérer les fichiers
os.path	Manipulations de noms de fichiers
pathlib	Manipulation de chemins.
pickle	Sérialisation d'objets, la sérialisation consiste à convertir des données structurées de façon complexe en une structure linéaire facilement enregistrable dans un fichier.
profile	Etudier le temps passé dans les fonctions d'un programme.
random	Génération de nombres aléatoires.
re	Expressions régulières.
shutil	Copie de fichiers.
sqlite3	Accès aux fonctionnalités du gestionnaire de base de données SQLite3.
string	Manipulations des chaînes de caractères.
sys	Fonctions systèmes, fonctions liées au langage Python.
threading	Utilisation de threads.
time	Accès à l'heure, l'heure système, l'heure d'une fichier.
tkinter	Interface graphique.
unittest	Tests unitaires (ou comment améliorer la fiabilité d'un programme).
urllib	Pour lire le contenu de page HTML sans utiliser un navigateur.
xml.dom	Lecture du format XML.
xml.sax	Lecture du format XML.
zipfile	Lecture de fichiers ZIP.

Vous pouvez installer d'autres packages à l'aide de la commande :

```
pip install nomPackage
```

```
C:\Users\Razvan BIZOÏ>pip install pandas
Requirement already satisfied: pandas in c:\programdata\anaconda3\lib\site-
packages
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2 in
c:\programdata\anaconda3\lib\site-packages (from pandas)
```

```
Requirement already satisfied: pytz>=2011k in
c:\programdata\anaconda3\lib\site-packages (from pandas)
Requirement already satisfied: numpy>=1.7.0 in
c:\programdata\anaconda3\lib\site-packages (from pandas)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in
c:\programdata\anaconda3\lib\site-packages (from python-dateutil>=2->pandas)
```

Le programme suivant par exemple utilise les modules « **random** » et « **math** » pour estimer le nombre pi.

```
>>> import random
>>> import math
>>> somme = 0
>>> nb  =  1000000
>>> for i in range (0,nb) :
        # nombre aléatoire entre [0,1]
        x = random.random()
        y = random.random()
        r = math.sqrt(x*x + y*y) #racine carrée
        if r <= 1:
             somme += 1
>>> print("estimation ", 4 * float (somme) / nb)
estimation  3.140048
>>> print("PI = ", math.pi)
PI =  3.141592653589793
```

Le programme suivant calcule l'intégrale de Monte Carlo de la fonction $f(x) = \sqrt{x}$ qui consiste à tirer des nombres aléatoires dans l'intervalle [*a*, *b*] puis à faire la moyenne des $\sqrt{x}$ obtenu.

```
>>> import random
>>> import math
>>> def integrale_monte_carlo(a, b, f, n):
        somme = 0.0
        for i in range(0, n):
              x = random.random() * (b-a) + a
              y = f(x)
              somme += f(x)
        return somme / n

>>> def racine(x):
        return math.sqrt(x)

>>> print(integrale_monte_carlo(0, 1, racine, 100000))
0.6676537057136576
```

La définition d'une fonction

Les scripts que vous avez écrits jusqu'à présent étaient à chaque fois très courts, car leur objectif était seulement de vous faire assimiler les premiers éléments du langage. Lorsque vous commencerez à développer de véritables projets, vous serez confrontés à des problèmes souvent complexes, et les lignes de programme vont commencer à s'accumuler...

L'approche efficace d'un problème complexe consiste souvent à le décomposer en plusieurs sous-problèmes plus simples qui seront étudiés séparément (ces sous-problèmes peuvent éventuellement être eux-mêmes décomposés à leur tour, et ainsi de suite). Or il est important que cette décomposition soit représentée fidèlement dans les algorithmes pour que ceux-ci restent clairs.

Les fonctions et les classes d'objets sont différentes structures de sous-programmes qui ont été imaginées par les concepteurs des langages de haut niveau afin de résoudre les difficultés évoquées ci-dessus. Nous allons commencer par décrire ici la définition de fonctions sous Python. Les objets et les classes seront examinés plus loin.

La syntaxe Python pour la définition d'une fonction est la suivante :

```
def nomDeLaFonction(liste de paramètres):
    ...
    bloc d,instructions
    ...
```

- Vous pouvez choisir n'importe quel nom pour la fonction que vous créez, à l'exception des mots réservés du langage, et à la condition de n'utiliser aucun caractère spécial ou accentué, le caractère souligné « _ » est permis. Comme c'est le cas pour les noms de variables, il vous est conseillé d'utiliser surtout des lettres minuscules, notamment au début du nom, les noms commençant par une majuscule seront réservés aux classes.
- Comme les instructions « **`if`** » et « **`while`** » que vous connaissez déjà, l'instruction « **`def`** » est une instruction composée. La ligne contenant cette instruction se termine obligatoirement par un double point, lequel introduit un bloc d'instructions que vous ne devez pas oublier d'indenter.
- La liste de paramètres spécifie quelles informations il faudra fournir en guise d'arguments lorsque l'on voudra utiliser cette fonction, les parenthèses peuvent parfaitement rester vides si la fonction ne nécessite pas d'arguments.
- Une fonction s'utilise pratiquement comme une instruction quelconque. Dans le corps d'un programme, un appel de fonction est constitué du nom de la fonction suivi de parenthèses.

Si c'est nécessaire, on place dans ces parenthèses le ou les arguments que l'on souhaite transmettre à la fonction. Il faudra en principe fournir un argument pour chacun des paramètres spécifiés dans la définition de la fonction, encore qu'il soit possible de définir pour ces paramètres des valeurs par défaut.

La fonction sans paramètres

Le mode interactif de Python est en effet idéal pour effectuer des petits tests comme ceux qui suivent. C'est une facilité que n'offrent pas tous les langages de programmation !

```
>>> def table7():
        t = list()
        n = 1
        while n < 11:
            print(n * 7, end=' ')
            t.append(n * 7)
            n = n + 1
        print('\n')
        return t

>>> t = table7()
7 14 21 28 35 42 49 56 63 70
>>> print(t)
[7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70]
```

Nous pouvons maintenant réutiliser cette fonction à plusieurs reprises, autant de fois que nous le souhaitons.

```
>>> def table7triple():
        t = list()
        print('La table par 7 en triple exemplaire :')
        t += table7()
        t += table7()
        t += table7()
        return t

>>> table7triple()
La table par 7 en triple exemplaire :
7 14 21 28 35 42 49 56 63 70

7 14 21 28 35 42 49 56 63 70

7 14 21 28 35 42 49 56 63 70

[7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49,
56, 63, 70, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70]
```

Une première fonction peut donc appeler une deuxième fonction, qui elle-même en appelle une troisième, etc.

- Créer une nouvelle fonction vous offre l'opportunité de donner un nom à tout un ensemble d'instructions. De cette manière, vous pouvez simplifier le corps principal d'un programme, en dissimulant un algorithme secondaire complexe sous une commande unique, à laquelle vous pouvez donner un nom très explicite, en français si vous voulez.
- Créer une nouvelle fonction peut servir à raccourcir un programme, par élimination des portions de code qui se répètent.

La fonction avec paramètres

Une fonction est une partie d'un programme qui fonctionne indépendamment du reste du programme. Elle reçoit une liste de paramètres et retourne un résultat. Le corps de la fonction désigne toute instruction du programme qui est exécutée si la fonction est appelée.

```
def fonction_nom (par_1, ..., par_n) :
    instruction_1
    ...
    instruction_n
    return res_1, ..., res_n
```

Dans la définition d'une telle fonction, il faut prévoir une ou plusieurs variables pour recevoir les arguments transmis. Une telle variable particulière s'appelle un paramètre. On lui choisit un nom en respectant les mêmes règles de syntaxe que d'habitude, et on place ce nom entre les parenthèses qui accompagnent la définition de la fonction.

```
x_1, ..., x_n = fonction_nom(val_1, val_2, ..., val_n)
```

Lorsque nous appellerons cette fonction, nous devrons bien évidemment pouvoir lui indiquer l'information que nous voulons transmettre à la fonction au moment même où nous l'appelons s'appelle un argument.

```
>>> import math
>>> def coordonnees_polaires (x,y):
        rho   = math.sqrt(x*x+y*y)
        theta = math.atan2 (y,x)
        return rho, theta

>>> def affichage (x,y):
        r,t = coordonnees_polaires(x,y)
        print ("cartésien (%f,%f) --> polaire (%f,%f degrés)" \
            % (x,y,r,math.degrees(t)))

>>> affichage (1,1)
cartésien (1.000000,1.000000) --> polaire (1.414214,45.000000 degrés)
>>> affichage (0.5,1)
cartésien (0.500000,1.000000) --> polaire (1.118034,63.434949 degrés)
>>> affichage (-0.5,1)
cartésien (-0.500000,1.000000) --> polaire (1.118034,116.565051 degrés)
>>> affichage (-0.5,-1)
cartésien (-0.500000,-1.000000) --> polaire (1.118034,-116.565051 degrés)
>>> affichage (0.5,-1)
cartésien (0.500000,-1.000000) --> polaire (1.118034,-63.434949 degrés)
```

Les paramètres avec des valeurs par défaut

Lorsqu'une fonction est souvent appelée avec les mêmes valeurs pour ses paramètres, il est possible de spécifier pour ceux-ci une valeur par défaut.

```
def fonction_nom (param_1, \
      param_2 = valeur_2, ..., param_n = valeur_n) :
```

Où fonction_nom est le nom de la fonction. param_1 à param_n sont les noms des paramètres, valeur_2 à valeur_n sont les valeurs par défaut des paramètres param_2 à param_n. La seule contrainte lors de cette définition est que si une valeur par défaut est spécifiée pour un paramètre, alors tous ceux qui suivent devront eux aussi avoir une valeur par défaut.

```
>>> def commander_carte_orange (nom, prenom, \
           paiement = "carte", nombre = 1, zone = 2) :
        print("nom : ",nom)
        print("prénom : ",prenom)
        print("paiement : ", paiement)
        print("nombre : ", nombre)
        print("zone :", zone)

>>> commander_carte_orange("BIZOÏ", "Razvan", "chèque")
nom :  BIZOÏ
prénom :  Razvan
paiement :  chèque
nombre :  1
zone : 2
```

L'ordre des paramètres

Lors de l'appel, le nom des paramètres n'intervient plus, supposant que chaque paramètre reçoit pour valeur celle qui a la même position que lui lors de l'appel à la fonction. Il est toutefois possible de changer cet ordre en précisant quel paramètre doit recevoir quelle valeur.

```
x_1, ..., x_n = fonction_nom (param_1 = valeur_1 \
                    , ..., param_n = valeur_n)
```

```
>>> commander_carte_orange(prenom="Razvan",nom="BIZOÏ")
nom :  BIZOÏ
prénom :  Razvan
paiement :  carte
nombre :  1
zone : 2
```

Cette possibilité est intéressante surtout lorsqu'il y a de nombreux paramètres par défaut et que seule la valeur d'un des derniers paramètres doit être changée.

Atelier 3 - Exercice 1.1- Exercice 1.2- Exercice 1.3- Exercice 1.4

Les paramètres modifiables

Les paramètres de types immuables et modifiables se comportent de manières différentes à l'intérieur d'une fonction. Ces paramètres sont manipulés dans le corps de la fonction, voire modifiés parfois. Selon le type du paramètre, ces modifications ont des répercussions à l'extérieur de la fonction.

Les types immuables ne peuvent être modifiés et cela reste vrai. Lorsqu'une fonction accepte un paramètre de type immuable, elle ne reçoit qu'une copie de sa valeur. Elle peut donc modifier ce paramètre sans que la variable ou la valeur utilisée lors de l'appel de la fonction n'en soit affectée. On appelle ceci un passage de paramètre par valeur. A l'opposé, toute modification d'une variable d'un type modifiable à l'intérieur d'une fonction est répercutée à la variable qui a été utilisée lors de l'appel de cette fonction. On appelle ce second type de passage un passage par adresse.

```
>>> def somme_n_premier_terme(n,liste):
        somme = 0
        for i in liste:
            somme += i
            n -= 1
            # modification de n (type immuable)
            if n <= 0: break
        liste[0] =  0
        # modification de liste (type modifiable)
        return somme

>>> l = [1,2,3,4]
>>> nb = 3
>>> print("avant la fonction ",nb,l)
avant la fonction  3 [1, 2, 3, 4]
>>> s = somme_n_premier_terme (nb,l)
>>> print("après la fonction ",nb,l)
après la fonction  3 [0, 2, 3, 4]
>>> print("somme : ", s)
somme :  6
```

La liste est modifiée à l'intérieur de la fonction. La variable nb est d'un type immuable. Sa valeur a été recopiée dans le paramètre n de la fonction. Toute modification de n à l'intérieur de cette fonction n'a aucune répercussion à l'extérieur de la fonction.

Dans l'exemple précédent, il faut faire distinguer le fait que la liste passée en paramètre ne soit que modifiée et non changée.

```
>>> def fonction (liste):
        liste = list()


>>> liste = [0,1,2]
>>> print(liste)
[0, 1, 2]
>>> fonction (liste)
>>> print(liste)
[0, 1, 2]
```

Il faut considérer dans ce programme que la fonction reçoit un paramètre appelé liste mais utilise tout de suite cet identificateur pour l'associer à un contenu différent.

L'identificateur liste est en quelque sorte passé du statut de paramètre à celui de variable locale.

```
>>> def fonction (liste):
        del liste

>>> print(liste)
[0, 1, 2]
>>> fonction (liste)
>>> print(liste)
[0, 1, 2]
```

Le programme qui suit permet cette fois-ci de vider la liste passée en paramètre à la fonction. La seule instruction de cette fonction modifie vraiment le contenu désigné par l'identificateur liste et cela se vérifie après l'exécution de cette fonction.

```
>>> def fonction (liste):
        del liste[0:len(liste)]

>>> print(liste)
[0, 1, 2]
>>> fonction (liste)
>>> print(liste)
[]
```

La fonction récursive

Une fonction récursive est une fonction qui s'appelle elle-même. La fonction récursive la plus fréquemment citée en exemple est la fonction factorielle. Celle-ci met en évidence les deux composantes d'une fonction récursive, la récursion proprement dite et la condition d'arrêt.

```
>>> def factorielle(n):
        if n == 0 : return 1
        else : return n * factorielle(n-1)
```

La dernière ligne de la fonction factorielle est la récursion tandis que la précédente est la condition d'arrêt, sans laquelle la fonction ne cesserait de s'appeler, empêchant le programme de terminer son exécution. Si celle-ci est mal spécifiée ou absente, l'interpréteur Python affiche une suite ininterrompue de messages.

```
>>> factorielle(9)
362880
>>> factorielle(99)
933262154439441526816992388562667004907159682643816214685929638952175999932299156089414639761565182862536979208272237582511852109168640000000000000000000
```

Python n'autorise pas plus de 1000 appels récursifs : factorielle(999) provoque nécessairement une erreur d'exécution même si la condition d'arrêt est bien spécifiée.

```
>>> factorielle(999)
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#283>", line 1, in <module>
    factorielle(999)
  File "<pyshell#281>", line 3, in factorielle
    else : return n * factorielle(n-1)
  File "<pyshell#281>", line 3, in factorielle
    else : return n * factorielle(n-1)
  File "<pyshell#281>", line 3, in factorielle
    else : return n * factorielle(n-1)
  [Previous line repeated 989 more times]
  File "<pyshell#281>", line 2, in factorielle
    if n == 0 : return 1
RecursionError: maximum recursion depth exceeded in comparison
```

La liste des messages d'erreurs est aussi longue qu'il y a eu d'appels à la fonction récursive. Dans ce cas, il faut transformer cette fonction en une fonction non récursive équivalente, ce qui est toujours possible.

```
>>> def factorielle_non_recursive (n) :
        r = 1
        for i in range (2, n+1) :
            r *= i
        return r

>>> factorielle_non_recursive(999)
402387260077093773543702433923003985719374864210714632543799910429938512398629020592044208486969404800479988610197196058631666872994808558901323829669944590997424504087073759918823627727188732519779505950995276120874975462497043601418278094646496291056393887437886487337113...
```

Les variables locales et globales

Lorsque nous définissons des variables à l'intérieur du corps d'une fonction, ces variables ne sont accessibles qu'à la fonction elle-même. On dit que ces variables sont des variables locales à la fonction. Les contenus des variables locales sont stockés dans cet espace de noms qui est inaccessible depuis l'extérieur de la fonction.

Les variables définies à l'extérieur d'une fonction sont des variables globales. Leur contenu est « visible » de l'intérieur d'une fonction, mais la fonction ne peut pas le modifier.

```
>>> def mask():
        p = 20
        print(p, q)

>>> p, q = 15, 38
>>> mask()
20 38
>>> print(p, q)
15 38
>>> def mask():
        p = 20
        print(p, q)
        q = p                                   <--------------------

>>> mask()
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#249>", line 1, in <module>
    mask()
  File "<pyshell#248>", line 3, in mask
    print(p, q)
UnboundLocalError: local variable 'q' referenced before assignment
```

Nous commençons par définir une fonction très simple (qui n'utilise d'ailleurs aucun paramètre). À l'intérieur de cette fonction, une variable « **p** » est définie, avec 20 comme valeur initiale. Cette variable « **p** » qui est définie à l'intérieur d'une fonction sera donc une variable locale.

Une fois la définition de la fonction terminée, nous revenons au niveau principal pour y définir les deux variables « **p** » et « **q** » auxquelles nous attribuons les contenus 15 et 38. Ces deux variables définies au niveau principal seront donc des variables globales.

Ainsi le même nom de variable « **p** » a été utilisé ici à deux reprises, pour définir deux variables différentes : l'une est globale et l'autre est locale. On peut constater dans la suite de l'exercice que ces deux variables sont bel et bien des variables distinctes, indépendantes, obéissant à une règle de priorité qui veut qu'à l'intérieur d'une fonction, ce sont les variables définies localement qui ont la priorité.

Cela signifie en effet que vous pourrez toujours utiliser une infinité de fonctions sans vous préoccuper le moins du monde des noms de variables qui y sont utilisées : ces variables ne pourront en effet jamais interférer avec celles que vous aurez vous-même définies par ailleurs.

Il est toutefois possible de définir une fonction qui soit capable de modifier une variable globale. Pour atteindre ce résultat, il vous suffira d'utiliser l'instruction

« **global** ». Cette instruction permet d'indiquer, à l'intérieur de la définition d'une fonction, quelles sont les variables à traiter globalement.

```
>>> def monter():
        global a
        a = a+1
        print(a)

>>> monter()
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#252>", line 1, in <module>
    monter()
  File "<pyshell#251>", line 3, in monter
    a = a+1
TypeError: can only concatenate list (not "int") to list
>>> a = 15
>>> monter()
16
>>> monter()
17
>>> print(a)
17
```

L’aide sur la fonction

Le langage Python propose une fonction help qui retourne pour chaque fonction un commentaire ou mode d’emploi qui indique comment se servir de cette fonction.

```
>>> help(round)
Help on built-in function round in module builtins:

round(...)
    round(number[, ndigits]) -> number

    Round a number to a given precision in decimal digits (default 0
digits).
    This returns an int when called with one argument, otherwise the
    same type as the number. ndigits may be negative.
```

Lorsqu’on utilise cette fonction help sur une fonction, le message affiché n’est pas des plus explicites. Pour changer ce message, il suffit d’ajouter en première ligne du code de la fonction une chaîne de caractères.

```
>>> def coordonnees_polaires (x,y):
        """convertit des coordonnées cartésiennes \n\
        en coordonnées polaires (x,y) --> (pho,theta)"""
        rho   = math.sqrt(x*x+y*y)
        theta = math.atan2 (y,x)
        return rho, theta

>>> help(coordonnees_polaires)
Help on function coordonnees_polaires in module __main__:

coordonnees_polaires(x, y)
    convertit des coordonnées cartésiennes
    en coordonnées polaires (x,y) --> (pho,theta)
```

Il est conseillé d’écrire ce commentaire pour toute nouvelle fonction avant même que son corps ne soit écrit. L’expérience montre qu’on oublie souvent de l’écrire après.

Atelier 3 - Exercice 1.5- Exercice 1.6- Exercice 1.7- Exercice 1.8

L'écriture simplifiée des fonctions

Lorsque le code d'une fonction tient en une ligne et est le résultat d'une expression, il est possible de condenser son écriture à l'aide du mot-clé « **lambda** ». Cette syntaxe est issue de langages fonctionnels comme le Lisp.

```
nom_fonction = lambda param_1, ..., param_n : expression
```

L'exemple suivant utilise cette écriture pour définir la fonction min retournant le plus petit entre deux nombres positifs.

```
>>> min = lambda x,y : (abs (x+y) - abs (x-y)) / 2
>>> print(min(1,2))
1.0
>>> print(min(5,4))
4.0
>>> def  min(x,y):
        return (abs (x+y) - abs (x-y))/2

>>> print(min(1,2))
1.0
>>> print(min(5,4))
4.0
```

La fonction lambda considère le contexte de fonction qui la contient comme son contexte. Il est possible de créer des fonctions lambda mais celle-ci utiliseront le contexte dans l'état où il est au moment de son exécution et non au moment de sa création.

```
>>> fs = []
>>> for a in range (0,5) :
...     f = lambda x : x + a
...     fs.append(f)
...     print(a)
0
1
2
3
4
>>> print(a)
4
>>> for f in fs :
...     print('a = ', a,' lambda = ',f(1))
a =  4  lambda =  5
a =  4  lambda =  5
a =  4  lambda =  5
a =  4  lambda =  5
a =  4  lambda =  5
```

Pour que le programme affiche les entiers de 1 à 5, il faut préciser à la fonction lambda une variable y égale à a au moment de la création de la fonction et qui sera intégrée au contexte de la fonction lambda.

```
>>> fs = []
>>> for a in range (0,5) :
...     f = lambda x,y=a : x + y
...     fs.append(f)
```

```
...
>>> for f in fs :
...     print('a = ', a,' lambda = ',f(1))
...
a =  4  lambda =  1
a =  4  lambda =  2
a =  4  lambda =  3
a =  4  lambda =  4
a =  4  lambda =  5
```

La fonction map

La fonction « **map** » renvoie une liste correspondant à l'ensemble des éléments de la séquence.

```
map : map(fonction, séquence[, séquence...]) -> liste
```

Avant d'être inséré dans la liste, chaque élément est passé à la fonction fournie. Cette dernière doit donc être de la forme :

```
fonction(element) -> element
```

Lorsque plusieurs séquences sont fournies, la fonction reçoit une liste d'arguments correspondants à un élément de chaque séquence. Si les séquences ne sont pas de la même longueur, elles sont complétées avec des éléments à la valeur « **None** ».

La fonction peut être définie à « **None** », et dans ce cas tous les éléments des séquences fournies sont conservés.

```
>>> a = lambda x: x**2
>>> b = list(map(a, (2,3,4)))
>>> b
[4, 9, 16]
>>> list(map(pow, (7, 5, 3), (2, 3, -2)))
[49.0, 125.0, 0.1111111111111111]
>>> a, c = [1,2,3,4,5], [2, -3, 5,7, -0.5]
>>> mul = lambda x, y: x*y
>>> d = sum(map(mul, a,c))
>>> d
36.5

>>> sq = lambda x: x**2
>>> cu = lambda y: y**3
>>> fc = (sq,cu)
>>> #Retour carré & cube de r - utilisation de 'map'
>>> def vv(r): return list(map(lambda z: z(r), fc))
>>> res1 = vv(5)
>>> res1
[25, 125]

>>> def meva(dd):
        'Avec dd comme sequence de nombres,\n\
        retrouvez leur moyenne et variance'
        bb = len(dd)
        med = sum(dd)/bb
        vr = sum(list(map(sq,dd)))/bb - med**2
        return med, vr

>>> seq = [0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, \
       6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, \
       12.0, 13.0, 14.0]
>>> res1 = meva(seq)
>>> res1
(7.0, 18.66666666666667)
```

La fonction filter

La fonction « **filter** » renvoie une liste correspondant à l'ensemble des éléments de la séquence pour lesquels la fonction fournie retourne vrai.

```
filter(fonction, séquence[, séquence...]) -> liste
```

Avant d'être inséré dans la liste, chaque élément est passé à la fonction fournie. Cette dernière doit donc être de la forme :

```
fonction(element) -> booléen
```

```
>>> symbols = '&#$€£§ç'
>>> code_car = [ord(s) for s in symbols if ord(s) > 160]
>>> code_car
[8364, 163, 167, 231]
>>>
>>> code_car = list(filter(lambda c: c > 160, map(ord, symbols)))
>>> code_car
[8364, 163, 167, 231]

>>> def factorial(n):
...     '''returns n!'''
...     return 1 if n < 2 else n * factorial(n-1)
>>> factorial(42)
1405006117752879898543142606244511569936384000000000
>>> map(factorial, range(11))
<map object at 0x0000023169057CC0>
>>> list(map(fact, range(11)))
[1, 1, 2, 6, 24, 120, 720, 5040, 40320, 362880, 3628800]
>>> list(map(factorial, filter(lambda n: n % 2, range(6))))
[1, 6, 120]
```

Les iterators

À chaque fois qu'un objet est utilisé dans une boucle **for**, l'interpréteur génère en interne un **« iterator »** avec lequel il travaille. Un **« iterator »** est un objet qui contient une méthode **« next »** qui est appelée à chaque cycle et qui renvoie la séquence, élément par élément. Lorsqu'il n'y a plus d'éléments, l'iterator déclenche une exception de type **« StopIteration »**.

Les objets **« iterator »** peuvent être créés par le biais de la primitive **« iter »** qui prend en paramètre tout objet compatible avec les itérations.

```
>>> ma_chaine = "-test-"
>>> iterateur_de_ma_chaine = iter ( ma_chaine )
>>> iterateur_de_ma_chaine
<str_iterator object at 0x0000023169079080>
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
'-'
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
't'
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
'e'
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
's'
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
't'
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
'-'
>>> next ( iterateur_de_ma_chaine )
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
StopIteration

>>> for i in ma_chaine : print(i)
...
-
t
e
s
t
-
```

Les fonctions générateur

Il est possible d'utiliser une notation abrégée pour créer un générateur, à l'aide d'une générateur expression.

```
>>> genexp = (i for i in range(5) if i % 2 == 0)
>>> next(genexp)
0
>>> next(genexp)
2
>>> next(genexp)
4
>>> next(genexp)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
StopIteration
```

La création d'un **« iterator »** par le biais d'un générateur se résume à l'écriture d'une fonction qui parcourt les éléments de la séquence. Au lieu de retourner ces éléments par la directive return, la fonction doit faire appel à la directive **« yield »**, qui sert à définir un point de sauvegarde.

Le mot-clé **« yield »** est un peu à part. Utilisé à l'intérieur d'une fonction, il permet d'interrompre le cours de son exécution à un endroit précis de sorte qu'au prochain appel de cette fonction, celle-ci reprendra le cours de son exécution exactement au même endroit avec des variables locales inchangées. Le mot-clé return ne doit pas être utilisé. Ces fonctions ou générateurs sont utilisées en couple avec le mot-clé « **for** » pour simuler un ensemble.

```
>>> def fonction_yield(n):
        i = 0
        while i < n-1:
            print("yield 1 ", i)
            yield i
            i = i+1
        print("yield 2 ", i)
        yield i

>>> for a in fonction_yield(2):
        print(a)

yield 1  0
0
yield 2  1
1
>>> for a in fonction_yield(3):
        print(a)

yield 1  0
0
yield 1  1
1
yield 2  2
2
```

Le programme affiche tous les entiers compris entre 0 et 2 inclus ainsi que le texte « **`yield 1`** » ou « **`yield 2`** » selon l'instruction « **`yield`** » qui a retourné le résultat. Lorsque la fonction a finalement terminé son exécution, le prochain appel agit comme si c'était la première fois qu'on l'appelait.

La compilation dynamique

Identificateur appelable

La fonction « **callable** » retourne un booléen permettant de savoir si un identificateur est une fonction, de savoir par conséquent si tel identificateur est appelable comme une fonction.

```
>>> x = 5
>>> def y() :
        return  None

>>> print(callable(x))
False
>>> #affiche  False  car  x  est  une  variable
>>> print(callable(y))
True
>>> #affiche True  car  y est une  fonction
```

eval

La fonction évalue toute chaîne de caractères contenant une expression écrite avec la syntaxe du langage python. Cette expression peut utiliser toute variable ou toute fonction accessible au moment où est appelée la fonction « **eval** ».

```
>>> x = 3
>>> y = 4
>>> def carre(x) : return x**2

>>> print(eval("carre(x)+carre(y)+2*x*y"))
49
>>> print(carre(x+y))
49
```

Si l'expression envoyée à la fonction « **eval** » inclut une variable non définie, l'interpréteur python génère une erreur.

compile, exec

Plus complète que la fonction « **eval** », la fonction compile permet d'ajouter une ou plusieurs fonctions au programme, celle-ci étant définie par une chaîne de caractères. Le code est d'abord compilé **« compile »** puis incorporé au programme « **exec** ».

```
>>> import math
>>> str = """def coordonnees_polaires(x,y):
        rho     = math.sqrt(x*x+y*y)
        theta = math.atan2 (y,x)
        return rho,  theta"""
>>> # fonction définie par une chaîne de caractères
```

La fonction compile prend en fait trois arguments. Le premier est la chaîne de caractères contenant le code à compiler. Le second paramètre contient un nom de fichier dans lequel seront placées les erreurs de compilation. Le troisième paramètre est une chaîne de caractères à choisir parmi **« exec »** ou « **eval** ». Selon ce

choix, ce sera la fonction **« exec »** ou « **eval** » qui devra être utilisée pour agréger le résultat de la fonction compile au programme.

```
>>> obj  =  compile(str,"","exec")  #fonction  compilée
>>> exec(obj) # fonction incorporée au programme
>>> print(coordonnees_polaires(1,1))
(1.4142135623730951, 0.7853981633974483)
```

L'exemple suivant donne un exemple d'utilisation de la fonction compile avec la fonction « **eval** ».

```
>>> import math
>>> str =  """math.sqrt(x*x+y*y)"""
>>> obj  =  compile(str,"","eval")
>>> x = 1
>>> x,y = 1,2
>>> print(eval(obj))
2.23606797749979
```

4

L'utilisation des fichiers

Les fonctions prédéfinies

Jusqu'à présent, les programmes que nous avons réalisés ne traitaient qu'un très petit nombre de données. Nous pouvions donc à chaque fois inclure ces données dans le corps du programme lui-même (par exemple dans une liste). Cette façon de procéder devient cependant tout à fait inadéquate lorsque l'on souhaite traiter une quantité d'informations plus importante.

Pour que cela devienne possible, nous devrons doter nos programmes de divers mécanismes permettant de créer des fichiers, d'y envoyer des données et de les récupérer par la suite.

Les langages de programmation proposent des jeux d'instructions plus ou moins sophistiqués pour effectuer ces tâches.

Travailler avec des fichiers

L'utilisation d'un fichier ressemble beaucoup à l'utilisation d'un livre. Pour utiliser un livre, vous devez d'abord le trouver, puis l'ouvrir. Lorsque vous avez fini de l'utiliser, vous le refermez. Tant qu'il est ouvert, vous pouvez y lire des informations diverses, et vous pouvez aussi y écrire des annotations, mais généralement vous ne faites pas les deux à la fois. Dans tous les cas, vous pouvez vous situer à l'intérieur du livre, notamment en vous aidant des numéros de pages. Vous lisez la plupart des livres en suivant l'ordre normal des pages, mais vous pouvez aussi décider de consulter n'importe quel paragraphe dans le désordre.

Tout ce que nous venons de dire des livres s'applique également aux fichiers informatiques. Un fichier se compose de données enregistrées sur votre disque dur, sur une disquette, une clef USB ou un CD. Vous y accédez grâce à son nom lequel peut inclure aussi un nom de répertoire. En première approximation, vous pouvez considérer le contenu d'un fichier comme une suite de caractères, ce qui signifie que vous pouvez traiter ce contenu, ou une partie quelconque de celui-ci, à l'aide des fonctions servant à traiter les chaînes de caractères.

Liste des modules importés

Le dictionnaire modules du module « **sys** » contient l'ensemble des modules importés.

```
>>> import sys
>>> for m in sys.modules:
        print(m, " " * (14 - len(str(m))),sys.modules[m])


builtins        <module 'builtins' (built-in)>
sys             <module 'sys' (built-in)>
...
```

Lorsque le programme stipule l'import d'un module, Python vérifie s'il n'est pas déjà présent dans cette liste. Dans le cas contraire, il l'importe. Chaque module n'est importé qu'une seule fois.

Le dictionnaire « **sys.modules** » peut être utilisé pour vérifier la présence d'un module ou lui assigner un autre identificateur. Un module est un objet qui n'autorise qu'une seule instance.

Les attributs communs à tout module

Une fois importés, tous les modules possèdent cinq attributs qui contiennent des informations comme leur nom, le chemin du fichier correspondant, l'aide associée.

__all__	Contient toutes les variables, fonctions, classes du module.
__builtins__	Ce dictionnaire contient toutes les fonctions et classes inhérentes au langage Python utilisées par le module.
__doc__	Contient l'aide associée au module.
__file__	Contient le nom du fichier qui définit le module. Son extension est pyc.
__name__	Cette variable contient a priori le nom du module sauf si le module est le point d'entrée du programme auquel cas cette variable contient « __main__ ».

Ces attributs sont accessibles si le nom du module est utilisé comme préfixe. Sans préfixe, ce sont ceux du module lui-même.

```
>>>
import os
>>> print(os.__name__)
os
>>> print(os.__doc__)
OS routines for NT or Posix depending on what system we're on.

This exports:
  - all functions from posix or nt, e.g. unlink, stat, etc.
  - os.path is either posixpath or ntpath
  - os.name is either 'posix' or 'nt'
  - os.curdir is a string representing the current directory (always '.')
  - os.pardir is a string representing the parent directory (always '..')
  - os.sep is the (or a most common) pathname separator ('/' or '\\')
  - os.extsep is the extension separator (always '.')
  - os.altsep is the alternate pathname separator (None or '/')
  - os.pathsep is the component separator used in $PATH etc
  - os.linesep is the line separator in text files ('\r' or '\n' or '\r\n')
  - os.defpath is the default search path for executables
  - os.devnull is the file path of the null device ('/dev/null', etc.)

Programs that import and use 'os' stand a better chance of being
portable between different platforms.  Of course, they must then
only use functions that are defined by all platforms (e.g., unlink
and opendir), and leave all pathname manipulation to os.path
(e.g., split and join).

>>> if __name__ == "__main__" :
        print("ce fichier est le point d'entrée")
else :
        print("ce fichier est importé")

ce fichier est le point d'entrée
```

Le répertoire courant

os

Le module os regroupe plusieurs fonctions ou objets qui sont dans certains cas des alias vers des éléments d'autres modules.

On peut regrouper ces éléments en quatre sous-ensembles :

- opérations sur les descripteurs de fichiers ;
- manipulation des fichiers et répertoires ;
- manipulation des processus ;
- informations sur le système.

Pour simplifier les explications qui vont suivre, nous indiquerons seulement des noms simples pour les fichiers que nous allons manipuler. Si vous procédez ainsi dans vos exercices, les fichiers en question seront créés et/ou recherchés par Python dans le répertoire courant. Si vous travaillez avec IDLE, vous souhaiterez donc certainement forcer Python à changer son répertoire courant, afin que celui-ci corresponde à vos attentes. Même si vous travaillez sous Windows, vous pouvez utiliser « **/** » et non « **** » en guise de séparateurs. Python effectuera automatiquement les conversions nécessaires, suivant que vous travaillez sous Mac OS, Linux, ou Windows.

```
>>> from os import chdir,getcwd
>>> chdir("F:/PYT - Python programmation objet/Scripts")
>>> rep_cour = getcwd()
>>> print(rep_cour)
F:\PYT - Python programmation objet\Scripts
```

La première commande importe la fonction **« chdir »** du module **« os »**. La seconde commande provoque le changement de répertoire **« chdir »**.

- Vous avez également la possibilité d'insérer ces commandes en début de script, ou encore d'indiquer le chemin d'accès complet dans le nom des fichiers que vous manipulez, mais cela risque peut-être d'alourdir l'écriture de vos programmes.
- Choisissez de préférence des noms de fichiers courts. Évitez dans toute la mesure du possible les caractères accentués, les espaces et les signes typographiques spéciaux. Dans les environnements de travail de type Unix (Mac OS, Linux, BSD...), il est souvent recommandé de n'utiliser que des caractères minuscules.

La lecture des fichiers d'un répertoire :

```
>>> repertoire = r'D:\donnees\meteo\2023'
>>> for fichier in os.listdir(repertoire):
...     if not os.path.isdir(os.path.join(repertoire, fichier)):
...         print(fichier)
...
synop.202301.csv
synop.202302.csv
synop.202303.csv
synop.202304.csv
synop.202305.csv
synop.202306.csv
...
```

La lecture des tous les fichiers d'une arborescence :

```
>>> import os
>>> for dirname, _, filenames in os.walk('meteo'):
...     for filename in filenames:
...         print(os.path.join(dirname, filename))
...
meteo\postesSynop.csv
meteo\1996\synop.199601.csv
meteo\1996\synop.199602.csv
meteo\1996\synop.199603.csv
meteo\1996\synop.199604.csv
meteo\1996\synop.199605.csv
meteo\1996\synop.199606.csv
meteo\1996\synop.199607.csv
meteo\1996\synop.199608.csv
meteo\1996\synop.199609.csv
meteo\1996\synop.199610.csv
meteo\1996\synop.199611.csv
meteo\1996\synop.199612.csv
meteo\1997\synop.199701.csv
meteo\1997\synop.199702.csv
meteo\1997\synop.199703.csv
meteo\1997\synop.199704.csv
...
```

Les deux formes d'importation

Les lignes d'instructions que nous venons d'utiliser sont l'occasion d'expliquer un mécanisme intéressant. Vous savez qu'en complément des fonctions intégrées dans le module de base, Python met à votre disposition une très grande quantité de fonctions plus spécialisées, qui sont regroupées dans des modules.

Pour utiliser les fonctions d'un module, il suffit de les importer. Mais cela peut se faire de deux manières différentes, comme nous allons le voir ci-dessous. Chacune des deux méthodes présente des avantages et des inconvénients.

```
>>> import os
>>> rep_cour = os.getcwd()
>>> print(rep_cour)
F:\PYT - Python programmation objet\Scripts
```

Nous pouvons même importer toutes les fonctions d'un module, comme dans :

```
from tkinter import *
```

Cette méthode d'importation présente l'avantage d'alléger l'écriture du code. Elle présente l'inconvénient (surtout dans sa dernière forme, celle qui importe toutes les fonctions d'un module) d'encombrer l'espace de noms courant. Il se pourrait alors que certaines fonctions importées aient le même nom que celui d'une variable définie par vous-même, ou encore le même nom qu'une fonction importée depuis un autre module. Si cela se produit, l'un des deux noms en conflit n'est évidemment plus accessible.

L'écriture séquentielle

Sous Python, l'accès aux fichiers est assuré par l'intermédiaire d'un objet-interface particulier, que l'on appelle objet-fichier. On crée cet objet à l'aide de la fonction intégrée **« `open` »**. Celle-ci renvoie un objet doté de méthodes spécifiques, qui vous permettront de lire et écrire dans le fichier.

L'exemple ci-après vous montre comment ouvrir un fichier en écriture, y enregistrer deux chaînes de caractères, puis le refermer. Notez bien que si le fichier n'existe pas encore, il sera créé automatiquement. Par contre, si le nom utilisé concerne un fichier préexistant qui contient déjà des données, les caractères que vous y enregistrerez viendront s'ajouter à la suite de ceux qui s'y trouvent déjà. Vous pouvez faire tout cet exercice directement à la ligne de commande :

```
>>> import os
>>> os.chdir("F:/PYT - Python programmation objet/Scripts")
>>> print(os.getcwd())
F:\PYT - Python programmation objet\Scripts
>>> with open('Monfichier.txt', 'at') as obFichier:
>>>     obFichier.write('Bonjour, fichier !')
>>>     obFichier.write("Quel beau temps, aujourd'hui !")
>>> print(os.listdir(path='.'))
['Monfichier.txt']
>>> print(os.path.isfile("F:/PYT - Python programmation
objet/Scripts/Monfichier.txt"))
True
>>> for repN, susRep, fichiers in os.walk(os.getcwd()):
    print('Le dossier actuel est ' + repN)
    for fichier in fichiers:
        print('Fichier -- ' + repN + ': '+ fichier)
    print('')

Le dossier actuel est F:\PYT - Python programmation objet\Scripts
Fichier -- F:\PYT - Python programmation objet\Scripts: Monfichier.txt
```

La fonction « **`open`** » attend deux arguments, qui doivent tous deux être des chaînes de caractères. Le premier argument est le nom du fichier à ouvrir, et le second est le mode d'ouverture.

La méthode « **`write`** » réalise l'écriture proprement dite. Les données à écrire doivent être fournies en argument. Ces données sont enregistrées dans le fichier les unes à la suite des autres. Chaque nouvel appel de « **`write`** » continue l'écriture à la suite de ce qui est déjà enregistré.

La méthode **« `close` »** referme le fichier. Celui-ci est désormais disponible pour tout usage.

Mode	Signification
`r`	Ouverture du fichier en lecture.
`w`	Ouverture du fichier en écriture.
`x`	Ouverture du fichier en création exclusive.
`a`	Ouverture du fichier en mise à jour (append). Si le fichier n'existe pas, il est créé. S'il existe déjà, les nouvelles informations sont ajoutées à la fin.
`+`	Ouverture du fichier en lecture et en écriture.

t	Ouverture du fichier en lecture et en écriture. Si le fichier n'existe pas, il est créé. S'il existe déjà, son contenu est écrasé.
b	Ouverture du fichier en lecture et en mise à jour. Si le fichier n'existe pas, il est créé. S'il existe déjà, les nouvelles informations sont ajoutées à la fin.

Lecture séquentielle d'un fichier

Vous allez maintenant ouvrir le fichier, mais cette fois en lecture, de manière à pouvoir y relire les informations que vous avez enregistrées dans l'étape précédente :

```
>>> import os
>>> for repN, susRep, fichiers in os.walk(os.getcwd()):
    print('Le dossier actuel est ' + repN)
    for fichier in fichiers:
        print('Fichier -- ' + repN + ': '+ fichier)
    print('')

Le dossier actuel est F:\PYT - Python programmation objet\Scripts
Fichier -- F:\PYT - Python programmation objet\Scripts: Monfichier.txt
>>> os.chdir("F:/PYT - Python programmation objet/Scripts")
>>> def lireFichier (nomFichier):
        with open('Monfichier.txt', 'at') as ofi:
            t = ofi.read()
        print(t)

>>> lireFichier('Monfichier.txt')
Bonjour, fichier !Quel beau temps, aujourd'hui !
```

Comme on pouvait s'y attendre, la méthode **« `read` »** lit les données présentes dans le fichier et les transfère dans une variable de type « **`string`** ». Si on utilise cette méthode sans argument, la totalité du fichier est transférée.

La méthode **« `read` »** peut également être utilisée avec un argument. Celui-ci indiquera combien de caractères doivent être lus, à partir de la position déjà atteinte dans le fichier.

```
>>> ofi = open('Monfichier.txt', 'r')
>>> t = ofi.read(7)
>>> print(t)
Bonjour
>>> print(ofi.read(15))
, fichier !Quel
>>> print(ofi.read(1000))
 beau temps, aujourd'hui !
```

Si la fin du fichier est déjà atteinte, **« `read` »** renvoie une chaîne vide.

```
>>> t = ofi.read()
>>> print(t)

>>> if len(t) <= 0 : ofi.close()
>>> ofi.closed
True
```

Dans tout ce qui précède, nous avons admis sans explication que les chaînes de caractères étaient échangées telles quelles entre l'interpréteur Python et le fichier. En réalité, ceci est inexact, parce que les séquences de caractères doivent être converties en séquences d'octets pour pouvoir être mémorisées dans les fichiers. De plus, il existe malheureusement différentes normes pour cela. En toute rigueur, il faudrait donc préciser à Python la norme d'encodage que vous souhaitez utiliser dans vos fichiers.

La copie d'un fichier

Il va de soi que les boucles de programmation s'imposent lorsque l'on doit traiter un fichier dont on ne connaît pas nécessairement le contenu à l'avance. L'idée de base consistera à lire ce fichier morceau par morceau, jusqu'à ce que l'on ait atteint la fin du fichier.

```
>>> def copieFichier(source, destination):
        "copie intégrale d'un fichier"
        fs = open(source, 'r')
        fd = open(destination, 'w')
        while 1:
            txt = fs.read(50)
            if txt =="":
                break
            fd.write(txt)
        fs.close()
        fd.close()
        return

>>> copieFichier('Monfichier.txt', 'MonfichierC.txt')
>>> for repN, susRep, fichiers in os.walk(os.getcwd()):
    print('Le dossier actuel est ' + repN)
    for fichier in fichiers:
        print('Fichier -- ' + repN + ': '+ fichier)
    print('')

Le dossier actuel est F:\PYT - Python programmation objet\Scripts
Fichier -- F:\PYT - Python programmation objet\Scripts: Monfichier.txt
Fichier -- F:\PYT - Python programmation objet\Scripts: MonfichierC.txt
>>> lireFichier ('MonfichierC.txt')
Bonjour, fichier !Quel beau temps, aujourd'hui !
```

Vous savez en effet que l'instruction « **while** » doit toujours être suivie d'une condition à évaluer ; le bloc d'instructions qui suit est alors exécuté en boucle, aussi longtemps que cette condition reste vraie. Or nous avons remplacé ici la condition à évaluer par une simple constante, et vous savez également que l'interpréteur Python considère comme vraie toute valeur numérique différente de zéro. Nous pouvons cependant interrompre ce bouclage en faisant appel à l'instruction **« break »**, laquelle permet éventuellement de mettre en place plusieurs mécanismes de sortie différents pour une même boucle.

Les fichiers texte

Un fichier texte est un fichier qui contient des caractères « **imprimables** » et des espaces organisés en lignes successives, ces lignes étant séparées les unes des autres par un caractère spécial non imprimable appelé marqueur de fin de ligne.

Les fichiers texte sont donc des fichiers que nous pouvons lire et comprendre à l'aide d'un simple éditeur de texte, par opposition aux fichiers binaires dont le contenu est – au moins en partie – inintelligible pour un lecteur humain, et qui ne prend son sens que lorsqu'il est décodé par un logiciel spécifique. Par exemple, les fichiers contenant des images, des sons, des vidéos, etc. sont presque toujours des fichiers binaires. Nous donnons un petit exemple de traitement de fichier binaire un peu plus loin, mais dans le cadre de ce cours, nous nous intéresserons presque exclusivement aux fichiers texte.

Il est très facile de traiter des fichiers texte avec Python. Par exemple, les instructions suivantes suffisent pour créer un fichier texte de quatre lignes :

```
>>> import os
>>> nomFichier='Fichiertexte'
>>> os.chdir(r"F:\00--Développement avec un langage
fonctionnel\Scripts")
>>>
>>> with open(nomFichier, 'at') as fichier:
...     fichier.write("Ceci est la ligne un\nVoici la ligne deux\n")
...     fichier.write("Voici la ligne trois\nVoici la ligne
quatre\n")
...     fichier.write("#Voici la ligne quatre\n")
...
>>> with open(nomFichier, 'r') as fichier:
...     print(fichier.read())
...
Ceci est la ligne un
Voici la ligne deux
Voici la ligne trois
Voici la ligne quatre
#Voici la ligne quatre
```

Notez bien le marqueur de fin de ligne « **\n** » inséré dans les chaînes de caractères, aux endroits où l'on souhaite séparer les lignes de texte dans l'enregistrement.

Lors des opérations de lecture, les lignes d'un fichier texte peuvent être extraites séparément les unes des autres à l'aide de la méthode « **readline** ».

La méthode « **readlines** » transfère toutes les lignes restantes dans une liste de chaînes. Ainsi cette méthode permet donc de lire l'intégralité d'un fichier en une instruction seulement. Cela n'est possible toutefois que si le fichier à lire n'est pas trop gros : puisqu'il est copié intégralement dans une variable, c'est-à-dire dans la mémoire vive de l'ordinateur.

```
>>> with open(nomFichier, 'r') as fichier:
...     print(fichier.readlines())
...
['Ceci est la ligne un\n', 'Voici la ligne deux\n', 'Voici la ligne
trois\n', 'Voici la ligne quatre\n', '#Voici la ligne quatre\n']

>>> def filtre(source,destination):
        "recopier un fichier en"
```

```
        "éliminant les lignes de remarques"
        fs = open(source, 'r')
        fd = open(destination, 'w')
        while 1:
            txt = fs.readline()
            if txt =='':
                break
            if txt[0] != '#':
                fd.write(txt)
        fs.close()
        fd.close()
        return

>>> filtre(nomFichier,'Fichiertexte.txt')
>>> f = open('Fichiertexte.txt', 'r')
>>> print(f.read())
Ceci est la ligne un
Voici la ligne deux
Voici la ligne trois
Voici la ligne quatre

>>> f.close()
```

La fonction **« open »** renvois un objet de type file, qui contient les méthodes suivantes.

`close()`	ferme le flux.
`flush()`	vide le tampon interne.
`fileno()`	renvoie le descripteur de fichier.
`isatty()`	renvoie vrai si le fichier est branché sur un terminal tty.
`next()`	renvoie la prochaine ligne lue, ou provoque une exception StopIteration.
`read([size])`	lit au plus size octets. Si size est omis, lit tout le contenu.
`readline([size])`	lit la prochaine ligne. Si size est fourni, limite le nombre d'octets lus.
`readlines([sizehint])`	appelle « **`readline`** » en boucle, jusqu'à la fin du flux. Si « **`sizehint`** » est fourni, s'arrête lorsque ce nombre est atteint ou dépassé par la ligne en cours.
`seek(offset[,whence])`	positionne le curseur de lecteur en fonction de la valeur d'offset. whence permet de faire varier le fonctionnement (0 : position absolue – valeur par défaut, 1 : relative à la position courante, 2 : relative à la fin du fichier).
`tell()`	renvoie la position courante.
`truncate([size])`	tronque la taille du fichier. Si size est fourni, détermine la taille maximum.
`write(str)`	écrit la chaîne « **`str`** » dans le fichier.
`writelines(sequence)`	écrit la séquence de chaînes.

Les objets de type file sont des itérateurs, qui peuvent donc être utilisés directement comme des séquences.

```
>>> import os
>>> os.chdir("F:\PYT - Python programmation objet\Scripts")
>>> mon_fichier = open('infos.txt', mode='w', encoding='utf-8')
```

```
>>> mon_fichier.write('1. première info\n')
17
>>> mon_fichier.write('2. deuxième info\n')
17
>>> mon_fichier.write('3. troixième info\n')
18
>>> mon_fichier.write('4. 圖形碼常用字次常用字\n')
14
>>> mon_fichier.close()
>>> mon_fichier = open('infos.txt', 'r')
>>> for line in mon_fichier:
        print(line)

1. premiÃ¨re info
2. deuxiÃ¨me info
3. troixiÃ¨me info
4. åœ–å½¢ç¢¼å¸¸ç″¨å-—æ¬¡å¸¸ç″¨å-—

>>> mon_fichier.close()
>>> print(mon_fichier.name,\
      mon_fichier.encoding, \
      mon_fichier.newlines.encode(), \
      mon_fichier.closed)
infos.txt cp1252 b'\r\n' True
>>> mon_fichier = open('infos.txt', mode='r', encoding='utf-8')
>>> for line in mon_fichier:
        print(line)

1. première info
2. deuxième info
3. troixième info
4. 圖形碼常用字次常用字

>>> mon_fichier.close()
>>> print(mon_fichier.name,\
      mon_fichier.encoding, \
      mon_fichier.newlines.encode(), \
      mon_fichier.closed)
infos.txt utf-8 b'\r\n' True
```

Le type file possède en outre un certain nombre d'attributs.

`Closed`	renvoie vrai si le fichier a été fermé.
`Encoding`	renvoie l'encoding utilisé par le fichier pour l'écriture. Si des chaînes unicode sont écrites dans le flux, elles sont encodées avec ce codec.
`Name`	renvoie le nom du fichier.
`Newlines`	renvoie le type de passage à la ligne utilisé (\r, \n, ou \r\n)

L'enregistrement et restitution de variables

L'argument de la méthode « **write** » utilisée avec un fichier texte doit être une chaîne de caractères. Avec ce que nous avons appris jusqu'à présent, nous ne pouvons donc enregistrer d'autres types de valeurs qu'en les transformant d'abord en chaînes de caractères **« string »**. Nous pouvons réaliser cela à l'aide de la fonction intégrée **« str »**.

```
>>> import os
>>> nomFichier='FichierFormate.txt'
>>> os.chdir("F:/PYT - Python programmation objet/Scripts")
>>> f = open(nomFichier, 'w')
>>> x,d,s = 5.5,7,"caractères"
>>> res = "un nombre réel %f et un entier %d, une chaîne de %s, \n"\
         "un réel d'abord converti en  chaîne de  caractères %s\n" \
         %  (x,d,s, str(x+4))
>>> f.write(res)
121
>>> res = "un nombre réel " + str (x) + \
          " et un entier " + str (d) + \
          ", une chaîne de " + s + \
          ",\nun réel d'abord converti en chaîne de caractères "\
          + str(x+4)
>>> f.write(res)
114
>>> f.close()
>>> f = open(nomFichier, 'r')
>>> print(f.read())
un nombre réel 5.500000 et un entier 7, une chaîne de caractères,
un réel d'abord converti en  chaîne de  caractères 9.5
un nombre réel 5.5 et un entier 7, une chaîne de caractères,
un réel d'abord converti en chaîne de caractères 9.5
>>> f.close()
```

Si nous enregistrons les valeurs numériques en les transformant d'abord en chaînes de caractères, nous risquons de ne plus pouvoir les retransformer correctement en valeurs numériques lorsque nous allons relire le fichier.

Il existe plusieurs solutions à ce genre de problèmes. L'une des meilleures consiste à importer un module Python spécialisé : le module **« pickle »**.

```
>>> import pickle
>>> a, b, c = 27, 12.96, [5, 4.83, "René"]
>>> f =open('donnees_binaires', 'wb')
>>> pickle.dump(a, f)
>>> pickle.dump(b, f)
>>> pickle.dump(c, f)
>>> f.close()
>>> f =open('donnees_binaires', 'rb')
>>> j = pickle.load(f)
>>> k = pickle.load(f)
>>> l = pickle.load(f)
>>> print(j, type(j))
27 <class 'int'>
>>> print(k, type(k))
```

```
12.96 <class 'float'>
>>> print(l, type(l))
[5, 4.83, 'René'] <class 'list'>
```

Comme vous pouvez le constater dans ce court exemple, le module **« pickle »** permet d'enregistrer des données avec conservation de leur type.

Attention, les fichiers traités à l'aide des fonctions du module **« pickle »** ne seront pas des fichiers texte, mais bien des fichiers binaires. Pour cette raison, ils doivent obligatoirement être ouverts comme tels à l'aide de la fonction **« open »**. Vous utiliserez l'argument **« wb »** pour ouvrir un fichier binaire en, et l'argument « **rb** » pour ouvrir un fichier binaire en lecture.

La fonction **« dump »** du module **« pickle »** attend deux arguments : le premier est la variable à enregistrer, le second est l'objet fichier dans lequel on travaille. La fonction **« load »** effectue le travail inverse, c'est-à-dire la restitution de chaque variable avec son type.

De la même manière le module « **shelve** » vous permettra de écrire d'ajouter ou lire les données sauvegardées.

```
>>> import shelve
>>> shelfFile = shelve.open('shelveFichier')
>>> cats = ['Zophie', 'Pooka', 'Simon']
>>> shelfFile['cats'] = cats
>>> shelfFile.close()
>>> shelfFile = shelve.open('shelveFichier')
>>> print(shelfFile['cats'],type(shelfFile))
['Zophie', 'Pooka', 'Simon'] <class 'shelve.DbfilenameShelf'>
>>> shelfFile.close()
>>> shelfFile = shelve.open('shelveFichier')
>>> fruits = ['apples', 'oranges', 'cherries', 'banana']
>>> pers = ['Alice', 'Bob', 'Carol', 'David']
>>> animaux = ['dogs', 'cats', 'moose', 'goose']
>>> shelfFile['fruits'] = fruits
>>> shelfFile['pers'] = pers
>>> shelfFile['animaux'] = animaux
>>> shelfFile.close()
>>> shelfFile = shelve.open('shelveFichier')
>>> list(shelfFile.keys())
['cats', 'fruits', 'pers', 'animaux']
>>> list(shelfFile.values())
[['Zophie', 'Pooka', 'Simon'], ['apples', 'oranges', 'cherries',
'banana'], ['Alice', 'Bob', 'Carol', 'David'], ['dogs', 'cats',
'moose', 'goose']]
>>> for categorie in shelfFile.keys() :
    print(shelfFile[categorie],type(shelfFile[categorie]))

['Zophie', 'Pooka', 'Simon'] <class 'list'>
['apples', 'oranges', 'cherries', 'banana'] <class 'list'>
['Alice', 'Bob', 'Carol', 'David'] <class 'list'>
['dogs', 'cats', 'moose', 'goose'] <class 'list'>
```

Après avoir exécuté le code précédent sur Windows, vous verrez trois nouveaux fichiers dans le répertoire de travail courant: shelveFichier.bak, shelveFichier.dat et shelveFichier.dir.

Les exceptions try – except – else

Les exceptions sont les opérations qu'effectue un interpréteur ou un compilateur lorsqu'une erreur est détectée au cours de l'exécution d'un programme. En règle générale, l'exécution du programme est alors interrompue, et un message d'erreur plus ou moins explicite est affiché.

```
>>> print(10/0)
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#340>", line 1, in <module>
    print(10/0)
ZeroDivisionError: division by zero
```

Le message d'erreur proprement dit comporte deux parties séparées par un double point : d'abord le type d'erreur, et ensuite une information spécifique de cette erreur.

Dans de nombreux cas, il est possible de prévoir à l'avance certaines des erreurs qui risquent de se produire à tel ou tel endroit du programme et d'inclure à cet endroit des instructions particulières, qui seront activées seulement si ces erreurs se produisent. Dans les langages de niveau élevé comme Python, il est également possible d'associer un mécanisme de surveillance à tout un ensemble d'instructions, et donc de simplifier le traitement des erreurs qui peuvent se produire dans n'importe laquelle de ces instructions.

Un mécanisme de ce type s'appelle en général mécanisme de traitement des exceptions. Celui de Python utilise l'ensemble d'instructions **« `try - except - else` »**, qui permettent d'intercepter une erreur et d'exécuter une portion de script spécifique de cette erreur. Il fonctionne comme suit.

Le bloc d'instructions qui suit directement une instruction **« `try` »** est exécuté par Python sous réserve. Si une erreur survient pendant l'exécution de l'une de ces instructions, alors Python annule cette instruction fautive et exécute à sa place le code inclus dans le bloc qui suit l'instruction **« `except` »**. Si aucune erreur ne s'est produite dans les instructions qui suivent **« `try` »**, alors c'est le bloc qui suit l'instruction **« `else` »** qui est exécuté (si cette instruction est présente). Dans tous les cas, l'exécution du programme peut se poursuivre ensuite avec les instructions ultérieures.

```
>>> try:
        print(10/0)
    except:
        print("La division par zéro n'est pas acceptée")

La division par zéro n'est pas acceptée
```

Considérons par exemple un script qui demande à l'utilisateur d'entrer un nom de fichier, lequel fichier étant destiné à être ouvert en lecture. Si le fichier n'existe pas, nous ne voulons pas que le programme se plante. Nous voulons qu'un avertissement soit affiché, et éventuellement que l'utilisateur puisse essayer d'entrer un autre nom.

```
>>> def existe(fname):
        try:
            f = open(fname,'r')
            f.close()
            return 1
        except:
            return 0
```

```
>>> filename = input("Veuillez entrer le nom du fichier : ")
Veuillez entrer le nom du fichier : Il n existe pas
>>> if existe(filename):
        print("Ce fichier existe bel et bien.")
else:
        print("Le fichier-", filename, "-est introuvable.")

Le fichier-Il n existe pas-est introuvable.
```

Il est également possible de faire suivre l'instruction **« try »** de plusieurs blocs **« except »**, chacun d'entre eux traitant un type d'erreur spécifique.

Il est aussi possible d'ajouter une clause qui sert de préfixe à une liste d'instructions qui ne sera exécutée que si aucune exception n'est déclenchée.

```
try:
# ... instructions à protéger
except:
# ... que faire en cas d'erreur
else:
# ... que faire lorsque aucune erreur n'est apparue
```

```
>>> def inverse(x):
...     y = 1.0 / x
...     return y
...
>>> try:
...     print(inverse(2)) # pas d'erreur
... except:
...     print("le programme a déclenché une erreur")
... else:
...     print("tout s'est bien passé")
...
0.5
tout s'est bien passé
```

Le type d'exception

Parfois, plusieurs types d'erreurs peuvent être déclenchés à l'intérieur d'une portion de code protégée. Pour avoir une information sur ce type, il est possible de récupérer une variable de type **« Exception »**.

```
>>> def inverse(x):
...     return 1.0 / x
...
>>> try:
...     print(inverse(2))
...     print(inverse(0))
... except Exception as exc:
...     print("exception de type ", exc.__class__)
...     # affiche exception de type exceptions.ZeroDivisionError
...     print("message", exc)
...     # affiche le message associé à l'exception
...
0.5
exception de type  <class 'ZeroDivisionError'>
message float division by zero
```

La variable **« exc »** est en fait une instance d'une classe d'erreur, **« __class__ »** correspond au nom de cette classe. A l'aide de la fonction **« isinstance »**, il est possible d'exécuter des traitements différents selon le type d'erreur.

```
>>> try:
...     print((-2.1) ** 3.1) # première erreur
...     print(inverse(2))
...     print(inverse(0)) # seconde erreur
... except Exception as exc:
...     if isinstance(exc, ZeroDivisionError):
...         print("division par zéro")
...     else:
...         print("erreur insoupçonnée :", exc.__class__)
...         print("message", exc)
...
(-9.48606594010979-3.0822096637057887j)
0.5
division par zéro
```

Une autre syntaxe plus simple permet d'attraper un type d'exception donné en accolant au mot-clé **« except »** le type de l'exception qu'on désire attraper.

```
try:
    # ... instructions à protéger
except type_exception_1:
    # que faire en cas d'erreur de
    #      type type_exception_1
except (type_exception_i, type_exception_j):
    # que faire en cas d'erreur de type
    #       type_exception_i ou type_exception_j
```

```
        except type_exception_n:
            # que faire en cas d'erreur de
            #      type type_exception_n
        except:
            # que faire en cas d'erreur d'un type
            #       différent de tous les précédents types
        else:
            # que faire lorsqu'aucune erreur n'est apparue
```

```
>>> try:
...     print((-2.1) ** 3.1)
...     print(inverse(0))
... except ZeroDivisionError:
...     print("division par zéro")
... except Exception as exc:
...     print("erreur insoupçonnée :", exc.__class__)
...     print("message ", exc)
...
(-9.48606594010979-3.0822096637057887j)
division par zéro
```

Les d'exceptions standards

Le langage Python propose une liste d'exceptions standards. Lorsqu'une erreur ne correspond pas à l'une de ces exceptions, il est possible de créer une exception propre à un certain type d'erreur. Lorsqu'une fonction ou une méthode déclenche une exception non standard, généralement, le commentaire qui lui est associé l'indique. Voici quelques types d'exception courantes :

Nom Erreur	Description
AttributeError	Une référence à un attribut inexistant ou une affectation a échoué.
OSError	Une opération concernant les entrées/sorties (Input/Output) a échoué. Cette erreur survient par exemple lorsqu'on cherche à lire un fichier qui n'existe pas.
ImportError	Cette erreur survient lorsqu'on cherche à importer un module qui n'existe pas.
IndentationError	L'interpréteur ne peut interpréter une partie du programme à cause d'un problème d'indentation. Il n'est pas possible d'exécuter un programme mal indenté mais cette erreur peut se produire lors de l'utilisation de la fonction compile.
IndexError	On utilise un index erroné pour accéder à un élément d'une liste, d'un dictionnaire ou de tout autre tableau.
KeyError	Une clé est utilisée pour accéder à un élément d'un dictionnaire dont elle ne fait pas partie.
NameError	On utilise une variable, une fonction, une classe qui n'existe pas.
TypeError	Erreur de type, une fonction est appliquée sur un objet qu'elle n'est pas censée manipuler.
UnicodeError	Erreur de conversion d'un encodage de texte à un autre.
ValueError	Cette exception survient lorsqu'une valeur est inappropriée pour une certaine opération, par exemple, l'obtention du logarithme d'un nombre négatif.

```
>>> try:
...     d = ["un", "deux"]
...     print(d[2])
...     print(inverse(0))
... except IndexError:
...     print("index erroné")
... except ZeroDivisionError:
...     print("division par zéro")
... except Exception as exc:
...     print("erreur insoupçonnée :", exc.__class__)
...
index erroné
```

Lancer une exception

Lorsqu'une fonction détecte une erreur, il lui est possible de déclencher une exception par l'intermédiaire du mot-clé **« `raise` »**. Cette exception est attrapée plus bas.

Il est parfois utile d'associer un message à une exception afin que l'utilisateur ne soit pas perdu. Le déclenchement d'une exception suit la syntaxe suivante :

```
raise exception_type(message)
```

```
>>> def inverse(x):
...     if x == 0:
...         raise ValueError(
...             "valeur nulle interdite, fonction inverse")
...     y = 1.0 / x
...     return y
...
>>> try:
...     print(inverse(0)) # erreur
... except ValueError as exc:
...     print("erreur, message :", exc)
...
erreur, message : valeur nulle interdite, fonction inverse
```

Les instructions try, except imbriquées

Comme pour les boucles, il est possible d'imbriquer les portions protégées de code les unes dans les autres. Dans l'exemple qui suit, la première erreur est l'appel à une fonction non définie, ce qui déclenche l'exception NameError.

```
>>> def inverse(x):
...     return 1.0 / x
...
>>> try:
...     try:
...         print(inverses(0))
...                # fonction inexistante --> exception NameError
...         print(inverse(0))
...                # division par zéro --> ZeroDivisionError
...     except NameError:
...         print("appel à une fonction non définie")
... except ZeroDivisionError as exc:
...     print("erreur", exc)
...
appel à une fonction non définie

>>> try:
...     try:
...         print(inverse(0))
...               # division par zéro --> ZeroDivisionError
...         print(inverses(0))
...               # fonction inexistante --> exception NameError
...     except NameError:
...         print("appel à une fonction non définie")
... except ZeroDivisionError as exc:
...     print("erreur", exc)
...
erreur float division by zero
```

Une autre imbrication possible est l'appel à une fonction qui inclut déjà une partie de code protégée.

```
>>> def inverse(x):
...     try:
...         y = 1.0 / x
...     except ZeroDivisionError as exc:
...         print("erreur ", exc)
...         if x > 0:
...             return 1000000000
...         else:
...             return -1000000000
...     return y
...
>>> try:
...     print(inverse(0))
...           # division par zéro --> la fonction inverse sait gérer
...     print(inverses(0))
...           # fonction inexistante --> exception NameError
```

```
... except NameError:
...     print("appel à une fonction non définie")
...
erreur  float division by zero
-1000000000
appel à une fonction non définie
```

Les fichiers compressés

Les fichiers **« zip »** ou **« gzip »** sont très répandus de nos jours et constituent un standard de compression facile d'accès quelque soit l'ordinateur et son système d'exploitation. Le langage Python propose quelques fonctions pour compresser et décompresser ces fichiers par l'intermédiaire du module **« zipfile** » respectif **« gzip »**.

Création d'une archive

Pour créer un fichier **« zip »**, le procédé ressemble à la création de n'importe quel fichier. La seule différence provient du fait qu'il est possible de stocker le fichier à compresser sous un autre nom à l'intérieur du fichier **« zip »**, ce qui explique les deux premiers arguments de la méthode « **write** ». Le troisième paramètre indique si le fichier doit être compressé **« zipfile.ZIP_DEFLATED »** ou non « **zipfile.ZIP_STORED** ».

```
>>> import os, zipfile
>>> os.chdir(r"F:\Scripts")
>>> os.mkdir(r"F:\Scripts\repCompress")
>>>
>>> def compressRepertoire(nomRepertoire,
...             archive=r"F:\Scripts\repCompress\compressRep.zip") :
...     with zipfile.ZipFile (archive, "w") as file :
...         for fichier in os.listdir(nomRepertoire):
...             if not os.path.isdir(os.path.join(
                                    nomRepertoire, fichier)):
...                 file.write(fichier,fichier,
                                      zipfile.ZIP_DEFLATED)
...     return archive

>>> def afficheFichiers(nomRepertoire) :
...     for fichier in os.listdir(nomRepertoire):
...         if not os.path.isdir(os.path.join(
                           nomRepertoire, fichier)):
...             print(fichier)

>>> afficheFichiers(os.getcwd())
donnees_binaires
FichierB
FichierB.txt
FichierB1
FichierFormate.txt
Fichiertexte
Fichiertexte.txt
infos.txt
Monfichier.txt
MonfichierC.txt
Premier essai de script Python.py
shelveFichier.bak
...

>>> fichier = compressRepertoire(os.getcwd())
```

Lecture d'une archive

L'exemple suivant permet par exemple d'obtenir la liste des fichiers inclus dans un fichier zip

```
>>> def listeArchive(archive):
...     with zipfile.ZipFile(archive, "r") as file:
...         for info in file.infolist () :
...             print(info.filename, info.date_time, info.file_size)
...
>>> def lireFichierArchive(nomFichier, archive):
...     with zipfile.ZipFile(archive, "r") as file:
...         print(file.read(nomFichier).decode())
...

>>> listeArchive(fichier)
donnees_binaires (2017, 3, 25, 23, 9, 6) 48
FichierB (2017, 3, 25, 21, 43, 46) 30
FichierB.txt (2017, 3, 25, 21, 35, 8) 30
FichierB1 (2017, 3, 25, 22, 16, 8) 44
FichierFormate.txt (2017, 3, 25, 23, 3, 36) 237
Fichiertexte (2017, 3, 25, 16, 16, 54) 112
Fichiertexte.txt (2017, 3, 25, 16, 22, 16) 88
infos.txt (2017, 3, 26, 11, 44, 52) 93
Monfichier.txt (2017, 3, 25, 15, 29, 54) 48
MonfichierC.txt (2017, 3, 25, 15, 53, 8) 48
Premier essai de script Python.py (2017, 3, 26, 20, 45, 38) 566
shelveFichier.bak (2017, 3, 25, 23, 52, 2) 81
shelveFichier.dat (2017, 3, 25, 23, 51, 58) 1590
shelveFichier.dir (2017, 3, 25, 23, 52, 2) 81
test.txt (2017, 3, 26, 18, 38, 34) 18
>>> lireFichierArchive('infos.txt',fichier)
1. première info
2. deuxième info
3. troixième info
4. 圖形碼常用字次常用字
```

La manipulation de fichiers

Le module **« os.path »** propose plusieurs fonctions très utiles qui permettent entre autres de tester l'existence d'un fichier, d'un répertoire, de récupérer diverses informations comme sa date de création, sa taille…

abspath(path)	Retourne le chemin absolu d'un fichier ou d'un répertoire.
commonprefix(list)	Retourne le plus grand préfixe commun à un ensemble de chemins.
dirname(path)	Retourne le nom du répertoire.
exists(path)	Dit si un chemin est valide ou non.
getatime(path) getmtime(path) getctime(path)	Retourne diverses dates concernant un chemin, date du dernier accès (getatime), date de la dernière modification (getmtime), date de création (getctime).
getsize(file)	Retourne la taille d'un fichier.
isabs(path)	Retourne True si le chemin est un chemin absolu.
isfile(path)	Retourne True si le chemin fait référence à un fichier.
isdir(path)	Retourne True si le chemin fait référence à un répertoire.
join(p1, p2, ...)	Construit un nom de chemin étant donné une liste de répertoires.
split(path)	Découpe un chemin, isole le nom du fichier ou le dernier répertoire des autres répertoires.
splitext(path)	Découpe un chemin en nom + extension.

La liste des fichiers

La fonction **« listdir »** du module **« os »** permet de retourner les listes des éléments inclus dans un répertoire (fichiers et sous-répertoires). Toutefois, le module **« glob »** propose une fonction plus intéressante qui permet de retourner la liste des éléments d'un répertoire en appliquant un filtre.

```
>>> def liste_fichier_repertoire (folder, filter):
        file,fold = [], []
        res = glob.glob (folder + "\\" + filter)
        rep = glob.glob (folder + "\\*")
        for r in rep :
            if r not in res and os.path.isdir (r) :
                res.append (r)
        for r in res :
            path = r
            if os.path.isfile (path) :
                file.append (path)
            else :
                fi,fo = liste_fichier_repertoire  (path,  filter)
                file.extend (fi)
                fold.extend (fo)
        return file,fold
```

```
>>> import os
>>> os.chdir("F:\PYT - Python programmation objet\Scripts")
>>> folder = os.getcwd()
>>> filter =  "*.txt"
>>> import glob
>>> file,fold =  liste_fichier_repertoire  (folder, filter)
>>> for f in file : print("fichier ", f)

fichier  F:\PYT - Python programmation objet\Scripts\FichierB.txt
fichier  F:\PYT - Python programmation objet\Scripts\FichierFormate.txt
fichier  F:\PYT - Python programmation objet\Scripts\Fichiertexte.txt
fichier  F:\PYT - Python programmation objet\Scripts\Monfichier.txt
fichier  F:\PYT - Python programmation objet\Scripts\MonfichierC.txt
fichier  F:\PYT - Python programmation
objet\Scripts\repCompress\Monfichier.txt
>>> for f in fold : print("répertoire ", f )
```

Liste non exhaustive des fonctionnalités offertes par les modules shutil et os.

`copy(f1,f2)`	**« shutil »** Copie le fichier f1 vers f2
`chdir(p)`	**« os »** Change le répertoire courant, cette fonction peut être importante lorsqu'on utilise la fonction system du module **« os »** pour lancer une instruction en ligne de commande ou lorsqu'on écrit un fichier sans préciser le nom du répertoire.
`getcwd()`	**« os »** Retourne le répertoire courant.
`mkdir(p)`	**« os »** Crée le répertoire p.
`makedirs(p)`	**« os »** Crée le répertoire p et tous les répertoires des niveaux supérieurs s'ils n'existent pas.
`remove(f)`	**« os »** Supprime un fichier.
`rename(f1,f2)`	**« os »** Renomme un fichier
`rmdir(p)`	**« os »** Supprime un répertoire

Les expressions régulières

Les expressions régulières sont prises en charge par le module **« re »**. Ainsi, comme avec tous les modules en Python, nous avons seulement besoin de l'importer pour commencer à les utiliser.

Même si les expressions régulières ne sont pas propres à un langage, chaque implémentation introduit généralement des spécificités pour leur notation. L'antislash **« \ »** tient un rôle particulier dans la syntaxe des expressions régulières puisqu'il permet d'introduire des caractères spéciaux. Comme il est également interprété dans les chaînes de caractères, il est nécessaire de le doubler pour ne pas le perdre dans l'expression.

```
>>> expression = "\btest\b"
>>> print(expression)
test
>>> expression = "\\btest\\b"
>>> print(expression)
\btest\b
>>> expression = r"\btest\b"
>>> print(expression)
\btest\b
```

Les chaînes de caractères peuvent éventuellement être précédées d'une lettre « **r** » ou **« R »** Ces chaînes sont appelées chaînes brutes et traitent l'antislash **« \ »** comme un caractère littéral.

La syntaxe des expressions régulières

La syntaxe des expressions régulières peut se regrouper en trois groupes de symboles :

- les symboles simples ;
- les symboles de répétition ;
- les symboles de regroupement.

Les symboles simples

Les symboles simples sont des caractères spéciaux qui permettent de définir des règles de capture pour un caractère du texte et sont réunis dans le tableau ci-dessous.

Symbole	Fonction
.	Remplace tout caractère sauf le saut de ligne.
^	Symbolise le début d'une ligne.
$	Symbolise la fin d'une ligne.
\A	Symbolise le début de la chaîne.
\b	Symbolise le caractère d'espacement. Intercepté seulement au début ou à la fin d'un mot. Un mot est ici une séquence de caractères alphanumériques ou espace souligné.
\B	Comme **« \b »** mais uniquement lorsque ce caractère n'est pas au début ou à la fin d'un mot.
\d	Intercepte tout chiffre.
\D	Intercepte tout caractère sauf les chiffres.
\s	Intercepte tout caractère d'espacement : horizontale **« \t »**, verticale **« \v »**, saut de ligne **« \n »**, retour à la ligne **« \r »**, form feed **« \f »**.
\S	Symbole inverse de \s
\w	Intercepte tout caractère alphanumérique et espace souligné.
\W	Symbole inverse de **« \w »**.
\Z	Symbolise la fin de la chaîne.

Voici quelques exemples :

```
>>> import re
>>> re.findall(r'.', ' test *')
[' ', 't', 'e', 's', 't', ' ', '*']
>>> re.findall(r'.', 'test\n')
['t', 'e', 's', 't']
>>> re.findall(r'.', '\n')
[]
>>> re.findall(r'^le', "c'est le début")
[]
>>> re.findall(r'^le', "le début")
['le']
>>> re.findall(r'mot$', 'mot mot mot')
['mot']
>>> re.findall(r'\Aparoles', 'paroles, paroles, paroles,\nparoles,
encore des paroooooles')
['paroles']
>>> re.findall(r'\bpar\b', 'parfaitement')
[]
>>> re.findall(r'\bpar\b', 'par monts et par veaux')
['par', 'par']
>>> re.findall(r'\Bpar\B', "imparfait")
['par']
```

```
>>> re.findall(r'\Bpar\B', "parfait")
[]
>>> re.findall(r'\d', '1, 2, 3, nous irons au bois (à 12:15h)')
['1', '2', '3', '1', '2', '1', '5']
>>> print(''.join(re.findall(r'\D', '1, 2, 3, nous irons au bois (à
12:15h)')))
, , , nous irons au bois (à :h)
>>> len(re.findall(r'\s', "combien d'espaces dans la phrase ?"))
5
>>> len(re.findall(r'\s', "latoucheespaceestbloquée"))
0
>>> phrase = """Lancez vous!"""
>>> len(re.findall(r'\s', phrase))
1
>>> len(re.findall(r'\S', "combien de lettres dans la phrase ?"))
29
>>> ''.join(re.findall(r'\w', '*!mot-clé_*'))
'motclé_'
>>> ''.join(re.findall(r'\W', '*!mot-clé_*'))
'*!-*'
>>> re.findall(r'end\Z', 'The end will come')
[]
>>> re.findall(r'end\Z', 'This is the end')
['end']
```

Le fonctionnement de chacun de ces symboles est affecté par les options suivantes :

- **(A)SCII** : les symboles **« \w »**, **« \W »**, **« \b »**, **« \B »**, **« \d »**, **« \D »**, **« \s »** et **« \S »** se basent uniquement sur le code ascii.
- **S** ou **DOTALL** : le saut de ligne est également intercepté par le symbole **« \b »**.
- **(M)ULTILINE** : dans ce mode, les symboles **« ^ »** et **« $ »** interceptent le début et la fin de chaque ligne.
- **(U)NICODE** : les symboles **« \w »**, **« \W »**, **« \b »**, **« \B »**, **« \d »**, **« \D »**, **« \s »** et **« \S »** se basent sur de l'unicode.
- **(I)GNORECASE** : rend les symboles insensibles à la casse du texte.
- **X** ou **VERBOSE** : autorise l'insertion d'espaces et de commentaires en fin de ligne, pour une mise en page de l'expression régulière plus lisible.

```
>>> re.findall('[a-f]+', '0a3B9', flags=re.IGNORECASE)
['a', 'B']
>>> chars = ''.join(chr(i) for i in range(256))
>>> " ".join(re.findall(r"\w", chars))              <--------UNICODE
'0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X
Y Z _ a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z ª ² ³ µ ¹
º ¼ ½ ¾ À Á Â Ã Ä Å Æ Ç È É Ê Ë Ì Í Î Ï Ð Ñ Ò Ó Ô Õ Ö Ø Ù Ú Û Ü Ý Þ
ß à á â ã ä å æ ç è é ê ë ì í î ï ð ñ ò ó ô õ ö ø ù ú û ü ý þ ÿ'
>>> " ".join(re.findall(r"\w", chars, flags=re.UNICODE))
'0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X
Y Z _ a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z ª ² ³ µ ¹
º ¼ ½ ¾ À Á Â Ã Ä Å Æ Ç È É Ê Ë Ì Í Î Ï Ð Ñ Ò Ó Ô Õ Ö Ø Ù Ú Û Ü Ý Þ
ß à á â ã ä å æ ç è é ê ë ì í î ï ð ñ ò ó ô õ ö ø ù ú û ü ý þ ÿ'
>>> " ".join(re.findall(r"\w", chars, flags=re.ASCII))
'0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X
Y Z _ a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z'
```

```
>>> re.findall(r"\w+", "这是一个 例子 是一", re.UNICODE)
['这是一个', '例子', '是一']
>>> re.findall(r"\w+", "这是一个 例子 是一")
['这是一个', '例子', '是一']
```

Les symboles de répétition

Les symboles simples peuvent être combinés et répétés par le biais de symboles de répétition.

Symbole	Fonction
`*`	Répète le symbole précédent de 0 à n fois (autant que possible).
`+`	Répète le symbole précédent de 1 à n fois (autant que possible).
`?`	Répète le symbole précédent 0 ou 1 fois (autant que possible).
`{n}`	Répète le symbole précédent n fois.
`{n,m}`	Répète le symbole précédent entre n et m fois inclus. n ou m peuvent être omis comme pour les tranches de séquences. Dans ce cas ils sont remplacés respectivement par 0 et *.
`{n,m}?`	Équivalent à {n,m} mais intercepte le nombre minimum de caractères.
`e1|e2`	Intercepte l'expression e1 ou e2. (OR)
`[]`	Regroupe des symboles et caractères en un jeu.

Voici quelques exemples :

```
>>> import re
>>> re.findall(r'pois*', 'poisson pois poilant poi')
['poiss', 'pois', 'poi', 'poi']
>>> re.findall(r'pois+', 'poisson pois poilant poi')
['poiss', 'pois']
>>> re.findall(r'pois?', 'poisson pois poilant poi')
['pois', 'pois', 'poi', 'poi']
>>> re.findall(r'pois{2}', 'poisson pois poilant poi')
['poiss']
>>> re.findall(r'pois{2,4}', 'poisssssssssssson pois poilant poi')
['poissss']
>>> re.findall(r'pois{,4}', 'poisssssssssssson pois poilant poi')
['poissss', 'pois', 'poi', 'poi']
>>> re.findall(r'pois{2,}', 'poisssssssssssson pois poilant poi')
['poissssssssssss']
>>> re.findall(r'pois{2,4}?', 'poisssssssssssson pois poilant poi')
['poiss']
>>> re.findall(r'pois{2,}?', 'poisssssssssssson pois poilant poi')
['poiss']
>>> re.findall(r'pois{,4}?', 'poisssssssssssson pois poilant poi')
['poi', 'poi', 'poi', 'poi']
>>> re.findall(r'Mr|Mme', 'Mr et Mme')
['Mr', 'Mme']
>>> re.findall(r'Mr|Mme', 'Mr Untel')
['Mr']
>>> re.findall(r'Mr|Mme', 'Mme Unetelle')
['Mme']
>>> re.findall(r'Mr|Mme', 'Mlle Unetelle')
[]
>>> re.findall(r'[abc]def', 'adef bdef cdef')
```

```
['adef', 'bdef', 'cdef']
```

Le regroupement de caractères accepte aussi des caractères d'abréviation, à savoir :

- **-** : définit une plage de valeurs. **« [a-z] »** représente par exemple toutes les lettres de l'alphabet en minuscules.
- **^** : placé en début de jeu, définit la plage inverse. **« [^a-z] »** représente par exemple tous les caractères sauf les lettres de l'alphabet en minuscules.

Les symboles de répétition **« ? »**, **« * »** et **« + »** sont dits gloutons ou greedy : comme ils répètent autant de fois que possible le symbole précédent, des effets indésirables peuvent survenir.

```
>>> telRegex = re.compile(r'''\d{2}[ ]\(\d\)\d
                [\.]\d{2}[\.]\d{2}
                [\.]\d{2}[\.]\d{2}''', re.VERBOSE)
>>> tel = telRegex.search(
    'Mobile 33 (0)6.85.20.70.68 Tél 33 (0)3.88.27.13.34')
>>> tel.group()
'33 (0)6.85.20.70.68'
>>> telRegex.findall(
    'Mobile 33 (0)6.85.20.70.68 Tél 33 (0)3.88.27.13.34')
['33 (0)6.85.20.70.68', '33 (0)3.88.27.13.34']
```

Dans l'exemple suivant, l'expression régulière tente d'extraire les balises html du texte sans succès : le texte complet est intercepté car il correspond au plus grand texte possible pour le motif. La solution est d'ajouter un symbole **« ? »** après le symbole greedy, pour qu'il n'intercepte que le texte minimum.

```
>>> chaine = '<div><span>le titre</span></div>'
>>> nongreedyRegex = re.compile(r'<.*?>')
>>> mo = nongreedyRegex.search(chaine)
>>> mo.group()
'<div>'
>>> nongreedyRegex.findall(chaine)
['<div>', '<span>', '</span>', '</div>']
>>> greedyRegex = re.compile(r'<.*>')
>>> mo = greedyRegex.search(chaine)
>>> mo.group()
'<div><span>le titre</span></div>'
>>> greedyRegex.findall(chaine)
['<div><span>le titre</span></div>']
```

Les symboles de regroupement

Les symboles de regroupement offrent des fonctionnalités qui permettent de combiner plusieurs expressions régulières, au-delà des jeux de caractères **« [ ] »** et de la fonction **« OR »**, et d'associer à chaque groupe un identifiant unique. Certaines d'entre elles permettent aussi de paramétrer localement le fonctionnement des expressions.

Symbole	Fonction
(e)	Forme un groupe avec l'expression e. Si les caractères **« (»** ou **«) »** sont utilisés dans e, ils doivent être préfixés de **« \ »**
(?FLAGS)	Insère directement des flags d'options dans l'expression. S'applique à l'expression complète quel que soit son positionnement.
(?:e)	Similaire à (e) mais le groupe intercepté n'est pas conservé.
(?P<name>e)	Associe l'étiquette name au groupe. Ce groupe peut ensuite être manipulé par ce nom par le biais des API de « **re** », ou même dans la suite de l'expression régulière.
(?#comment)	Insère un commentaire, qui sera ignoré. Le mode **« verbose »** est plus souple pour l'ajout direct de commentaires en fin de ligne.
(?=e)	Similaire à (e) mais le groupe n'est pas consommé.
(?!e)	Le groupe n'est pas consommé et est intercepté uniquement si le pattern (le motif) n'est pas e. (?!e) est le symbole inverse de (?=e)
(?<=e1)e2	Intercepte e2 à condition qu'elle soit préfixée d'e1.
(?<!e1)e2	Intercepte e2 à condition qu'elle ne soit pas préfixée d'e1.
(?(id/name) e1|e2)	Rend l'expression conditionnelle : si le groupe d'identifiant id ou name existe, e1 est utilisée, sinon e2. e2 peut être omise, dans ce cas e1 ne s'applique que si le groupe id ou name existe. Dans l'exemple <123> et 123 sont interceptés mais pas <123.

Voici quelques exemples.

```
>>> re.findall(r'(\(03\))(80)(.*)','(03)80666666')
[('(03)', '80', '666666')]
>>> re.findall(r'(?i)AAZ*', 'aaZzzRr')
['aaZzz']
>>> re.findall(r'(?:\(03\))(?:80)(.*)','(03)80666666')
['666666']
>>> match = re.search(r'(03)(80)(?P<numero>.*)','0380666666')
>>> match.group('numero')
'666666'
>>> re.findall(r'(?# récupération des balises)<.*?>', \
    '<h2><span>hopla</span></h2>')
['<h2>', '<span>', '</span>', '</h2>']
>>> re.findall(r'John(?= Doe)','John Doe')
['John']
>>> re.findall(r'John(?= Doe)','John Minor')
[]
>>> re.findall(r'John(?! Doe)','John Doe')
```

```
[]
>>> re.findall(r'John(?! Doe)','John Minor')
['John']
>>> re.findall(r'(?<=John )Doe','John Doe')
['Doe']
>>> re.findall(r'(?<=John )Doe','John Minor')
[]
>>> re.findall(r'(?<!John )Doe','John Doe')
[]
>>> re.findall(r'(?<!John )Doe','Juliette Doe')
['Doe']
>>> re.match(r'(?P<one><)?(\d+)(?(one)>)', '<123')
>>> match = re.match(r'(?P<one><)?(\d+)(?(one)>)', '123')
>>> match.group()
'123'
>>> match = re.match(r'(?P<one><)?(\d+)(?(one)>)', '<123>')
>>> match.group()
'<123>'
```

Les fonctions et objets de re

Le module **« re »** contient un certain nombre de fonctions qui permettent de manipuler des motifs et les exécuter sur des chaînes :

Fonction	Description
compile(pattern[, flags])	compile le motif pattern et renvoie un objet de type **« SRE_Pattern »**.
escape(string)	ajoute un antislash **« \ »** devant tous les caractères non alphanumériques contenus dans string. Permet d'utiliser la chaîne dans les expressions régulières.
findall(pattern, string[, flags])	renvoie une liste des éléments interceptés dans la chaîne string par le motif pattern. Lorsque le motif est composé de groupes, chaque élément est un tuple composé de chaque groupe.
finditer(pattern, string[, flags])	équivalente à **« findall »**, mais un itérateur sur les éléments est renvoyé. flags est un entier contenant d'éventuels flags, appliqués au motif complet.
match(pattern, string[, flags])	renvoie un objet de type **« MatchObject »** si le début de la chaîne string correspond au motif. flags est un entier contenant d'éventuels flags, appliqués au motif complet.
search(pattern, string[, flags])	équivalente à **« match »** mais recherche le motif dans toute la chaîne.
split(pattern, string[,maxsplit=0])	équivalente au **« split »** de l'objet string. Renvoie une séquence de chaînes délimitées par le motif pattern. Si maxsplit est fourni, limite le nombre d'éléments à maxsplit, le dernier élément regroupant la fin de la chaîne lorsque maxsplit est atteint.
sub(pattern, repl, string[, count])	remplace les occurrences du motif pattern de string par repl. repl peut être une chaîne ou un objet **« callable »** qui reçoit un objet « MatchObject » et renvoie une chaîne. Si count est fourni, limite le nombre de remplacements.
subn(pattern, repl, string[, count])	équivalente à **« sub »** mais renvoie un tuple (nouvelle chaîne, nombre de remplacements) au lieu de la chaîne.

```
>>> import re
>>> motif = re.compile('(Mr|Mme|Mlle)\s([A-Za-z]+)\s([A-Za-z]+)')
>>> print(motif.sub(r'Nom: \3, Prénom: \2', 'Mr John Doe'))
Nom: Doe, Prénom: John
>>> print(motif.sub(r'Mon nom est \g<3>, \g<2> \g<3>'\
          ,'Mr Jean Bon'))
Mon nom est Bon, Jean
```

5

Les structures de données

Les chaînes de caractères

À la différence des données numériques, qui sont des entités singulières, les chaînes de caractères constituent **un type de donnée composite**. Nous entendons par là une entité bien définie qui est faite elle-même d'un ensemble d'entités plus petites, en l'occurrence : les caractères. Suivant les circonstances, nous serons amenés à traiter une telle donnée composite, tantôt comme un seul objet, tantôt comme **une suite ordonnée d'éléments**.

Le parcours d'une séquence est une opération très fréquente en programmation. Pour en faciliter l'écriture, Python vous propose une structure de boucle basée sur le couple d'instructions **« for ... in ... »**.

```
>>> chaine = 'abcdefghijk'
>>> for i in aaa : print(i+'-',end=' ')

a- b- c- d- e- f- g- h- i- j- k-
```

L'instruction for permet donc d'écrire des boucles, dans lesquelles l'itération traite successivement tous les éléments d'une séquence donnée.

```
>>> liste = ['chien', 'chat', 'crocodile', 'éléphant']
>>> for animal in liste :
        print('longueur de la chaîne', \
        animal, '=', len(animal))

longueur de la chaîne chien = 5
longueur de la chaîne chat = 4
longueur de la chaîne crocodile = 9
longueur de la chaîne éléphant = 8
```

Les chaînes sont des séquences non modifiables

Vous ne pouvez pas modifier le contenu d'une chaîne existante. En d'autres termes, vous ne pouvez pas utiliser l'opérateur **« [ ] »** dans la partie gauche d'une instruction d'affectation.

```
>>> salut = 'bonjour à tous'
>>> salut[0] = 'B'
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#367>", line 1, in <module>
    salut[0] = 'B'
TypeError: 'str' object does not support item assignment
>>> salut = salut[0].upper()+salut[1:]
>>> print(salut)
Bonjour à tous
```

Les chaînes sont comparables

Tous les opérateurs de comparaison dont nous avons parlé à propos des instructions de contrôle de flux fonctionnent aussi avec les chaînes de caractères.

```
>>> while True:
        mot = input(\
         "Entrez un mot quelconque : (<enter> pour terminer)")
        if mot =="":
```

```
            break
        if mot < "limonade":
            place = "précède"
        elif mot > "limonade":
            place = "suit"
        else:
            place = "se confond avec"
        print("Le mot", mot, place, \
        "le mot 'limonade' dans l'ordre alphabétique")

Entrez un mot quelconque : (<enter> pour terminer)limonade
Le mot limonade se confond avec le mot 'limonade' dans l'ordre
alphabétique
Entrez un mot quelconque : (<enter> pour terminer)limonade <--espace
Le mot limonade  suit le mot 'limonade' dans l'ordre alphabétique
Entrez un mot quelconque : (<enter> pour terminer)limonade1
Le mot limonade1 suit le mot 'limonade' dans l'ordre alphabétique
Entrez un mot quelconque : (<enter> pour terminer)test
Le mot test suit le mot 'limonade' dans l'ordre alphabétique
Entrez un mot quelconque : (<enter> pour terminer)
```

Les séquences d'octets

Les concepteurs de langages de programmation, de compilateurs ou d'interpréteurs pourront décider librement de représenter ces caractères par des entiers sur 8, 16, 24, 32, 64 bits. Nous ne devons donc pas nous préoccuper du format réel des caractères, à l'intérieur d'une chaîne string de Python.

Il en va tout autrement, par contre, pour les entrées/sorties. De même, nous devons pouvoir choisir le format des données que nous exportons vers n'importe quel dispositif périphérique, qu'il s'agisse d'une imprimante, d'un disque dur, d'un écran...

Pour toutes ces entrées ou sorties de chaînes de caractères, nous devrons donc toujours considérer qu'il s'agit concrètement de séquences d'octets, et utiliser divers mécanismes pour convertir ces séquences d'octets en chaînes de caractères, et vice-versa.

```
>>> import os
>>> os.chdir("F:\PYT - Python programmation objet\Scripts")
>>> chaine = "Amélie et Eugène\n"
>>> of =open("test.txt", "w")
>>> of.write(chaine)
17
>>> of.close()
>>> of =open("test.txt", "rb")
>>> octets =of.read()
>>> of.close()
>>> type(octets)
<class 'bytes'>
>>> print(octets)
b'Am\xe9lie et Eug\xe8ne\r\n'
>>> print(octets.decode())
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#466>", line 1, in <module>
    print(octets.decode())
```

```
UnicodeDecodeError: 'utf-8' codec can't decode byte 0xe9 in position
2: invalid continuation byte
>>> print(octets.decode(errors="replace"))
Am�lie et Eug�ne
>>> import locale
>>> print(locale.getdefaultlocale())
('fr_FR', 'cp1252')
>>> print(octets.decode('cp1252'))
Amélie et Eugène
```

Accéder à d'autres caractères que ceux du clavier

Voyons à présent quel parti vous pouvez tirer du fait que tous les caractères possèdent leur identifiant numérique universel Unicode. Pour accéder à ces identifiants, Python met à votre disposition un certain nombre de fonctions prédéfinies.

La fonction **« `ord(ch)` »** accepte n'importe quel caractère comme argument. En retour, elle fournit la valeur de l'identifiant numérique correspondant à ce caractère.

La fonction **« `chr(num)` »** fait exactement le contraire, en vous présentant le caractère typographique dont l'identifiant Unicode est égal à num. Pour que cela fonctionne, il faut cependant que deux conditions soient réalisées :

- la valeur de num doit correspondre effectivement à un caractère existant (la répartition des identifiants unicode n'est pas continue : certains codes ne correspondent donc à aucun caractère)
- votre ordinateur doit disposer d'une description graphique du caractère, ou, en d'autres termes, connaître le dessin de ce caractère, que l'on appelle un glyphe. Les systèmes d'exploitation récents disposent cependant de bibliothèques de glyphes très étendues, ce qui devrait vous permettre d'en afficher des milliers à l'écran.

Vous pouvez exploiter ces fonctions prédéfinies pour vous amuser à explorer le jeu de caractères disponible sur votre ordinateur. Vous pouvez par exemple retrouver les caractères minuscules de l'alphabet grec, en sachant que les codes qui leur sont attribués vont de 945 à 969. Ainsi le petit script ci-dessous :

```
>>> s = ""    # chaîne vide
>>> i = 945   # premier code
>>> while i <= 969: # dernier code
        s += chr(i)
        i = i + 1

>>> print("Alphabet grec (minuscule) : ", s)
Alphabet grec (minuscule) :  αβγδεζηθικλμνξοπρςστυφχψω
```

Atelier 5 - Exercice 1

Les listes

Les listes sont des collections ordonnées d'objets. Comme les chaînes de caractères, les listes font partie d'un type général que l'on appelle séquences sous Python. Comme les caractères dans une chaîne, les objets placés dans une liste sont rendus accessibles par l'intermédiaire d'un index.

Dans une liste on peut combiner des données de n'importe quel type, y compris des listes, des **`dictionnaires`** et des **`tuples`**. Pour accéder aux éléments d'une liste, on utilise les mêmes méthodes (index, découpage en tranches) que pour accéder aux caractères d'une chaîne.

```
>>> nombres = [5, 38, 10, 25]
>>> mots = ["jambon", "fromage", "confiture", "chocolat"]
>>> stuff = [5000, "Brigitte", 3.1416, ["Albert", "René", 1947]]
>>> print(nombres[2])
10
>>> print(nombres[1:3])
[38, 10]
>>> print(nombres[2:3])
[10]
>>> print(nombres[2:])
[10, 25]
>>> print(nombres[:2])
[5, 38]
>>> print(nombres[-1])
25
>>> print(nombres[-2])
10
```

Une tranche découpée dans une liste est toujours elle-même une liste, même s'il s'agit d'une tranche qui ne contient qu'un seul élément, comme dans notre troisième exemple, alors qu'un élément isolé peut contenir n'importe quel type de donnée.

Les listes sont modifiables

Contrairement aux chaînes de caractères, les listes sont des séquences modifiables. Cela nous permettra de construire plus tard des listes de grande taille, morceau par morceau, d'une manière dynamique.

```
>>> nombres[0] = 17
>>> nombres
[17, 38, 10, 25]
>>> stuff[3][1] = "Isabelle"
>>> stuff
[5000, 'Brigitte', 3.1416, ['Albert', 'Isabelle', 1947]]
>>> nombres[0] = nombres[2:]
>>> nombres
[[10, 25], 38, 10, 25]
```

Les listes sont des objets

Les listes sont des objets à part entière, et vous pouvez donc leur appliquer un certain nombre de méthodes particulièrement efficaces.

x in l	vrai si x est un des éléments de l
x not in l	réciproque de la ligne précédente
l + t	concaténation de l et t
l * n	concatène n copies de l les unes à la suite des autres
len(l)	nombre d'éléments de l
min(l)	plus petit élément de l, résultat difficile à prévoir lorsque les types des éléments sont différents
max(l)	plus grand élément de l
sum(l)	retourne la somme de tous les éléments
del l[i:j]	supprime les éléments d'indices entre i et j exclu. Cette instruction est équivalente à **l[i:j] = [ ]**.
list(x)	convertit x en une liste quand cela est possible
l.count(x)	Retourne le nombre d'occurrences de l'élément x.
l.index(x)	Retourne l'indice de la première occurrence de l'élément x dans la liste l.
l.append(x)	Ajoute l'élément x à la fin de la liste l. Si x est une liste, cette fonction ajoute la liste x en tant qu'élément, au final, la liste l ne contiendra qu'un élément de plus.
l.extend(k)	Ajoute tous les éléments de la liste k à la liste l. La liste l aura autant d'éléments supplémentaires qu'il y en a dans la liste k.
l.insert(i,x)	Insère l'élément x à la position i dans la liste l.
l.remove(x)	Supprime la première occurrence de l'élément x dans la liste l. S'il n'y a aucune occurrence de x, cette méthode déclenche une exception.
l.pop([i])	Retourne l'élément l[i] et le supprime de la liste. Le paramètre i est facultatif, s'il n'est pas précisé, c'est le dernier élément qui est retourné puis supprimé de la liste.
l.reverse(x)	Retourne la liste, le premier et dernier élément échange leurs places, le second et l'avant dernier, et ainsi de suite.
l.sort([key=None, reverse=False])	Cette fonction trie la liste par ordre croissant. Le paramètre key est facultatif, il permet de préciser la fonction qui précise clé de comparaison qui doit être utilisée

```
>>> nombres = [17, 38, 10, 25, 72]
>>> nombres.sort()
>>> nombres
[10, 17, 25, 38, 72]
>>> nombres.append(12)
>>> nombres
[10, 17, 25, 38, 72, 12]
>>> nombres.reverse()
>>> nombres
[12, 72, 38, 25, 17, 10]
>>> nombres.index(17)
4
```

```
>>> nombres.remove(38)
>>> nombres
[12, 72, 25, 17, 10]
>>> del nombres[2]
>>> nombres
[12, 72, 17, 10]
>>> del nombres[1:3]
>>> nombres
[12, 10]
```

Techniques de slicing avancé pour modifier une liste

Il est possible d'utiliser à la place des **« del »** ou **« append »** pour ajouter ou supprimer des éléments dans une liste l'opérateur **« [ ] »**. L'utilisation de cet opérateur est un peu plus délicate que celle d'instructions ou de méthodes dédiées, mais elle permet davantage de souplesse.

Insertion d'un ou plusieurs éléments n'importe où dans une liste

```
>>> mots = ['jambon', 'fromage', 'confiture', 'chocolat']
>>> mots[2:2] =["miel"]
>>> mots
['jambon', 'fromage', 'miel', 'confiture', 'chocolat']
>>> mots[5:5] =['saucisson', 'ketchup']
>>> mots
['jambon', 'fromage', 'miel', 'confiture', 'chocolat', 'saucisson',
'ketchup']
>>> mots[1:2]
['fromage']
```

Pour utiliser cette technique, vous devez prendre en compte les particularités suivantes :

- Si vous utilisez l'opérateur **« [ ] »** à la gauche du signe égale pour effectuer une insertion ou une suppression d'élément(s) dans une liste, vous devez obligatoirement y indiquer une tranche dans la liste cible, c'est-à-dire deux index réunis par le symbole **« : »**, et non un élément isolé dans cette liste.
- L'élément que vous fournissez à la droite du signe égale doit lui-même être une liste. Si vous n'insérez qu'un seul élément, il vous faut donc le présenter entre crochets pour le transformer d'abord en une liste d'un seul élément.

La même démarche pour les suppressions et le remplacement d'éléments.

```
>>> mots[2:5] = []  # [] désigne une liste vide
>>> mots
['jambon', 'fromage', 'saucisson', 'ketchup']
>>> mots[1:3] = ['salade']
>>> mots
['jambon', 'salade', 'ketchup']
>>> mots[1:] = ['mayonnaise', 'poulet', 'tomate']
>>> mots
['jambon', 'mayonnaise', 'poulet', 'tomate']
```

Création d'une liste de nombres

Si vous devez manipuler des séquences de nombres, vous pouvez les créer très aisément à l'aide de la fonction intégrée **« range »**. Elle renvoie une séquence

d'entiers que vous pouvez utiliser directement, ou convertir en une liste avec la fonction **« list »**, ou convertir en tuple avec la fonction **« tuple »**.

```
>>> list(range(10))
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
>>> list(range(5,13))
[5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]
>>> list(range(3,16,3))
[3, 6, 9, 12, 15]
>>> list(range(10, -10, -3))
[10, 7, 4, 1, -2, -5, -8]
```

La fonction **« range »** génère par défaut une séquence de nombres entiers de valeurs croissantes, et différant d'une unité. Si vous appelez **« range »** avec un seul argument, la liste contiendra un nombre de valeurs égal à l'argument fourni, mais en commençant à partir de zéro. Notez bien que l'argument fourni n'est jamais dans la liste générée. On peut aussi utiliser **« range »** avec deux, ou même trois arguments séparés par des virgules, que l'on pourrait intituler **FROM**, **TO** et **STEP**

Toute boucle **« for »** peut s'appliquer sur un objet muni d'un itérateur tels que les chaînes de caractères, tuples, les listes, les dictionnaires, les ensembles.

```
>>> prov = ['La','raison','du','plus','fort',\
        'est','toujours','la','meilleure']
>>> for mot in prov:
        print(mot, end =' ')

La raison du plus fort est toujours la meilleure
```

Si vous voulez parcourir une gamme d'entiers, la fonction range() s'impose.

```
>>> for n in range(10, 18, 3):
        print(n, n**2, n**3)

10 100 1000
13 169 2197
16 256 4096
```

Il est très pratique de combiner les fonctions **« range »** et **« len »** pour obtenir automatiquement tous les indices d'une séquence (liste ou chaîne).

```
>>> fable = ['Maître','Corbeau','sur','un','arbre','perché']
>>> for index in range(len(fable)):
        print(index, fable[index])

0 Maître
1 Corbeau
2 sur
3 un
4 arbre
5 perché
```

Une conséquence importante du typage dynamique est que le type de la variable utilisée avec l'instruction **« for »** est redéfini continuellement au fur et à mesure du parcours : même si les éléments d'une liste sont de types différents, on peut parcourir cette liste à l'aide de for sans qu'il ne s'ensuive une erreur, car le type de la variable de parcours s'adapte automatiquement à celui de l'élément en cours de lecture.

```
>>> divers = [3, 17.25, [5, 'Jean'], 'Linux is not Windoze']
>>> for item in divers :
    print(item, type(item))
```

```
3 <class 'int'>
17.25 <class 'float'>
[5, 'Jean'] <class 'list'>
Linux is not Windoze <class 'str'>
```

Les opérations sur des listes

On peut appliquer aux listes les opérateurs **« + »** (concaténation) et **« * »** (multiplication). L'opérateur **« * »** est particulièrement utile pour créer une liste de n éléments identiques.

```
>>> fruits = ['orange','citron']
>>> legumes = ['poireau','oignon','tomate']
>>> fruits + legumes
['orange', 'citron', 'poireau', 'oignon', 'tomate']
>>> fruits * 3
['orange', 'citron', 'orange', 'citron', 'orange', 'citron']
>>> sept_zeros = [0]*7
>>> sept_zeros
[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
```

Supposons par exemple que vous voulez créer une liste B qui contienne le même nombre d'éléments qu'une autre liste A.

```
>>> deuxieme = [10]*len(sept_zeros)
>>> deuxieme
[10, 10, 10, 10, 10, 10, 10]
```

Le test d'appartenance

Vous pouvez aisément déterminer si un élément fait partie d'une liste à l'aide de l'instruction **« in »** (cette instruction puissante peut être utilisée avec toutes les séquences).

```
>>> v = 'tomate'
>>> if v in legumes:
        print('OK')

OK
```

La copie d'une liste

Attention une simple affectation ne créez pas une véritable copie d'une liste que vous souhaitez recopier dans une nouvelle variable. À la suite de cette instruction, il n'existe toujours qu'une seule liste dans la mémoire de l'ordinateur. Ce que vous avez créé est seulement une nouvelle référence vers cette liste.

```
>>> fable = ['Je','plie','mais','ne','romps','point']
>>> phrase = fable
>>> fable[4] ='casse'
>>> phrase
['Je', 'plie', 'mais', 'ne', 'casse', 'point']
```

Si la variable phrase contenait une véritable copie de la liste, cette copie serait indépendante de l'original et ne devrait donc pas pouvoir être modifiée par une instruction telle que celle de la troisième ligne, qui s'applique à la variable fable.

En fait, les noms fable et phrase désignent tous deux un seul et même objet en mémoire. Ainsi l'objet phrase est une référence de l'objet fable.

```
>>> phrase2 = phrase[0:len(phrase)]
>>> phrase[4] ='romps'
>>> phrase
['Je', 'plie', 'mais', 'ne', 'romps', 'point']
>>> phrase2
['Je', 'plie', 'mais', 'ne', 'casse', 'point']
```

Python vous autorise à « étendre » une longue instruction sur plusieurs lignes, si vous continuez à encoder quelque chose qui est délimité par une paire de parenthèses, de crochets ou d'accolades. Vous pouvez traiter ainsi des expressions parenthèses, ou encore la définition de longues listes, de grands tuples ou de grands. Le niveau d'indentation n'a pas d'importance : l'interpréteur détecte la fin de l'instruction là où la paire syntaxique est refermée. Cette fonctionnalité vous permet d'améliorer la lisibilité de vos programmes.

```
>>> couleurs = ['noir', 'brun', 'rouge',
                'orange', 'jaune', 'vert',
                'bleu', 'violet', 'gris', 'blanc']
```

Les nombres aléatoires – histogrammes

Le module **« random »**, Python propose une série de fonctions permettant de générer des nombres aléatoires qui suivent différentes distributions mathématiques.

Les fonctions les plus couramment utilisées sont :

- **choice(sequence)** : renvoie un élément au hasard de la séquence fournie.
- **randint(a, b)** : renvoie un nombre entier compris entre a et b.
- randrange(a,b,c) : renvoie un nombre entier tiré au hasard d'une série limitée d'entiers entre a et b, séparés les uns des autres par un certain intervalle, défini par c.
- **random()** : renvoie un réel compris entre 0.0 et 1.0.
- **sample(sequence, k)** : renvoie k éléments uniques de la séquence.
- **seed([salt])** : initialise le générateur aléatoire.
- **shuffle(sequence[, random])** : mélange l'ordre des éléments de la séquence (dans l'objet lui-même). Si random est fourni, c'est un callable qui renvoie un réel entre 0.0 et 1.0. **« random »** est pris par défaut.
- **uniform(a, b)** : renvoie un réel compris entre a et b.

```
>>> from random import *
>>> def list_aleat(n):
        s = [0]*n
        for i in range(n):
            s[i] =random()
        return s

>>> list_aleat(3)
[0.6735559443377152, 0.09987607185190805, 0.6063188589461471]
>>> list_aleat(3)
[0.5182167354579681, 0.21973841027737828, 0.36650995653460494]

>>> for i in range(15):
```

```
        print(randrange(3, 13, 3), end =' ')

6 12 3 6 9 6 6 3 6 6 12 3 12 6 12
```

Vous pouvez constater que nous avons pris le parti de construire d'abord une liste de zéros de taille n, et ensuite de remplacer les zéros par des nombres aléatoires.

```
>>> import random
>>> good_work = ['Excellent travail!',
        'Très bonne analyse',
        'Les résultats sont là !']
>>> bad_work = ["J'ai gratté la copie pour mettre des points",
        'Vous filez un mauvais coton',
        'Que se passe-t-il ?']
>>> ok_work = ['Bonne première partie mais soignez la présentation',
        'Petites erreurs, dommage !',
        'Des progrès']

>>> def auto_corrector(student):
        note = random.randint(1, 20)
        if note < 8:
            appreciation = random.choice(bad_work)
        elif note < 14:
            appreciation = random.choice(ok_work)
        else:
            appreciation = random.choice(good_work)
        return '%s: %s, %s' %(student,
               note, appreciation)

>>> students = ['Bernard', 'Robert', 'René', 'Gaston',
    'Églantine', 'Aimé', 'Robertine']

>>> for student in students :
        print(auto_corrector(student))

Bernard: 16, Très bonne analyse
Robert: 2, Que se passe-t-il ?
René: 11, Petites erreurs, dommage !
Gaston: 12, Petites erreurs, dommage !
Églantine: 3, J'ai gratté la copie pour mettre des points
Aimé: 18, Excellent travail!
Robertine: 2, J'ai gratté la copie pour mettre des points
```

Atelier 5 - Exercice 2 - Exercice 3

Les tuples

Python propose un type de données appelé **« tuple »**, qui est assez semblable à une liste mais qui, comme les chaînes, n'est pas modifiable.

Du point de vue de la syntaxe, un **« tuple »** est une collection d'éléments séparés par des virgules comprise entre parenthèses. Ce terme n'est pas un mot anglais ordinaire : il s'agit d'un néologisme informatique.

```
>>> tup = (5000, "Brigitte",
           3.1416, ["Albert", "René", 1947])
>>> print(tup)
(5000, 'Brigitte', 3.1416, ['Albert', 'René', 1947])
>>> tup2 = 5000, "Brigitte", \
           3.1416, ["Albert", "René", 1947]
>>> tup2
(5000, 'Brigitte', 3.1416, ['Albert', 'René', 1947])
>>> tup2[0]
5000
>>> tup2[0] = 1
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#59>", line 1, in <module>
    tup2[0] = 1
TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
```

Bien que cela ne soit pas nécessaire, il est vivement conseillé de mettre le **« tuple »** en évidence en l'enfermant dans une paire de parenthèses, comme la fonction **« print »** de Python le fait elle-même. Il s'agit simplement d'améliorer la lisibilité du code, mais vous savez que c'est important.

x in s	vrai si x est un des éléments de s
x not in s	réciproque de la ligne précédente
s + t	concaténation de s et t
s * n	concatène n copies de s les unes à la suite des autres
s[i]	retourne le $i^{ème}$ élément de s
s[i:j]	retourne un **« tuple »** contenant une copie des éléments de s d'indices i à j exclu
s[i:j:k]	retourne un **« tuple »** contenant une copie des éléments de s dont les indices sont compris entre i et j exclu, ces indices sont espacés de k : i, $i + k$, $i + 2k$, $i + 3k$, ...
len(s)	nombre d'éléments de s
min(s)	plus petit élément de s, résultat difficile à prévoir lorsque les types des éléments sont différents
max(s)	plus grand élément de s
sum(s)	retourne la somme de tous les éléments

Les **« tuples »** composés d'un seul élément ont une écriture un peu particulière puisqu'il est nécessaire d'ajouter une virgule après l'élément, sans quoi l'analyseur syntaxique de Python ne le considérera pas comme un **« tuples »** mais comme l'élément lui-même, et supprimera les parenthèses qu'il analyserait comme superflues.

```
>>> tuple()
```

```
()
>>> tuple('a')
('a',)
>>> color_and_note = ('rouge', 12, 'vert', 14, 'bleu', 9)
>>> colors = color_and_note[::2]
>>> print(colors)
('rouge', 'vert', 'bleu')
>>> notes = color_and_note[1::2]
>>> print(notes)
(12, 14, 9)
>>> color_and_note = color_and_note + ('violet',)
>>> print(color_and_note)
('rouge', 12, 'vert', 14, 'bleu', 9, 'violet')
>>> ('violet')
'violet'
>>> ('violet',)
('violet',)
```

Les **« tuples »** sont préférables aux listes partout où l'on veut être certain que les données transmises ne soient pas modifiées par erreur au sein d'un programme. En outre, les **« tuples »** occupent moins de place en mémoire, et peuvent être traités plus rapidement par l'interpréteur.

Les dictionnaires

Les types de données composites que nous avons abordés jusqu'à présent **« chaînes »**, **« listes »** et **« tuples »** étaient tous des séquences, c'est-à-dire des suites ordonnées d'éléments. Dans une séquence, il est facile d'accéder à un élément quelconque à l'aide d'un index (un nombre entier), mais à la condition expresse de connaître son emplacement.

Les **« dictionnaires »** que nous découvrons ici constituent un autre type composite. Ils ressemblent aux listes dans une certaine mesure, ils sont modifiables comme elles, mais ce ne sont pas des séquences. Les éléments que nous allons y enregistrer ne seront pas disposés dans un ordre immuable. En revanche, nous pourrons accéder à n'importe lequel d'entre eux à l'aide d'un index spécifique que l'on appellera une clé, laquelle pourra être alphabétique, numérique, ou même d'un type composite sous certaines conditions.

Comme dans une liste, les éléments mémorisés dans un **« dictionnaire »** peuvent être de n'importe quel type. Ce peuvent être des valeurs numériques, des **« chaînes »**, des **« listes »**, des **« tuples »**, des **« dictionnaires »**, et même aussi des **« fonctions »**, des **« classes »** ou des **« instances »**.

La création d'un dictionnaire

Puisque le type **« dictionnaire »** est un type modifiable, nous pouvons commencer par créer un **« dictionnaire »** vide, puis le remplir petit à petit. Du point de vue de la syntaxe, on reconnaît un **« dictionnaire »** au fait que ses éléments sont enfermés dans une paire d'accolades **« { } »**.

```
>>> dico = {}
>>> dico['computer'] = 'ordinateur'
>>> dico['mouse'] ='souris'
>>> dico['keyboard'] ='clavier'
>>> print(dico)
{'computer': 'ordinateur', 'mouse': 'souris', 'keyboard': 'clavier'}
>>> print(dico['mouse'])
souris
```

Un **« dictionnaire »** apparaît dans la syntaxe Python sous la forme d'une série d'éléments séparés par des virgules, le tout étant enfermé entre deux accolades. Chacun de ces éléments est lui-même constitué d'une paire d'objets : un index et une valeur, séparés par un double point. Dans un **« dictionnaire »**, les index s'appellent des clés, et les éléments peuvent donc s'appeler des paires clé-valeur.

Remarquez aussi que contrairement à ce qui se passe avec les listes, il n'est pas nécessaire de faire appel à une méthode particulière (telle que **« append »**) pour ajouter de nouveaux éléments à un dictionnaire : il suffit de créer une nouvelle paire clé-valeur.

Les opérations sur les dictionnaires

Tout comme les listes, les objets de type dictionnaire proposent un certain nombre de méthodes.

Nom	Description
`clear()`	Supprime tous les éléments du dictionnaire.
`copy()`	Renvoie une copie par références du dictionnaire. Lire la remarque sur les copies un peu plus bas.
`items()`	Renvoie sous la forme d'une liste de **« `tuples` »**, es couples (clé, valeur) du dictionnaire. Les objets représentant les valeurs sont es copies complètes et non des références.
`keys()`	Renvoie sous la forme d'une liste l'ensemble des clés du dictionnaire. L'ordre de renvoi des éléments n'a aucune signification ni constance et peut varier à chaque modification du dictionnaire.
`values()`	Renvoie sous forme de liste les valeurs du dictionnaire. L'ordre de renvoi n'a ici non plus aucune signification mais sera le même que pour **« `keys` »** si la liste n'est pas modifiée entre-temps, ce qui permet de faire des manipulations avec les deux listes.
`get(cle,default)`	Renvoie la valeur identifiée par la clé. Si la clé n'existe pas, renvoie la valeur default fournie. Si aucune valeur n'est fournie, renvoie **« `None` »**.
`pop(cle,default)`	Renvoie la valeur identifiée par la clé et retire l'élément du dictionnaire. Si la clé n'existe pas, pop se contente de renvoyer la valeur default. Si le paramètre default n'est pas fourni, une erreur est levée.
`popitem()`	Renvoie le premier couple (clé, valeur) du dictionnaire et le retire. Si le dictionnaire est vide, une erreur est renvoyée. L'ordre de retrait des éléments correspond à l'ordre des clés retournées par **« `keys` »** si la liste n'est pas modifiée entre-temps.
`update(dic,**dic)`	Update permet de mettre à jour le dictionnaire avec les éléments du dictionnaire dic. Pour les clés existantes dans la liste, les valeurs sont mises à jour, sinon créées. Le deuxième argument est aussi utilisé pour mettre à jour les valeurs.
`setdefault(cle, default)`	Fonctionne comme **« `get` »** mais si clé n'existe pas et default est fourni, le couple (cle, default) est ajouté à la liste.
`fromkeys(seq, default)`	Génère un nouveau dictionnaire et y ajoute les clés fournies dans la séquence seq. La valeur associée à ces clés est default si le paramètre est fourni, **« `None` »** le cas échéant.

Voici quelque exemples de ces syntaxes.

```
>>> invent ={"oranges":274, "poires":137, "bananes":312}
>>> for clef in invent:
        print(clef)

oranges
poires
bananes
>>> dico1 = {'a':1,'b':2}
>>> dico1.clear()
>>> dico1
```

```
{}
>>> dico = {'1': 'r', '2': [1,2]}
>>> dico2 = dico.copy()
>>> dico2
{'1': 'r', '2': [1, 2]}
>>> dico['2'].append('E')
>>> dico2['2']
[1, 2, 'E']
>>> dico = {'a': 1, 'b': 2}
>>> 'a' in dico
True
>>> 'c' not in dico
True
>>> a = {'a': 1, 'b': 1}
>>> a.items()
dict_items([('a', 1), ('b', 1)])
>>> a = {(1, 3): 3, 'Q': 4}
>>> a.keys()
dict_keys([(1, 3), 'Q'])
>>> a = {(1, 3): 3, 'Q': 4}
>>> a.values()
dict_values([3, 4])
>>> l = {1: 'a', 2: 'b', 3: 'c'}
>>> for i,j,k in l.items(),l.keys(),l.values() :
    print(i,j,k)

 (1, 'a') (2, 'b') (3, 'c')
1 2 3
a b c
>>> l.get(1)
'a'
>>> l.get(13)

>>> l.get(13, 7)
7
>>> l
{1: 'a', 2: 'b', 3: 'c'}
>>> l.pop(1)
'a'
>>> l
{2: 'b', 3: 'c'}
>>> l.pop(13, 6)
6
>>> l
{2: 'b', 3: 'c'}
>>> l = {1: 'a', 2: 'b', 3: 'c'}
>>> l.popitem()
(3, 'c')
>>> l.popitem()
(2, 'b')
>>> l.popitem()
(1, 'a')
>>> l
{}
```

```
>>> l = {1: 'a', 2: 'b', 3: 'c'}
>>> l2 = {3: 'ccc', 4: 'd'}
>>> l.update(l2)
>>> l
{1: 'a', 2: 'b', 3: 'ccc', 4: 'd'}
>>> l = {1: 'a', 2: 'b', 3: 'c'}
>>> l.setdefault(4, 'd')
'd'
>>> l
{1: 'a', 2: 'b', 3: 'c', 4: 'd'}
>>> l = {}

>>> l.fromkeys([1, 2, 3], 0)
{1: 0, 2: 0, 3: 0}
```

Les clés peuvent être de n'importe quel type de données non modifiables : des entiers, des réels, des chaînes de caractères, et même des tuples.

```
>>> arb = {}
>>> arb[(1,2)] = 'Peuplier'
>>> arb[(3,4)] = 'Platane'
>>> arb[6,5] = 'Palmier'
>>> arb[5,1] = 'Cycas'
>>> arb[7,3] = 'Sapin'
>>> print(arb)
{(1, 2): 'Peuplier', (3, 4): 'Platane', (6, 5): 'Palmier', (5, 1):
'Cycas', (7, 3): 'Sapin'}
>>> print(arb[(6,5)])
Palmier
>>> print(arb[1,2])
Peuplier
>>> print(arb[2,1])
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#68>", line 1, in <module>
    print(arb[2,1])
KeyError: (2, 1)
>>> arb.get((2,1), 'néant')
'néant'
>>> print(arb[1:3])
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#69>", line 1, in <module>
    print(arb[1:3])
TypeError: unhashable type: 'slice'
```

Atelier 5 - Exercice 4

6

La POO en Python

La définition d'une classe

Une classe est un ensemble incluant des variables ou attributs et des fonctions ou méthodes. Les attributs sont des variables accessibles depuis toute méthode de la classe où elles sont définies. En python, les classes sont des types modifiables.

Les définitions de classes peuvent être situées n'importe où dans un programme, mais on les placera en général au début ou bien dans un module à importer.

Remarquons d'emblée que :

- L'instruction **« `class` »** est un nouvel exemple d'instruction composée. N'oubliez pas le double point obligatoire à la fin de la ligne, et l'indentation du bloc d'instructions qui suit. Ce bloc doit contenir au moins une ligne. Vous pouvez insérer une chaîne de caractères directement après l'instruction class, afin de mettre en place un commentaire qui sera automatiquement incorporé dans le dispositif de documentation interne de Python. Prenez donc l'habitude de toujours placer une chaîne décrivant la classe à cet endroit.
- Les parenthèses sont destinées à contenir la référence d'une classe préexistante. Cela est requis pour permettre le mécanisme d'héritage. Toute classe nouvelle que nous créons peut en effet hériter d'une classe parente un ensemble de caractéristiques, auxquelles elle ajoutera les siennes propres. Lorsque l'on désire créer une classe fondamentale – c'est-à-dire ne dérivant d'aucune autre– la référence à indiquer doit être par convention le nom spécial **« `object` »**, lequel désigne l'ancêtre de toutes les classes.
- Une convention très répandue veut que l'on donne aux classes des noms qui commencent par une majuscule.

```
>>> class Car(object):
        "Définition d'une voiture"
        color = 'Rouge'
```

Une fois qu'une classe est définie nous pouvons nous en servir pour créer des objets de cette classe, que l'on appellera aussi des instances de cette classe.

Attention

Comme les fonctions, les classes auxquelles on fait appel dans une instruction doivent toujours être accompagnées de parenthèses (même si aucun argument n'est transmis). Nous verrons un peu plus loin que les classes peuvent effectivement être appelées avec des arguments.

```
>>> car = Car()
>>> red_car = Car()
>>> blue_car = Car()
>>> print(red_car,'\n',blue_car,'\n',Car(),'\n',Car)
 <__main__.Car object at 0x000002515873B8D0>
 <__main__.Car object at 0x00000251587C8CC0>
 <__main__.Car object at 0x000002515872BE10>
 <class '__main__.Car'>
```

Le message renvoyé par Python indique, qu'une instance de la classe, définie elle-même au niveau du module principal **« `main` »** du programme. Elle est située dans un emplacement bien déterminé de la mémoire vive, dont l'adresse apparaît ici en notation hexadécimale.

Les attributs

Toutes les variables et les fonctions placées dans le niveau d'indentation de la classe en deviennent des membres. Ces éléments sont nommés attributs et on parle plus précisément de méthodes pour les fonctions et d'attributs de données pour les variables.

Pout atteindre un attribut des classes il faut le préfixer avec le nom de l'instance pour le distinguer par exemple, d'une éventuelle variables portant le même nom définie en dehors de la classe. Cette différenciation se fait par le biais de l'espace de noms, ou **« namespace »**, que l'interpréteur crée lorsque l'instance de classe est utilisée.

Cet espace de noms peut être vu comme un **« dictionnaire »** propre à cette instance de classe. Il porte les correspondances entre noms d'attributs et valeurs de ces attributs.

Si l'attribut en question n'existe pas et s'il est utilisé dans le cadre d'une attribution de valeur, le mécanisme du **« dictionnaire »** ajoute aussitôt l'objet fourni dans la liste des attributs de l'instance liste conservée dans le **« dictionnaire »**. Les autres instances ne profitent pas de ce nouvel attribut, sauf s'il est attribué à la classe même.

```
>>> class Car(object):
        "Définition d'une voiture"
        color = 'Rouge'

>>> red_car = Car()
>>> blue_car = Car()
>>> print(red_car.color,blue_car.color)
Rouge Rouge
>>> blue_car.color = 'Bleu'
>>> print(red_car.color,blue_car.color)
Rouge Bleu

>>> Car.__dict__
mappingproxy({'__module__': '__main__', '__doc__': "Définition d'une
voiture", 'color': 'Rouge', '__dict__': <attribute '__dict__' of
'Car' objects>, '__weakref__': <attribute '__weakref__' of 'Car'
objects>})
>>> red_car.__dict__
{}
>>> red_car.air_conditioner = 'oui'
>>> red_car.air_conditioner
'oui'
>>> red_car.__dict__
{'air_conditioner': 'oui'}
>>> blue_car.air_conditioner
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#71>", line 1, in <module>
    blue_car.air_conditioner
AttributeError: 'Car' object has no attribute 'air_conditioner'
>>> blue_car.__dict__
{}
>>> Car.air_conditioner = 'non'
>>> Car.__dict__
```

```
mappingproxy({'__module__': '__main__', '__doc__': "Définition d'une
voiture", 'color': 'Rouge', '__dict__': <attribute '__dict__' of
'Car' objects>, '__weakref__': <attribute '__weakref__' of 'Car'
objects>, 'air_conditioner': 'non'})
>>> autre_car = Car()
>>> autre_car.air_conditioner
'non'
>>> print(Car.__doc__)
Définition d'une voiture
>>> print(red_car.__doc__)
Définition d'une voiture
```

Les attributs implicites

Certains attributs sont créés de manière implicite lors de la création d'une instance. Ils contiennent des informations sur l'instance.

__module__	Contient le nom du module dans lequel est incluse la classe.
__class__	Contient le nom de la classe de l'instance. Ce nom est précédé du nom du module suivi d'un point.
__dict__	Contient la liste des attributs de l'instance.
__doc__	Contient un commentaire associé à la classe.

L'attribut **« __class__ »** contient lui même d'autres d'attributs :

__doc__	Contient un commentaire associé à la classe.
__dict__	Contient la liste des attributs statiques (définis hors d'une méthode) et des méthodes.
__name__	Contient le nom de l'instance.
__bases__	Contient les classes dont la classe de l'instance hérite.

La définition d'une fonction ou une classe peut commencer par une chaîne de caractères. Cette chaîne ne joue aucun rôle fonctionnel dans le script : elle est traitée par Python comme un simple commentaire, mais qui est mémorisé à part dans un système de documentation interne automatique, lequel pourra ensuite être exploité par certains utilitaires et éditeurs.

En fait, Python place cette chaîne dans une variable spéciale dont le nom est **« __doc__ »**, le mot **« doc »** entouré de deux paires de caractères **« _ »** souligné, et qui est associée à l'objet fonction comme étant l'un de ses attributs. Il est donc toujours possible de retrouver la documentation associée à un objet Python quelconque, en invoquant cet attribut.

```
>>> class classe_vide:
        "Définition d'une classe vide"

>>> cl = classe_vide()
>>> print(cl.__module__)
__main__
>>> print(cl.__class__)
<class '__main__.classe_vide'>
>>> print(cl.__dict__)
{}
>>> print(cl.__doc__)
Définition d'une classe vide
>>> print(cl.__class__.__doc__)
Définition d'une classe vide
>>> print(cl.__class__.__dict__)
{'__module__': '__main__', '__doc__': "Définition d'une classe
vide", '__dict__': <attribute '__dict__' of 'classe_vide' objects>,
'__weakref__': <attribute '__weakref__' of 'classe_vide' objects>}
>>> print(cl.__class__.__name__)
classe_vide
>>> print(cl.__class__.__bases__)
(<class 'object'>,)
```

Les méthodes

Les méthodes sont des fonctions pour lesquelles la liste des paramètres contient obligatoirement un paramètre explicite qui est l'instance de la classe à laquelle cette méthode est associée. Ce paramètre est le moyen d'accéder aux données de la classe.

self

De la même manière que pour une fonction, l'interpréteur met à jour les variables locales et globales lors de l'exécution des méthodes. Le code exécuté a donc une visibilité locale aux éléments définis dans la méthode et globale aux éléments en dehors de l'instance.

Pour atteindre les éléments définis dans l'espace de noms de l'instance de la classe, il est donc nécessaire d'avoir un lien qui permette de s'y référer. L'interpréteur **« `self` »** répond à ce besoin en fournissant l'objet instancié en premier paramètre de toutes les méthodes de la classe.

```
>>> class Car:
        __color = 'rouge'
        __state = 'arret'
        def  start(self):
            self.__state = 'marche'
        def  stop(self):
            self.__state = 'arret'
        def  afficheCar(self):
            print(' color :',self.__color,'\n',
                  'state :',self.__state,'\n')

>>> car = Car()
>>> car.afficheCar()
 color : rouge
 state : arret

>>> car.start()
>>> car.afficheCar()
 color : rouge
 state : marche
```

L'appel d'une méthode nécessite tout d'abord l'instantiation d'une variable. Une fois cette variable créée, il suffit d'ajouter le symbole **« `.` »** pour exécuter la méthode.

Les méthodes définies dans les classes ont donc toujours un premier paramètre fourni de manière transparente par l'interpréteur, **« `car.start` »** étant remplacé au moment de l'exécution par **« `Car.start(car)` »**.

On comprend par cette notation que le code défini dans la **« `classe Car` »** est partagé par toute les instances et que seuls les attributs de données instanciés dans les méthodes restent spécifiques aux instances.

La déclaration de attributs

L'endroit où est déclaré un attribut a peu d'importance pourvu qu'il le soit avant sa première utilisation.

```
>>> class exemple_classe:
```

```
        def methode1(self,n):
            """simule la génération d'un nombre
               aléatoire compris entre 0 et n-1 inclus"""
            self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
            return int (self.rnd % n)

>>> nb = exemple_classe()
>>> nb.methode1(100)
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#162>", line 1, in <module>
    nb.methode1(100)
  File "<pyshell#160>", line 5, in methode1
    self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
AttributeError: 'exemple_classe' object has no attribute 'rnd'
```

Cet exemple déclenche donc une exception signifiant que l'attribut n'a pas été créé.

Il est possible de créer l'attribut à l'intérieur de la méthode. Mais le programme n'a plus le même sens puisqu'à chaque appel de la méthode, l'attribut reçoit la même valeur. La liste de nombres aléatoires contient dix fois la même valeur.

```
>>> class exemple_classe:
        def methode1(self,n):
            """simule la génération d'un nombre
               aléatoire compris entre 0 et n-1 inclus"""
            self.rnd = 42
            self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
            return int (self.rnd % n)

>>> nb = exemple_classe()
>>> l = [nb.methode1(100) for i in range(0,10)]
>>> print(l)
[19, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 19]
```

Il est possible de créer l'attribut à l'extérieur de la classe. Cette écriture devrait toutefois être évitée puisque la méthode methode1 ne peut pas être appelée sans que l'attribut ait été ajouté.

```
>>> class exemple_classe:
        rnd = 42
        def methode1(self,n):
            """simule la génération d'un nombre
               aléatoire compris entre 0 et n-1 inclus"""
            self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
            return int (self.rnd % n)

>>> nb = exemple_classe()
>>> l = [nb.methode1(100) for i in range(0,10)]
>>> print(l)
[19, 46, 26, 88, 44, 56, 56, 26, 0, 8]
>>> nb.rnd = 62
>>> l = [nb.methode1(100) for i in range(0,10)]
>>> print(l)
[11, 66, 30, 86, 51, 76, 39, 56, 93, 34]
```

Chaque attribut d'une instance de classe est inséré dans un dictionnaire appelé **« `__dict__` »**, attribut implicitement présent dès la création d'une instance.

Ce dictionnaire offre aussi la possibilité de tester si un attribut existe ou non. En testant l'existence de l'attribut, il est possible de le créer dans la méthode au premier appel sans que les appels suivants ne réinitialisent sa valeur.

```
>>> class exemple_classe :
...     def methode1(self, n) :
...         if "rnd" not in self.__dict__:# l'attribut existe-t-il ?
...             self.rnd = 42             # création de l'attribut
...             self.__dict__["rnd"] = 42 # autre écriture possible
...         self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
...         return int(self.rnd % n)
...
>>> nb = exemple_classe()
>>> li = [nb.methode1(100) for i in range(0, 10)]
>>> print(li)
[19, 46, 26, 88, 44, 56, 56, 26, 0, 8]
```

Les commentaires et l'aide

Comme les fonctions et les méthodes, des commentaires peuvent être associés à une classe, ils sont affichés grâce à la fonction help. Cette dernière présente le commentaire associé à la classe, la liste des méthodes ainsi que chacun des commentaires qui leur sont associés. Ce commentaire est affecté à l'attribut implicite **« __doc__ »**. L'appel à la fonction help rassemble le commentaire de toutes les méthodes, le résultat suit le programme ci-dessous.

```
>>> class exemple_classe:
...     """simule une suite de nombres aléatoires"""
...     def __init__(self):
...         """constructeur: initialisation de la première valeur"""
...         self.rnd = 42
...
...     def methode1(self, n):
...         """simule la génération d'un nombre aléatoire
...         compris entre 0 et n-1 inclus"""
...         self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
...         return int(self.rnd % n)
...
>>> nb = exemple_classe()
>>> help(exemple_classe) # appelle l'aide associée à la classe
Help on class exemple_classe in module __main__:

class exemple_classe(builtins.object)
 |  simule une suite de nombres alÚatoires
 |
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self)
 |      constructeur : initialisation de la premiÞre valeur
 |
 |  methode1(self, n)
 |      simule la gÚnÚration d'un nombre alÚatoire
 |      compris entre 0 et n-1 inclus
 |
 |  ----------------------------------------------------------------
------
 |  Data descriptors defined here:
 |
 |  __dict__
 |      dictionary for instance variables (if defined)
 |
 |  __weakref__
 |      list of weak references to the object (if defined)
```

Pour obtenir seulement le commentaire associé à la classe, il suffit d'écrire l'une des trois lignes suivantes :

```
>>> print(exemple_classe.__doc__)
simule une suite de nombres aléatoires
>>> print(nb.__doc__)
simule une suite de nombres aléatoires
```

```
>>> print(nb.__class__.__doc__)
simule une suite de nombres aléatoires
```

La fonction **« help »** permet d'accéder à l'aide associée à une fonction, une classe. Il existe des outils qui permettent de collecter tous ces commentaires pour construire une documentation au format HTML à l'aide d'outils comme **« pydoc »**. Ces outils sont souvent assez simples d'utilisation, le plus utilisé est **« sphinx »**.

La fonction **« dir »** permet aussi d'obtenir des informations sur la classe. Cette fonction appliquée à la classe ou à une instance retourne l'ensemble de la liste des attributs et des méthodes.

```
>>> class essai_class:
...     def meth(self):
...         x = 6
...         self.y = 7
...
>>> a = essai_class()
>>> print(dir(a))
['__class__', '__delattr__', '__dict__', '__dir__', '__doc__',
'__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattribute__', '__gt__',
'__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__', '__lt__',
'__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__', '__reduce_ex__',
'__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__',
'__subclasshook__', '__weakref__', 'meth']
>>> a.meth()
>>> print(dir(a))
['__class__', '__delattr__', '__dict__', '__dir__', '__doc__',
'__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattribute__', '__gt__',
'__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__', '__lt__',
'__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__', '__reduce_ex__',
'__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__',
'__subclasshook__', '__weakref__', 'meth', 'y']
>>> print(dir(essai_class))
['__class__', '__delattr__', '__dict__', '__dir__', '__doc__',
'__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattribute__', '__gt__',
'__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__', '__lt__',
'__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__', '__reduce_ex__',
'__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__',
'__subclasshook__', '__weakref__', 'meth']
```

Les constructeurs

Dans une classe il y a une méthode spéciale, appelée un constructeur, qui est appelée invariablement quand on souhaite créer un objet depuis notre classe. Concrètement, un constructeur est une méthode de notre objet se chargeant de créer nos attributs.

Le nom de cette méthode spéciale est **« __init__ »** et elle est invoquée avec en premier paramètre l'objet nouvellement instancié par l'interpréteur **« self »**.

```
>>> class Personne :
        """ Classe définissant une personne
        caractérisée par :
        - son nom
        - son prénom
        - son âge  """

        def __init__ (self , nom , prenom ):
            """ Constructeur de notre classe """
            self.nom    = nom
            self.prenom = prenom
            self.age    = 52

>>> p = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> print(p.nom,p.prenom,p.age)
BIZOÏ Razvan 52
>>> p.__init__.__doc__
' Constructeur de notre classe '
```

La définition de notre constructeur. Comme vous le voyez, il s'agit d'une définition presque classique d'une fonction. Elle a pour nom **« __init__ »**, c'est invariable en Python, tous les constructeurs s'appellent ainsi. Notez que, dans notre définition de méthode, nous passons un premier paramètre nommé **« self »**.

Note

La méthode prend en premier paramètre **« self »** or, vous vous en souvenez, c'est l'objet que nous manipulons. Sauf que au moment de la création d'un objet on souhaite récupérer un nouvel objet mais on n'en passe aucun à la classe.

D'une façon ou d'une autre, notre classe crée un nouvel objet et le passe à notre constructeur. La méthode **« __init__ »** se charge d'écrire dans notre objet ses attributs, mais elle n'est pas responsable de la création de notre objet.

La méthode « __new__ »

La méthode **« __new__ »** crée l'objet et fournir le paramètre **« self »** a la méthode **« __init__ »**. C'est une méthode statique, ce qui signifie qu'elle ne prend pas **« self »** en paramètre. Elle ne prend donc pas **« self »** en premier paramètre, elle prend la classe manipulée **« cls »**. Les autres paramètres passés à la méthode **« __new__ »** seront transmis au constructeur.

```
>>> class Personne(object) :
        """ Classe définissant une personne
        caractérisée par :
        - son nom
```

```
        - son prénom
        - son âge  """
        def __new__ (cls , nom , prenom ):
            print (\
                 " Appel de la méthode __new__ de la classe {}".\
                   format (cls))
            # On laisse le travail à object
            return object.__new__(cls)

        def __init__ (self , nom , prenom ):
            """ Constructeur de notre classe """
            print (" Appel de la méthode __init__ ")
            self.nom    = nom
            self.prenom = prenom
            self.age    = 52

>>> p = Personne('BIZOÏ','Razvan')
 Appel de la méthode __new__ de la classe <class '__main__.Personne'>
 Appel de la méthode __init__
```

Il existe également une fonction destructeur au nom de « __del__ ». Cette méthode est appelée par le **« garbage collector »**. Le code contenu dans cette méthode doit explicitement appeler la méthode **« __del__ »** des classes parentes, si elles existent. L'utilisation de **« __del__ »** est à proscrire car elle peut provoquer des erreurs au moment ou le code est appelé. Par exemple, l'ordre de destruction des objets au moment de l'arrêt d'un programme n'est pas garanti, et le destructeur peut appeler des références à des objets qui n'existent plus.

Les classes incluses

Parfois, il arrive qu'une classe soit exclusivement utilisée en couple avec une autre, c'est par exemple le cas des itérateurs. Il est alors possible d'inclure dans la déclaration d'une classe celle d'une sous-classe.

```
>>> class ensemble_element:
...     class element:
...         def __init__(self):
...             self.x, self.y, self.z = 0, 0, 0
...     def __init__(self):
...         self.all = [ensemble_element.element()
...              for i in range(0, 3)]...
...     def barycentre(self):
...         b = ensemble_element.element()
...         for el in self.all:
...             b.x += el.x
...             b.y += el.y
...             b.z += el.z
...         b.x /= len(self.all)
...         b.y /= len(self.all)
...         b.z /= len(self.all)
...         return b
...
>>> f = ensemble_element()
>>> f.all[0].x, f.all[0].y, f.all[0].z = 4.5, 1.5, 1.5
>>> b = f.barycentre()
>>> print(b.x, b.y, b.z) # affiche 1.5 0.5 0.5
1.5 0.5 0.5
```

La classe **« ensemble_element »** est un ensemble de points en trois dimensions. Déclarer la classe **« element »** à l'intérieur de la classe ensemble_element est un moyen de signifier qu'elle n'est utilisée que par cette classe.

Les attributs statiques

Il faut faire attention aux emplacements de définition des attributs. Car si vous définissez votre attribut de classe directement dans le corps avant la définition du constructeur il est un attribut statique. Un attribut statique ou de classe est identique d'un objet à l'autre il n'est pas propre à chaque objet.

```
>>> class Compteur :
        """Cette classe possède un attribut qui s'incrémente
            à chaque fois que l'on crée un objet de ce type """
        objets_crees = 0 # Le compteur vaut 0 au dé part
        def __init__( self ):
            """ À chaque fois qu'on crée un objet,
                 on incrémente le compteur """
            Compteur.objets_crees += 1

>>> c1 = Compteur()
>>> print(c1.objets_crees)
1
>>> c2 = Compteur()
>>> print(c1.objets_crees)
2
>>> c3 = Compteur()
>>> print(c1.objets_crees)
3
```

Les méthodes de classe

Comme on trouve des attributs propres à la classe, on trouve aussi des méthodes de classe, qui ne travaillent pas sur l'instance **« `self` »** mais sur la classe même. C'est un peu plus rare mais cela peut être utile parfois. Notre méthode de classe se définit exactement comme une méthode d'instance, à la différence qu'elle ne prend pas en premier paramètre **« `self` »** (l'instance de l'objet) mais **« `cls` »** (la classe de l'objet).

On utilise la fonction **« `classmethod` »** qui prend en paramètre la méthode que l'on veut convertir et renvoie la méthode convertie. Ainsi l'interpréteur comprend qu'il s'agit d'une méthode de classe, pas d'une méthode d'instance.

```
>>> class Compteur :
        """ Cette classe possède un attribut de classe qui
            s'incrémente à chaque fois que
            l'on crée un objet de ce type """

        objets_crees = 0 # Le compteur vaut 0 au dé part
        def __init__ ( self ):
            """ À chaque fois qu'on crée un objet,
                on incrémente le compteur """
            Compteur.objets_crees += 1
        def combien (cls):
            """ Méthode de classe affichant combien
                d'objets ont été créés """
            print(
                " Jusqu 'à présent , {} objets ont été créés.".
                format(cls.objets_crees))

        combien = classmethod(combien)

>>> c1 = Compteur()
>>> c1.combien()
 Jusqu 'à présent , 1 objets ont été créés.
>>> c2 = Compteur()
>>> c3 = Compteur()
>>> c1.combien()
 Jusqu 'à présent , 3 objets ont été créés.
>>> c1 = Compteur()
>>> c1.combien()
 Jusqu 'à présent , 4 objets ont été créés.
>>> c1.objets_crees = 3
>>> c1.combien()
 Jusqu 'à présent , 4 objets ont été créés.
>>> Compteur.objets_crees = 3
>>> c1.combien()
 Jusqu 'à présent , 3 objets ont été créés.
>>> c1.objets_crees
3
>>> c1.__dict__
{'objets_crees': 3}
>>> c2.__dict__
```

```
{}
```

Lorsqu'un programme doit instancier un objet, la manière la plus simple est d'appeler le constructeur d'une classe. Il est parfois nécessaire de s'assurer qu'un type de classe ne peut être instancié qu'une seule fois dans un programme.

```
>>> class Singleton(object):
        """ Renvoie toujours la même instance """
        _ref = None
        def __new__ (cls, *args, **kw):
            if cls._ref is None:
                cls._ref = super(Singleton,cls).\
                     __new__(cls, *args, **kw)
            return  cls._ref

>>> class S(Singleton):
        pass

>>> a = S()
>>> b = S()
>>> a is b
True
```

Les méthodes statiques

Il est également possible de définir des méthodes statiques. Elles sont assez proches des méthodes de classe sauf qu'elles ne prennent aucun premier paramètre, ni **« self »** ni **« cls »**. Elles travaillent donc indépendamment de toute donnée, aussi bien contenue dans l'instance de l'objet que dans la classe.

```
>>> class Test :
        """ Une classe de test tout simplement """
        def afficher ():
            """ Fonction chargée d'afficher quelque chose """
            print ("On affiche la même chose.")
            print (\
              "peu importe les données de l'objet ou de la classe.")
        afficher = staticmethod ( afficher )

>>> Test.afficher()
On affiche la même chose.
peu importe les données de l'objet ou de la classe.
>>> maVar  = Test()
>>> maVar.afficher()
On affiche la même chose.
peu importe les données de l'objet ou de la classe.
```

Il est également possible de déclarer une fonction statique à l'extérieur d'une classe puis de l'ajouter en tant que méthode statique à cette classe.

```
>>> def afficher ():
...     """ Fonction chargée d'afficher quelque chose """
...     print ("On affiche la même chose.")
...     print (\
...       "peu importe les données de l'objet ou de la classe.")
...
>>> class Test :
...     """ Une classe de test tout simplement """
...     afficher = staticmethod ( afficher )
...
>>> Test.afficher()
On affiche la même chose.
peu importe les données de l'objet ou de la classe.
```

Il est possible d'utiliser le décorateur **« staticmethod »** pour indiquer à la classe que cette méthode est bien statique.

```
>>> class Test :
...     """ Une classe de test tout simplement """
...     @staticmethod
...     def afficher ():
...         """ Fonction chargée d'afficher quelque chose """
...         print ("On affiche la même chose.")
...         print (\
...           "peu importe les données de l'objet ou de la classe.")
...
>>> Test.afficher()
On affiche la même chose.
peu importe les données de l'objet ou de la classe.
```

Les méthodes statiques sont souvent employées pour créer des instances spécifiques d'une classe.

```
>>> class Couleur:
...     def __init__(self, r, v, b):
...         self.r, self.v, self.b = r, v, b
...
...     def __str__(self):
...         return str((self.r, self.v, self.b))
...
...     @staticmethod
...     def blanc():
...         return Couleur(255, 255, 255)
...
...     @staticmethod
...     def noir():
...         return Couleur(0, 0, 0)
...
>>>
>>> c = Couleur.blanc()
>>> print(c)
(255, 255, 255)
>>> c = Couleur.noir()
>>> print(c)
(0, 0, 0)
```

La représentation et comparaison

Il est possible en Python de définir d'autres méthodes spéciales que **« __init__ »**, **« __new__ »** et **« __del__ »**, qui déterminent un fonctionnement spécifique pour une classe lorsqu'elle est utilisée dans certaines opérations.

Ces méthodes permettent de faire varier le comportement des objets et sont regroupées en fonction des cas d'utilisation :

- représentation et comparaison de l'objet ;
- utilisation de l'objet comme fonction ;
- accès aux attributs de l'objet ;
- utilisation de l'objet comme conteneur ;
- utilisation de l'objet comme type numérique.

__str__

La méthode est appelée par la primitive **« str »** et elle doit renvoyer une représentation sous forme de chaîne de caractères d'un objet. Cette représentation peut être un transtypage de l'objet en objet string lorsque c'est possible ou une représentation plus informelle.

```
>>> class Personne :
        """ Classe représentant une personne """

        def __init__ (self , nom , prenom ):
                """ Constructeur de notre classe """
                self.nom = nom
                self.prenom = prenom
                self.age = 52

        def __str__ ( self ):
            """ Méthode permettant d'afficher plus
                joliment notre objet """
            return "{} {}, âgé de {} ans ".\
                     format(self.prenom,self.nom,self.age)

>>> p = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> print(p)
Razvan BIZOÏ, âgé de 52 ans
```

__repr__

La méthode est appelée par la primitive **« repr »**. Similaire à **« __str__ »** elle affecte la façon dont est affiché l'objet quand on tape directement son nom. On la redéfinit quand on souhaite faciliter le debug sur certains objets.

```
>>> class Personne :
        """ Classe représentant une personne """
...
>>> p = Personne()
>>> p
<__main__.Personne object at 0x00000185ED5AE630>
```

```
>>> class Personne :
        """ Classe représentant une personne """
...
        def __repr__ ( self ):
            """ Quand on entre notre objet dans l'interpréteur """
            return " Personne : nom({}), prénom({}), âge({})".\
            format(self.nom,self.prenom,self.age)

>>> p = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> p
 Personne : nom(BIZOÏ), prénom(Razvan), âge(52)
```

Les méthodes de comparaison

Les méthodes sont utilisées par tous les opérateurs de comparaison lorsque l'objet est impliqué.

Opérateur	Méthode spéciale	Résumé
==	__eq__(self,autre)	Opérateur d'égalité (equal). Renvoie « True » si « self » et « autre » sont égaux, « False » sinon.
!=	__ne__(self,autre)	Différent de (non equal). Renvoie « True » si « self » et « autre » sont différents, « False » sinon.
>	__gt__(self,autre)	Teste si « self »est strictement supérieur (greather than) à « autre ».
>=	__ge__(self,autre)	Teste si « self »est supérieur ou égal (greater or equal) à « autre ».
<	__lt__(self,autre)	Teste si « self »est strictement inférieur (lower than) à « autre ».
<=	__le__(self,autre)	Teste si « self »est inférieur ou égal (lower or equal) à « autre ».

Sachez que ce sont ces méthodes spéciales qui sont appelées si, par exemple, vous voulez trier une liste contenant vos objets. Python n'arrive pas à faire **objet1 < objet2**, il essayera l'opération inverse, soit **objet2 >= objet1**. Cela vaut aussi pour les autres opérateurs de comparaison que nous venons de voir.

```
>>> class Personne :
        """ Classe représentant une personne """

        def __init__ (self , nom , prenom ):
            """ Constructeur de notre classe """
            self.nom = nom
            self.prenom = prenom
            self.age = 52
        def __eq__ (self,autre):
            "x==y -> x.__eq__(y)"
            if self.__class__ == autre.__class__ :
                return self.nom == autre.nom and \
                       self.prenom == autre.prenom and \
                       self.age == autre.age
            else :
                return False
```

```
        def __ge__ (self,autre):
            "x==y -> x.__eq__(y)"
            if self.__class__ == autre.__class__ :
                return self.age >= autre.age
            else :
                return False

>>> p1 = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> p2 = Personne('DULUC','Isabelle')
>>> p1 = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> p3 = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> p1 == p2
False
>>> p1 == p3
True
>>> p1 != p3
False
>>> p1 != p2
True
>>> p1 >= p2
True
>>> p2.age = 50
>>> p1 >= p2
True
>>> p2 >= p1
False
>>> p1 > p2
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#228>", line 1, in <module>
    p1 > p2
TypeError: '>' not supported between instances of 'Personne' and
'Personne'
```

__hash__

La méthode est appelée par la primitive **« hash »** ou par un objet dictionnaire lorsque l'objet est utilisé comme clé. Elle doit renvoyer un entier de 32 bits. Si deux objets sont définis comme égaux, elle doit renvoyer la même valeur pour ces deux objets.

__bool__

La méthode est appelée par la primitive **« bool »** et par la comparaison avec **« True »** ou **« False »**. Elle doit renvoyer **« True »** ou **« False »**. Lorsque cette méthode n'est pas définie, c'est **« __len__ »** qui est utilisée. Si aucune des deux méthodes n'est présente, l'objet est toujours considéré comme vrai.

L'utilisation de l'objet comme fonction

Lorsqu'une instance d'objet est appelée comme une fonction, c'est **« `__call__` »** qui est appelée si elle est définie. Les objets de cette classe deviennent, au même titre qu'une fonction ou une méthode, des objets **« `callable` »**.

```
>>> class Derivee(object):
        """La formule la plus basique pour
           une dérivée numérique est"""

        def __init__(self, f, h=1E-5):
            self.f = f
            self.h = float(h)

        def __call__(self, x):
            f, h = self.f, self.h
            return (f(x+h) - f(x))/h

>>> from math import sin, cos, pi
>>> df = Derivee(sin)
>>> x = pi
>>> df(x)
-0.9999999999898844
>>> cos(x)
-1.0
>>> def g(t):
        return t**3
>>> dg = Derivee(g)
>>> t = 1
>>> dg(t)
3.000030000110953
```

L’accès aux attributs de l’objet

Lorsque l’interpréteur rencontre une écriture de type **« objet.attribut »**, il utilise le dictionnaire interne **« __dict__ »** pour rechercher cet attribut, et remonte dans les dictionnaires des classes dérivées si nécessaire.

L’utilisation des trois méthodes suivantes permet d’influer sur ce fonctionnement.

__getattr__

La méthode spéciale **« __getattr__ »** permet de définir une méthode d'accès à nos attributs plus large que celle que Python propose par défaut. En fait, cette méthode est appelée quand vous tapez **« objet.attribut »** (non pas pour modifier l'attribut mais simplement pour y accéder). Python recherche l'attribut et, s'il ne le trouve pas dans l'objet et si une méthode **« __getattr__ »** existe, il va l'appeler en lui passant en paramètre le nom de l'attribut recherché, sous la forme d'une chaîne de caractères.

```
>>> class Protege :
        """ Classe poss é dant une méthode particulière
        d'accès à ses attributs :
        Si l'attribut n'est pas trouvé,
        on affiche une alerte et renvoie None"""
        a,b,c = 1,2,3
        def __getattr__ (self,nom):
            """ Si Python ne trouve pas l' attribut nomm é nom ,
            il appelle cette méthode . On affiche une alerte """
            print ("Alerte ! Il n'y a pas d'attribut {} ici !"
                   .format(nom))

>>> pro = Protege()
>>> print(pro.a,pro.b,pro.c)
1 2 3
>>> pro.d
Alerte ! Il n'y a pas d'attribut d ici !
```

__setattr__

Cette méthode définit l'accès à un attribut destiné à être modifié. Si vous écrivez **objet.nom_attribut = nouvelle_valeur**, la méthode spéciale **« __setattr__ »** sera appelée. Là encore, le nom de l'attribut recherché est passé sous la forme d'une chaîne de caractères.

__delattr__

Cette méthode spéciale est appelée quand on souhaite supprimer un attribut de l'objet, en faisant **del objet.attribut** par exemple. Elle prend en paramètre, outre self, le nom de l'attribut que l'on souhaite supprimer.

```
>>> class Temperature:
        def __init__(self):
            self.value = 0

        def __getattr__(self, name):
```

```
            if name == 'celsius':
                return self.value
            if name == 'fahrenheit':
                return self.value * 1.8 + 32
            raise AttributeError(name)

        def __setattr__(self, name, value):
            if name == 'celsius':
                self.value = value
            elif name == 'fahrenheit':
                self.value = (value - 32) / 1.8
            else:
                super().__setattr__(name, value)

        def __delattr__ (self , name ):
            if name == 'kelvin':
                object.__delattr__(nom_attr)
            else:
                raise AttributeError (""" Vous ne pouvez
                          supprimer aucun
                          attribut de cette classe """)

>>> t = Temperature()
>>> t.celsius = 37
>>> t.celsius
37
>>> t.fahrenheit
98.60000000000001
>>> t.fahrenheit = 212
>>> t.celsius
100.0
>>> t.kelvin = 0
>>> t.kelvin
0
>>> dir(t)
['__class__', '__delattr__', '__dict__', '__dir__', '__doc__',
'__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattr__', '__getattribute__',
'__gt__', '__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__',
'__lt__', '__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__',
'__reduce_ex__', '__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__',
'__subclasshook__', '__weakref__', 'kelvin', 'value']
>>> del t.value
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#299>", line 1, in <module>
    del t.value
AttributeError: value
>>> del t.kelvin
>>> dir(t)
['__class__', '__delattr__', '__dict__', '__dir__', '__doc__',
'__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattr__', '__getattribute__',
'__gt__', '__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__',
'__lt__', '__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__',
'__reduce_ex__', '__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__',
'__subclasshook__', '__weakref__']
```

Voici quelques fonctions qui font à peu près ce que nous avons fait mais en utilisant des chaînes de caractères pour les noms d'attributs.

```
objet = MaClasse () # On crée une instance de notre classe
getattr (objet , "nom ") # Semblable à objet .nom
# = objet . nom = val ou objet . __setattr__ (" nom ", val)
setattr (objet , "nom ", val)
# = del objet .nom ou objet . __delattr__ (" nom ")
delattr (objet , "nom ")
# Renvoie True si l'attribut "nom" existe, False sinon
hasattr (objet , "nom ")
```

Il est parfois très pratique de travailler avec des chaînes de caractères plutôt qu'avec des noms d'attributs. D'ailleurs, c'est un peu ce que nous venons de faire, dans nos redéfinitions de méthodes accédant aux attributs.

Les méthodes de conteneur

Les chaînes de caractères, les listes, les dictionnaires et les séquences sont tous des objets de type conteneurs. Tous ont un point commun, ils contiennent d'autres objets, auxquels on peut accéder grâce à l'opérateur **« [ ] »**.

L'accès aux éléments

Les trois premières méthodes que nous allons voir sont **« __getitem__ »**, **« __setitem__ »** et **« __delitem__ »**. Elles servent respectivement à définir quoi faire quand on écrit :

```
objet[index]
objet[index] = valeur
del objet[index]
```

```
>>> class UnDict :
        """ Classe enveloppe d'un dictionnaire """

        def __init__ ( self ):
            """ Notre classe n'accepte aucun param être """
            self . _dictionnaire = {}

        def __getitem__ (self , index ):
            """ Cette méthode spéciale est appelée quand on fait
            objet[index]
            Elle redirige vers self._dictionnaire[index]"""

            return self . _dictionnaire [ index ]

        def __setitem__ (self , index , valeur ):
            """ Cette méthode est appelée quand on écrit
            objet[index]=valeur
            On redirige vers self._dictionnaire[index]=valeur """

            self . _dictionnaire [ index ] = valeur

>>> d = UnDict()
>>> d['cartésien'] = 'Avoir un esprit cartésien, être cartésien.'
>>> d['cartésien']
'Avoir un esprit cartésien, être cartésien.'
>>> d['exhaustif']='Etre exhaustif ou non exhaustif, un tirage
exhaustif, un échantillon exhaustif.'
```

La méthode spéciale derrière le mot-clé in

Il existe une quatrième méthode, appelée **« __contains__ »**, qui est utilisée quand on souhaite savoir si un objet se trouve dans un conteneur.

```
>>> class UnDict :
        """ Classe enveloppe d'un dictionnaire """
...
```

```
        def __contains__ (self,index):
            """ Cette méthode est appelée quand on écrit
            valeur in objet """
            if self._dictionnaire is None:
                raise TypeError('pas de dictionnaire')
            return any(item == index for item in  \
                       self._dictionnaire.keys())

>>> d = UnDict()
>>> d['cartésien'] = 'Avoir un esprit cartésien, être cartésien.'
>>> d['exhaustif']='Etre exhaustif ou non exhaustif, un tirage
exhaustif, un échantillon exhaustif.'
>>> 'factuel' in d
False
>>> 'cartésien' in d
True
```

Ainsi, si vous voulez que votre classe conteneur puisse utiliser le mot-clé **« in »** comme une liste ou un dictionnaire, vous devez redéfinir cette méthode **« __contains__ »** qui prend en paramètre, outre **« self »**, l'objet qui nous intéresse.

La taille d'un conteneur

Il existe enn une méthode spéciale **« __len__ »**, appelée quand on souhaite connaître la taille d'un objet conteneur, grâce à la fonction **« len »**.

```
>>> class UnDict :
...
        def __len__ (self):
            """ Cette méthode est appelée quand on écrit
            len(objet) """
            if self._dictionnaire is None:
                raise TypeError('pas de dictionnaire')
            return len(self._dictionnaire)

>>> d = UnDict()
>>> len(d)
0
>>> d['cartésien'] = 'Avoir un esprit cartésien, être cartésien.'
>>> d['exhaustif']='Etre exhaustif ou non exhaustif, un tirage
exhaustif, un échantillon exhaustif.'
>>> len(d)
2
```

Les opérateurs

Le programme suivant contient une classe définissant un nombre complexe. La méthode ajoute définit ce qu'est une addition entre nombres complexes.

```
>>> import math
>>> class nombre_complexe:
...     def __init__(self, a=0, b=0):
...         self.a, self.b = a, b
...     def get_module(self):
...         return math.sqrt(self.a * self.a + self.b * self.b)
...     def ajoute(self, c):
...         return nombre_complexe(self.a + c.a, self.b + c.b)
...
>>> c1 = nombre_complexe(0, 1)
>>> c2 = nombre_complexe(1, 0)
>>> c = c1.ajoute(c2)
>>> print(c.a, c.b)
1 1
```

Toutefois, on aimerait bien écrire simplement **`c = c1 + c2`** au lieu de **`c = c1.ajoute(c2)`** car cette syntaxe est plus facile à lire et surtout plus intuitive. Le langage python offre cette possibilité. Il existe en effet des méthodes clés et a l'instar du constructeur, toutes ces méthodes clés, qu'on appelle des opérateurs, sont encadrées par deux blancs soulignés, leur déclaration suit invariablement le même schéma.

Ces méthodes peuvent être utilisées pour définir le fonctionnement de l'objet lorsqu'il est employé dans toute opération numérique, que ce soit une addition, un décalage de bits vers la gauche, ou encore une inversion. Chacune de ces méthodes renvoie en général l'objet lui-même, qui est l'opérande de gauche, pour assurer une logique au niveau des opérateurs, mais peut dans certains cas renvoyer l'opérande de droite ou un tout autre objet.

Méthode	Opération	Variations
`__add__ (other)`	**objet + other**	**R et I**
`__sub__ (other)`	**objet - other**	**R et I**
`__mul__ (other)`	**objet * other**	**R et I**
`__floordiv__ (other)`	**objet // other**	**R et I**
`__mod__ (other)`	**objet % other**	**R et I**
`__divmod__ (other)`	**divmod(objet, other)**	**R et I**
`__pow__ (other[, modulo])`	**objet ** other**	**R et I**
`__lshift__ (other)`	**objet << other**	**R et I**
`__rshift__ (other)`	**objet >> other**	**R et I**
`__and__ (other)`	**objet & other**	**R et I**
`__xor__ (other)`	**objet ^ other**	**R et I**
`__or__ (other)`	**objet | other**	**R et I**

__div__ (other)	**objet / other**	**R et I**
__truediv__ (other)	**objet / other**	**R et I**
__neg__	**- objet**	
__pos__	**+ objet**	
__abs__	**abs(objet)**	
__invert__	**~ objet**	
__complex__	**complex(objet)**	
__int__	**int(objet)**	
__long__	**long(objet)**	
__float__	**float(objet)**	
__oct__	**oct(objet)**	
__hex__	**hex(objet)**	
__coerce__(other)	**coerce(objet, other)**	
__cmp__(self,x)	**self < x,self==x,self > x**	**-1, 0, 1**

La variation I ajoute un préfixe **« i »** à la méthode et permet de définir les opérateurs augmentés **+=**, ***=**, etc. Cette variation renvoie en général objet augmenté de **« other »**.

La variation R ajoute un préfixe **« r »** à la méthode et permet de définir des opérateurs inversés : **other.operateur(object)** est appelé en lieu et place de **objet.operateur(other)**. Lorsque l'opération classique n'est pas supportée, l'interpréteur tente l'opération inverse.

```
>>> class Duree :
        """ Classe contenant des durées sous la forme
        d'un nombre de minutes et de secondes """

        def __init__ (self , min =0, sec=0):
            """ Constructeur de la classe """
            self . min = min # Nombre de minutes
            self . sec = sec # Nombre de secondes

        def __str__ ( self ):
            """ Affichage un peu plus joli de nos objets """
            return "{0:02}:{1:02}".format(self.min,self.sec)

        def __add__ (self,objet_a_ajouter ):
            """ L'objet à ajouter est un entier,
                le nombre de secondes """
            nouvelle_duree = Duree ()
            # On va copier self dans l'objet créé
            #       pour avoir la même durée
            nouvelle_duree.min = self.min
            nouvelle_duree.sec = self.sec
            # On ajoute la durée
            nouvelle_duree.sec += objet_a_ajouter
```

```
            # Si le nombre de secondes >= 60
            if nouvelle_duree.sec >= 60:
                nouvelle_duree.min += nouvelle_duree.sec // 60
                nouvelle_duree.sec = nouvelle_duree.sec % 60
            # On renvoie la nouvelle durée
            return nouvelle_duree

        def __iadd__ (self , objet_a_ajouter ):
            """ L'objet à ajouter est un entier,
                le nombre de secondes """
            # On travaille directement sur self cette fois
            # On ajoute la durée
            self . sec += objet_a_ajouter
            # Si le nombre de secondes >= 60
            if self .sec >= 60:
                self .min += self .sec // 60
                self .sec = self .sec % 60
            # On renvoie self
            return self

        def __radd__ (self , objet_a_ajouter ):
            """ Cette méthode est appelée si on écrit
            4 + objet et que le premier objet
            ne sait pas comment ajouter le second.
            On se contente de rediriger sur __add__ puisque,
            ici, cela revient au même :
            l'opération doit avoir le même résultat,
            posée dans un sens ou dans l'autre """
            return self + objet_a_ajouter

>>> d1 = Duree(12,8)
>>> print (d1)
12:08
>>> d2 = d1 + 54
>>> print (d2)
13:02
>>> d3 = 4 + d1
>>> d3 += 20
>>> print (d3)
12:32
```

Une classe exception

Pour définir sa propre exception, il faut créer une classe qui dérive d'une classe d'exception existante par exemple, la classe **« `Exception` »**.

L'exemple suivant crée une exception AucunChiffre qui est lancée par la fonction conversion lorsque la chaîne de caractères qu'elle doit convertir ne contient pas que des chiffres. En redéfinissant l'opérateur **« `__str__` »** d'une exception, il est possible d'afficher des messages plus explicites avec la seule instruction **« `print` »**.

```
>>> class AucunChiffre(Exception):
...     """
...     chaîne de caractères contenant aussi
...               autre chose que des chiffres
...     """
...     def __init__(self, s, f=""):
...         Exception.__init__(self, s)
...         self.s = s
...         self.f = f
...
...     def __str__(self):
...         return "exception AucunChiffre, depuis la fonction {0}
avec le paramètre {1}".format(self.f, self.s)
...
>>> def conversion(s):
...     """
...     conversion d'une chaîne de caractères en entier
...     """
...     if not s.isdigit():
...         raise AucunChiffre(s, "conversion")
...     return int(s)
...
>>> try:
...     s = "123a"
...     i = conversion(s)
...     print(s, " = ", i)
... except AucunChiffre as exc:
...     print(exc)
...     print("fonction : ", exc.f)
...
exception AucunChiffre, depuis la fonction conversion avec le
paramètre 123a
fonction :  conversion
```

L'opérateur itérateur

L'opérateur **« __iter__ »** permet de définir ce qu'on appelle un itérateur. C'est un objet qui permet d'en explorer un autre, comme une liste ou un dictionnaire. Un itérateur est un objet qui désigne un élément d'un ensemble à parcourir et qui connaît l'élément suivant à visiter. Il doit pour cela contenir une référence à l'objet qu'il doit explorer et inclure une méthode **« __next__ »** qui retourne l'élément suivant ou lève une exception si l'élément actuel est le dernier.

```
>>> class point_espace:
...     def __init__(self, x, y, z):
...         self._x, self._y, self._z = x, y, z
...
...     def __iter__(self):
...         yield self._x
...         yield self._y
...         yield self._z
...
>>> a = point_espace(1, -2, 3)
>>> for x in a:
...     print(x)
...
1
-2
3
```

Toute boucle for peut s'appliquer sur un objet muni d'un itérateur tels que les chaînes de caractères, tuples, les listes, les dictionnaires, les ensembles.

```
>>> d = ["un", "deux", "trois"]
>>> for x in d:
...     print(x)
...
un
deux
trois
```

Cette boucle cache en fait l'utilisation d'un itérateur qui apparaît explicitement dans l'exemple suivant équivalent au précédent.

```
>>> a = point_espace(1, -2, 3)
>>> it = iter(a)
>>> while True:
...     try:
...         print(next(it))
...     except StopIteration:
...         break
...
1
-2
3
```

Afin que cet extrait de programme fonctionne, il faut définir un itérateur pour la classe **« point_espace »**. Cet itérateur doit inclure la méthode **« __next__ »**. La classe **« point_espace »** doit quant à elle définir l'opérateur **« __iter__ »** pour retourner l'itérateur qui permettra de l'explorer.

```
>>> class point_espace:
...     def __init__(self, x, y, z):
...         self._x, self._y, self._z = x, y, z
...
...     def __str__(self):
...         return "(%f,%f,%f)" % (self._x, self._y, self._z)
...
...     def __getitem__(self, i):
...         if i == 0:
...             return self._x
...         if i == 1:
...             return self._y
...         if i == 2:
...             return self._z
...         # pour tous les autres cas --> erreur
...         raise IndexError("indice impossible, 0,1,2 autorisés")
...
>>> class class_iter:
...     """cette classe définit un itérateur pour point_espace"""
...     def __init__(self, ins):
...         """initialisation, self._ins permet de savoir quelle
...            instance de point_espace on explore,
...            self._n mémorise l'indice de l'élément exploré"""
...         self._n = 0
...         self._ins = ins
...
...     def __iter__(self): # le langage impose cette méthode
...         return self # dans certaines configurations
...
...     def __next__(self):
...         """retourne l'élément d'indice
...                 self._n et passe à l'élément suivant"""
...         if self._n <= 2:
...             v = self._ins[self._n]
...             self._n += 1
...             return v
...         else:  # si cet élément n'existe pas, lève une exception
...             raise StopIteration
...
...     def __iter__(self):
...         """opérateur de la classe point_espace,
...            retourne un itérateur
...            permettant de l'explorer"""
...         return point_espace.class_iter(self)
...
>>> a = point_espace(1, -2, 3)
>>> for x in a:
...     print(x)
...
1
-2
3
```

Il existe en python une syntaxe plus courte avec le mot-clé **« yield »** qui permet d'éviter la création de la classe **« class_iter »**. Le code de la méthode **« __iter__ »** change mais les dernières lignes du programme précédent qui affichent successivement les éléments de **« point_espace »** sont toujours valides.

```
>>> class point_espace:
...     def __init__(self, x, y, z):
...         self._x, self._y, self._z = x, y, z
...
...     def __str__(self):
...         return "(%f,%f,%f)" % (self._x, self._y, self._z)
...
...     def __getitem__(self, i):
...         if i == 0:
...             return self._x
...         if i == 1:
...             return self._y
...         if i == 2:
...             return self._z
...         # pour tous les autres cas --> erreur
...         raise IndexError("indice impossible, 0,1,2 autorisés")
...
...     def __iter__(self):
...         """itérateur avec yield (ou générateur)"""
...         _n = 0
...         while _n <= 2:
...             yield self.__getitem__(_n)
...             _n += 1
...
>>> a = point_espace(1, -2, 3)
>>> for x in a:
...     print(x)
...
1
-2
3
```

Les attributs privés

L'encapsulation est un principe qui consiste à cacher ou protéger certaines données de notre objet. Dans la plupart des langages orientés objet, tels que le C++, le Java ou le PHP, on va considérer que nos attributs d'objets ne doivent pas être accessibles depuis l'extérieur de la classe. Autrement dit, vous n'avez pas le droit de faire, depuis l'extérieur de la classe, **« `mon_objet.mon_attribut` »**.

En Python, il n'y a pas d'attribut privé. Tout est public. Cela signifie que si vous voulez modifier un attribut depuis l'extérieur de la classe, vous le pouvez.

Pour faire respecter l'encapsulation propre au langage, on la fonde sur des conventions mais surtout sur le bon sens de l'utilisateur de notre classe (à savoir, si j'ai écrit que cet attribut est inaccessible depuis l'extérieur de la classe, je ne vais pas chercher à y accéder depuis l'extérieur de la classe).

La convention est que le nom de l'attribut doit commence par le caractère **« _ »** soulignés. Si l'attribut commence par deux caractères **« _ »** soulignés, l'interpréteur modifie automatiquement leurs noms dans le contexte d'exécution. Pour un attribut **« `__attrib` »** de la classe **« `Class` »**, le nom devient **« `__Class__attrib` »**.

Le **« `dictionnaire` »** étend alors la recherche à cette notation lorsque les appels se font depuis le code de la classe, de manière à ce que les appelants extérieurs n'aient plus d'accès à l'attribut par son nom direct.

```
>>> class EssaiVar:
        "La syntaxe des attributs proteges"
        _attr1     = 'attribut _nom'
        _attr2_    = 'attribut _nom_'
        __attr3   = 'attribut __nom'
        __attr4__ = 'attribut __nom__'

>>> v = EssaiVar()
>>> EssaiVar.__dict__
mappingproxy({'__module__': '__main__', '__doc__': 'La syntaxe des
attributs proteges', '_attr1': 'attribut _nom', '_attr2_': 'attribut
_nom_', '_EssaiVar__attr3': 'attribut __nom', '__attr4__': 'attribut
__nom__', '__dict__': <attribute '__dict__' of 'EssaiVar' objects>,
'__weakref__': <attribute '__weakref__' of 'EssaiVar' objects>})
>>> dir(v)
['_EssaiVar__attr3', '__attr4__', '__class__', '__delattr__',
'__dict__', '__dir__', '__doc__', '__eq__', '__format__', '__ge__',
'__getattribute__', '__gt__', '__hash__', '__init__',
'__init_subclass__', '__le__', '__lt__', '__module__', '__ne__',
'__new__', '__reduce__', '__reduce_ex__', '__repr__', '__setattr__',
'__sizeof__', '__str__', '__subclasshook__', '__weakref__',
'_attr1', '_attr2_']
>>> v._attr1
'attribut _nom'
>>> v._attr2_
'attribut _nom_'
>>> v.__attr3
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#65>", line 1, in <module>
    v.__attr3
AttributeError: 'EssaiVar' object has no attribute '__attr3'
```

```
>>> v._EssaiVar__attr3
'attribut __nom'
>>> v.__attr4__
'attribut __nom__'
```

Les propriétés

Les propriétés sont un moyen transparent de manipuler des attributs d'objet. De cette façon on peut dire qu'un attribut ne sera visible qu'en lecture et non modifiable. Ou encore, on peut faire en sorte que, si on modifie un attribut, Python recalcule la valeur d'un autre attribut de l'objet.

Pour l'utilisateur, c'est absolument transparent : il croit avoir, dans tous les cas, un accès direct à l'attribut. C'est dans la définition de la classe que vous allez préciser que tel ou tel attribut doit être accessible ou modifiable grâce à certaines propriétés.

Les propriétés **« `property` »** sont des objets un peu particuliers de Python. Elles prennent la place d'un attribut et agissent différemment en fonction du contexte dans lequel elles sont appelées.

Une propriété ne se crée pas dans le constructeur mais dans le corps de la classe, elle attend quatre paramètres, tous optionnels :

- la méthode donnant accès à l'attribut ;
- la méthode modifiant l'attribut ;
- la méthode appelée quand on souhaite supprimer l'attribut ;
- la méthode appelée quand on demande de l'aide sur l'attribut.

En pratique, on utilise surtout les deux premiers paramètres : ceux définissant les méthodes d'accès et de modification, autrement dit nos **« `accesseur` »** et **« `mutateur` »** d'objet.

```
>>> class Personne :
        """ Classe définissant une personne
        caractérisée par :
        - son nom ;
        - son prénom ;
        - son âge ;
        - son lieu de résidence """

        def __init__ (self , nom , prenom ):
            """ Constructeur de notre classe """
            self.nom    = nom
            self.prenom = prenom
            self.age    = 52
            self._lieu_residence = " Paris "

        def _get_lieu_residence ( self ):
            """ Méthode qui sera appelée quand on souhaitera
            accéder en lecture à l'attribut '_lieu_residence '"""
            print ("On accède à l'attribut lieu_residence !")
            return self . _lieu_residence

        def _set_lieu_residence (self , nouvelle_residence ):
            """ Méthode appelée quand on souhaite modifier
                le lieu de résidence """
            print (" Attention , il semble que {} déménage à {}.".\
               format ( self.prenom , nouvelle_residence ))
            self._lieu_residence = nouvelle_residence
```

```
        # On va dire à Python que notre attribut
        #_lieu_residence pointe vers une propriété
        lieu_residence = property ( _get_lieu_residence,\
                          _set_lieu_residence,\
                     doc="La propriète de l'attribut lieu_residence")

>>> Personne.__doc__
' Classe définissant une personne \n        caractérisée par :\n
- son nom ;\n        - son prénom ;\n        - son âge ;\n        -
son lieu de résidence '
>>> Personne.lieu_residence.__doc__
"La propriète de l'attribut lieu_residence"
>>> p = Personne('BIZOÏ','Razvan')
>>> p.lieu_residence                                    <--------
On accède à l'attribut lieu_residence !
' Paris '
>>> p.lieu_residence = 'Strasbourg'                     <--------
 Attention , il semble que Razvan déménage à Strasbourg.
>>> p._lieu_residence = 'Bucarest'
>>> print(p.lieu_residence)                             <--------
On accède à l'attribut lieu_residence !
Bucarest
```

Une autre manière d'écrire la classe à l'aide de décorateurs. La classe **« property »** propose trois méthodes qui peuvent être utilisées dans un décorateur : **« getter »**, **« setter »** et **« deleter »**.

```
>>> class Personne :
        """ Classe définissant une personne
        caractérisée par :
        - son nom ;
        - son prénom ;
        - son âge ;
        - son lieu de résidence """
...
        @property
        def lieu_residence ( self ):
            """ Méthode qui sera appelée quand on souhaitera
            accéder en lecture à l'attribut '_lieu_residence '"""
            print ("On accède à l'attribut lieu_residence !")
            return self._lieu_residence

        @lieu_residence.setter
        def lieu_residence (self , nouvelle_residence ):
            """ Méthode appelée quand on souhaite
                modifier le lieu de résidence """
            print (" Attention , il semble que {} déménage à {}.".\
                        format ( self.prenom,nouvelle_residence ))
            self._lieu_residence = nouvelle_residence
```

L'héritage

Les classes constituent le principal outil de la programmation orientée objet et un des principaux atouts de ce type de programmation réside dans le fait que l'on peut toujours se servir d'une classe préexistante pour en créer une nouvelle, qui héritera toutes ses propriétés mais pourra modifier certaines d'entre elles et/ou y ajouter les siennes propres. Le procédé s'appelle dérivation. Il permet de créer toute une hiérarchie de classes allant du général au particulier.

```
>>> class Mammifere :
        def __init__ (self,age=2,poids=5):
            self.sonAge = age
            self.sonPoids = poids

        def GetInfo(self) :
            return \
                "L'age du mamifère est {} et il a un poids de {}."\
                     .format(self.sonAge,self.sonPoids)

        def Crier (self):
            print("Le cri du mammifère !")

        def Dormir(self):
            print("Chut. Je dors.")

>>> class Chien(Mammifere) :
        RACE = ['GOLDEN','CAIRN','DANDIE',\
                'SHETLAND','DOBERMAN','LAB']

        def __init__ (self,age=2,poids=15,race=1):
            Mammifere.__init__(self,age,poids)
            self.saRace = race

        def GetRace(self) :
            return self.RACE[self.saRace]

        def RemuerQueue(self) :
            print("Je remue la queue...")

        def Quemander(self) :
            print("Je mendie de la nourriture...")

>>> mam = Mammifere()
>>> mam.GetInfo()
"L'age du mamifère est 2 et il a un poids de 5."
>>> mam.Crier ()
Le cri du mammifère !
>>> mam.Dormir()
Chut. Je dors.
>>> fido = Chien(race=1)
>>> fido.Crier()
Le cri du mammifère !
>>> fido.RemuerQueue()
```

```
Je remue la queue...
>>> fido.Quemander()
Je mendie de la nourriture...
>>> fido.GetInfo()
"L'age du mamifère est 2 et il a un poids de 15."
>>> fido.GetRace()
'CAIRN'
>>> type(mam)
<class '__main__.Mammifere'>
>>> type(fido)
<class '__main__.Chien'>
>>> dir(fido)
['Crier', 'Dormir', 'GetInfo', 'GetRace', 'Quemander', 'RACE',
'RemuerQueue', '__class__', '__delattr__', '__dict__', '__dir__',
'__doc__', '__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattribute__',
'__gt__', '__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__',
'__lt__', '__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__',
'__reduce_ex__', '__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__',
'__subclasshook__', '__weakref__', 'saRace', 'sonAge', 'sonPoids']
```

Quand une classe B hérite d'une classe A, les objets de type B reprennent bel et bien les méthodes de la classe A en même temps que celles de la classe B. Mais, assez logiquement, ce sont celles de la classe B qui sont appelées d'abord.

Si vous exécutez **« objet_de_type_b.ma_methode »**, Python va d'abord chercher la méthode **« ma_methode »** dans la classe B dont l'objet est directement issu. S'il ne trouve pas, il va chercher récursivement dans les classes dont hérite B, c'est-à-dire A. Ce mécanisme est très important : il induit que si aucune méthode n'a été redéfinie dans la classe, on cherche dans la classe mère. On peut ainsi redéfinir une certaine méthode dans une classe et laisser d'autres directement hériter de la classe mère.

```
>>> class Mammifere :
...
        def GetInfo(self) :
            return "L'age du {} est {} et il a un poids de {}."\
                     .format(self.__class__.__name__,\
                                self.sonAge,self.sonPoids)
...
>>> class Chien(Mammifere) :
...
        def Crier (self):
            print("Ouah Ouah !")

>>> fido = Chien(race=0)
>>> fido.GetInfo()
"L'age du Chien est 2 et il a un poids de 15."
>>> fido.Crier()
Ouah Ouah !
```

Une classe dérivée héritera de tous les attributs et toutes les méthodes de la classe de base. Si une de ces méthodes remplace une méthode de même nom héritée de la classe de base on parle dans ce cas de polymorphisme. On pourra dire également que la méthode de la classe de base a été surchargée.

```
>>> class Mammifere :
...
        def Crier (self): print("Le cri du mammifère !")
```

```
>>> class Chien(Mammifere) :
...
        def Crier (self): print("Ouah Ouah !")

>>> class Chat(Mammifere) :
...
        def Crier (self): print("Miaou !")

>>> class Cheval(Mammifere) :
...
        def Crier (self): print("Hihiiiii !")


>>> class Cochon(Mammifere) :
...
        def Crier (self): print("Grouiiiik !")

>>> listeAnimaux = [Mammifere(),Chien(),Cochon(),Cheval(),Chat()]
>>> for animal in listeAnimaux : animal.Crier()

Le cri du mammifère !
Ouah Ouah !
Grouiiiik !
Hihiiiii !
Miaou !
```

Le sens de l'héritage

Il n'est pas toujours évident de concevoir le sens d'un héritage. En mathématique, le carré est un rectangle dont les côtés sont égaux. A priori, une classe carre doit dériver d'une classe rectangle.

```
>>> class rectangle :
        def __init__(self,a,b) :
            self.a,self.b = a,b
        def __str__(self) :
            return "rectangle "+str(self.a)\
                +" x "+str(self.b)


>>> class carre(rectangle):
        def __init__( self, a) :
            rectangle.__init__(self, a,a)


>>> r = rectangle(3,4)
>>> c = carre(5)
>>> print(r,'\n',c)
rectangle 3 x 4
 rectangle 5 x 5
```

Toutefois, on peut aussi considérer que la classe carre contient une information redondante puisqu'elle possède deux attributs qui seront toujours égaux. On peut se demander s'il n'est pas préférable que la classe rectangle hérite de la classe carre.

```
>>> class carre(rectangle):
        def __init__( self, a) :
            self.a = a
        def __str__(self) :
            return "carre "+str(self.a)

>>> class rectangle :
        def __init__(self,a,b) :
            carre.__init__(self, a)
            self.b = b
        def __str__(self) :
            return "rectangle "+str(self.a)\
                +" x "+str(self.b)

>>> r = rectangle (3,4)
>>> c = carre(5)
>>> print(r,'\n',c)
rectangle 3 x 4
 carre 5
```

Cette seconde version minimise l'information à mémoriser puisque la classe carre ne contient qu'un seul attribut et non deux comme dans l'exemple précédent. Néanmoins, il a fallu surcharger l'opérateur **« __str__ »** afin d'afficher la nouvelle information.

La fonction help

L'utilisation de la fonction **« help »** permet de connaître tous les ancêtres d'une classe. On applique cette fonction à la classe rectangle définie au paragraphe précédent.

```
>>> help (rectangle)
Help on class rectangle in module __main__:

class rectangle(builtins.object)
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self, a, b)
 |      Initialize self.  See help(type(self)) for accurate signature.
 |
 |  __str__(self)
 |      Return str(self).
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Data descriptors defined here:
 |
 |  __dict__
 |      dictionary for instance variables (if defined)
 |
 |  __weakref__
 |      list of weak references to the object (if defined)
```

L'héritage multiple

Jusqu'à présent, tous les exemples d'héritages entre classes n'ont fait intervenir que deux classes, la classe ancêtre dont hérite la classe descendante. L'héritage multiple part du principe qu'il peut y avoir plusieurs ancêtres pour une même classe. La classe descendante hérite dans ce cas de tous les attributs et méthodes de tous ses ancêtres.

Dans l'exemple qui suit, la classe C hérite des classes A et B. Elle hérite donc des méthodes de carre et cube. Chacune des classes A et B contient un constructeur qui initialise l'attribut a. Le constructeur de la classe C appelle le constructeur de la classe A pour initialiser cet attribut.

```
>>> class A :
        def __init__(self) : self.a = 5
        def carre (self) : return self.a ** 2

>>> class B :
        def __init__(self) : self.a = 6
        def cube (self) : return self.a ** 3

>>> class C (A,B) :
        def __init__(self): A.__init__(self)

>>> x = C()
>>>
>>> print(x.carre())
25
>>> print(x.cube())
125

>>> help(C)
Help on class C in module __main__:

class C(A, B)
 |  Method resolution order:
 |      C
 |      A
 |      B
 |      builtins.object
 |
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self)
 |      Initialize self.  See help(type(self)) for accurate signature.
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Methods inherited from A:
 |
 |  carre(self)
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Data descriptors inherited from A:
 |
 |  __dict__
 |      dictionary for instance variables (if defined)
```

```
 |
 |  __weakref__
 |      list of weak references to the object (if defined)
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Methods inherited from B:
 |
 |  cube(self)
```

Mais ces héritages multiples peuvent parfois apporter quelques ambiguïtés comme le cas où au moins deux ancêtres possèdent une méthode du même nom. Dans l'exemple qui suit, la classe C hérite toujours des classes A et B. Ces deux classes possèdent une méthode calcul. La classe C, qui hérite des deux, possède aussi une méthode calcul qui, par défaut, sera celle de la classe A.

```
>>> class A :
        def __init__(self) : self.a = 5
        def calcul(self)   : return self.a ** 2

>>> class B :
        def __init__(self) : self.a = 6
        def calcul(self)   : return self.a ** 3

>>> class C (A,B) :
        def __init__(self): A.__init__(self)

>>> x = C ()
>>> print(x.calcul())
25
```

Cette information est disponible via la fonction **« help »** appliquée à la classe C. C'est dans ce genre de situations que l'information apportée par la section « Method resolution order » est importante.

```
>>> help(C)
Help on class C in module __main__:

class C(A, B)
 |  Method resolution order:
 |      C
 |      A
 |      B
 |      builtins.object
 |
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self)
 |      Initialize self.  See help(type(self)) for accurate signature.
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Methods inherited from A:
 |
 |  calcul(self)
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Data descriptors inherited from A:
 |
 |  __dict__
 |      dictionary for instance variables (if defined)
 |
```

```
 |  __weakref__
 |      list of weak references to the object (if defined)
```

Pour préciser que la méthode calcul de la classe C doit appeler la méthode calcul de la classe B et non A, il faut l'écrire explicitement en surchargeant cette méthode.

```
>>> class C (A,B) :
        def __init__(self): A.__init__(self)
        def calcul(self)   : return B.calcul(self)

>>> x = C ()
>>> print(x.calcul())
125
```

L'exemple précédent est un cas particulier où il n'est pas utile d'appeler les constructeurs des deux classes dont la classe C hérite mais c'est un cas particulier. Le constructeur de la classe C devrait être ainsi :

```
>>> class C (A,B) :
        def __init__(self):
            A.__init__(self)
            B.__init__(self)
```

Les fonctions issubclass et isinstance

issubclass

La fonction **« issubclass »** permet de savoir si une classe hérite d'une autre.

`issubclass (B,A)`

Le résultat de cette fonction est vrai si la classe B hérite de la classe A, le résultat est faux dans tous les autres cas. La fonction prend comme argument des classes et non des instances de classes.

L'exemple qui suit utilise cette fonction dont le résultat est vrai même pour des classes qui n'héritent pas directement l'une de l'autre.

```
>>> class A (object) : pass

>>> class B (A) : pass

>>> class C (B) : pass

>>> print(issubclass(A,B))
False
>>> print(issubclass(B,A))
True
>>> print(issubclass(A,C))
False
>>> print(issubclass(C,A))
True
```

Lorsqu'on souhaite appliquer la fonction à une instance de classe, il faut faire appel à l'attribut __class__. En reprenant les classes définies par l'exemple précédant cela donne :

```
>>> a = A()
>>> b = B()
>>> print(issubclass(a.__class__,B))
False
>>> print(issubclass(b.__class__,A))
True
>>> print(issubclass(a.__class__,A))
```

isinstance

La fonction **« isinstance »** permet de savoir si une instance de classe est d'un type donné. Elle est équivalente à la fonction **« issubclass »** à ceci près qu'elle prend comme argument une instance et une classe. L'exemple précédent devient avec la fonction **« isinstance »** :

```
>>> a = A()
>>> b = B()
>>> print(isinstance(a,B))
False
>>> print(isinstance(b,A))
True
>>> print(isinstance(a,A))
```

L'utilisation des fonctions **« issubclass »** et **« isinstance »** n'est pas très fréquente mais elle permet par exemple d'écrire une fonction qui peut prendre en entrée des types variables.

```
>>> def fonction_somme_list (ens) :
        r = "list "
        for e in ens : r += e
        return r

>>> def fonction_somme_dict (ens) :
        r = "dict "
        for k,v in ens.items () : r += v
        return r

>>> def fonction_somme (ens) :
        if isinstance(ens,dict) :
            return fonction_somme_dict (ens)
        elif isinstance(ens,list) :
            return fonction_somme_list (ens)
        else :
            return "erreur"

>>> li = ["un", "deux", "trois"]
>>> di = {1:"un", 2:"deux", 3:"trois"}
>>> tu = ("un", "deux", "trois")
>>> print(fonction_somme(li))
list undeuxtrois
>>> print(fonction_somme(di))
dict undeuxtrois
>>> print(fonction_somme(tu))
erreur
```

L'avantage est d'avoir une seule fonction capable de s'adapter à différents type de variables, y compris des types créés par un programmeur en utilisant les classes.

Le module inspect

Le module **« inspect »** offre des moyens supplémentaires pour l'introspection, par exemple découvrir ce que contient une classe, un objet ou un module.

L'exemple suivant récupère les membres de la classe E puis les membres d'une instance de cette classe. Pour chaque membre de l'objet (classe ou instance), un **« tuple »** est fourni contenant le nom de l'attribut et sa valeur. Nous pouvons constater que la différence se limite à l'état de la fonction f: non liée dans le cas de la classe, donc que l'on ne peut exécuter directement, et liée à l'instance dans le cas de l'objet que l'on peut donc exécuter directement après un **« getattr »**.

```
>>> import inspect
>>> class E(object):
    def f(self):
            return 'hello'

>>> e = E()
>>> inspect.getmembers(E)
[('__class__', <class 'type'>),..., ('f', <function E.f at 0x0000000002023E18>)]
>>> inspect.getmembers(e)
[('__class__', <class '__main__.E'>),..., ('f', <bound method E.f of <__main__.E
object at 0x0000000002CB7C88>>)]
```

Ce module permet aussi de savoir ce que l'on est en train de manipuler: quel est le type d'un objet (classe, instance, attribut). La fonction **« ismethod »** permet de savoir si un objet donné est, ou non, une méthode (liée ou non).

```
>>> inspect.isclass(E)
True
>>> f = getattr(e,'f')
>>> inspect.isfunction(f)
False
>>> inspect.ismethod(f)
True
>>> F = getattr(E,'f')
>>> inspect.ismethod(F)
False
```

L'association de l'introspection de base et du module **« inspect »** permet d'automatiser l'utilisation des méthodes d'une instance: invocation générique d'une méthode récupérée dynamiquement après contrôle que c'est bien une méthode.

```
>>> f1 = getattr(e, 'f')
>>> f2 = getattr(E, 'f')
>>> if inspect.ismethod(f1): f1()

'hello'
>>> if inspect.ismethod(f2): f2(e)

>>> f2(e)
'hello'
```

Le module **« inspect »** permet même d'accéder dynamiquement au code source d'un objet. Toutefois, cela n'est pas valable pour le code saisi en interactif.

La fonction **« getfile »** donne le nom du fichier de définition de l'objet (TypeError si cette opération est impossible).

```
>>> import inspect
>>> from Mammifere import Chien
>>> inspect.getfile(Chien)
'C:\\Program Files\\Python36\\Mammifere.py'
```

La fonction **« getmodule »** donne le nom du module définissant l'objet (sans garantie par exemple dans le cas du code dynamiquement créé).

```
>>> inspect.getmodule(Chien)
<module 'Mammifere' from 'C:\\Program
Files\\Python36\\Mammifere.py'>
```

La fonction **« getdoc »** retourne la documentation de l'objet.

```
>>> import inspect
>>> from Mammifere import Chien
>>> inspect.getdoc(Chien)
'Le comporement du chien !'
```

La fonction **« getsourcelines »** donne un **« tuple »** contenant la liste des lignes de code source définissant l'objet passé en paramètre et la ligne du début de la définition dans le fichier.

```
>>> lines,num=inspect.getsourcelines(Chien)
>>> for i, l in enumerate(lines):
        print(num + i, l)

25 class Chien(Mammifere) :
26     """Le comporement du chien !"""
27     RACE = ['GOLDEN','CAIRN','DANDIE',\
28             'SHETLAND','DOBERMAN','LAB']
29
30     def __init__ (self,age=2,poids=15,race=1):
31         Mammifere.__init__(self,age,poids)
32         self.saRace = race
33
34     def GetRace(self) :
35         return self.RACE[self.saRace]
36
37     def RemuerQueue(self) :
38         print("Je remue la queue...")
39
40     def Quemander(self) :
41         print("Je mendie de la nourriture...")
42
43     def Crier (self):
44         print("Ouah Ouah !")
```

La compilation de classes

La compilation de classe fonctionne de manière similaire à celle de la compilation de fonctions. Il s'agit de définir une classe sous forme de chaîne de caractères puis d'appeler la fonction compile pour ajouter cette classe au programme et s'en servir.

```
>>> s = """class carre :
...     def __init__( self, a) : self.a = a
...     def __str__ (self) : return "carre " + str (self.a)
...
... class rectangle (carre):
...     def __init__(self,a,b) :
...         carre.__init__(self, a)
...         self.b = b
...     def __str__ (self) :
...         return "rectangle " + str(self.a) + " x " + str (self.b)
... """
>>> obj = compile(s, "", "exec") # code à compiler
>>> exec(obj) # classes incorporées au programme
>>> r = rectangle(3, 4)
>>> print(r) # affiche rectangle 3 x 4
rectangle 3 x 4
>>> c = carre(5)
>>> print(c) # affiche carre 5
carre 5
```

La copie d'instances

Aussi étrange que cela puisse paraître, le signe **« = »** ne permet pas de recopier une instance de classe. Il permet d'obtenir deux noms différents pour désigner le même objet.

```
>>> from Mammifere import Chien
>>> rex = Chien()
>>> rexRef = rex
>>> print(rex,rexRef)
<Mammifere.Chien object at 0x000000002C24860>
<Mammifere.Chien object at 0x000000002C24860>
>>> print(rex.GetInfo())
L'age du Chien est 2 et il a un poids de 15.
>>> print(rexRef.GetInfo())
L'age du Chien est 2 et il a un poids de 15.
>>> rex.sonAge,rex.sonPoids = 10,30
>>> print(rexRef.GetInfo())
L'age du Chien est 10 et il a un poids de 30.
```

Pour créer une copie de l'instance nb, il faut le dire explicitement en utilisant la fonction **« copy »** du module **« copy »**.

```
>>> class exemple_classe:
        def __init__ (self):
            self.rnd = 42

        def methode1(self, n):
            self.rnd = 397204094 * self.rnd % 2147483647
            return int(self.rnd % n)

>>> nb = exemple_classe()
>>> import copy # pour utiliser le module copy
>>> nb2 = copy.copy(nb) # copie explicite
>>> print('',nb,'\n',nb2,'\n',nb.rnd,nb2.rnd)
 <__main__.exemple_classe object at 0x0000000002D79940>
 <__main__.exemple_classe object at 0x0000000002D796A0>
 42 42
>>> nb2.rnd = 0
>>> print(nb.rnd,nb2.rnd)
42 0
```

Le symbole égalité ne fait donc pas de copie, ceci signifie qu'une même instance de classe peut porter plusieurs noms. La suppression d'un objet n'est effective que s'il ne reste aucune variable le référençant.

```
>>> class CreationDestruction (object) :

        def __init__ (self) :
            print("constructeur")

        def __new__ (self) :
            print("__new__")
            return object.__new__ (self)

        def __del__ (self) :
```

```
            print("__del__")

>>> print("a")
a
>>> m = CreationDestruction ()
__new__
constructeur
>>> print("b")
b
>>> m2 = m
>>> print("c")
c
>>> del m
>>> print("d")
d
>>> del m2
__del__
```

Le destructeur est appelé autant de fois que le constructeur. Il est appelé lorsque plus aucun identificateur n'est relié à l'objet. Cette configuration survient lors de l'exemple précédent car le mot-clé **« del »** a détruit tous les identificateurs qui étaient reliés au même objet.

La copie d'instance de classes incluant d'autres classes

La fonction « copy » n'est pas suffisante lorsqu'une classe inclut des attributs qui sont eux-mêmes des classes incluant des attributs.

Dans l'exemple qui suit, la classe exemple_classe inclut un attribut de type classe_incluse qui contient un attribut attr. Lors de la copie à l'aide de l'instruction nb2 = copy.copy(nb), l'attribut inclus n'est pas copié, c'est l'instruction nb2.inclus = nb.inclus qui est exécutée. On se retrouve donc avec deux noms qui désignent encore le même objet.

```
>>> class classe_incluse:
        def __init__ (self):
            self.attr = 3

>>> class exemple_classe:
        def __init__ (self):
            self.inclus = classe_incluse()
            self.rnd = 42

>>> nb = exemple_classe()
>>> import copy # pour utiliser le module copy
>>> nb2 = copy.copy(nb) # copie explicite
>>> print(nb.inclus.attr,nb2.inclus.attr)
3 3
>>> nb2.inclus.attr = 0
>>> print(nb.inclus.attr,nb2.inclus.attr)
0 0
```

Pour effectivement copier les attributs dont le type est une classe, la première option - la plus simple - est de remplacer la fonction **« copy »** par la fonction **« deepcopy »**. La fonction **« deepcopy »** est plus lente à exécuter car elle prend en compte les références récursives.

```
>>> nb = exemple_classe()
```

```
>>> import copy # pour utiliser le module copy
>>> nb2 = copy.deepcopy(nb)
>>> print(nb.inclus.attr,nb2.inclus.attr)
3 3
>>> nb2.inclus.attr = 0
>>> print(nb.inclus.attr,nb2.inclus.attr)
3 0
```

Une autre solution, est d'utiliser l'opérateur **« __copy__ »** et ainsi écrire le code associé à la copie des attributs de la classe.

```
>>> import copy
>>> class classe_incluse:
        def __init__ (self) : self.attr = 3

>>> class exemple_classe:
        def __init__ (self) :
            self.inclus = classe_incluse()
            self.rnd = 42
        def __copy__ (self):
            copie = exemple_classe()
            copie.rnd = self.rnd
            copie.inclus = copy.copy (self.inclus)
            return copie

>>> nb = exemple_classe()
>>> nb2 = copy.deepcopy(nb)
>>> print(nb.inclus.attr,nb2.inclus.attr)
3 3
>>> nb2.inclus.attr = 0
>>> print(nb.inclus.attr,nb2.inclus.attr)
3 0
```

On peut se demander pourquoi l'affectation n'est pas équivalente à une copie. Cela tient au fait que l'affectation en langage Python est sans cesse utilisée pour affecter le résultat d'une fonction à une variable. Lorsque ce résultat est de taille conséquente, une copie peut prendre du temps. Il est préférable que le résultat de la fonction reçoive le nom prévu pour le résultat.

```
>>> def fonction_liste():
        return list(range(4,7))

>>> li = fonction_liste()
>>> print(li)
[4, 5, 6]
```

Lorsqu'une fonction retourne un résultat mais que celui-ci n'est pas attribué à un nom de variable. Le langage Python détecte automatiquement que ce résultat n'est plus lié à aucune variable. Il est détruit automatiquement.

```
>>> def fonction_liste ():
        return list(range(4,7))

>>> fonction_liste()
[4, 5, 6]
```

Les attributs figés

Il arrive parfois qu'une classe contienne peu d'informations et soit utilisée pour créer un très grand nombre d'instances.

Il est toujours possible d'ajouter un attribut à n'importe quelle instance. En contrepartie, chaque instance conserve en mémoire un dictionnaire **« __dict__ »** qui recense tous les attributs qui lui sont associés. Pour une classe susceptible d'être fréquemment instanciée, chaque instance n'a pas besoin d'avoir une liste variable d'attributs.

La classe, elle doit hériter de **« object »** ou d'une classe qui en hérite elle-même. Il faut ensuite ajouter au début du corps de la classe la ligne **« __slots__ »** et les noms des attributs de la classe. Aucun autre ne sera accepté.

```
class nom_classe (object) :
__slots__ = "attribut_1", ..., "attribut_n"
```

```
>>> class point_espace(object):
...     __slots__ = "_x", "_y", "_z"
...
...     def __init__(self, x, y, z):
...         self._x, self._y, self._z = x, y, z
...
...     def __str__(self):
...         return "(%f,%f,%f)" % (self._x, self._y, self._z)
...
>>> a = point_espace(1, -2, 3)
>>> print(a)
(1.000000,-2.000000,3.000000)
>>> print(a)
(20.000000,-2.000000,3.000000)
>>> a.j = 6
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'point_espace' object has no attribute 'j'
>>> a.__dict__
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'point_espace' object has no attribute '__dict__'
```

7

Motifs de création

1. Singleton

Un singleton est, en mathématiques, un ensemble ne contenant qu'un seul élément. En informatique, il s'agit d'une classe ne possédant qu'une seule instance.

```
>>> class Singleton:
...     instance = None
...     def __new__(cls):
...         if cls.instance is None:
...             cls.instance = object.__new__(cls)
...         return cls.instance
...
>>> object() is object(), Singleton() is Singleton()
(False, True)
```

Il faut noter que, la plupart du temps, les langages de programmation utilisent le singleton pour pallier le fait que leur modèle objet n'est pas suffisamment souple pour pouvoir gérer ce que Python fait déjà à l'aide de ses méthodes de classes.

Ainsi, l'utilisation d'un singleton en Python est extrêmement rare.

2. Fabrique

Présentation de la problématique

Lorsque l'on a une classe mère abstraite et plusieurs classes filles, la classe mère abstraite permet de capitaliser les comportements communs à toutes les filles. Pour les langages statiquement typés, une fonctionnalité utile est de potentiellement travailler avec des objets déclarés comme étant du type de la mère de manière à ce que les comportements puissent être homogénéisés. En clair, que l'on ne soit pas obligé de dupliquer du code autant de fois qu'il y ait de filles.

Pour cela, on utilise une fabrique qui va alors prendre en paramètre les données nécessaires à la construction de l'objet, déterminer à partir de critères déterministes la classe fille à instancier, créer cette instance, et la renvoyer. Cette instance portera alors le type de sa mère (voir notion de polymorphisme).

Solution

Python est un langage à typage dynamique. Il ne dispose pas de contraintes lui imposant de travailler avec un type de données particulier - à moins que le développeur l'ait lui-même spécifié dans son code - et il utilise naturellement la notion de « Duck Typing ».

En ce sens, les problématiques purement techniques réglées par la solution de la fabrique ne lui apportent rien, puisque celles-ci sont pour lui inexistantes.

Par contre, il peut toujours être utile de créer une fonction, ou une méthode de classe qui soit capable de renvoyer une instance d'un type précis en fonction de conditions déterministes :

```
>>> class A:
...     pass
...
>>> class B:
...     pass
...
>>> def fabrique(param):
...     if param % 2 == 0:
...         return A()
...     else:
...         return B()
...
```

Cet exemple est volontairement simpliste pour montrer l'absence de contraintes.

S'il n'y a pas de contraintes naturelles en Python, rien n'interdit par contre au développeur de poser un cadre rigide à ses développements, de manière à se créer un ensemble fortement structuré de classes et à créer par la suite une fabrique.

On a déjà présenté les moyens qu'offre Python pour créer des classes abstraites et des sous-classes concrètes dans le chapitre Modèle objet. On voit alors qu'il suffit de rajouter une simple fonction (telle que celle-ci dessus) pour avoir notre fabrique et effectuer un choix parmi les classes filles à utiliser. En effet, rien n'impose à Python de faire en sorte qu'une fabrique soit obligatoirement une classe.

Ceci dit, le modèle objet de Python étant extrêmement complet, il est possible d'aller beaucoup plus loin, c'est-à-dire d'intégrer la fabrique directement au cœur du processus de création de la classe mère.

Concrètement, on instancie un objet de la classe mère, et l'on se retrouve avec un objet de la bonne classe fille, choisie de manière déterministe. Cela peut être bien fait, puisque la méthode de discrimination entre les classes filles est portée par la mère, mais en fonction d'un paramètre que chaque fille précise. L'initialisation de la classe est également portée par la mère, car elle est commune.

Voici donc le code de la classe mère et de trois classes filles :

```
>>> import abc
>>> import os.path
>>> class Loader(metaclass=abc.ABCMeta):
...     def __new__(cls, filename):
...         ext = os.path.splitext(filename)[-1]
...         for sub in cls.__subclasses__():
...             if sub.isDesignedFor(ext):
...                   o = object.__new__(sub)
...                   o.__init__(filename)
...                   return o
...     def __init__(self, filename):
...         self.filename = filename
...     @classmethod
...     def isDesignedFor(cls, ext):
...         if ext in cls.extensions:
...             return True
...         return False
...     @abc.abstractmethod
...     def load(self):
...         return
...
>>> class TextLoader(Loader):
...     extensions = ['.txt']
...     def load(self):
...         print('Fichier textuel')
... #       with open(self.filename) as f:
... #           return f.readlines()
...
>>> import csv
>>> class CSVLoader(Loader):
...     extensions = ['.csv']
...     def load(self):
...         print('Fichier CSV')
... #       with open(self.filename) as f:
... #           return cvs.reader(f.read())
...
>>> import pickle
>>> class PickleLoader(Loader):
...     extensions = ['.pkl']
...     def load(self, filename):
...         print('Fichier Pickle')
```

```
... #       with open(self.filename) as f:
... #           return pickle.load(f)
...
```

Et voici ce qu'il se passe lorsque l'on instancie la classe mère avec des paramètres pris en compte par l'une des classes filles :

```
>>> loader = Loader('fichier.txt')
>>> type(loader)
<class '__main__.TextLoader'>
>>> loader = Loader('fichier.pkl')
>>> type(loader)
<class '__main__.PickleLoader'>
>>> loader = Loader('fichier.csv')
>>> type(loader)
<class '__main__.CSVLoader'>
```

Voici également ce qu'il se passe lorsqu'aucune fille ne peut traiter le paramètre passé au constructeur :

```
>>> loader = Loader('fichier.existepas')
>>> type(loader)
<class 'NoneType'>
```

Du coup, il suffit, après instanciation, de vérifier que l'on a bien quelque chose de différent de None et l'on peut alors utiliser l'instance à volonté.

Conséquences

Pour du développement simple, il est facile de créer un composant capable de retourner une instance, de quelque nature que ce soit. Il s'agit alors d'une fabrique sans en être vraiment une. Il est également possible de créer une fabrique dans les règles de l'art, mais qui n'est pas aussi indispensable qu'elle l'est pour les langages statiquement typés.

Par contre, lorsque l'on va aussi loin que le dernier exemple, ce concept prend une autre dimension et utilise alors à pleine capacité le modèle objet de Python.

3. Fabrique abstraite

Présentation de la problématique

La problématique de la fabrique abstraite est la problématique de la fabrique posée sur la notion même de fabrique. En clair, il s'agit de créer une fabrique sur un ensemble de fabriques, donc d'appliquer le motif de conception vu précédemment à la fabrique elle-même.

L'idée est de regrouper les fabriques relatives à un contexte dans une seule et même classe (en Python, ces fabriques peuvent être des méthodes de classe), puis d'homogénéiser les fabriques des différents contextes en les faisant hériter d'une seule classe mère abstraite.

Un exemple pourrait être une fabrique pour créer des composants graphiques pour une IHM (bouton, zone de saisie, tableau…). On aurait alors une fabrique pour chacun de ces éléments et toutes seraient regroupées au sein d'une seule et même classe. Et ce travail pourrait être réalisé pour chaque contexte graphique, c'est-à-dire une classe pour TkInter, une autre pour PyGTK, une autre pour WxPython...

Solution

Pour Python, cette fabrique abstraite est simplement une fabrique comme les autres. La seule différence est que les méthodes regroupées au sein de la classe sont des méthodes qui sont elles-mêmes des fabriques simples.

4. Monteur

Présentation de la problématique

La problématique tourne autour du moyen de formaliser un certain nombre de méthodes d'initialisation d'un objet potentiellement complexe, l'idée étant de ne pas manipuler directement l'objet lui-même, mais que l'on passe par l'une de ces méthodes formalisées. Chacune de ces méthodes s'appelle un **monteur**, l'objet créé est nommé le **produit** et le ou les objets susceptibles d'utiliser un monteur pour récupérer le produit et l'utiliser sont nommés **directeur**.

Les différentes méthodes d'initialisation du produit peuvent potentiellement être rapprochées sous forme de classes ayant pour mère une classe abstraite. On parle alors de **monteur** pour la classe abstraite et de **monteur concret** pour chaque classe fille.

L'avantage de cette méthode est de séparer clairement - isoler - le produit du directeur, c'est-à-dire l'objet utilisé de celui qui l'utilise en obligeant à passer par une méthode prédéfinie pour l'initialisation du produit.

Solution

Le produit peut être créé simplement par une instanciation avec beaucoup de paramètres et étant donné les très grandes possibilités de Python pour le passage de paramètres, les solutions sont nombreuses.

Ce que propose ce motif de conception est d'externaliser les méthodes de créations et de les capitaliser au sein de classes qui sont des monteurs. Les possibilités de Python permettraient d'utiliser éventuellement autre chose que des classes.

La problématique consistant également en la maîtrise de l'isolation entre le produit et le directeur, le parti a été pris dans l'exemple qui suit d'utiliser les propriétés plutôt que des attributs et des fonctions, ce qui permet de mettre en place un moyen de contrôle sur les accès et les modifications, mais également de ne pas alourdir la verbosité en obligeant à utiliser des méthodes get ou set.

L'exemple colle au nom des concepts. Il y a une classe produit qui porte deux notions et des classes monteur qui les paramètrent. La manière d'utiliser chaque monteur est identique et le directeur ne voit donc pas de différences.

```
>>> import abc
>>> class Produit:
...     @property
...     def forme(self):
...         return self._forme
...     @forme.setter
...     def forme(self, forme):
...         self._forme = forme
...     @property
...     def couleur(self):
...         return self._couleur
...     @couleur.setter
```

```
...     def couleur(self, couleur):
...         self._couleur = couleur
...     def __str__(self):
...         return 'Produit forme=%s couleur=%s' %
(self.forme, self.couleur)
...
```

Voici la classe monteur abstraite qui se charge de créer le produit. Contrairement à la classe fabrique où il s'agit de créer des classes différentes en fonctions de paramètres, on crée ici une seule et même classe, mais en la paramétrant de manière différente. La classe abstraite porte donc logiquement elle-même la méthode de création du produit, mais délègue à ses classes filles son paramétrage :

```
>>> class Monteur:
...     @property
...     def produit(self):
...         return self._produit
...     @produit.setter
...     def produit(self, produit):
...         self._produit = produit
...     def creerProduit(self):
...         self.produit = Produit()
...     @abc.abstractmethod
...     def concevoirForme(self):
...         return
...     @abc.abstractmethod
...     def concevoirCouleur(self):
...         return
...
>>> class MonteurCubeBleu(Monteur):
...     def concevoirForme(self):
...         self.produit.forme = "Cube"
...     def concevoirCouleur(self):
...         self.produit.couleur = "Bleu"
...
>>> class MonteurSphereRouge(Monteur):
...     def concevoirForme(self):
...         self.produit.forme = "Sphere"
...     def concevoirCouleur(self):
...         self.produit.couleur = "Rouge"
...
>>> class MonteurPyramideJaune(Monteur):
...     def concevoirForme(self):
...         self.produit.forme = "Pyramide"
...     def concevoirCouleur(self):
...         self.produit.couleur = "Jaune"
...
```

Le directeur va donc être lié à un monteur qui est un attribut et porter une méthode pour prendre à son compte toute la procédure de création/paramétrage en une seule méthode.

```
>>> class Directeur:
...     @property
...     def monteur(self):
```

```
...         return self._monteur
...     @monteur.setter
...     def monteur(self, monteur):
...         self._monteur = monteur
...     def concevoirProduit(self):
...         self.monteur.creerProduit()
...         self.monteur.concevoirForme()
...         self.monteur.concevoirCouleur()
...         return self.monteur.produit
...
```

Pour utiliser une telle classe, il faut donc instancier le directeur, lui adjoindre un monteur, puis lancer la méthode de création/paramétrage :

```
>>> directeur = Directeur()
>>> directeur.monteur = MonteurPyramideJaune()
>>> produit = directeur.concevoirProduit()
```

On retrouve ainsi notre produit :

```
>>> print(produit)
Produit forme=Pyramide couleur=Jaune
```

Conséquences

Ce motif de conception est très différent de la fabrique et en conséquence, il est employé pour des raisons différentes.

Il reste assez simple d'utilisation et peut être largement intégré au modèle objet de Python et utilisé dès lors que le besoin est de définir différentes méthodes pour créer et paramétrer un même objet.

Créer un directeur dont le monteur serait choisi lors de son initialisation n'est pas une bonne idée. Le choix du monteur est indépendant et doit pouvoir être modifié à volonté.

5. Prototype

Présentation de la problématique

Il se peut que la création d'une instance soit complexe (fasse intervenir un certain nombre de calculs, de création d'autres objets…) ou qu'elle soit consommatrice de temps.

Pour pallier ce problème, le motif de conception par prototype permet de remplacer le processus d'instanciation par la création d'une première instance et un clonage de celle-ci pour toutes les autres créations d'instance.

Il faut avoir à l'esprit que la notion de clonage est propre à chaque langage et est à l'origine prévue pour résoudre des problématiques particulières.

Solution

La solution s'opère en deux temps. Le premier temps consiste à créer la première instance (et donc de détecter le fait que la première instance ait été créée ou non) et le second temps consiste à prévoir une méthode de clonage efficace et sans perte de données.

Voici un exemple simple avec plusieurs types d'attributs pour tester le clonage :

```
>>> class A:
...     pass
...
>>> class NonPrototype:
...     def __init__(self):
...         # Méthode complexe de création
...         self.a = 42
...         self.b = 'Complexe'
...         self.c = A()
...         self.c.a = [1, 2, 3]
...         self.c.b = A()
...         self.c.b.a = (1, 2, 3)
...     def __str__(self):
...         return 'Prototype {self.a}, {self.b}, {self.c.a},
{self.c.b.a}'.format(self=self)
...
>>> a = NonPrototype()
>>> print(a)
Prototype 42, Complexe, [1, 2, 3], (1, 2, 3)
```

Voici comment mettre en place le motif de conception prototype sur cet objet :

```
>>> from copy import deepcopy
>>> class Prototype:
...     _instance_reference = None
...     def __new__(cls):
...         if cls._instance_reference is not None:
...             print('Clonage')
...             result = object.__new__(cls)
...             result.__dict__ =
```

```
deepcopy(cls._instance_reference.__dict__)
...             return result
...         result = object.__new__(cls)
...         cls._instance_reference = result
...         return result
...     def __init__(self):
...         if self._instance_reference is None:
...             return
...         self._instance_reference = None
...         print('Initialisation')
...         # Méthode complexe de création
...         self.a = 42
...         self.b = 'Complexe'
...         self.c = A()
...         self.c.a = [1, 2, 3]
...         self.c.b = A()
...         self.c.b.a = (1, 2, 3)
...     def __str__(self):
...         return '{self.__class__.__name__} {0}, {self.a},
{self.b}, {self.c.a}, {self.c.b.a}'.format(id(self), self=self)
...
```

L'idée principale du moyen technique mis en œuvre est de ne garder l'instance de référence que dans l'attribut de classe, mais que cet attribut soit vide pour chaque instance de manière que celles-ci ne référencent pas la première d'entre elles.

La méthode de création de la classe va alors la première fois qu'elle est utilisée suivre son processus de création classique, mais garder une référence vers l'instance créée.

Pour toutes les autres fois, elle va créer un objet, mais dupliquer son contenu à partir de celui de la toute première instance.

Lorsque l'on n'a jamais encore créé d'instances :

```
>>> print(Prototype._instance_reference)
None
```

On crée la première instance :

```
>>> b = Prototype()
Initialisation
```

Les valeurs sont correctement initialisées :

```
>>> print(b)
Prototype 20707280, 42, Complexe, [1, 2, 3], (1, 2, 3)
```

La classe possède bien une référence vers cette instance, mais l'instance elle-même n'a pas de référence vers elle :

```
>>> print(Prototype._instance_reference, b._instance_reference)
Prototype 20707280, 42, Complexe, [1, 2, 3], (1, 2, 3) None
```

On crée un second objet :

```
>>> c = Prototype()
Clonage
```

Celui-ci a été cloné ; il est passé par la méthode d'initialisation (__init__) car celle-ci est automatiquement appelée si la méthode de construction (__new__) renvoie un objet du bon type, mais la toute première ligne de cette méthode fait en sorte que l'on quitte tout de suite. Au final, nos valeurs sont bien présentes :

```
>>> print(c)
Prototype 20707856, 42, Complexe, [1, 2, 3], (1, 2, 3)
```

Et la nouvelle instance ne contient toujours pas de références vers l'instance première :

```
>>> print(Prototype._instance_reference, c._instance_reference)
Prototype 20707280, 42, Complexe, [1, 2, 3], (1, 2, 3) None
```

Conséquences

La solution proposée réalise tout le processus au sein de la même classe. La solution habituellement présentée fait intervenir un objet tiers pour la construction des classes et cet objet doit appeler une méthode clone. L'avantage de la solution présentée ici est de toujours appeler le constructeur et de le laisser gérer le fait qu'il initialise l'objet ou le copie par prototype. Cela est transparent pour celui qui instancie l'objet.

8

Motifs de structuration

Adaptateur

Présentation de la problématique

Pour avoir des traitements génériques, lorsque l'on conçoit une architecture, la solution permettant de disposer d'une interface commune et de créer les objets qui vont fournir cette interface est l'idéal.

Seulement, on travaille rarement uniquement avec des objets que l'on a conçus, on travaille également avec des bibliothèques tierces, ou des objets conçus préalablement qui sont adaptés à une problématique autre que la nôtre.

Dans tous les cas, il n'est pas possible de reprendre ces objets pour les faire entrer dans un moule qui satisfait parfaitement nos besoins.

Dans ce cadre-là, une solution largement diffusée est de créer des adaptateurs qui vont adapter le comportement des objets que l'on a à une interface unique.

Solution

Voici un exemple de classes qui sont parfaitement adaptées à une certaine utilisation et que nous souhaitons reprendre, mais utiliser d'une manière générique :

```
>>> class Chien:
...     def aboyer(self):
...         print('Ouaff')
...
>>> class Chat:
...     def miauler(self):
...         print('Miaou')
...
>>> class Cheval:
...     def hennir(self):
...         print('Hiiii')
...
>>> class Cochon:
...     def grogner(self):
...         print('Gruik')
...
```

Notre souhait est de faire « parler » ces animaux d'une manière générique.

Voici une classe, qui correspond à l'interface souhaitée :

```
>>> import abc
>>> class Animal(metaclass=abc.ABCMeta):
...     @abc.abstractmethod
...     def faireDuBruit(self):
...         return
...
```

On pourrait alors reprendre les quatre classes précédentes et les réécrire avec la même méthode, mais cela entraînerait une perte au niveau sémantique alors que c'est potentiellement utile pour d'autres utilisations.

Python propose alors plusieurs solutions. L'une des plus communes consiste simplement en l'utilisation de l'héritage multiple. Il offre là une réponse simple et efficace en surchargeant la méthode abstraite pour la rediriger vers la bonne méthode :

```
>>> class ChienAlternative(Animal, Chien):
...     def faireDuBruit(self):
...         return self.aboyer()
...
```

Ce qui peut également s'effectuer plus simplement (une méthode étant un attribut) :

```
>>> class ChatAlternative(Animal, Chat):
...     faireDuBruit = Chat.miauler
...
```

Ceci fonctionne, mais ne correspond pas au motif de conception Adaptateur dont on peut se rapprocher ainsi :

```
>>> class ChevalAlternative(Animal):
...     def __init__(self, cheval):
...         self.cheval = cheval
...     def faireDuBruit(self):
...         return self.cheval.hennir()
...     def __getattr__(self, attr):
...         return self.cheval.__getattr__(attr)
...
```

Voici l'adaptateur qui n'hérite de rien et ne fait que de la redirection de méthode, ce qui peut s'écrire en Python uniquement dans la méthode __getattr__ :

```
>>> class CochonAdaptateur:
...     def __init__(self, cochon):
...         self.cochon = cochon
...     def __getattr__(self, attr):
...         if attr == 'faireDuBruit':
...             return self.cochon.grogner
...         return getattr(self.cochon, attr)
...
```

Voici donc l'utilisation successive de ces classes, avec les deux alternatives et les deux adaptateurs (il faut noter leur différence dans le processus d'instanciation) :

```
>>> for animal in [ChienAlternative(), ChatAlternative(),
ChevalAlternative(Cheval()), CochonAdaptateur(Cochon())]:
...     animal.faireDuBruit()
...
Ouaff
Miaou
Hiiii
```

```
Gruik
```

Conséquences

L'adaptateur peut être vu comme un composant permettant, comme son nom l'indique, d'adapter un composant existant à une interface imposée qui diffère. Cependant, au niveau purement technique, il est surtout utile lorsqu'il est utilisé en collaboration avec une fabrique, puisque cette dernière peut alors choisir de quelle manière adapter une classe.

Ainsi, le processus d'adaptation peut s'opérer non pas directement lors de l'instanciation, mais à la demande, lorsque l'on en a besoin.

```
>>> def animal_adapterFactory(context):
...     if isinstance(context, Chien):
...         return ChienAdaptateur(context)
...     elif isinstance(context, Chat):
...         return ChatAdaptateur(context)
...     elif isinstance(context, Cheval):
...         return ChevalAdaptateur(context)
...     elif isinstance(context, Cochon):
...         return CochonAdaptateur(context)
...     else:
...         raise Exception('Adaptateur non trouvé')
...
>>> for animal in [Chien(), Chat(), Cheval(), Cochon()]:
...     animal_adapterFactory(animal).faireDuBruit()
...
Ouaff
Miaou
Hiiii
Gruik
```

Ceci peut également vouloir dire qu'un objet peut être adapté de plusieurs manières à des moments différents, pour répondre à des problématiques différentes.

L'adaptateur n'est donc plus uniquement un motif de conception à utiliser a posteriori. Dès la phase de conception, il peut être prévu de créer des objets au fort sens sémantique et de les adapter en fonction des besoins.

Dernier point, une adaptation ne veut pas forcément dire que chaque méthode à adapter équivaut à une méthode adaptée. Il se peut qu'une adaptation demande un travail plus conséquent.

Pont

Présentation de la problématique

Le pont est un motif de conception ayant pour destination le découplage entre l'interface et son implémentation, ce qui permet de fusionner les fonctionnalités de deux types de classes ayant des hiérarchies orthogonales.

Par exemple, soit trois types de données :

- ville ;
- département ;
- région.

Avec deux possibilités de charger et/ou stocker ces données :

- CSV ;
- Pickle.

Il est alors possible de se baser sur l'un de ces concepts puis de créer une classe pour chaque cas d'utilisation nécessitant l'autre concept.

On a donc six classes :

- csvVilles ;
- csvDepartements ;
- csvRegions ;
- pickleVilles ;
- pickleDepartements ;
- pickleRegions.

Bien évidemment, une partie du code de chaque classe est redondante par rapport à l'un ou l'autre des concepts.

Python propose éventuellement des solutions grâce à l'héritage multiple, permettant de définir trois classes pour gérer la partie données pour les villes, les départements et les régions et deux autres classes pour gérer la partie chargement/enregistrement pour le CSV et le Pickle. Il ne reste plus qu'à créer les six classes héritant chacune des combinaisons des deux concepts.

Cette manière de faire reste simple, très basique, mais pas forcément très lisible ou même évolutive, parce que si l'on rajoute un concept ou une nouvelle classe pour un concept, il faut alors créer toutes les classes nécessaires pour prendre en compte ce changement, ce qui peut être une opération fastidieuse.

La solution consiste donc à utiliser le pont qui, par la syntaxe lors de son utilisation, peut vaguement ressembler à l'adaptateur, mais qui est vraiment différent. Car il ne s'agit pas de pointer une sémantique vers une autre, mais de permettre le découplage de plusieurs notions au sein d'une même classe.

Solution

Voici un exemple avec deux concepts à utiliser et deux notions chacun. Le premier concept concerne la nature de la donnée à charger :

```
>>> import abc
>>> class Loader(metaclass=abc.ABCMeta):
...     @abc.abstractmethod
...     def load(self):
...         return
...
>>> #import csv
... class CSVLoader(Loader):
...     def load(self, filename):
...         print('Fichier CSV')
... #       with open(filename) as f:
... #           return cvs.reader(f.read())
...
>>> #import pickle
... class PickleLoader(Loader):
...     def load(self, filename):
...         print('Fichier Pickle')
... #       with open(filename) as f:
... #           return pickle.load(f)
...
```

Cette première série de classes présente une relation de mère à fille. La classe concrète est l'implémentation abstraite de l'interfaçage entre la donnée stockée sous forme persistante et celle sous forme d'objet manipulable. Les deux objets sont les dérivées concrètes.

La seconde série de classes sont les ponts, puisqu'ils permettent de traiter les données en faisant abstraction de leur provenance, mais en y appliquant la même transformation :

```
>>> class Transformer(metaclass=abc.ABCMeta):
...     @abc.abstractmethod
...     def transform(self):
...         return
...
```

La méthode loadDatas est donc une méthode dépendante de l'implémentation, c'est-à-dire des trois classes Loader, on dit aussi qu'elle est de bas niveau. La méthode est dépendante uniquement de sa classe abstraite, on dit qu'elle est de haut niveau :

```
>>> class UpperTransformer(Transformer):
...     def __init__(self, filename, *args, loader):
...         self.filename = filename
...         self.loader = loader
...     def loadDatas(self):
...         self.content = self.loader.load(self.filename)
...         # Au cas où il y ait des commentaires dans le loader
...         if self.content is None:
...             self.content = [
...                 ['Truc', 'machin'],
...                 ['cHoSe', 'BIBULE']]
...     def transform(self):
```

```
...         for i, l in enumerate(self.content):
...             for j, d in enumerate(l):
...                 self.content[i][j] = d.upper()
...
>>> class LowerTransformer(Transformer):
...     def __init__(self, filename, *args, loader):
...         self.filename = filename
...         self.loader = loader
...     def loadDatas(self):
...         self.content = self.loader.load(self.filename)
...         # Au cas où il y ait des commentaires dans le loader
...         if self.content is None:
...             self.content = [
...                 ['Truc', 'machin'],
...                 ['cHoSe', 'BIBULE']]
...     def transform(self):
...         for i, l in enumerate(self.content):
...             for j, d in enumerate(l):
...                 self.content[i][j] = d.lower()
...
```

Voici comment utiliser un tel pont :

```
>>> test1 = UpperTransformer('test.csv', loader=CSVLoader())
```

Le composant d'implémentation est passé en paramètres.

Il ne reste plus qu'à utiliser les méthodes. Celle de bas niveau :

```
>>> test1.loadDatas()
Fichier CSV
```

Et celle de haut niveau :

```
>>> test1.transform()
```

On peut également voir à quoi ressemblent les données ainsi traitées :

```
>>> test1.content
[['TRUC', 'MACHIN'], ['CHOSE', 'BIDULE']]
```

Voici l'utilisation de ces composants pour un tout autre contexte :

```
>>> test2 = LowerTransformer('test.pkl', loader=PickleLoader())
>>> test2.loadDatas()
Fichier Pickle
>>> test2.transform()
>>> test2.content
[['truc', 'machin'], ['chose', 'bidule']]
```

Conséquences

Étant donné qu'en Python, tout est objet, qu'une classe ou une fonction sont elles-mêmes des objets, il existe des solutions plus simples qui consistent à passer la classe elle-même en paramètre d'une méthode, par exemple. Les choix d'architecture sont relativement nombreux. On préfère ainsi créer des composants autonomes, parfaitement découplés et les tisser entre eux dans un second temps, plutôt que d'en créer un et d'introduire une notion de bas niveau et haut niveau, l'un utilisant l'autre.

Les solutions utilisant l'héritage multiple peuvent être dans certains cas avantageuses, mais ce ne sont pas forcément celles à privilégier.

Composite

Présentation de la problématique

L'objet composite est un motif de conception ayant pour destination la constitution d'un tronc commun à plusieurs objets similaires pour permettre une manipulation générique de ces objets. Il est souvent utilisé pour concevoir une structure arborescente.

Le composant est la classe abstraite de tout composant, le composite est un composant qui peut en contenir d'autres au contraire de la feuille qui est dit terminal.

Solution

La solution, avec Python, est d'utiliser simplement une classe abstraite contenant les méthodes communes et de surcharger ces méthodes dans le composite et dans la feuille.

Ces deux objets seuls permettent de représenter l'arbre.

Voici un composant muni seulement d'une méthode lui permettant de se décrire :

```
>>> import abc
>>> class Composant(metaclass=abc.ABCMeta):
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...     @abc.abstractmethod
...     def verbose(self, level=0):
...         return
...
```

La feuille surcharge la méthode abstraite :

```
>>> class Feuille(Composant):
...     def verbose(self, level=0):
...         return '%sFeuille %s' % ('\t' * level, self.name)
...
```

Le composite aussi, mais il rajoute des comportements supplémentaires :

```
>>> class Composite(Composant):
...     def __init__(self, name):
...         Composant.__init__(self, name)
...         self.contenu = []
...     def add(self, composant):
...         self.contenu.append(composant)
...     def verbose(self, level=0):
...         feuilles = [f.verbose(level+1) for f in self.contenu]
...         feuilles.insert(0, '%sComposite %s' % ('\t' *
level, self.name))
...         return '\n'.join(feuilles)
...
```

Voici la partie cliente, qui utilise notre motif de conception.

On commence par créer deux feuilles :

```
>>> c1 = Feuille('F1')
>>> c2 = Feuille('F2')
```

Puis un composite :

```
>>> c3 = Composite('C1')
```

Auquel il est possible de rajouter des feuilles :

```
>>> c3.add(Feuille('F4'))
>>> c3.add(Feuille('F5'))
>>> c3.add(Feuille('F6'))
```

Il est également possible de créer un composite auquel on ajoute d'autres composites :

```
>>> c4 = Composite('C2')
>>> c41 = Composite('C3')
```

Afin d'aller plus vite, on ajoute directement ces composites via la modification de l'attribut qui les contient :

```
>>> c41.contenu = [Feuille('F7'), Feuille('F8'), Feuille('F9')]
>>> c4.contenu = [Composite('C4'), c41, Feuille('FA')]
```

On peut à chaque stade de la création vérifier ce que répond la méthode de description. Mais il est également possible de tout regrouper sous une même racine :

```
>>> main = Composite('Test')
>>> main.contenu.extend([c1, c2, c3, c4])
```

Ce qui donne :

```
>>> print(main.verbose())
Composite Test
   Feuille F1
   Feuille F2
   Composite C1
     Feuille F4
     Feuille F5
     Feuille F6
   Composite C2
     Composite C4
     Composite C3
        Feuille F7
        Feuille F8
        Feuille F9
     Feuille FA
```

Conséquences

Il est possible d'être plus rigoureux dans l'utilisation des attributs, par exemple, mais il est aussi possible de l'être moins, en n'utilisant pas abc par exemple.

Quoi qu'il en soit, cette façon de faire, plus ou moins formalisée, est en Python quasi naturelle et très simple à mettre en place.

Décorateur

Présentation de la problématique

La destination d'un décorateur est de rajouter dynamiquement des fonctionnalités et de le faire par la composition plutôt que par l'héritage.

Le concept s'exprime mathématiquement par « rond ». Ainsi, l'expression mathématique (décorateur o fonction) (params) peut aussi s'exprimer en informatique par l'expression decorateur(fonction)(params).

Un décorateur est donc une fonction qui transforme une fonction en une autre fonction, voire une fonction qui transforme une classe en une autre classe.

La problématique consiste à gérer la manière de composer les fonctionnalités et elle est non triviale à résoudre pour un langage classique. Mais pas pour Python grâce au fait que tout est objet, y compris les classes et les fonctions.

Les décorateurs sont donc une alternative qui est certes complexe à maîtriser, mais extrêmement séduisante.

Pour cette raison, ils sont devenus un élément essentiel du langage et ont même une syntaxe appropriée pour les appliquer.

Solution

Voici l'exemple le plus simple avec un décorateur identité (il renvoie la fonction qu'il reçoit en paramètre) et un décoré :

```
>>> def decorator(func):
...     return func
...
>>> @decorator
... def decorated(param):
...     pass
...
```

Ceci est fonctionnellement et techniquement équivalent à :

```
>>> def to_decorate(param):
...     pass
...
>>> decorated = decorator(to_decorate)
```

Ainsi, lorsqu'un appel avec la fonction décorée telle que déclarée précédemment est effectué, l'équivalent de ce qui suit :

```
>>> result = decorated(value)
```

N'est absolument pas ceci :

```
>>> result = decorator(to_decorate(value))
```

Mais plutôt :

```
>>> result = decorator(to_decorate)(value)
```

La différence entre les deux est fondamentale et il faut revenir à la définition.

Voici un exemple plus complet où l'on voit à la fois comment passer un paramètre à un décorateur (param) et comment gérer ceux de la fonction originelle (arg) :

```
>>> def decorator(param):
...     def wrapper(func):
...         def wrapped(arg):
...            result = func(arg)
...            return result > param and result or param
...         return wrapped
...     return wrapper
...
```

Pour l'appliquer, il suffit de procéder ainsi :

```
>>> @decorator(20)
... def calcul(arg):
...     return arg
...
```

Ce décorateur fait en sorte de poser une barrière minimale à un calcul, celle-ci étant le paramètre passé au décorateur :

```
>>> calcul(40)
40
>>> calcul(10)
20
```

La décoration d'une fonction est une opération qui modifie en profondeur la fonction, y compris ses métadonnées. Normalement, lorsque l'on a une fonction, on a ceci :

```
>>> def example():
...     """Example docstring"""
...
>>> example.__name__
'example'
>>> example.__doc__
'Example docstring'
```

Voici ce qu'il se passe lorsque l'on décore la fonction :

```
>>> def my_decorator(f):
...     """Decorator docstring"""
...     def wrapper(*args, **kwargs):
...         """Wrapper docstring"""
...         return f(*args, **kwargs)
...     return wrapper
...
```

```
>>> @my_decorator
... def example():
...     """Example docstring"""
...
>>> example.__name__
'wrapper'
>>> example.__doc__
'Wrapper docstring'
```

Voici donc une solution pour que la fonction décorée ressemble à l'originale :

```
>>> def my_decorator(f):
...     """Decorator docstring"""
...     @functools.wraps(f)
...     def wrapper(*args, **kwargs):
...         """Wrapper docstring"""
...         return f(*args, **kwargs)
...     return wrapper
...
>>> @my_decorator
... def example():
...     """Example docstring"""
...
>>> example.__doc__
'Example docstring'
>>> example.__name__
'example'
```

Conséquences

Maîtriser la création de décorateur demande de parfaitement maîtriser le modèle objet de Python et de réaliser ses propres expériences pour cerner vraiment toute l'étendue du concept. Par contre, l'utilisation d'un décorateur est, en Python, la solution privilégiée pour répondre élégamment à énormément de cas d'utilisation car il est extrêmement efficace. Il est d'ailleurs utilisé pour des fonctionnalités aussi importantes que la transformation de méthodes pour les rendre statiques ou de classe.

Dans cet ouvrage, plusieurs décorateurs sont écrits pour répondre à des problématiques et de nombreux autres sont appliqués dans des exemples portant sur tous les sujets.

Façade

Présentation de la problématique

La destination du motif de conception façade est de masquer la complexité d'un système en offrant un objet simple permettant de répondre aux problématiques nécessaires à la majorité des utilisateurs.

La façade réalise en quelque sorte l'interface entre le programme principal et un module très complexe, par exemple. Ses fonctionnalités peuvent croiser celles de plusieurs composants pour les réunir dans la même façade.

Solution

Pour commencer, il faut créer quelques classes qui interagissent entre elles pour répondre à une fonctionnalité. De plus, on complexifie un peu les choses de manière à mieux apprécier notre façade :

```
>>> class Word:
...     def hello(self):
...         return 'Hello, I\'m'
...     def goodbye(self):
...         return 'GoodBye, I\'m'
...
>>> class Speaker:
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...     @classmethod
...     def say(cls, what, to):
...         word = Word()
...         methode = getattr(word, what)
...         if methode is None:
...             return ''
...         return ' '.join([methode(), to])
...     def speak(self, what):
...         return Speaker.say(what, self.name)
...     def who(self):
...         return self.name
...
>>> class Dialog:
...     def __init__(self, speaker1, speaker2):
...         self.speaker1 = Speaker(speaker1)
...         self.speaker2 = Speaker(speaker2)
...         self.sentences = []
...     def __call__(self):
...         sentences = []
...         sentences.append(self.speaker1.speak('hello'))
...         sentences.append(self.speaker2.speak('hello'))
...         sentences.extend(self.sentences)
...         sentences.append(self.speaker1.speak('goodbye'))
...         sentences.append(self.speaker2.speak('goodbye'))
...         return '\n'.join(['- %s' % s for s in sentences])
```

```
...
```

On a donc trois classes et l'on veut proposer une interface simple à un développeur qui utiliserait nos classes, les deux fonctionnalités essentielles étant « faire dire quelque chose à quelqu'un », puis pour « initier un dialogue » :

Voici donc une façade appropriée :

```
>>> class Facade:
...     @classmethod
...     def say(cls, what, to):
...         print(Speaker.say(what, to))
...     def dialog(self, speaker1, speaker2, sentences):
...         dialog = Dialog(speaker1, speaker2)
...         dialog.sentences = sentences
...         print(dialog())
...
```

La façade respecte les classes qu'elle utilise, et propose deux méthodes aux signatures simples. La première n'est qu'une redirection vers une méthode d'une autre classe, la seconde prend à sa charge du travail supplémentaire afin que ce ne soit pas l'utilisateur qui ait à le faire.

Voici comment utiliser la première.

```
>>> Facade.say('hello', 'World')
Hello, I'm World
```

Voici comment utiliser la seconde :

```
>>> facade = Facade()
>>> facade.dialog('Plic', 'Ploc', ['Nice factory', 'It works!'])
- Hello, I'm Plic
- Hello, I'm Ploc
- Nice factory
- It works!
- GoodBye, I'm Plic
- GoodBye, I'm Ploc
```

Conséquences

La façade est un des motifs de conceptions les plus utilisés. Beaucoup de modules Python disposent de sous-modules, de classes complexes, de fonctions complexes, toutes préfixées par un caractère souligné pour montrer que ceux-ci sont de la mécanique interne et ne doivent pas être utilisés directement.

Le nom est représentatif de ce que voit celui qui l'utilise, mais il n'a pas besoin d'aller au-delà de la façade à part s'il a besoin d'une fonctionnalité non présente parmi celles mises en façade.

Poids-mouche

Présentation de la problématique

La problématique est liée au fait que le coût d'une instanciation (création d'une instance à partir d'une classe) est relativement élevé et que très souvent, est pratiquée la politique du tout objet qui veut que l'on crée une instance pour tous les besoins ou presque.

Ce motif de conception vise donc à remplacer le fait de créer des instances par une utilisation de méthodes plus génériques permettant de travailler sur des paramètres plutôt que sur des attributs d'instance.

Solution

Voici une classe simple, petite, dont on a potentiellement beaucoup d'instances :

```
>>> class A:
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...     def sayHello(self):
...         return 'Hello %s' % self.name
...
```

Voici une autre classe qui est plus générale et dont il n'est pas besoin d'avoir beaucoup d'instances (en l'occurrence, une seule suffit) :

```
>>> class B:
...     def sayHello(self, name):
...         return 'Hello %s' % name
...
```

Dans ce genre de cas spécifique, il est également possible de rendre ce genre de méthode plus cohérente, puisque si celle-ci n'est pas directement en rapport avec l'instance, il faut la rattacher à la classe :

```
>>> class C:
...     @classmethod
...     def sayHello(cls, name):
...         return 'Hello %s' % name
...
```

Et si elle n'est pas en rapport avec la classe non plus, il ne faut pas hésiter à en faire une méthode statique :

```
>>> class D:
...     @staticmethod
...     def sayHello(name):
...         return 'Hello %s' % name
...
```

Le critère déterminant pour savoir ce que l'on fait de la méthode à ce niveau est de déterminer quelle est sa sémantique.

```
>>> a = A('World')
>>> a.sayHello()
          'Hello World'
          >>> b = B()
          >>> b.sayHello('World')
          'Hello World'
          >>> C.sayHello('World')
          'Hello World'
          >>> D.sayHello('World')
          'Hello World'
```

Conséquences

La sémantique fait que la notion qui était portée par un attribut, donc quelque part par l'instance, est maintenant dissociée, puisque portée par un paramètre.

Il faut donc évaluer la perte de sémantique éventuelle par rapport à l'économie réalisée au niveau des performances. Mais, a contrario, cela peut être explicitement utilisé pour gérer à part une sémantique qui n'est clairement pas rattachée à l'objet.

Proxy

Présentation de la problématique

Le motif de conception proxy ou délégation est une classe se substituant à une autre en présentant exactement les mêmes caractéristiques externes qu'elle ou seulement une partie et redirigeant ses méthodes vers elle où modifiant le résultat.

Solution

La solution pour créer un proxy identité est :

```
>>> class IdentityProxy:
...     def __init__(self, context):
...         self.context = context
...     def __getattr__(self, name):
...         return getattr(self.context, name)
...
```

Ce proxy peut être utilisé pour projeter un point de l'espace sur le plan horizontal. Voici le point :

```
>>> class Point:
...     def __init__(self, x, y ,z):
...         self._x, self._y, self._z = x, y, z
...     def x(self):
...         return str(self._x)
...     def y(self):
...         return str(self._y)
...     def z(self):
...         return str(self._z)
...
```

Voici la projection (héritant du proxy, le contexte est alors le point de l'espace) :

```
>>> class Projection(IdentityProxy):
...     def z(self):
...         return '0'
...
```

Voici une fonction pour visualiser le résultat sous forme de 3-uplets :

```
>>> def formatter(point):
...     return '(%s)' % ', '.join([point.x(), point.y(),
point.z()])
...
```

Et voilà comment construire nos points :

```
>>> point = Point(1, 2, 3)
>>> projection = Projection(point)
>>>
```

Et les afficher :

```
>>> print(formatter(point))
(1, 2, 3)
>>> print(formatter(projection))
(1, 2, 0)
```

Au-delà de ce contexte générique, il est possible de créer un proxy sur mesure pour ne présenter que la ou les méthode(s) que l'on veut offrir, en supprimant les autres. Pour cela, il y a plusieurs moyens, le plus simple étant celui qui suit.

En premier lieu, la classe de base :

```
>>> class A:
...     def m1(self):
...         pass
...     def m2(self):
...         pass
...     def m3(self):
...         pass
...
```

Puis le proxy, qui définit lui-même son contexte et qui opère la redirection de méthodes vers le contexte :

```
>>> class ProxyDeA:
...     def __init__(self):
...         self.context = A()
...     def m1(self):
...         return self.context.m1(self)
...     def m3(self):
...         return self.context.m3(self)
...
```

Voici les différences entre les deux :

```
>>> a1 = A()
>>> 'm1' in dir(a1), 'm2' in dir(a1)
(True, True)
>>> a2 = ProxyDeA()
>>> 'm1' in dir(a2), 'm2' in dir(a2)
(True, False)
```

Voici une classe proxy plus générique :

```
>>> class ProxySelectif:
...     redirected = ['m1', 'm3']
...     def __init__(self, context):
...         self.context = context
...     def __getattr__(self, name):
...         if name in self.redirected:
...             return getattr(self.context, name)
...
```

Les méthodes redirigées ne sont pas visibles par dir, mais bien présentes :

```
>>> a3 = ProxySelectif(A())
>>> 'm1' in dir(a3), 'm2' in dir(a3)
(False, False)
>>> a3.m1, a3.m2
(<bound method A.m1 of <__main__.A object at 0x1eaa090>>, None)
```

Conséquences

Le proxy est très simple à réaliser et il permet de simplifier l'apparence d'un objet. Au contraire, il est possible de concevoir des objets très complexes permettant de gérer plusieurs cas d'utilisation, puis d'en faire un proxy par cas d'utilisation.

9

Motifs de comportement

Chaîne de responsabilité

Présentation de la problématique

Le motif de conception nommé chaîne de responsabilité permet de créer une chaîne entre différents composants qui traitent une donnée. Ainsi chaque composant reçoit une donnée, la traite s'il le peut, et la transmet au composant suivant dans la chaîne, le tout sans se préoccuper de savoir si le message va intéresser son successeur ou pas.

Solution

Voici un composant autonome qui gère le traitement ou non d'une donnée en fonction de conditions qui lui sont passées à l'initialisation :

```
>>> class Composant:
...     def __init__(self, name, conditions):
...         self.name = name
...         self.conditions = conditions
...         self.next = None
...     def setNext(self, next):
...         self.next = next
...     def traitement(self, condition, message):
...         if condition in self.conditions:
...             print('Traitement du message %s par %s' %
(message, self.name))
...         if self.next is not None:
...             self.next.traitement(condition, message)
...
```

Voici comment créer trois composants :

```
>>> c0 = Composant('c0', [1, 2])
>>> c1 = Composant('c1', [1])
>>> c2 = Composant('c2', [2])
```

Comment créer la chaîne de dépendance :

```
>>> c0.setNext(c1)
>>> c1.setNext(c2)
```

Et le résultat lorsque l'on donne une condition et un message :

```
>>> c0.traitement(1, 'Test 1')
Traitement du message Test 1 par c0
Traitement du message Test 1 par c1
>>> c0.traitement(2, 'Test 2')
Traitement du message Test 2 par c0
Traitement du message Test 2 par c2
```

Conséquences

Cette méthodologie est un moyen simple de créer un découplage entre fonctionnalités séquentiellement exécutées.

2. Commande

Présentation de la problématique

Le modèle objet présente des facilités pour produire des objets qui chacun portent les méthodes permettant de se gérer. C'est ce que l'on réalise pour concevoir un modèle de données, par exemple.

Or, le fonctionnement des IHM n'est pas spécifiquement conçu pour utiliser directement les méthodes de ces objets. Une des techniques utilisées est la création de commandes indépendantes qui ont une action sur un objet.

La commande peut éventuellement être complexe et réaliser plusieurs actions, mais l'intérêt est qu'au niveau de l'IHM, on se contente de lancer la commande sans plus de détails. La commande communique donc à un ou plusieurs objets les actions à effectuer et communique les paramètres nécessaires.

Le traitement de plusieurs commandes peut être dévolu à un objet particulier qui a éventuellement la main sur les commandes et peut les modifier si besoin.

Ceci est un moyen de faire abstraction d'un modèle objet de manière à n'avoir qu'à traiter avec des fonctions ou à la limite assimilables à des fonctions.

Solution

Voici un exemple avec un mobile autonome qui dispose des méthodes pour se gérer lui-même :

```
>>> class Mobile:
...     def deplacerGauche(self):
...         print('Le mobile se déplace à gauche')
...     def deplacerDroite(self):
...         print('Le mobile se déplace à droite')
...
```

Voici une commande abstraite et les implémentations pour chacune des méthodes :

```
>>> import abc
>>> class Commande(metaclass=abc.ABCMeta):
...     @abc.abstractmethod
...     def executer(self):
...         return
...
>>> class GaucheCommande(Commande):
...     def __init__(self, mobile):
...         self.mobile = mobile
...     def executer(self):
...         self.mobile.deplacerGauche()
...
>>> class DroiteCommande(Commande):
...     def __init__(self, mobile):
...         self.mobile = mobile
...     def executer(self):
```

```
...         self.mobile.deplacerDroite()
...
```

Voici maintenant le pilote qui, en fonction des ordres reçus, crée les commandes nécessaires :

```
>>> class Pilote:
...     def __init__(self, cG, cD):
...         self.commandeGauche = cG
...         self.commandeDroite = cD
...     def ordreGauche(self):
...         self.commandeGauche.executer()
...     def ordreDroite(self):
...         self.commandeDroite.executer()
...
```

Rien n'empêche, à ce niveau, d'avoir d'autres méthodes permettant de modifier les commandes, voire de les remplacer.

Voici comment créer le mobile :

```
>>> mobile = Mobile()
```

Comment créer les commandes associées :

```
>>> commande_gauche = GaucheCommande(mobile)
>>> commande_droite = DroiteCommande(mobile)
```

Et le pilote qui reçoit chaque commande en commentaire :

```
>>> pilote = Pilote(commande_gauche, commande_droite)
```

Voici maintenant comment le pilote fonctionne et le résultat :

```
>>> pilote.ordreGauche()
Le mobile se déplace à gauche
>>> pilote.ordreDroite()
Le mobile se déplace à droite
```

Conséquences

Une fois que le modèle objet a été conçu pour obtenir des objets conformes au paradigme, ces commandes sont un moyen de créer un canal direct entre une demande de l'utilisateur, réalisée à travers une IHM, par exemple et une action à réaliser sur ces objets.

En pratique, il est assez peu utilisé, sauf cas particulier.

3. Itérateur

Présentation de la problématique

Un itérateur est un motif de conception qui offre un moyen efficace permettant de parcourir un objet présentant un contenu, que celui-ci soit une séquence, un dictionnaire, un arbre ou autre.

Il peut éventuellement être nommé curseur, car il est vu comme un pointeur vers l'élément courant du contenant.

En Python, ce motif de conception est également un type d'objet particulier et suit certaines règles.

Solution

La clé pour réussir un bon itérateur est de parvenir à développer une méthodologie pour trouver l'élément suivant quelle que soit la complexité de la structure de données. Le second point est de le réaliser avec une performance acceptable.

Pour cet exemple, nous reprenons ce qui a été fait pour le motif de conception composite et rajoutons ce qu'il faut pour lui adjoindre un itérateur.

Concevoir un itérateur qui n'ait aucun impact sur l'objet qui lui est associé est idéal, mais ce n'est pas toujours possible. Dans cet exemple, la solution est trop complexe. Voici donc une solution a minima, non élégante, mais qui répond au besoin :

```
>>> class Iterateur:
...     def __init__(self, context):
...         self.context = context.childs()
...     def __iter__(self):
...         return self
...     def __next__(self):
...         if len(self.context) == 0:
...             raise StopIteration
...         return self.context.pop(0)
...
>>> class Composant(metaclass=abc.ABCMeta):
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...     @abc.abstractmethod
...     def verbose(self, level=0):
...         return
...     def __iter__(self):
...         return Iterateur(self)
...
>>> class Feuille(Composant):
...     def verbose(self, level=0):
...         return '%sFeuille %s' % ('\t' * level, self.name)
...     def childs(self):
...         return [self]
...
>>> class Composite(Composant):
```

```
...     def __init__(self, name):
...         Composant.__init__(self, name)
...         self.contenu = []
...     def add(self, composant):
...         self.contenu.append(composant)
...     def verbose(self, level=0):
...         feuilles = [f.verbose(level+1) for f in self.contenu]
...         feuilles.insert(0,
...                 '%sComposite %s' % ('\t' *  level, self.name))
...         return '\n'.join(feuilles)
...     def childs(self):
...         result = [self]
...         for f in self.contenu:
...             result.extend(f.childs())
...         return result
...
```

L'itération a en réalité lieu sur une liste d'enfants, celle-ci étant construite par le composite lui-même. À noter que l'on rajoute aussi la méthode pour relier l'objet conteneur à l'itérateur.

On recrée l'arbre :

```
>>> c1 = Feuille('F1')
>>> c2 = Feuille('F2')
>>> c3 = Composite('C1')
>>> c3.add(Feuille('F4'))
>>> c3.add(Feuille('F5'))
>>> c3.add(Feuille('F6'))
>>> c4 = Composite('C2')
>>> c41 = Composite('C3')
>>> c41.contenu = [Feuille('F7'), Feuille('F8'), Feuille('F9')]
>>> c4.contenu = [Composite('C4'), c41, Feuille('FA')]
>>> main = Composite('Test')
>>> main.contenu.extend([c1, c2, c3, c4])
```

Il ne reste plus qu'à tester l'itérateur :

```
>>> for a in main:
...     print(a.name)
...
Test
F1
F2
C1
F4
F5
F6
C2
C4
C3
F7
F8
F9
FA
```

Conséquences

Les itérateurs sont devenus pour Python (et encore plus dans la branche 3.x) une arme essentielle et sont utilisés abondamment.

Cette astuce sur l'utilisation des méthodes spaciales __iter__ dans le contenu comme dans le conteneur permet d'assurer une syntaxe très minimaliste lors de l'utilisation d'un itérateur, puisqu'on l'utilise naturellement, sans même s'en rendre compte.

Il est bien entendu que les itérateurs sont, pour les types de Python, particulièrement travaillés et très performants.

On a vu dans le chapitre Types de données et algorithmes appliqués que tout objet permettant de travailler sur les éléments d'une liste, d'un n-uplet, d'un ensemble, des clés, valeurs ou items d'un dictionnaire utilisent les itérateurs de manière systématique, ceux-ci étant bien entendu aisément transformables en un autre type de donnée (liste, par exemple).

4. Mémento

Présentation de la problématique

Il s'agit de permettre à un objet de garder à disposition une représentation d'un état précédent et d'être capable d'y revenir.

Ceci est utilisé par exemple par une fonctionnalité de « annuler » ou « Undo ».

Solution

Le modèle de Python permet de ne pas laisser des objets qui sont utilisés dans un seul contexte dans le flux global. Le mieux est alors de créer la classe Memento directement au moment où l'on s'en sert, ce qui est utile lorsque l'on utilise que peu d'instances de notre objet.

```
>>> class Current:
...     def __init__(self, state):
...         class Memento:
...             state = None
...         self.state = state
...         self.memento = Memento()
...     def setState(self, state):
...         self.memento.state, self.state = self.state, state
...     def resetState(self):
...         state = self.memento.state
...         if state is None:
...             print("Il n'est pas possible d'aller en arrière")
...             self.memento.state, self.state = None,
self.memento.state
...
```

Voici comment initialiser notre objet, et l'utiliser afin de voir l'état changer au fur et à mesure des instructions :

```
>>> c = Current('1')
>>> print(c.state)
1
>>> c.setState('2')
>>> print(c.state)
2
>>> c.resetState()
>>> print(c.state)
1
>>> c.setState('3')
>>> print(c.state)
3
>>> c.resetState()
>>> print(c.state)
1
>>> c.resetState()
Il n'est pas possible d'aller en arrière
```

Conséquences

Ce motif n’est utilisé que dans des cas très particuliers.

5. Visiteur

Présentation de la problématique

La problématique consiste à détacher la fonctionnalité de ce sur quoi elle s'applique ou dit autrement, l'algorithme du type de données.

Pour cela, on a d'un côté des types de données qui sont capables de se décrire et contiennent les méthodes pour se gérer, et de l'autre, on a des visiteurs qui proposent une fonctionnalité et autant de méthodes que nécessaire pour gérer le même traitement pour chaque type de données.

Solution

Voici un visiteur qui se contente d'effectuer un affichage lorsqu'il est sollicité :

```
>>> class Visiteur1:
...     def visiterCarre(self, carre):
...         print('Visite du carré')
...     def visiterCercle(self, cercle):
...         print('Visite du cercle')
...
```

En voici un autre qui va chercher une donnée dans l'objet qui les contient :

```
>>> class Visiteur2:
...     def visiterCarre(self, carre):
...         print(carre.mesure)
...     def visiterCercle(self, cercle):
...         print(cercle.mesure)
...
```

Voici les types de données utilisés :

```
>>> class Carre:
...     mesure = 'longueur du côté'
...     def accept(self, visiteur):
...         visiteur.visiterCarre(self)
...
>>> class Cercle:
...     mesure = 'rayon'
...     def accept(self, visiteur):
...         visiteur.visiterCercle(self)
...
```

Comme on le voit, la clé c'est que le visiteur passe de paramètre à objet dont on appelle une méthode alors que le visité passe d'objet appelé à paramètre.

```
>>> Carre().accept(Visiteur1())
Visite du carré
>>> Cercle().accept(Visiteur2())
rayon
```

Conséquences

Le visiteur est en Python assez peu utilisé, car il oblige à être trop verbeux et que la nature de l'objet selon Python implique que le décorateur lui est préférable.

6. Observateur

Présentation de la problématique

Ce motif de conception est utilisé lorsque des signaux doivent être échangés entre un composant et un autre et qu'il y a une relation de dépendance de l'un à l'autre, c'est-à-dire que c'est un des deux composants qui attend que l'autre le sollicite.

Ainsi, l'observable enregistre la liste de ses observateurs, c'est-à-dire des composants qui sont à l'écoute de lui et va pouvoir subir des modifications. Lorsque celles-ci sont réalisées, elles doivent se terminer par l'appel de la méthode de notification qui seule se charge de demander à tous les observateurs de se mettre à jour.

Elle peut juste demander de se mettre à jour et les observateurs sauront quoi faire pour aller chercher les données, elle peut transmettre directement les données, ou elle peut envoyer un événement qui va les contenir ou donner les informations pour les récupérer.

Solution

Voici une solution minimaliste et fonctionnelle :

```
>>> class Observable:
...     def __init__(self):
...         self.observers = set()
...     def addObserver(self, observer):
...         self.observers.add(observer)
...     def removeObserver(self, observer):
...         self.observers.remove(observer)
...     def notify(self, datas):
...         for o in self.observers:
...             o.update(datas)
...
>>> class Observer:
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...         self.listeners = []
...     def update(self, datas):
...         print('Mise à jour de %s avec %s' % (self.name, datas))
...
>>> observable = Observable()
>>> observer1 = Observer('Observer 1')
>>> observable.addObserver(observer1)
>>> observer2 = Observer('Observer 2')
>>> observable.addObserver(observer2)
>>>
>>> observable.notify('des données')
Mise à jour de Observer 2 avec des données
Mise à jour de Observer 1 avec des données
```

Conséquences

Le motif est simple sur les principes de base, mais il peut très rapidement se complexifier, à commencer par le fait de rajouter une hiérarchie à ces classes.

7. Stratégie

Présentation de la problématique

Le motif de conception stratégie vise à permettre de sélectionner un algorithme à utiliser et de faire en sorte que cet algorithme soit interchangeable, potentiellement à la volée, comme devrait l'être un changement de stratégie pendant une opération.

Le modèle objet particulièrement permissif de Python permet de faire cela très simplement et la problématique principale étant résolue sans efforts, le sujet central porte sur la manière de procéder à ce changement de stratégie, vu les choix multiples.

Solution

Commençons par écrire deux stratégies distinctes :

```
>>> strategy1 = lambda x: x.lower()
>>> strategy2 = lambda x: x.upper()
```

Puis par écrire un composant utilisant le motif de conception :

```
>>> class StrategyManager:
...     def bind(self, func):
...         self.execute = func
...
```

Voici comment ce dernier s'utilise :

```
>>> manager = StrategyManager()
>>> manager.bind(strategy1)
>>> manager.execute('Donnée')
'donnée'
>>> manager.bind(strategy2)
>>> manager.execute('Donnée')
'DONNÉE'
```

On est donc capable d'appliquer différentes fonctionnalités à une donnée tout en gardant un même objet et en utilisant une même fonction.

Idéalement, la fonctionnalité est utilisée dans une boucle ou à la demande et le changement de stratégie s'opère par un événement particulier.

Conséquences

Ce motif de conception bénéficie grandement de la simplicité du modèle objet de Python et du fait qu'un algorithme puisse être écrit très simplement.

On peut combiner ce motif de conception avec celui de la commande pour créer une boucle infinie qui lance une commande à intervalles réguliers et un manager qui change la nature de la commande en fonction de paramètre tierce.

Le mobile bouge donc tout le temps, mais son mouvement est affecté par tous les changements de stratégie.

Ceci peut servir de base pour le développement de jeux vidéos, par exemple.

8. Fonction de rappel

Présentation de la problématique

Le principe de fonctionnement de la fonction de rappel est d'être passée en argument d'une autre fonction pour que cette dernière en fasse usage dans certaines conditions.

Derrière ce principe très simple se cachent deux utilisations courantes. La première consiste à se passer soi-même pour que la fonction que l'on utilise nous rende la main d'une manière ou d'une autre. L'autre utilisation consiste à réaliser une première action, laisser la fonction appelée réaliser une seconde action et déclencher une troisième action par l'exécution de la fonction de rappel sans que les actions aient forcément de corrélation entre elles.

Solution

La solution est assez triviale en ce qui concerne la mise en place de la fonction de rappel. À noter qu'il est préféré un paramètre nommé :

```
>>> def callback():
...     print('Fonction de rappel')
...
>>> def do(value, *args, callback):
...     print('Action')
...     if value > 0:
...         callback()
...
```

Ainsi, la fonction de rappel peut être ou ne pas être appelée :

```
>>> do(0, callback=callback)
Action
>>> do(1, callback=callback)
Action
Fonction de rappel
```

La partie complexe n'est pas tant la mise en place de cette fonction que la manière dont les données qu'elles partagent vont être utilisées en son sein.

```
>>> class A:
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...     def do(self, *args, callback):
...         callback(self.name)
...
>>> class B:
...     def print(self, name):
...         print(name)
...
>>> a = A('Test')
>>> a.do(callback=B().print)
Test
```

Conséquences

Cette fonctionnalité est utilisée pour les IHM et est simple à mettre en œuvre.

ZCA

1. Rappels

La ZCA est la Zope Component Architecture et est un ensemble de bibliothèques indépendantes qui permettent de créer une architecture entre composants.

Il est présenté, dans le chapitre Modèle objet, la manière de créer une interface et un objet, mais également le moyen d'installer ces bibliothèques externes et il est précisé qu'au moment de l'écriture de cet ouvrage, le passage vers la branche 3.x n'était pas encore finalisé, d'où le fait que ce qui suit est à reproduire dans une console de Python 2.x.

2. Adaptateur

Déclaration

Voici, déclarés conformément aux usages de la ZCA, deux interfaces et deux objets :

```
>>> from zope.interface import Interface
>>> from zope.interface import Attribute
>>> from zope.interface import implements
>>> class Ichien(Interface):
...     nom = Attribute("""Nom du chien""")
...     def aboyer(filename)
...         """Méthode permettant de le faire aboyer"""
...
>>> class Chien(object):
...     implements(IChien)
...     nom = u''
...     def __init__(self, nom):
...         self.nom = nom
...     def aboyer(self):
...         """Méthode permettant de le faire aboyer"""
...         print('Ouaff')
...
>>> class Ichat(Interface):
...     nom = Attribute("""Nom du chat""")
...     def miauler(filename):
...         """Méthode permettant de le faire miauler"""
...
>>> class Chat(object):
...     implements(IChat)
...     nom = u''
...     def __init__(self, nom):
...         self.nom = nom
...     def miauler(self):
...         """Méthode permettant de le faire miauler"""
...         print('Miaou')
...
```

L'idée de cet exemple est d'adapter ces deux objets au sein d'une seule et même classe dont on va commencer par créer une interface. Cette adaptation est simplement réalisée par l'utilisation de la fonction adapts.

Voici ce composant :

```
>>> from zope.component import adapts
>>> class Ianimal(Interface):
...     def exprimer(self):
...         """Methode permettant à un animal de s'exprimer"""
...
>>> class Animal(object):
...     implements(IAnimal)
...     adapts(Chien, Chat)
...     def __init__(self, animal):
...         self.animal = animal
...     def exprimer(self):
...         """Methode permettant à un animal de s'exprimer"""
...         if isinstance(self.animal, Chien):
...             self.animal.aboyer()
...         elif isinstance(self.animal, Chat):
...             self.animal.miauler()
...         else:
...             raise Exception("Cet animal ne sait pas
s'exprimer")
...
```

Utilisation

À partir de maintenant, lorsque l'on a un chien et un chat, il est possible de les utiliser via l'adaptateur :

```
>>> bambou = Chien('Bambou')
>>> Animal(bambou).exprimer()
Ouaff
```

Le principe de l'adaptation est très utilisé dans la ZCA et c'est un des motifs de conception les plus fréquents. Pour se faire une idée de tous les cas possibles de son utilisation, il est important de multiplier les sources de documentation, l'exemple présenté ici n'ayant qu'une valeur théorique, mais étant dégagé de toute notion liée à son utilisation dans Zope.

La ZCA propose beaucoup d'autres outils utilisant ces adaptateurs dans différents contextes.

3. Utilitaire

Déclaration

Le principe de l'utilitaire est assez simple, puisqu'il s'agit d'un composant fournissant une fonctionnalité qui est indépendante. On crée alors une classe qui a les méthodes nécessaires, une seule instance de cette classe et c'est cette instance qui va être utilisée par les composants ayant besoin des services offerts par l'utilitaire.

Là encore, au-delà de cet aspect, ce que la ZCA propose, c'est une méthodologie qui repose sur l'interface. On cherche un utilitaire qui va pouvoir être capable de fournir un service identifié par cette interface. Derrière cela, il y a également beaucoup d'autres fonctionnalités, à commencer par le fait de pouvoir enregistrer les utilitaires et les appeler depuis une autre portion de code.

On déclare donc l'interface, la classe et l'instance :

```
>>> from zope.interface import Interface
>>> from zope.interface import implements
>>> class IidGenerator(Interface):
...     def get(self):
...         """Fournit un id unique"""
...     def getIdFor(self, category):
...         """Fournit un id unique pour chaque catégorie"""
...
>>> class IdGenerator(object):
...     implements(IIdGenerator)
...     def __init__(self):
...         self.id = 0
...         self.ids = {}
...     def get(self):
...         """Fournit un id unique"""
...         self.id += 1
...         return self.id
...     def getIdFor(self, category):
...         """Fournit un id unique pour chaque catégorie"""
...         if category not in self.ids.keys():
...             self.ids[category] = 0
...         self.ids[category] += 1
...         return self.ids[category]
...
>>> id_generator = IdGenerator()
```

Utilisation

Voici comment utiliser cet objet :

```
>>> id_generator.get()
1
>>> id_generator.get()
2
>>> id_generator.getIdFor('moi')
1
>>> id_generator.getIdFor('moi')
2
>>> id_generator.getIdFor('toi')
1
>>> id_generator.getIdFor('moi')
3
```

La ZCA offre donc des outils supplémentaires pour retrouver cette instance à partir de son interface en demandant quelle instance fournit l'interface.

4. Fabrique

Déclaration

On a vu ce qu'était la notion de fabrique et comment mettre en œuvre ce motif de conception simplement avec Python. La ZCA l'utilise abondamment et en conséquence, il a fait l'objet de beaucoup d'attention pour permettre une utilisation facile et très efficace. Une fabrique est un utilitaire qui implémente l'interface IFactory et il est proposé un objet générique Factory.

Voici un exemple simple qui reprend ce que l'on a déjà vu :

```
>>> from zope.interface import Interface
>>> from zope.interface import Attribute
>>> from zope.interface import implements
>>> class Ichien(Interface):
...     nom = Attribute("""Nom du chien""")
...     def aboyer(filename):
...         """Méthode permettant de le faire aboyer"""
...
>>> class Chien(object):
...     implements(IChien)
...     nom = u''
...     def __init__(self, nom):
...         self.nom = nom
...     def aboyer(self):
...         """Méthode permettant de le faire aboyer"""
...         print('Ouaff')
...
```

Voici comment créer un motif de conception fabrique :

```
>>> from zope.component.factory import Factory
>>> factory = Factory(Chien, 'Chien')
```

Utilisation

À partir de là, la fabrique est utilisable.

```
>>> bambou = factory('Bambou')
```

L'élément important, c'est la forte intégration de ce motif dans la ZCA qui peut être utilisée conjointement avec une autre fonctionnalité createObject de manière à créer des objets dans des endroits du code séparés de là où la fabrique est créée.

10

Les outils indispensables

Les tableaux numériques

Ce type ne fait pas partie du langage python standard mais il est couramment utilisé. Il permet de convertir des listes en une structure plus appropriée au calcul qui sont nettement plus rapides. En contrepartie, il n'est pas aussi rapide d'ajouter ou supprimer des éléments.

Le type de base dans « **NumPy** » est le tableau unidimensionnel ou multidimensionnel composé d'éléments de même type, et est indexé par un **« tuple »** d'entiers non négatifs. La classe correspondante est **« ndarray »**, à ne pas confondre avec la classe Python **« array.array »** qui gère seulement des tableaux unidimensionnels et présente des fonctionnalités comparativement limitées.

ndarray.ndim	dimension du tableau (nombre d'axes)
ndarray.shape	tuple d'entiers indiquant la taille dans chaque dimension ; une matrice à n lignes et m colonnes : (n,m)
ndarray.size	nombre total d'éléments du tableau
ndarray.dtype	type de (tous) les éléments du tableau ; il est possible d'utiliser les types prédéfinis comme numpy.int64 ou numpy.float64 ou définir de nouveaux types
ndarray.data	les données du tableau ; en général, pour accéder aux données d'un tableau on passe plutôt par les indices

L'emploi de raccourcis **« np »** plutôt que **« numpy »** permet de faciliter l'écriture des appels des fonctions de la librairie.

```
>>> import numpy as np
>>> a = np.array([1, 2, 3])
>>> print(type(a))
<class 'numpy.ndarray'>
>>> print(a.shape)
(3,)
>>> print(a[0], a[1], a[2])
1 2 3
>>> a[0] = 5
>>> print(a)
[5 2 3]
>>> b = np.array([[1,2,3],[4,5,6]])
>>> print(b.shape)
(2, 3)
>>> print(b[0, 0], b[0, 1], b[1, 0])
1 2 4
```

La libraire **« numpy »** fournit également de nombreuses fonctions pour créer des tableaux :

```
>>> import numpy as np
>>> a = np.zeros((2,2))
>>> print(a)
[[ 0.  0.]
 [ 0.  0.]]
>>> b = np.ones((1,2))
>>> print(b)
[[ 1.  1.]]
```

```
>>> c = np.full((2,2), 7)
>>> print(c)
[[ 7.  7.]
 [ 7.  7.]]
>>> d = np.eye(2)
>>> print(d)
[[ 1.  0.]
 [ 0.  1.]]
>>> e = np.random.random((2,2))
>>> print(e)
[[ 0.72843251  0.10508965]
 [ 0.84919262  0.75706259]]
```

Vous pouvez également mélanger l'indexation des entiers avec l'indexation des tranches. Cependant, cela produira un tableau de rang inférieur à celui du tableau original.

```
>>> import numpy as np
>>> a = np.array([[1,2,3,4], [5,6,7,8], [9,10,11,12]])
>>> row_r1 = a[1, :]
>>> row_r2 = a[1:2, :]
>>> print(row_r1, row_r1.shape)
[5 6 7 8] (4,)
>>> print(row_r2, row_r2.shape)
[[5 6 7 8]] (1, 4)
>>> col_r1 = a[:, 1]
>>> col_r2 = a[:, 1:2]
>>> print(col_r1, col_r1.shape)
[ 2  6 10] (3,)
>>> print(col_r2, col_r2.shape)
[[ 2]
 [ 6]
 [10]] (3, 1)

>>> a.ndim
2
>>> a.shape
(3, 4)
>>> a.size
12
>>> a.dtype
dtype('int32')
```

La création de tableaux

De nombreuses méthodes de création de tableaux sont disponibles. D'abord, un tableau peut être créé à partir d'une **« liste »** ou d'un **« tuple »**, à condition que tous les éléments soient de même type, le type des éléments du tableau est déduit du type des éléments de la **« liste »** ou **« tuple »**.

```
>>> import numpy as np
>>> ti = np.array([1, 2, 3, 4])
>>> ti
array([1, 2, 3, 4])
>>> ti.dtype
dtype('int32')
>>> tf = np.array([1.5, 2.5, 3.5, 4.5])
>>> tf.dtype
dtype('float64')
```

À partir des listes simples sont produits des tableaux unidimensionnels, à partir des listes de listes (de même taille) des tableaux bidimensionnels, et ainsi de suite.

```
>>> tf2d = np.array([[1.5, 2, 3], [4, 5, 6]])
>>> tf2d
array([[ 1.5,  2. ,  3. ],
       [ 4. ,  5. ,  6. ]])
```

Le type du tableau peut être indiqué explicitement à la création, des conversions sont effectuées pour les valeurs fournies.

```
>>> tfi = np.array([[1.5, 2, 3], [4, 5, 6]], dtype=int)
>>> tfi
array([[1, 2, 3],
       [4, 5, 6]])
>>> tfi.dtype
dtype('int32')
>>> tfi.shape
(2, 3)
>>> tfi.ndim
2
>>> tfi.size
6
```

Il est souvent nécessaire de créer des tableaux remplis de 0, de 1, ou dont le contenu n'est pas initialisé. Par défaut, le type des tableaux ainsi créés est float64.

```
>>> tz2d = np.zeros((3,4))
>>> tz2d
array([[ 0.,  0.,  0.,  0.],
       [ 0.,  0.,  0.,  0.],
       [ 0.,  0.,  0.,  0.]])
>>> tu2d = np.ones((3,4))
>>> tu2d
array([[ 1.,  1.,  1.,  1.],
       [ 1.,  1.,  1.,  1.],
       [ 1.,  1.,  1.,  1.]])
>>> id2d = np.eye(5)
>>> id2d
array([[ 1.,  0.,  0.,  0.,  0.],
```

```
       [ 0.,  1.,  0.,  0.,  0.],
       [ 0.,  0.,  1.,  0.,  0.],
       [ 0.,  0.,  0.,  1.,  0.],
       [ 0.,  0.,  0.,  0.,  1.]])
>>> tni2d = np.empty((3,4))
>>> tni2d
array([[ 0.,  0.,  0.,  0.],
       [ 0.,  0.,  0.,  0.],
       [ 0.,  0.,  0.,  0.]])
```

Des tableaux peuvent être initialisés aussi par des séquences générées.

```
>>> ts1d = np.arange(0, 40, 5)
>>> ts1d
array([ 0,  5, 10, 15, 20, 25, 30, 35])
>>> ts1d2 = np.linspace(0, 35, 8)
>>> ts1d2
array([  0.,   5.,  10.,  15.,  20.,  25.,  30.,  35.])
>>> ta2d = np.random.rand(3,5)
>>> ta2d
array([[ 0.57132596,  0.00819932,  0.17252526,  0.03082183,  0.53830712],
       [ 0.83042098,  0.75446994,  0.25991065,  0.62847979,  0.15797572],
       [ 0.08598435,  0.00754915,  0.50282216,  0.72654331,  0.90316578]])
```

Les tableaux peuvent être redimensionnés en utilisant **« `reshape` »**.

```
>>> tr = np.arange(20)
>>> tr
array([ 0,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
       17, 18, 19])
>>> tr.reshape(4,5)
array([[ 0,  1,  2,  3,  4],
       [ 5,  6,  7,  8,  9],
       [10, 11, 12, 13, 14],
       [15, 16, 17, 18, 19]])
>>> tr.reshape(2,10)
array([[ 0,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9],
       [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]])
>>> tr.reshape(20)
array([ 0,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
       17, 18, 19])
```

L'affichage des tableaux

Les tableaux unidimensionnels sont affichés comme des listes, les tableaux bidimensionnels comme des matrices et les tableaux tridimensionnels comme des listes de matrices.

```
>>> ta1d = np.random.rand(5)
>>> ta1d
array([ 0.79064584,  0.06775449,  0.39452303,  0.01723293,  0.25219518])
>>> ta3d = np.random.rand(2,3,5)
>>> ta3d
array([[[ 0.48491945,  0.64296218,  0.36891503,  0.32513357,  0.67010718],
        [ 0.25877942,  0.54814236,  0.76000793,  0.80090898,  0.49214619],
        [ 0.25499884,  0.54651908,  0.33886573,  0.52616233,  0.35187091]],

       [[ 0.32749216,  0.49832111,  0.27457405,  0.48603902,  0.10054472],
        [ 0.0191687 ,  0.06256129,  0.1715306 ,  0.60250356,  0.2672456 ],
        [ 0.78437914,  0.72383496,  0.16868848,  0.84315508,  0.0267777 ]]])
```

Si un tableau est considéré trop grand pour être affiché en entier, **« NumPy »** affiche le début et la fin, avec des **« ... »** au milieu.

```
>>> ta2d = np.random.rand(30,50)
>>> ta2d
array([[ 0.6835294 ,  0.46886275,  0.81712639, ...,  0.01835169,
         0.89688112,  0.37007707],
       [ 0.5791199 ,  0.30927608,  0.14415233, ...,  0.92076745,
         0.57043746,  0.42868106],
       [ 0.66825711,  0.84835774,  0.43771497, ...,  0.24745712,
         0.26247765,  0.74588404],
       ...,
       [ 0.35933294,  0.94859926,  0.77803165, ...,  0.71668177,
         0.74483146,  0.44250986],
       [ 0.69740862,  0.07109011,  0.86203099, ...,  0.58584055,
         0.74100104,  0.32189666],
       [ 0.38432312,  0.39479927,  0.34965807, ...,  0.37925167,
         0.47014018,  0.68201961]])
```

L'accès aux composantes d'un tableau

```
>>> tr = np.arange(20)
>>> tr
array([ 0,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
       17, 18, 19])
>>> a = tr[:2]
>>> a
array([0, 1])
>>> a[0] = 3
>>> tr
array([ 3,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
       17, 18, 19])
```

Les données ne sont pas copiées de **« tr »** vers un nouveau tableau **« a »**, la modification d'un élément de a avec **« a[0] = 3 »** change aussi le contenu de **« tr[0] »**. Pour obtenir une copie il faut utiliser **« copy »**.

```
>>> a = tr[:2].copy()
>>> a
array([3, 1])
>>> a[0] = 0
>>> a
array([0, 1])
>>> tr
array([ 3,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
       17, 18, 19])
```

Pour les tableaux multidimensionnels, lors des itérations c'est le dernier indice qui change le plus vite, ensuite l'avant-dernier, et ainsi de suite. Par exemple, pour les tableaux bidimensionnels c'est l'indice de colonne qui change d'abord et ensuite celui de ligne ainsi le tableau est lu ligne après ligne.

```
>>> ta2d = np.random.rand(3,5)
>>> ta2d
array([[ 0.99327185,  0.85869692,  0.87930205,  0.03911094,  0.93273251],
       [ 0.86430312,  0.16671027,  0.61613967,  0.84354217,  0.1950944 ],
       [ 0.40074433,  0.52467501,  0.71025502,  0.55148182,  0.0599687 ]])
>>> ta2d[0,0]
0.99327184504277644
>>> ta2d[0,:]
array([ 0.99327185,  0.85869692,  0.87930205,  0.03911094,  0.93273251])
>>> ta2d[0]
array([ 0.99327185,  0.85869692,  0.87930205,  0.03911094,  0.93273251])
>>> ta2d[:,0]
array([ 0.99327185,  0.86430312,  0.40074433])
>>> ta2d[:2,:2]
array([[ 0.99327185,  0.85869692],
       [ 0.86430312,  0.16671027]])
>>> for row in ta2d:
...     print(row)
...
[ 0.99327185  0.85869692  0.87930205  0.03911094  0.93273251]
[ 0.86430312  0.16671027  0.61613967  0.84354217  0.1950944 ]
[ 0.40074433  0.52467501  0.71025502  0.55148182  0.0599687 ]
```

Lecture et écriture d'un tableau

Les fonctions de lecture / écriture de tableaux depuis / dans des fichiers sont variées, nous regarderons rapidement deux des plus simples et plus rapides car les fichiers de données ont en général des formats assez simples.

La fonction :

numpy.loadtxt(fname, dtype=<type 'float'>,

comments='#', delimiter=None, converters=None,

skiprows=0, usecols=None, unpack=False, ndmin=0),

qui retourne un **ndarray**, réalise une lecture à partir d'un fichier texte et est bien adaptée aux tableaux bidimensionnels ; chaque ligne de texte doit contenir un même nombre de valeurs. Les principaux paramètres sont :

fname : fichier ou chaîne de caractères ; si le fichier a une extension .gz ou .bz2, il est d'abord décompressé.

dtype : type, optionnel, float par défaut.

comments : chaîne de caractères, optionnel, indique une liste de caractères employée dans le fichier pour précéder des commentaires à ignorer lors de la lecture.

delimiter : chaîne de caractères, optionnel, indique la chaîne de caractères employée pour séparer des valeurs, par défaut l'espace.

converters : dictionnaire, optionnel, pour permettre des conversions.

skiprows : entier, optionnel, pour le nombre de lignes à sauter en début de fichier par défaut 0.

usecols : séquence, optionnel, indique les colonnes à lire ; par ex. **usecols = [1,4,5]** extrait la 2ème, 5ème et 6ème colonne ; par défaut toutes les colonnes sont extraites.

unpack : booléen, optionnel, false par défaut ; si true, le tableau est transposé.

ndmin : entier, optionnel, le tableau a au moins **ndmin** dimensions ; par défaut 0.

```
>>> from io import StringIO
>>> import numpy as np
>>> nutriage = np.loadtxt('donnees/nutriage.csv',
...                delimiter=';',skiprows=1)
>>> nutriage.shape
(226, 13)
>>> nutriage[:10,:6]
array([[   2.,    1.,    0.,    0.,  151.,   58.],
       [   2.,    1.,    1.,    1.,  162.,   60.],
       [   2.,    1.,    0.,    4.,  162.,   75.],
       [   2.,    1.,    0.,    0.,  154.,   45.],
       [   2.,    1.,    2.,    1.,  154.,   50.],
       [   2.,    1.,    2.,    0.,  159.,   66.],
       [   2.,    1.,    2.,    0.,  160.,   66.],
       [   2.,    1.,    0.,    2.,  163.,   66.],
       [   2.,    1.,    0.,    3.,  154.,   60.],
```

```
       [   2.,    1.,    0.,    2.,  160.,   77.]])
```

La fonction :

`numpy.savetxt(fname, X, fmt='%.18e', delimiter=' ',`
`newline='\n', header='',`
`footer='', comments='# ')`

permet d'écrire un tableau dans un fichier texte. Les paramètres sont :

`fname` : fichier ; si le fichier a une extension .gz ou .bz2, il est compressé.

`X` : le tableau à écrire dans le fichier texte.

`fmt` : chaîne de caractères, optionnel ; indique le formatage du texte écrit.

`delimiter` : chaîne de caractères, optionnel, indique la chaîne de caractères employée pour séparer des valeurs, par défaut `` `` (l'espace).

`newline` : chaîne de caractères, optionnel, indique le caractère à employer pour séparer des lignes.

`header` : chaîne de caractères, optionnel, indique le commentaire à ajouter au début du fichier.

`footer` : chaîne de caractères, optionnel, indique le commentaire à ajouter à la fin du fichier.

`comments` : caractère à ajouter avant header et footer pour en faire des commentaires ; par défaut #.

```
>>> np.savetxt('donnees/nutriage.txt', nutriage, delimiter=', ')
>>> nutriage = np.loadtxt('donnees/nutriage.txt', delimiter=',')
>>> nutriage.shape
(226, 13)
>>> nutriage[:10,:6]
array([[   2.,    1.,    0.,    0.,  151.,   58.],
       [   2.,    1.,    1.,    1.,  162.,   60.],
       [   2.,    1.,    0.,    4.,  162.,   75.],
       [   2.,    1.,    0.,    0.,  154.,   45.],
       [   2.,    1.,    2.,    1.,  154.,   50.],
       [   2.,    1.,    2.,    0.,  159.,   66.],
       [   2.,    1.,    2.,    0.,  160.,   66.],
       [   2.,    1.,    0.,    2.,  163.,   66.],
       [   2.,    1.,    0.,    3.,  154.,   60.],
       [   2.,    1.,    0.,    2.,  160.,   77.]])
```

Autres opérations d'entrée et sortie :

`fromfile(file[, dtype, count, sep])` : Construction d'un tableau à partir d'un fichier texte ou binaire.

`fromregex(file, regexp, dtype)` : Construction d'un tableau à partir d'un fichier texte, avec un parseur d'expressions régulières.

`genfromtxt()` : Fonction plus flexible pour la construction d'un tableau à partir d'un fichier texte, avec une gestion des valeurs manquantes.

`load(file[, mmap_mode, allow_pickle, ...])` : Lecture de tableaux (ou autres objets) à partir de fichiers .npy, .npz ou autres fichiers de données sérialisées.

`loadtxt(fname[, dtype, comments, delimiter, ...])` : Lecture de données à partir d'un fichier texte.

`ndarray.tofile(fid[, sep, format])` : Ecriture d'un tableau dans un fichier texte ou binaire (par défaut).

`save(file, arr[, allow_pickle, fix_imports])` : Ecriture d'un tableau dans un fichier binaire de type .npy.

`savetxt(fname, X[, fmt, delimiter, newline, ...])` : Ecriture d'un tableau dans un fichier texte.

`savez(file, *args, **kwds)` : Ecriture de plusieurs tableaux dans un fichier de type .npz sans compression.

`savez_compressed(file, *args, **kwds)` : Ecriture de plusieurs tableaux dans un fichier de type .npz avec compression.

Les opérations simples sur les tableaux

Concaténation de tableaux bidimensionnels

```
>>> tu2d = np.ones((2,2))
>>> tu2d
array([[ 1.,  1.],
       [ 1.,  1.]])
>>> tb2d = np.ones((2,2))*2
>>> tb2d
array([[ 2.,  2.],
       [ 2.,  2.]])
>>> tcl = np.concatenate((tu2d,tb2d))
>>> tcl
array([[ 1.,  1.],
       [ 1.,  1.],
       [ 2.,  2.],
       [ 2.,  2.]])
>>> tcl = np.concatenate((tu2d,tb2d),axis=0)   # ou np.vstack
>>> tcl
array([[ 1.,  1.],
       [ 1.,  1.],
       [ 2.,  2.],
       [ 2.,  2.]])
>>> tcl = np.concatenate((tu2d,tb2d),axis=1)   # ou np.hstack
>>> tcl
array([[ 1.,  1.,  2.,  2.],
       [ 1.,  1.,  2.,  2.]])
```

Ajouter un tableau unidimensionnel comme colonne à un tableau bidimensionnel.

```
>>> from numpy import newaxis
>>> tu1d = np.ones(2)
>>> tu1d
array([ 1.,  1.])
>>> tu1d[:,newaxis]
array([[ 1.],
       [ 1.]])
>>> np.column_stack((tu1d[:,newaxis],tb2d))
array([[ 1.,  2.,  2.],
       [ 1.,  2.,  2.]])
>>> np.hstack((tu1d[:,newaxis],tb2d))
array([[ 1.,  2.,  2.],
       [ 1.,  2.,  2.]])
```

Opérations arithmétiques élément par élément

```
>>> tsomme = tb2d - tu1d
>>> tsomme
array([[ 1.,  1.],
       [ 1.,  1.]])
>>> tb2d*5
array([[ 10.,  10.],
       [ 10.,  10.]])
>>> tb2d**2
array([[ 4.,  4.],
```

```
       [ 4.,  4.]])
>>> tc = np.hstack((tb2d,tu1d[:,newaxis]))
>>> tc
array([[ 2.,  2.,  1.],
       [ 2.,  2.,  1.]])
>>> tc > 1
array([[ True,  True, False],
       [ True,  True, False]], dtype=bool)
>>> tb2d * tb2d
array([[ 4.,  4.],
       [ 4.,  4.]])
>>> tb2d *= 3
>>> tb2d
array([[ 6.,  6.],
       [ 6.,  6.]])
>>> tb2d += tu2d
>>> tb2d
array([[ 7.,  7.],
       [ 7.,  7.]])
>>> tb2d.sum()
28.0
>>> nutriage = np.loadtxt('donnees/nutriage.csv',
...                delimiter=';',skiprows=1)
>>> nutriage.shape
(226, 13)
>>> nutriage[:10,:6]
array([[   2.,    1.,    0.,    0.,  151.,   58.],
       [   2.,    1.,    1.,    1.,  162.,   60.],
       [   2.,    1.,    0.,    4.,  162.,   75.],
       [   2.,    1.,    0.,    0.,  154.,   45.],
       [   2.,    1.,    2.,    1.,  154.,   50.],
       [   2.,    1.,    2.,    0.,  159.,   66.],
       [   2.,    1.,    2.,    0.,  160.,   66.],
       [   2.,    1.,    0.,    2.,  163.,   66.],
       [   2.,    1.,    0.,    3.,  154.,   60.],
       [   2.,    1.,    0.,    2.,  160.,   77.]])
>>> nutriage.min()
0.0
>>> nutriage.max()
188.0
>>> nutriage.sum()
75004.0
>>> nutriage.sum(axis=0)
array([   367.,    363.,    161.,    366.,  37055.,  15025.,  16832.,
         847.,    592.,   1014.,    991.,    529.,    862.])
>>> nutriage[:20,:].sum(axis=1)
array([ 307.,  317.,  342.,  306.,  298.,  332.,  332.,  330.,  337.,
       346.,  364.,  344.,  331.,  320.,  342.,  346.,  313.,  311.,
       329.,  349.])
```

Algèbre linéaire

```
>>> n0 = nutriage[:2,5:7]
>>> n0
array([[ 58.,  72.],
       [ 60.,  68.]])
```

```
>>> n0.transpose()
array([[ 58.,  60.],
       [ 72.,  68.]])
>>> np.linalg.inv(n0)
array([[-0.18085106,  0.19148936],
       [ 0.15957447, -0.15425532]])
>>> n0.dot(tu2d)      # ou np.dot(n0,tu2d)
array([[ 130.,  130.],
       [ 128.,  128.]])
>>> tu2d
array([[ 1.,  1.],
       [ 1.,  1.]])
>>> n0.dot(np.eye(2))
array([[ 58.,  72.],
       [ 60.,  68.]])
>>> n0.trace()
126.0
```

Résolution de systèmes linéaires

```
>>> y = np.array([[5.], [7.]])
>>> np.linalg.solve(n0, y)
array([[ 0.43617021],
       [-0.28191489]])
```

Valeurs et vecteurs propres

```
>>> vpvp = np.linalg.eig(n0)
>>> vpvp
(array([  -2.91661399,  128.91661399]), array([[-0.76342008, -0.71244657],
       [ 0.64590231, -0.70172636]]))
```

Vectorisation de fonctions

Des fonctions Python qui travaillent sur des scalaires peuvent être vectorisées, c'est à dire travailler sur des tableaux, élément par élément.

```
>>> def addsubtract(a,b):
...     if a > b:
...         return a - b
...     else:
...         return a + b
...
>>> addsubtract(2,3)
5
>>> vec_addsubtract = np.vectorize(addsubtract)
>>> tu2d
array([[ 1.,  1.],
       [ 1.,  1.]])
>>> n0
array([[ 58.,  72.],
       [ 60.,  68.]])
>>> vec_addsubtract(n0,tu2d)
array([[ 57.,  71.],
       [ 59.,  67.]])
```

La librairie Matplotlib

La librairie Matplotlib a vu le jour pour permettre de générer directement des graphiques à partir de Python. Au fil des années, Matplotlib est devenu une librairie puissante, compatible avec beaucoup de plateformes, et capable de générer des graphiques dans beaucoup de formats différents.

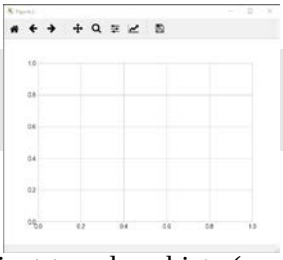
Pour commencer, mettons en place l'environnement de travail.

```
>>> import matplotlib.pyplot as plt
>>> plt.style.use('seaborn-whitegrid')
>>> import numpy as np
```

Réaliser des graphiques simples

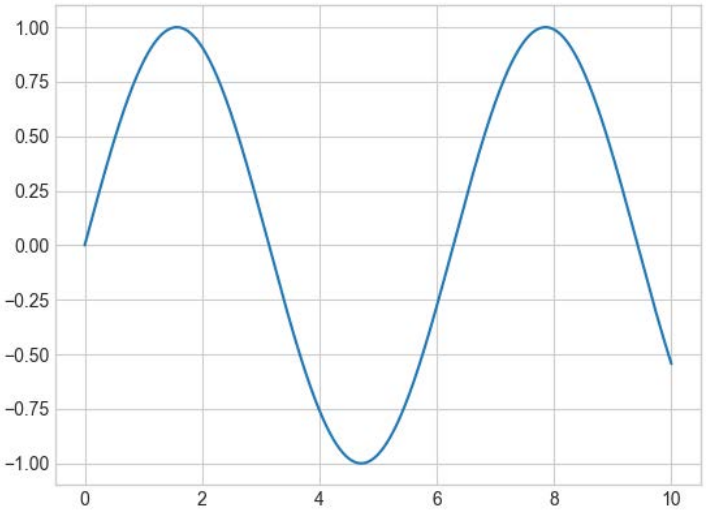
Commençons par étudier un cas simple, comme tracer la courbe d'une fonction. Nous avons vu un exemple de cette utilisation dans le chapitre 3 de la première partie de ce cours. Ici, nous allons le faire d'une manière moins simple, mais qui nous donne plus de possibilités.

```
>>> fig = plt.figure()
>>> ax = plt.axes()
>>> plt.show()
```



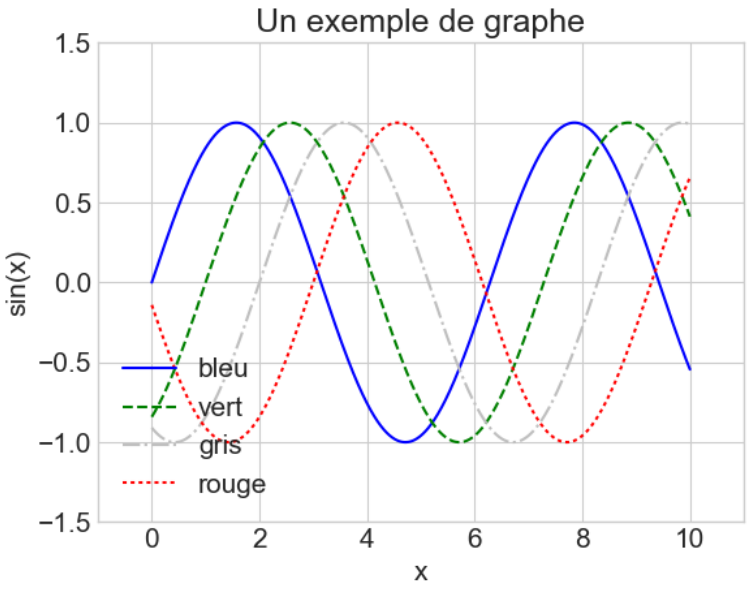
La variable **`fig`** correspond à un conteneur qui contient tous les objets (axes, labels, données, etc). Les axes correspondent au carré que l'on voit au-dessus, et qui contiendra par la suite les données du graphe.

```
>>> fig = plt.figure()
>>> ax = plt.axes()
>>> x = np.linspace(0, 10, 1000)
>>> ax.plot(x, np.sin(x));
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x0000022885641860>]
>>> plt.show()
```



On aurait pu simplement taper **`plt.plot(x, np.sin(x))`**. Maintenant, voyons un exemple un peu plus poussé.

```
>>> # Changer la taille de police par défaut
... plt.rcParams.update({'font.size': 15})
>>> fig = plt.figure()
>>> ax = plt.axes()
>>> # Couleur spécifiée par son nom, ligne solide
>>> plt.plot(x, np.sin(x - 0), color='blue', linestyle='solid',
label='bleu')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x00000228865DD198>]
>>> # Nom court pour la couleur, ligne avec des traits
>>> plt.plot(x, np.sin(x - 1), color='g', linestyle='dashed',
label='vert')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x00000228865DD358>]
>>> # Valeur de gris entre 0 et 1, des traits et des points
>>> plt.plot(x, np.sin(x - 2), color='0.75', linestyle='dashdot',
label='gris')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x00000228865E6320>]
>>> # Couleur spécifié en RGB, avec des points
>>> plt.plot(x, np.sin(x - 3), color='#FF0000', linestyle='dotted',
label='rouge')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x00000228865E6AC8>]
>>> # Les limites des axes, essayez aussi les arguments 'tight' et
'equal' pour voir leur effet
>>> plt.axis([-1, 11, -1.5, 1.5]);
[-1, 11, -1.5, 1.5]
>>> # Les labels
>>> plt.title("Un exemple de graphe")
<matplotlib.text.Text object at 0x000002288643DCF8>
>>> # La légende est générée à partir de l'argument label de la
fonction plot. L'argument loc spécifie le placement de la légende
>>> plt.legend(loc='lower left');
<matplotlib.legend.Legend object at 0x00000228865E6B38>
>>> # Titres des axes
>>> ax = ax.set(xlabel='x', ylabel='sin(x)')
>>> plt.show()
```



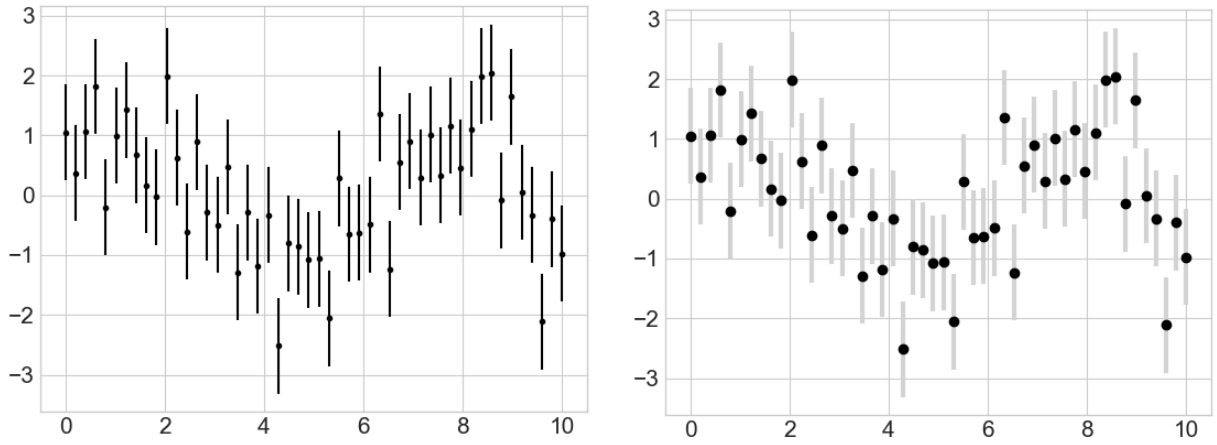
Visualiser l'incertitude

Dans la vie réelle, les données que nous sommes amenés à analyser sont souvent bruitées, c'est-à-dire qu'il existe une part d'incertitude sur leur valeur réelle. Il est extrêmement important d'en tenir compte non seulement lors de l'analyse des données, mais aussi quand on veut les présenter.

Données discrètes

Dans le cas de données discrètes (des points), nous utilisons souvent les barres d'erreur pour représenter, pour chaque point, l'incertitude quant à sa valeur exacte. Souvent la longueur des barres correspond à l'écart type des observations empiriques. C'est chose aisée avec **`Matplotlib`**.

```
>>> x = np.linspace(0, 10, 50)
>>> dy = 0.8
>>> y = np.sin(x) + dy * np.random.randn(50)
>>> plt.errorbar(x, y, yerr=dy, fmt='.k');
<Container object of 3 artists>
>>> plt.show()
```



`Errorbar` prend en argument les abscisses **`x`**, les coordonnées **`y`** et les longueurs de chaque barre (une barre par point) **`yerr`**. Notez l'argument **`fmt`**. Il permet de choisir, de façon courte, la couleur (ici noir ou black) et la forme des marqueurs du graphe. **`Errorbar`** permet aussi de personnaliser encore plus l'apparence du graphe.

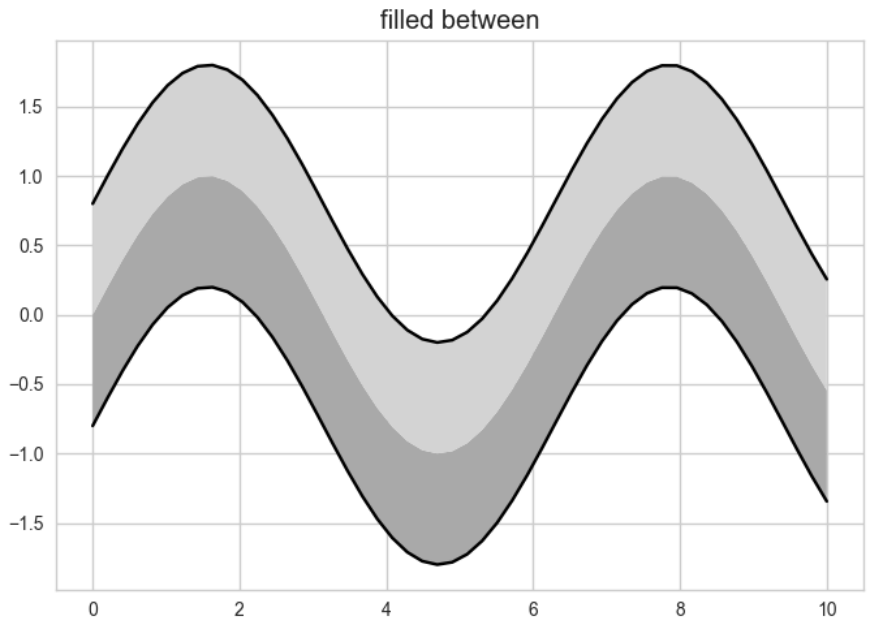
```
>>> plt.errorbar(x, y, yerr=dy, fmt='o', color='black',
...              ecolor='lightgray', elinewidth=3, capsize=0);
<Container object of 3 artists>
>>> plt.show()
```

Données continues

Parfois, comme quand on essaie d'appliquer la régression par processus gaussien, nous avons besoin de représenter une incertitude sur une fonction continue. On peut faire ceci en utilisant la fonction **`plot`** conjointement avec la fonction **`fill_between`**.

```
>>> x = np.linspace(0, 10, 50)
>>> dy = 0.8
>>> y = np.sin(x)
```

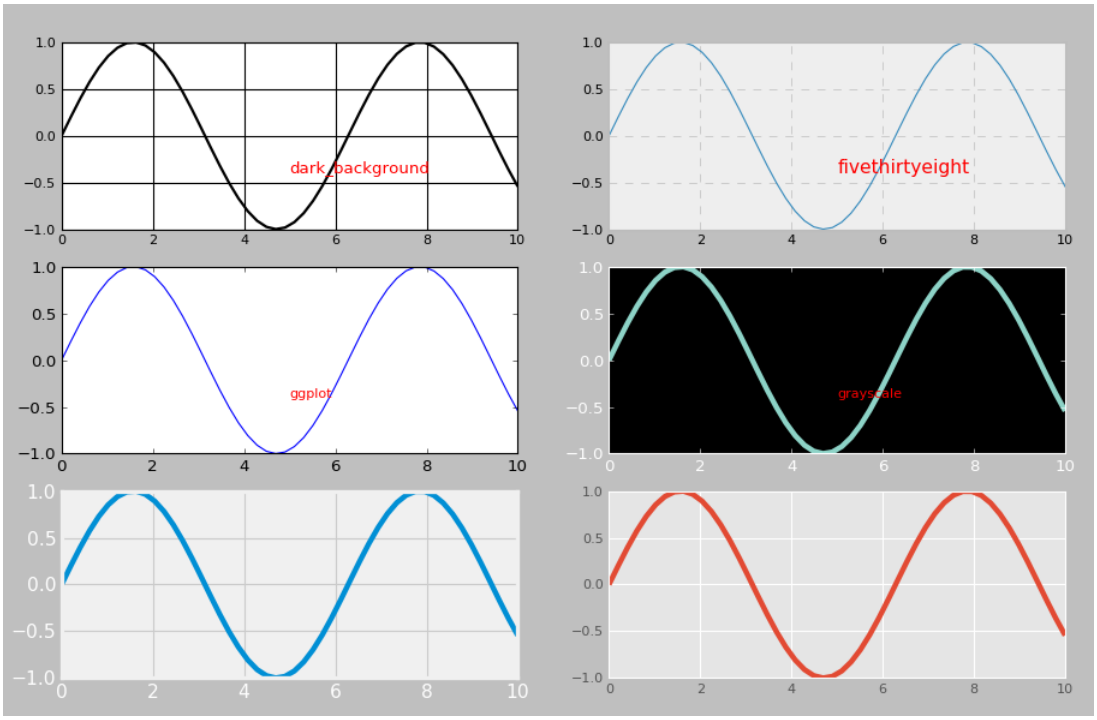
```
>>> y1 = y - dy
>>> y2 = y + dy
>>> plt.plot(x, y1, x, y2, color='black')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x0000022887D49278>,
<matplotlib.lines.Line2D object at 0x0000022887D49BE0>]
>>> plt.fill_between(x, y, y1, where=y>=y1,
... facecolor='darkgray',interpolate=True)
<matplotlib.collections.PolyCollection object at 0x0000022887F24E80>
>>> plt.fill_between(x, y, y2, where=y<=y2,
... facecolor='lightgray',interpolate=True)
<matplotlib.collections.PolyCollection object at 0x0000022887DA2BE0>
>>> plt.title("filled between")
<matplotlib.text.Text object at 0x0000022887E5BF98>
>>> plt.show()
```



La personnalisation et sous-graphes

Matplotlib est très flexible. Quasiment tous les aspects d'une figure peuvent être configurés par l'utilisateur soit pour y ajouter des données, soit pour améliorer l'aspect esthétique. Plutôt que de vous faire une liste des fonctions qui permettent de faire ces actions, j'ai plutôt décidé de vous montrer des exemples. A l'avenir, n'hésitez pas à revenir vers cette partie pour vous remémorer comment réaliser une opération spécifique.

```
>>> print(plt.style.available[:6])
['bmh', 'classic', 'dark_background', 'fivethirtyeight', 'ggplot',
'grayscale']
>>> # Notez la taille de la figure
... fig = plt.figure(figsize=(12,8))
>>> for i in range(6):
...     # On peut ajouter des sous graphes ainsi
...     fig.add_subplot(3,2,i+1)
...     plt.style.use(plt.style.available[i])
...     plt.plot(x, y)
...     # Pour ajouter du texte
...     plt.text(s=plt.style.available[i], x=5, y=2, color='red')
...
>>> plt.show()
```

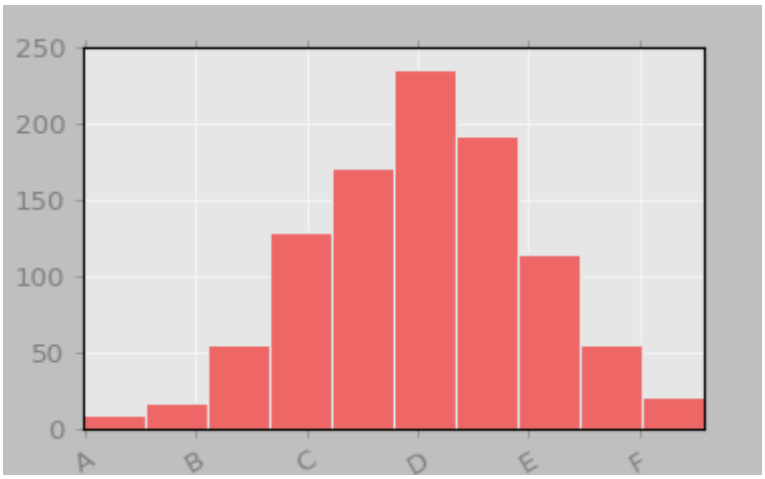


Le premier argument de la fonction **add_subplot** est le nombre de lignes de notre tableau de graphes 3. Le deuxième est le nombre de colonnes 2. Le troisième est le numéro du graphe, parmi les graphes de ce tableau, que nous voulons dessiner.

Pour des raisons historiques, les sous-graphes sont numérotés à partir de 1, au lieu de 0. Le graphe tout en haut à gauche est donc le graphe numéro 1.

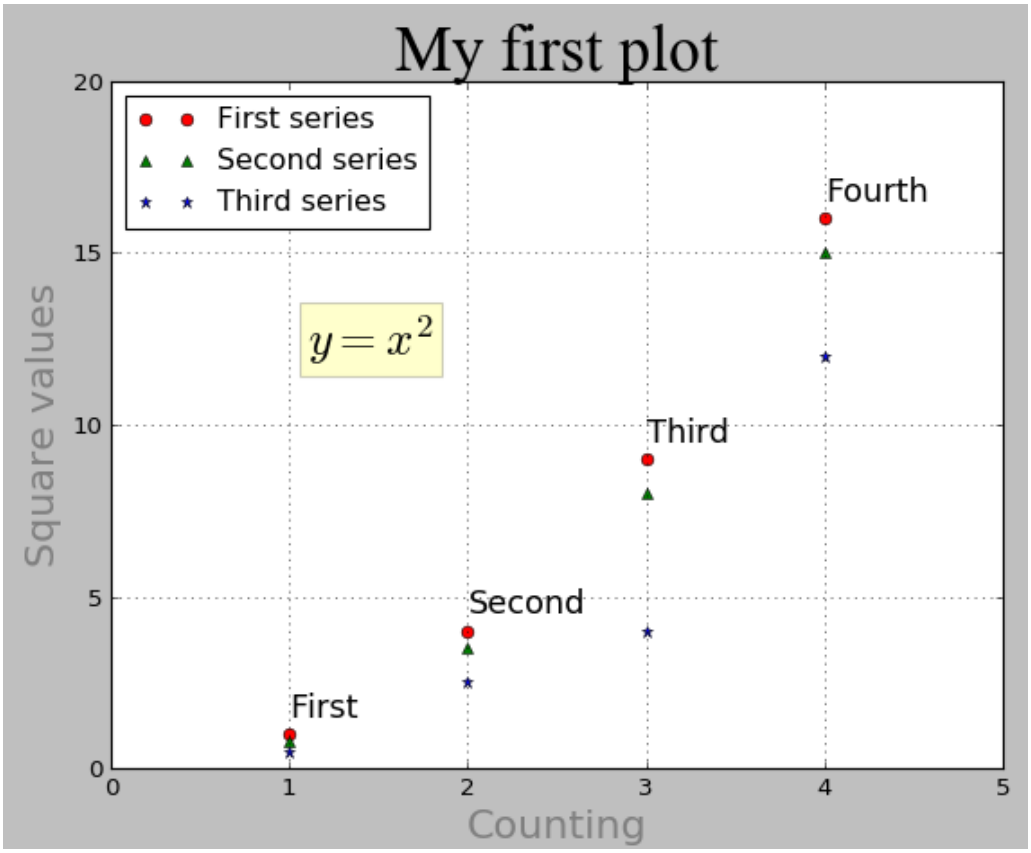
Nous pouvons aussi tout personnaliser à la main.

```
>>> # On peut aussi tout personnaliser à la main
... x = np.random.randn(1000)
>>> plt.style.use('classic')
>>> fig = plt.figure(figsize=(5,3))
>>> ax = plt.axes(facecolor='#E6E6E6')
>>> # Afficher les ticks en dessous de l'axe
>>> ax.set_axisbelow(True)
>>> # Cadre en blanc
>>> plt.grid(color='w', linestyle='solid')
>>> # Cacher le cadre
>>> # ax.spines contient les lignes qui entourent la zone où les
>>> # données sont affichées.
>>> for spine in ax.spines.values():
...     spine.set_visible(False)
...
>>> # Cacher les marqueurs en haut et à droite
>>> ax.xaxis.tick_bottom()
>>> ax.yaxis.tick_left()
>>> # Nous pouvons personnaliser les étiquettes des marqueurs
>>> # et leur appliquer une rotation
>>> marqueurs = [-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3]
>>> xtick_labels = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F']
>>> plt.xticks(marqueurs, xtick_labels, rotation=30)
>>> # Changer les couleur des marqueurs
>>> ax.tick_params(colors='gray', direction='out')
>>> for tick in ax.get_xticklabels():
...     tick.set_color('gray')
...
>>> for tick in ax.get_yticklabels():
...     tick.set_color('gray')
...
>>> # Changer les couleur des barres
>>> ax.hist(x, edgecolor='#E6E6E6', color='#EE6666');
>>> plt.show()
```

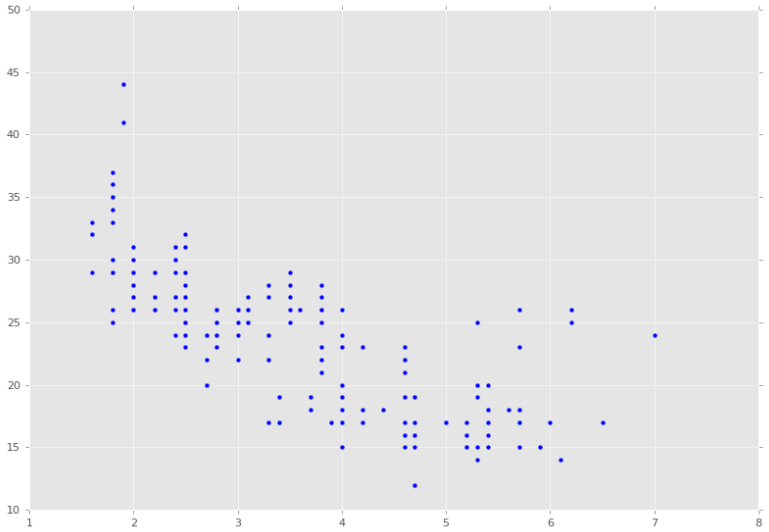



```
>>> plt.axis([0,5,0,20])
[0, 5, 0, 20]
>>> plt.title('My first plot',fontsize=32,fontname='Times New
Roman')
>>> plt.xlabel('Counting',color='gray',fontsize=20)
```

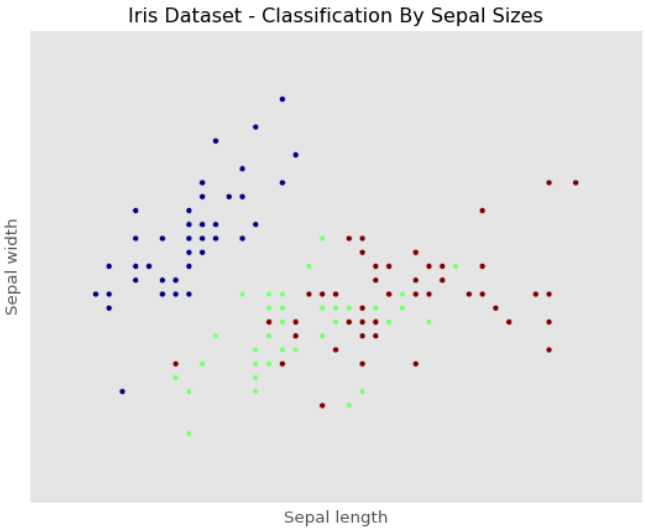
```
>>> plt.ylabel('Square values',color='gray',fontsize=20)
>>> plt.text(1,1.5,'First',fontsize=16)
>>> plt.text(2,4.5,'Second',fontsize=16)
>>> plt.text(3,9.5,'Third',fontsize=16)
>>> plt.text(4,16.5,'Fourth',fontsize=16)
>>> plt.text(1.1,12,r'$y =
x^2$',fontsize=24,bbox={'facecolor':'yellow','alpha':0.2})
>>> plt.grid(True)
>>> plt.plot([1,2,3,4],[1,4,9,16],'ro')
>>> plt.plot([1,2,3,4],[0.8,3.5,8,15],'g^')
>>> plt.plot([1,2,3,4],[0.5,2.5,4,12],'b*')
>>> plt.legend(['First series','Second series','Third
series'],loc=2)
>>> plt.show()
```



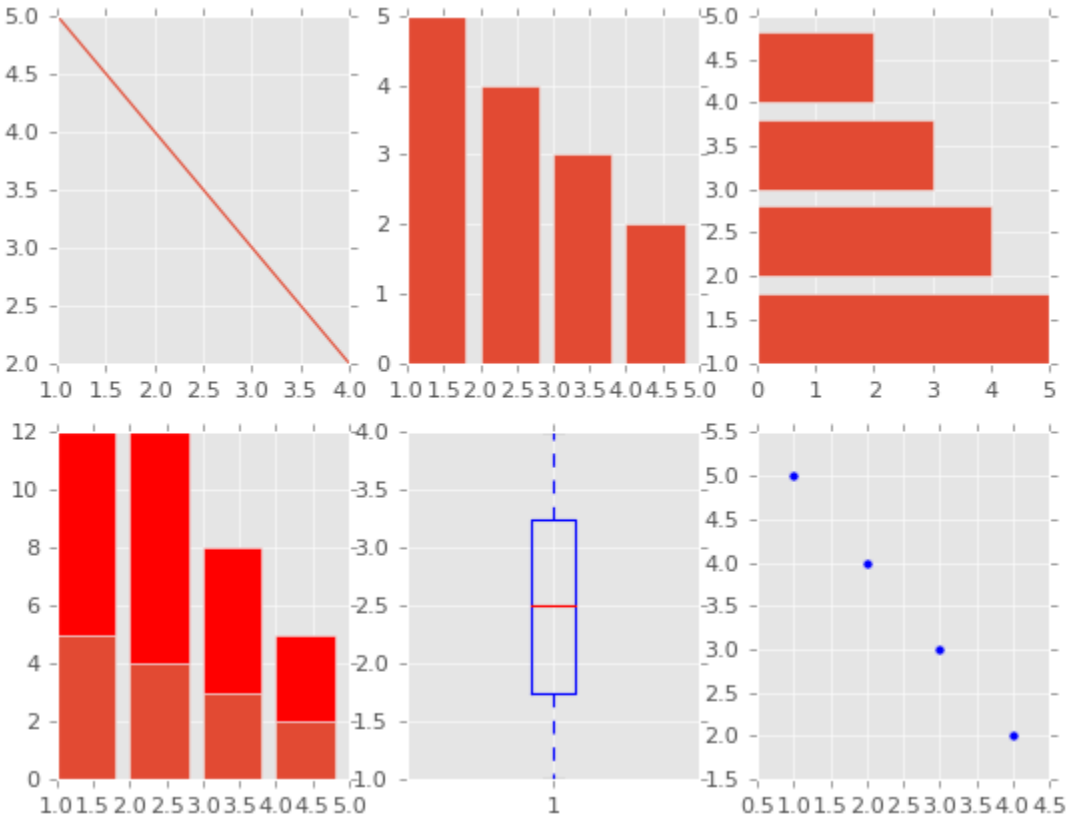

```
>>> df = pd.read_csv('donnees/mpg.csv')
>>> df.head()
  manufacturer model  displ  year  cyl       trans drv  cty  hwy fl    class
1         audi    a4    1.8  1999    4    auto(l5)   f   18   29  p  compact
2         audi    a4    1.8  1999    4  manual(m5)   f   21   29  p  compact
3         audi    a4    2.0  2008    4  manual(m6)   f   20   31  p  compact
4         audi    a4    2.0  2008    4    auto(av)   f   21   30  p  compact
5         audi    a4    2.8  1999    6    auto(l5)   f   16   26  p  compact
>>> plt.style.use('ggplot')
>>> plt.figure(figsize=(12, 8))
<matplotlib.figure.Figure object at 0x0000022889C647F0>
>>> plt.scatter(df.displ,df.hwy)
<matplotlib.collections.PathCollection object at 0x0000022887D68D30>
>>> plt.show()
```




```
>>> from sklearn import datasets
>>> iris = datasets.load_iris()
>>> x = iris.data[:,0] #X-Axis - sepal length
>>> y = iris.data[:,1] #Y-Axis - sepal length
>>> species = iris.target #Species
>>> x_min, x_max = x.min() - .5,x.max() + .5
>>> y_min, y_max = y.min() - .5,y.max() + .5
>>> plt.figure()
>>> plt.title('Iris Dataset - Classification By Sepal Sizes')
>>> plt.scatter(x,y, c=species)
>>> plt.xlabel('Sepal length')
>>> plt.ylabel('Sepal width')
>>> plt.xlim(x_min, x_max)
(3.7999999999999998, 8.4000000000000004)
>>> plt.ylim(y_min, y_max)
(1.5, 4.9000000000000004)
>>> plt.xticks(())
([], <a list of 0 Text xticklabel objects>)
>>> plt.yticks(())
([], <a list of 0 Text yticklabel objects>)
>>> plt.show()
```

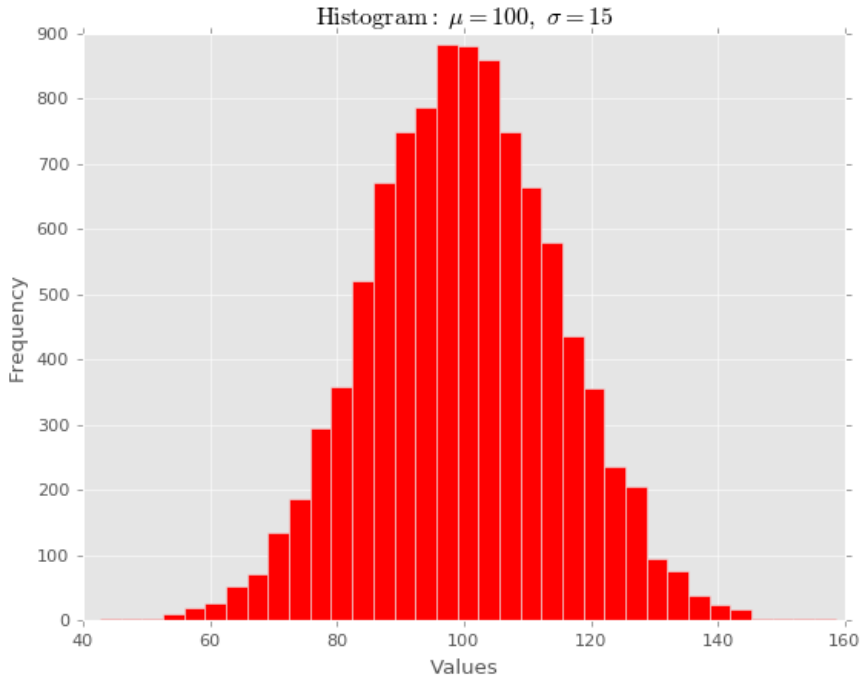


```
>>> from matplotlib.pyplot import *
>>> x = [1,2,3,4]
>>> y = [5,4,3,2]
>>> figure()
>>> subplot(231)
>>> plot(x, y)
>>> subplot(232)
>>> bar(x, y)
>>> subplot(233)
>>> barh(x, y)
>>> subplot(234)
>>> bar(x, y)
>>> y1 = [7,8,5,3]
>>> bar(x, y1, bottom=y, color = 'r')
>>> subplot(235)
>>> boxplot(x)
>>> subplot(236)
>>> scatter(x,y)
>>> show()
```

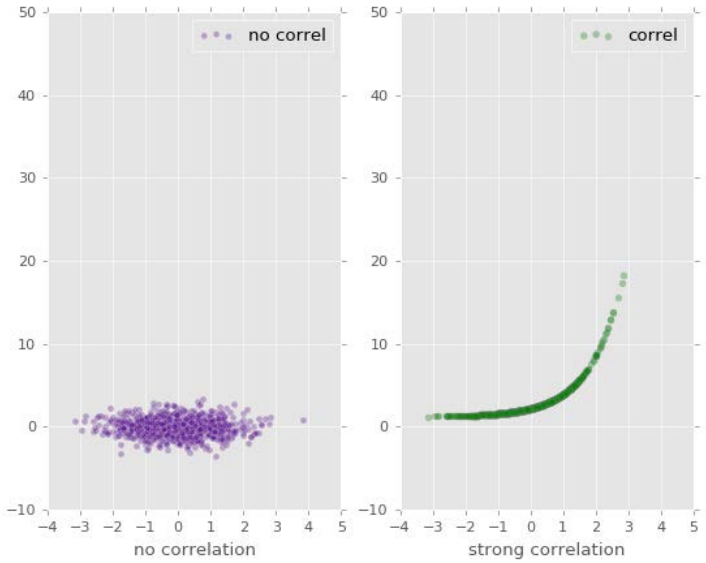


```
>>> mu = 100
>>> sigma = 15
>>> x = np.random.normal(mu, sigma, 10000)
>>> ax = plt.gca()
>>> ax.hist(x, bins=35, color='r')
(array([   2.,    2.,    3.,   10.,   19.,   27.,   53.,   71.,  134.,
        187.,  295.,  358.,  520.,  672.,  748.,  786.,  884.,  881.,
        860.,  749.,  664.,  580.,  437.,  357.,  237.,  205.,   94.,
```

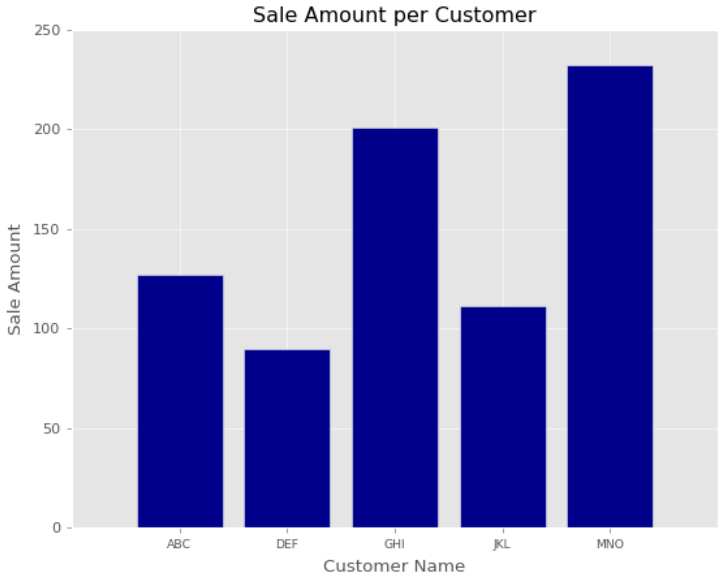
```
         75.,   38.,   24.,   16.,    2.,    3.,    3.,    4.]), array([
42.68588348,   45.99367319,   49.3014629 ,   52.6092526 ,
        55.91704231,   59.22483202,   62.53262173,   65.84041143,
        69.14820114,   72.45599085,   75.76378056,   79.07157027,
        82.37935997,   85.68714968,   88.99493939,   92.3027291 ,
        95.6105188 ,   98.91830851,  102.22609822,  105.53388793,
       108.84167764,  112.14946734,  115.45725705,  118.76504676,
       122.07283647,  125.38062617,  128.68841588,  131.99620559,
       135.3039953 ,  138.611785  ,  141.91957471,  145.22736442,
       148.53515413,  151.84294384,  155.15073354,  158.45852325]), <a list
of 35 Patch objects>)
>>> ax.set_xlabel('Values')
>>> ax.set_ylabel('Frequency')
>>> ax.set_title(r'$\mathrm{Histogram:}\ \mu=%d,\ \sigma=%d$' % (mu,
... sigma))
>>> plt.show()
```




```
>>> x = np.random.randn(1000)
>>> y1 = np.random.randn(len(x))
>>> y2 = 1.2 + np.exp(x)
>>> ax1 = plt.subplot(121)
>>> plt.scatter(x, y1, color='indigo', alpha=0.3,
...             edgecolors='white',label='no correl')
>>> plt.xlabel('no correlation')
>>> plt.grid(True)
>>> plt.legend()
>>> ax2 = plt.subplot(122, sharey=ax1, sharex=ax1)
>>> plt.scatter(x, y2, color='green', alpha=0.3, edgecolors='grey',
... label='correl')
>>> plt.xlabel('strong correlation')
>>> plt.grid(True)
>>> plt.legend()
>>> plt.show()
```

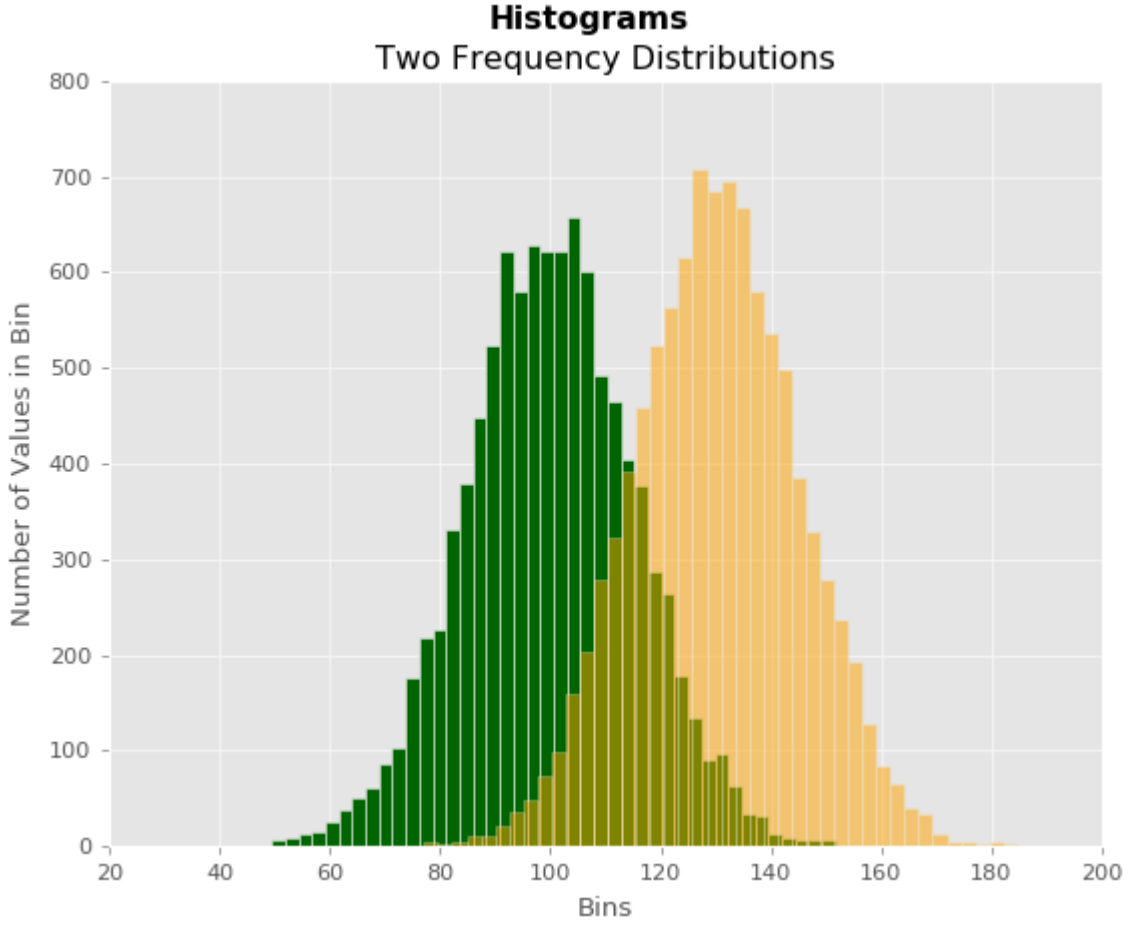



```
>>> plt.style.use('ggplot')
>>> customers = ['ABC', 'DEF', 'GHI', 'JKL', 'MNO']
>>> customers_index = range(len(customers))
>>> sale_amounts = [127, 90, 201, 111, 232]
>>> fig = plt.figure()
>>> ax1 = fig.add_subplot(1,1,1)
>>> ax1.bar(customers_index, sale_amounts, align='center',
color='darkblue')
>>> ax1.xaxis.set_ticks_position('bottom')
>>> ax1.yaxis.set_ticks_position('left')
>>> plt.xticks(customers_index, customers, rotation=0,
fontsize='small')
>>> plt.xlabel('Customer Name')
>>> plt.ylabel('Sale Amount')
>>> plt.title('Sale Amount per Customer')
>>> plt.savefig('bar_plot.png', dpi=400, bbox_inches='tight')
>>> plt.show()
```



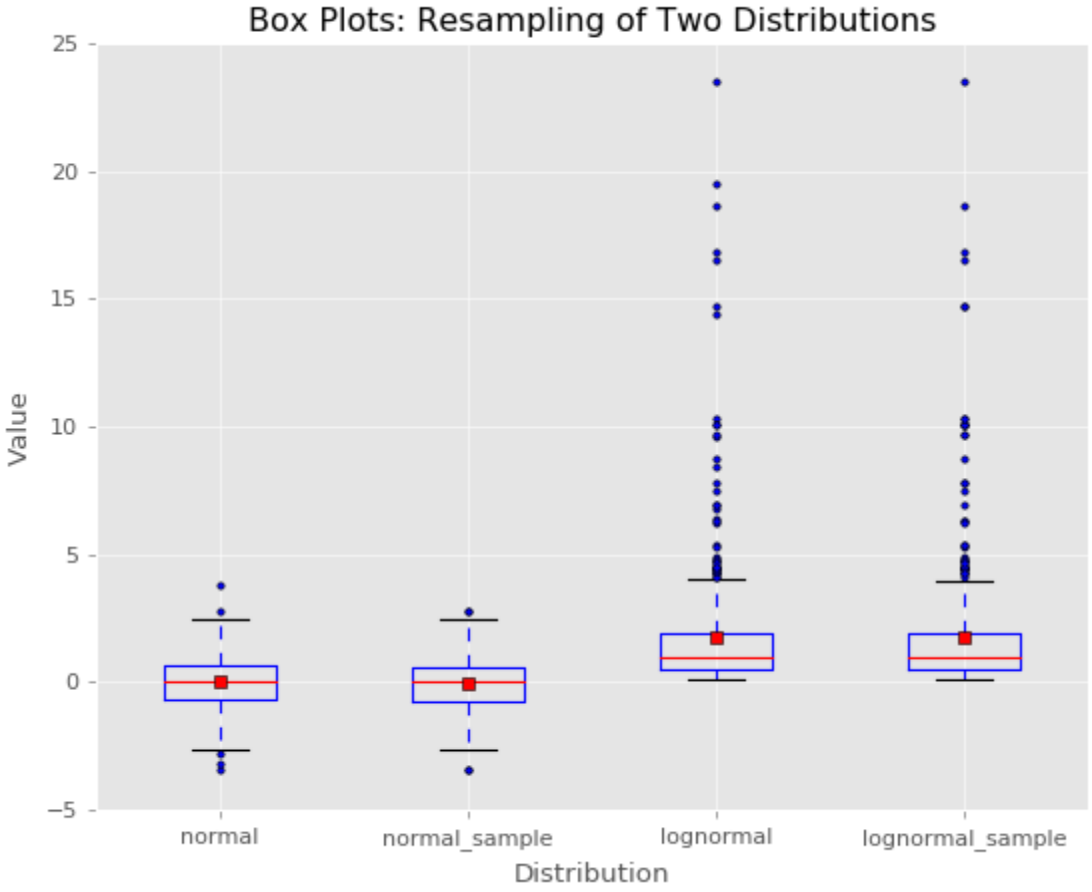

```
>>> plt.style.use('ggplot')
```

```
>>> mu1, mu2, sigma = 100, 130, 15
>>> x1 = mu1 + sigma*np.random.randn(10000)
>>> x2 = mu2 + sigma*np.random.randn(10000)
>>> fig = plt.figure()
>>> ax1 = fig.add_subplot(1,1,1)
>>> n, bins, patches = ax1.hist(x1, bins=50, normed=False,
color='darkgreen')
>>> n, bins, patches = ax1.hist(x2, bins=50, normed=False,
color='orange', alpha=0.5)
>>> ax1.xaxis.set_ticks_position('bottom')
>>> ax1.yaxis.set_ticks_position('left')
>>> plt.xlabel('Bins')
>>> plt.ylabel('Number of Values in Bin')
>>> fig.suptitle('Histograms', fontsize=14, fontweight='bold')
>>> ax1.set_title('Two Frequency Distributions')
>>> plt.savefig('histogram.png', dpi=400, bbox_inches='tight')
>>> plt.show()
```




```
>>> N = 500
>>> normal = np.random.normal(loc=0.0, scale=1.0, size=N)
>>> lognormal = np.random.lognormal(mean=0.0, sigma=1.0, size=N)
>>> index_value = np.random.random_integers(low=0, high=N-1, size=N)
>>> normal_sample = normal[index_value]
>>> lognormal_sample = lognormal[index_value]
>>> box_plot_data =
[normal,normal_sample,lognormal,lognormal_sample]
>>> fig = plt.figure()
```

```
>>> ax1 = fig.add_subplot(1,1,1)
>>> box_labels =
['normal','normal_sample','lognormal','lognormal_sample']
>>> ax1.boxplot(box_plot_data, notch=False, sym='.', vert=True, \
... whis=1.5,showmeans=True, labels=box_labels)
>>> ax1.xaxis.set_ticks_position('bottom')
>>> ax1.yaxis.set_ticks_position('left')
>>> ax1.set_title('Box Plots: Resampling of Two Distributions')
>>> ax1.set_xlabel('Distribution')
>>> ax1.set_ylabel('Value')
>>> plt.savefig('box_plot.png', dpi=400, bbox_inches='tight')
>>> plt.show()
```



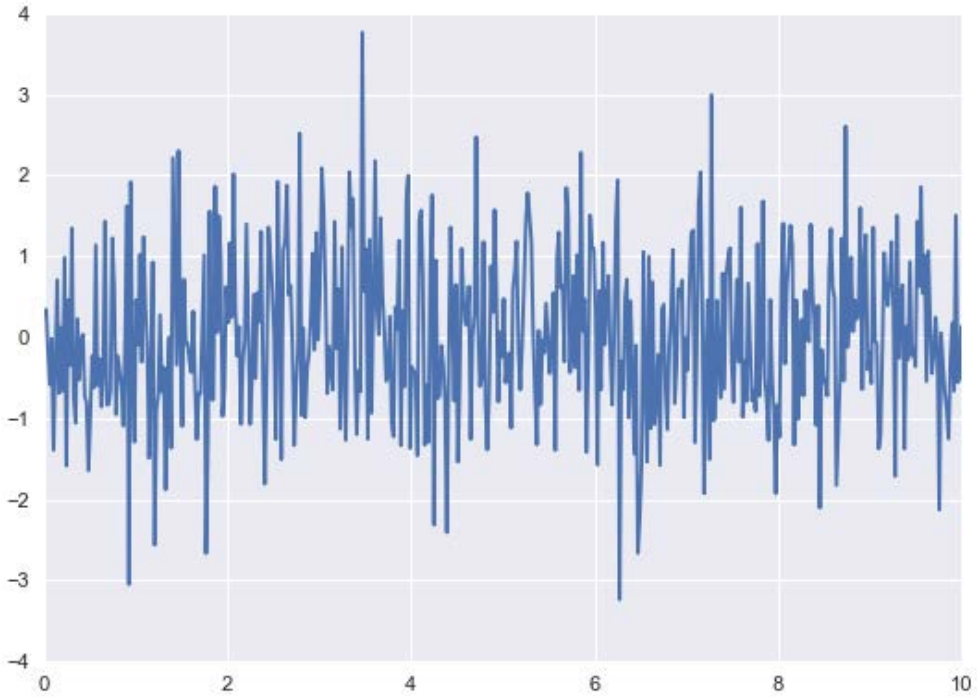
La librairie Seaborn

Seaborn est une librairie qui vient s'ajouter à **Matplotlib**, remplace certains réglages par défaut et fonctions, et lui ajoute de nouvelles fonctionnalités. **Seaborn** vient corriger trois défauts de **Matplotlib** :

- **Matplotlib**, surtout dans les versions avant la 2.0, ne génère pas des graphiques d'une grande qualité esthétique.
- **Matplotlib** ne possède pas de fonctions permettant de créer facilement des analyses statistiques sophistiquées.
- Les fonctions de **Matplotlib** ne sont pas faites pour interagir avec les **Dataframes** de **Panda**.

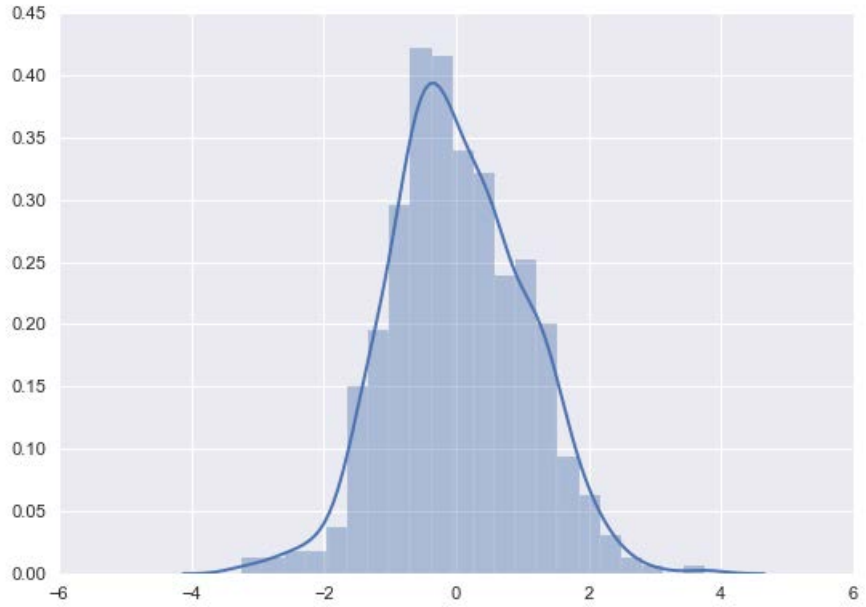
Seaborn fournit une interface qui permet de palier ces problèmes. Il utilise toujours **Matplotlib**, mais le fait en exposant des fonctions plus intuitives. Pour commencer à l'utiliser, rien de plus simple.

```
>>> import seaborn as sns
>>> sns.set()
>>> x = np.linspace(0, 10, 500)
>>> y = np.random.randn(500)
>>> plt.plot(x,y)
>>> plt.show()
```

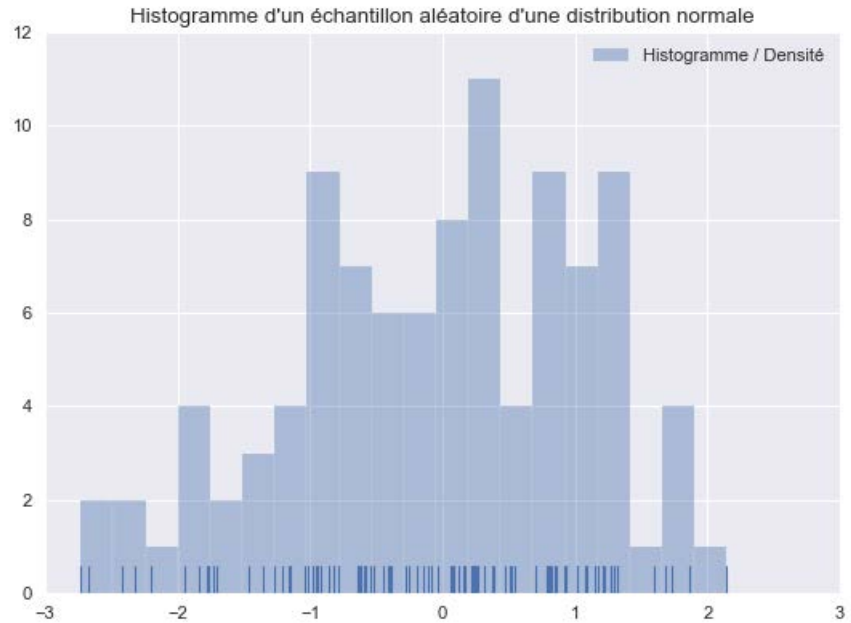


Seaborn nous fournit aussi des fonctions pour des graphiques utiles pour l'analyse statistique. Par exemple, la fonction **distplot** permet non seulement de visualiser l'histogramme d'un échantillon, mais aussi d'estimer la distribution dont l'échantillon est issu.

```
>>> sns.distplot(y, kde=True);
>>> plt.show()
```

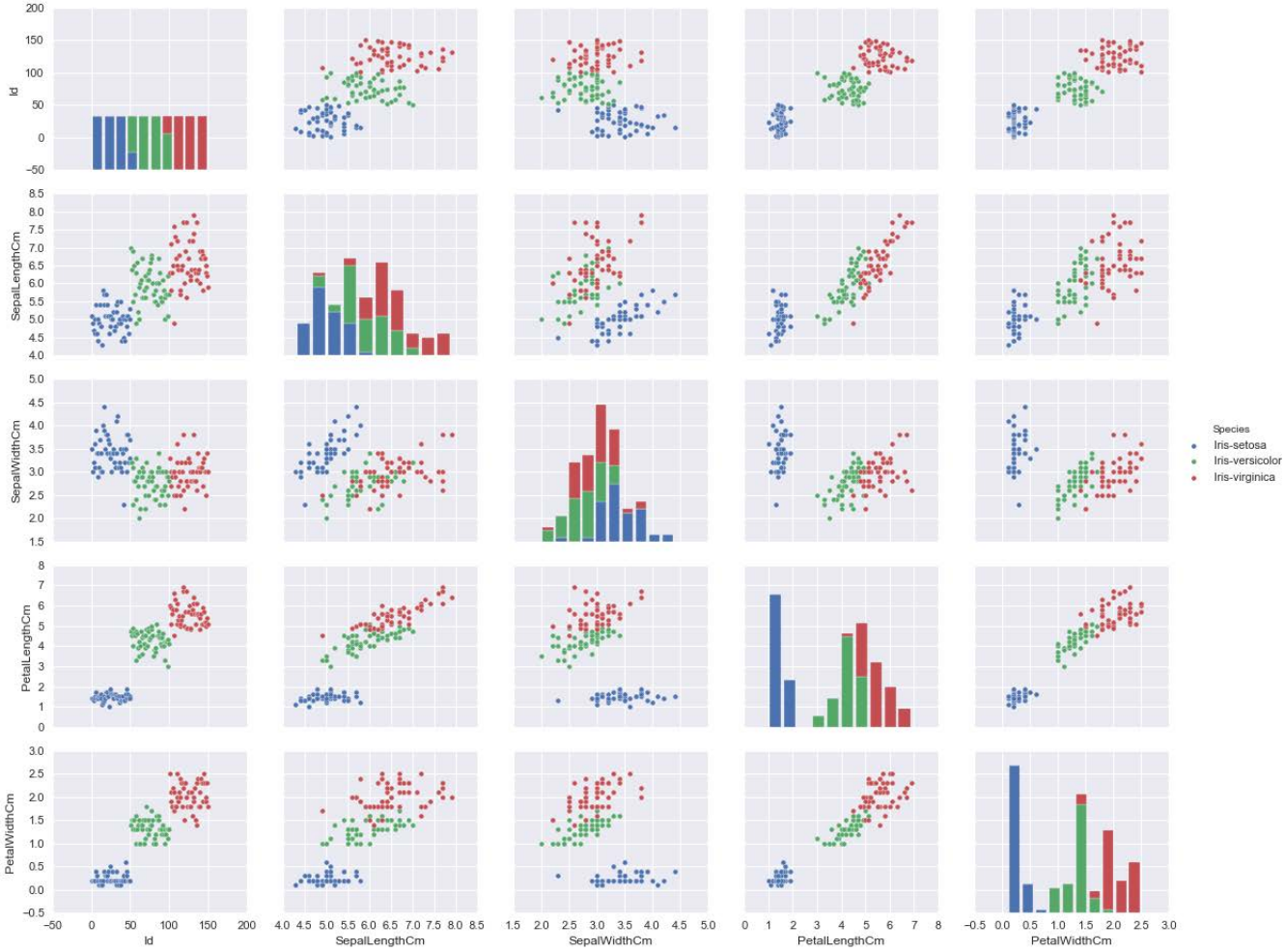



```
>>> sns.set(color_codes=True)
>>> x = np.random.normal(size=100)
>>> sns.distplot(x, bins=20, kde=False, rug=True, label="Histogramme
/ Densité")
>>> plt.title("Histogramme d'un échantillon aléatoire d'une
distribution normale")
>>> plt.legend()
>>> plt.show()
```



Imaginons que nous voulons travailler sur un ensemble de données provenant du jeu de données **« Iris »,** qui contient des mesures de la longueur et la largeur des sépales et des pétales de trois espèces d'iris.

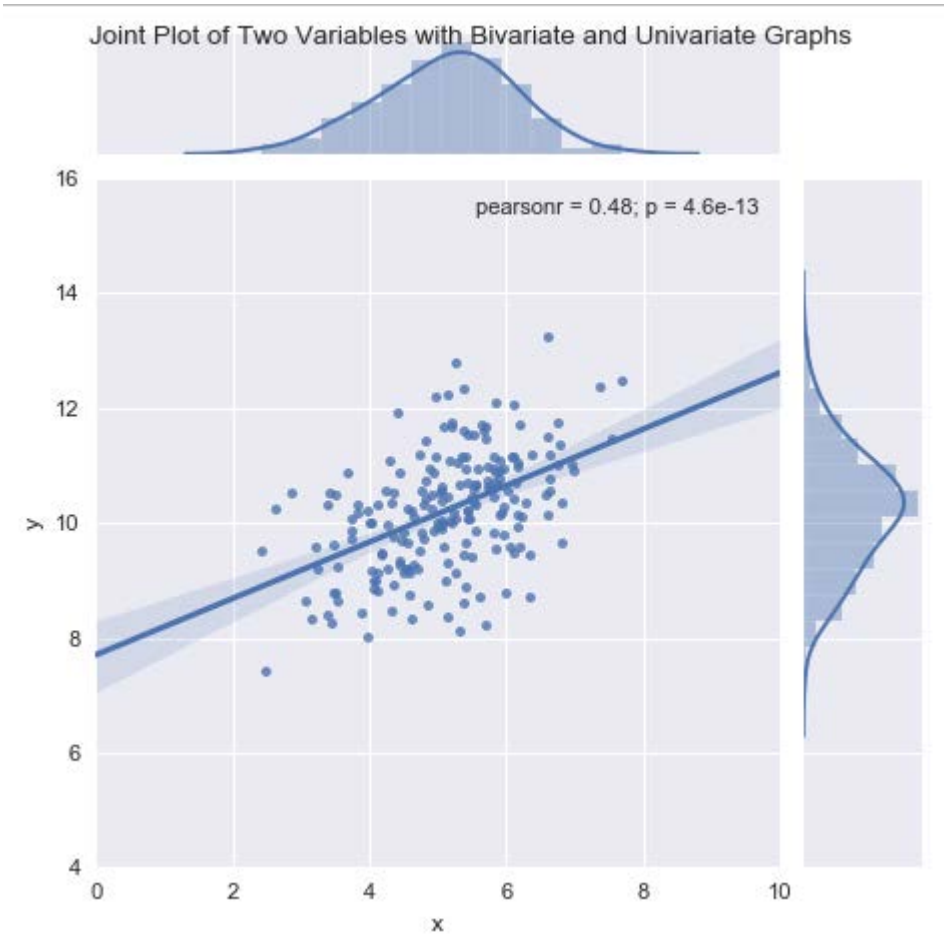
```
>>> iris = pd.read_csv('donnees/Iris.csv')
>>> sns.pairplot(iris)
>>> sns.pairplot(iris, hue='Species', size=2.5);
>>> plt.show()
```



La diagonale est traitée différemment, car tracer une variable en fonction d'elle-même n'aurait aucun intérêt. À la place, **`sns.pairplot`** trace un histogramme des données en fonction de la variable en question pour chaque classe de données.

Nous pouvons aussi voir la distribution jointe de deux caractéristiques :

```
>>> mean, cov = [5, 10], [(1, .5), (.5, 1)]
>>> data = np.random.multivariate_normal(mean, cov, 200)
>>> data_frame = pd.DataFrame(data, columns=["x", "y"])
>>> sns.jointplot(x="x", y="y", data=data_frame, kind="reg")\
...                 .set_axis_labels("x", "y")
>>> plt.suptitle("Joint Plot of Two Variables with Bivariate and
Univariate Graphs")
>>> plt.show()
```




```
>>> mpg = pd.read_csv('donnees/mpg.csv')
>>> sns.factorplot(x="year", y="hwy", \
...         col="class", data=mpg, kind="box",size=4, aspect=.5)
>>> plt.show()
```

11

Les DataFrames

Les structures de données

La librairie **Pandas** fournit deux structures de données fondamentales, la **« Series »** et le **« DataFrame »**. On peut voir ces structures comme une généralisation des tableaux et des matrices de **Numpy**. La différence fondamentale entre ces structures et les versions de **Numpy** est que les objets **Pandas** possèdent des indices explicites. Là où on ne pouvait se référer à un élément d'un tableau **Numpy** que par sa position dans le tableau, chaque élément d'une **« Series »** ou d'un **« DataFrame »** peut avoir un indice explicitement désigné par l'utilisateur.

L'indice explicite est optionnel. On peut très bien utiliser une **« Series »** par exemple comme on utiliserait un tableau **« Numpy »**, en se contentant des indices générés automatiquement en fonction de la position de chaque élément.

Commençons par voir comment créer ces structures et nous en servir pour quelques opérations de base.

```
>>> import numpy as np
>>> import pandas as pd
>>> # On peut créer une Series à partir d'une list
>>> data = pd.Series([0.25, 0.5, 0.75, 1.0])
>>> print("data ressemble à un tableau Numpy: ", data)
data ressemble à un tableau Numpy:  0    0.25
1    0.50
2    0.75
3    1.00
dtype: float64
>>> # On peut spécifier des indices à la main
>>> data = pd.Series([0.25, 0.5, 0.75, 1.0],
...          index=['a', 'b', 'c', 'd'])
>>> print("data ressemble à un dict en Python: ", data)
data ressemble à un dict en Python:  a    0.25
b    0.50
c    0.75
d    1.00
dtype: float64
>>> print(data['b'])
0.5
>>> # On peut même créer une Serie directement à partir d'une dict
... population_dict = {'California': 38332521,
...                    'Texas': 26448193,
...                    'New York': 19651127,
...                    'Florida': 19552860,
...                    'Illinois': 12882135}
>>> area_dict = {'California': 423967,
...              'Texas': 695662,
...              'New York': 141297,
...              'Florida': 170312,
...              'Illinois': 149995}
>>> population = pd.Series(population_dict)
>>> area = pd.Series(area_dict)
>>> print(population)
California    38332521
```

```
Florida       19552860
Illinois      12882135
New York      19651127
Texas         26448193
dtype: int64
>>> # Que pensez vous de cette ligne?
>>> print(population['California':'Florida'])
California    38332521
Florida       19552860
dtype: int64
```

De la même façon que les opérations sur les tableaux **Numpy** sont plus rapides que celles sur les **« list »** en Python, les opérations sur les **« Series »** sont plus rapides que celles sur les **« dict »**.

Les **« DataFrame »** permettent de combiner plusieurs **« Series »** en colonnes, un peu comme dans un tableau SQL.

```
>>> # A partir d'une Series
>>> df = pd.DataFrame(population, columns=['population'])
>>> print(df)
            population
California    38332521
Florida       19552860
Illinois      12882135
New York      19651127
Texas         26448193
>>> # A partir d'une list de dict
>>> data = [{'a': i, 'b': 2 * i}
...         for i in range(3)]
>>> df = pd.DataFrame(data)
>>> print(df)
   a  b
0  0  0
1  1  2
2  2  4
>>> # A partir de plusieurs Series
>>> df = pd.DataFrame({'population': population, 'area': area})
>>> print(df)
              area  population
California  423967    38332521
Florida     170312    19552860
Illinois    149995    12882135
New York    141297    19651127
Texas       695662    26448193
>>> # A partir d'un tableau Numpy de dimension 2
>>> df = pd.DataFrame(np.random.rand(3, 2),
...              columns=['foo', 'bar'],
...              index=['a', 'b', 'c'])
>>> print(df)
        foo       bar
a  0.379015  0.789917
b  0.713045  0.660162
c  0.527456  0.634284
>>> # Une fonction pour générer facilement des DataFrame.
>>> # Elle nous sera utile dans la suite de ce chapitre.
```

```
>>> def make_df(cols, ind):
...     """Crée rapidement des DataFrame"""
...     data = {c: [str(c) + str(i) for i in ind]
...             for c in cols}
...     return pd.DataFrame(data, ind)
...
>>> # exemple
>>> make_df('ABC', range(3))
    A   B   C
0  A0  B0  C0
1  A1  B1  C1
2  A2  B2  C2
```

```
>>> raw_data = {'first_name': ['Jason', 'Molly', 'Tina',
...                 'Jake', 'Amy'],
...         'last_name': ['Miller', 'Jacobson', ".",
...                 'Milner', 'Cooze'],
...         'age': [42, 52, 36, 24, 73],
...         'preTestScore': [4, 24, 31, ".", "."],
...         'postTestScore': ["25,000", "94,000", 57, 62, 70]}
>>> df = pd.DataFrame(raw_data, columns = ['first_name',
...        'last_name','age','preTestScore','postTestScore'])
>>> df
  first_name last_name  age preTestScore postTestScore
0      Jason    Miller   42            4        25,000
1      Molly  Jacobson   52           24        94,000
2       Tina         .   36           31            57
3       Jake    Milner   24            .            62
4        Amy     Cooze   73            .            70
```

Lecture et écriture de DataFrame

Aujourd'hui, on n'a plus besoin de réécrire soi-même une fonction de lecture ou d'écriture de données présentées sous forme de tables. Il existe des fonctions plus génériques qui gère un grand nombre de cas.

```
>>> import pandas as pd
>>> l = [ { "date":"2017-06-22", "prix":220.0, "devise":"euros" },
...       { "date":"2017-06-23", "prix":221.0, "devise":"euros" },]
>>> df = pd.DataFrame(l)
>>> # écriture au format texte
>>> df.to_csv("donnees/exemple.txt",sep="\t",
...            encoding="utf-8", index=False)
>>> # on regarde ce qui a été enregistré
... with open("donnees/exemple.txt", "r", encoding="utf-8") as f:
...     text = f.read()
...
>>> print(text)
date    devise  prix
2017-06-22      euros   220.0
2017-06-23      euros   221.0

>>> # on enregistre au format Excel
>>> df.to_excel("donnees/exemple.xlsx", index=False)
```

La librairie **Pandas** fournis un ensemble de fonctions de lecture écriture de haut niveau pour accéder aux fichiers. Le fonctions de lecture renvoient généralement un objet DataFrame.

Format Type	Data Description	Reader	Writer
text	CSV	**read_csv**	**to_csv**
text	JSON	**read_json**	**to_json**
text	HTML	**read_html**	**to_html**
text	Local clipboard	**read_clipboard**	**to_clipboard**
binary	MS Excel	**read_excel**	**to_excel**
binary	HDF5 Format	**read_hdf**	**to_hdf**
binary	Feather Format	**read_feather**	**to_feather**
binary	Parquet Format	**read_parquet**	**to_parquet**
binary	Msgpack	**read_msgpack**	**to_msgpack**
binary	Stata	**read_stata**	**to_stata**
binary	SAS	**read_sas**	
binary	Python Pickle Format	**read_pickle**	**to_pickle**
SQL	SQL	**read_sql**	**to_sql**
SQL	Google Big Query	read_gbq	to_gbq

```
>>> import pandas as pd
>>> villes = pd.read_csv("donnees/temperatures.csv",
...             index_col='Ville')
>>> villes.head()
               Janv  Févr  Mars   Avri    Mai   Juin   Juil   Août   Sept  \
Ville
Abbeville      4.27  4.96  7.27   9.94  13.17  15.89  17.73  17.95  15.47
Lille-Lesquin  3.80  4.73  7.40  10.55  14.09  16.95  18.77  18.74  15.90
Pte De La Hague 7.89 7.66  8.54  10.03  12.38  14.79  16.72  17.48  16.63
Caen-Carpiquet 5.38  5.94  7.80  10.02  13.21  16.19  17.94  18.18  15.85
Rouen-Boos     3.95  4.66  7.28   9.99  13.38  16.38  18.11  18.11  15.33

                Octo   Nove  Déce        Lat      Long  Alt    Moy    Amp  \
Ville
Abbeville      11.90   7.80  4.92  50.136000  1.834000   69  10.94  13.68
Lille-Lesquin  11.81   7.53  4.52  50.570000  3.097500   47  11.23  14.97
Pte De La Hague 14.38 11.31  8.96  49.725167 -1.939833    6  12.23   9.82
Caen-Carpiquet 12.59   8.75  5.96  49.180000 -0.456167   67  11.48  12.80
Rouen-Boos     11.60   7.40  4.46  49.383000  1.181667  151  10.89  14.16

              Zone
Ville
Abbeville       NO
Lille-Lesquin   NE
Pte De La Hague NO
Caen-Carpiquet  NO
Rouen-Boos      NO
>>> villes.describe()
           Janv       Févr       Mars       Avri        Mai       Juin  \
count  42.000000  42.000000  42.000000  42.000000  42.000000  42.000000
mean    5.335714   5.959762   8.814524  11.577381  15.236190  18.755952
std     2.286357   2.015944   1.705363   1.614030   1.781203   2.179185
min     1.110000   1.610000   4.980000   7.970000  12.100000  14.790000
25%     3.837500   4.662500   7.425000  10.282500  14.107500  17.270000
50%     5.210000   5.860000   8.550000  11.225000  14.955000  18.525000
75%     7.397500   7.607500  10.167500  12.790000  16.567500  20.140000
max     9.270000   9.510000  12.010000  14.680000  18.880000  23.150000

           Juil       Août       Sept       Octo       Nove       Déce  \
count  42.000000  42.000000  42.000000  42.000000  42.000000  42.000000
mean   20.566905  20.473571  17.319286  13.578095   8.947381   5.977857
std     2.342368   2.248508   1.991061   2.079219   2.215485   2.279859
min    16.720000  16.990000  13.520000   9.890000   4.900000   1.830000
25%    19.172500  18.907500  15.905000  11.877500   7.545000   4.555000
50%    20.155000  20.115000  16.740000  13.075000   8.380000   5.530000
75%    21.607500  21.640000  18.437500  14.737500  10.535000   8.015000
max    25.320000  25.000000  21.350000  17.740000  13.350000  10.220000

            Lat       Long         Alt        Moy        Amp
count  42.000000  42.000000   42.000000  42.000000  42.000000
mean   46.251996   2.421921  174.476190  12.711667  15.316429
std     2.450608   3.419851  211.239459   1.836500   2.406873
min    41.918000  -4.412000    2.000000   9.120000   9.530000
25%    43.962000   0.027542   43.250000  11.440000  14.420000
50%    46.320333   2.372083  101.500000  12.205000  15.630000
75%    48.445167   4.991625  231.000000  13.715000  16.665000
max    50.570000   9.485167  871.000000  16.470000  19.180000
>>> villes.axes
[Index(['Abbeville', 'Lille-Lesquin', 'Pte De La Hague', 'Caen-Carpiquet',
       'Rouen-Boos', 'Reims-Prunay', 'Brest-Guipavas', 'Ploumanac'h',
       'Rennes-St Jacques', 'Alencon', 'Orly', 'Troyes-Barberey',
       'Nancy-Ochey', 'Strasbourg-Entzheim', 'Belle Ile-Le Talut',
       'Nantes-Bouguenais', 'Tours', 'Bourges', 'Dijon-Longvic',
       'Bale-Mulhouse', 'Pte De Chassiron', 'Poitiers-Biard',
```

```
       'Limoges-Bellegarde', 'Clermont-Fd', 'Le Puy-Loudes', 'Lyon-St Exupery',
       'Bordeaux-Merignac', 'Gourdon', 'Millau', 'Montelimar', 'Embrun',
       'Mont-De-Marsan', 'Tarbes-Ossun', 'St Girons', 'Toulouse-Blagnac',
       'Montpellier', 'Marignane', 'Cap Cepet', 'Nice', 'Perpignan', 'Ajaccio',
       'Bastia'],
      dtype='object', name='Ville'), Index(['Janv', 'Févr', 'Mars', 'Avri', 'Mai',
'Juin', 'Juil', 'Août', 'Sept',
       'Octo', 'Nove', 'Déce', 'Lat', 'Long', 'Alt', 'Moy', 'Amp', 'Zone'],
      dtype='object')]
>>> villes.dtypes
Janv    float64
Févr    float64
Mars    float64
Avri    float64
Mai     float64
Juin    float64
Juil    float64
Août    float64
Sept    float64
Octo    float64
Nove    float64
Déce    float64
Lat     float64
Long    float64
Alt       int64
Moy     float64
Amp     float64
Zone     object
dtype: object
```

Il est possible de sélectionner les colonnes qui doivent être chargées et changer les noms par défaut.

```
>>> commandes = pd.read_csv("donnees/stagiaire/commandes.csv",
...       sep=';',header=0,usecols=[0,1,2,3,4,5],
...       names=['No','Client','Employe','Commande','Envoi','Port'])
>>> commandes.head()
       No Client  Employe    Commande       Envoi  Port
0  215650  LONEP       84  2010-02-02  2010-03-08  50.1
1  215653  PERIC       78  2010-02-02  2010-03-14  97.6
2  215652  BOTTM       72  2010-02-02  2010-03-02  89.3
3  215674  SPECD      111  2010-02-02  2010-03-01  86.2
4  215672  WELLI       39  2010-02-02  2010-02-12  71.9
```

La projection et la restriction

L'algèbre relationnelle est une théorie permettant de manipuler des données disposées sous forme de tableau ; et ça tombe bien : un **« DataFrame »**, c'est justement un tableau !

On peut référer aux éléments des objets **Pandas** en utilisant soit leurs index implicites, de la même façon que les tableaux **Numpy**, soit les index explicites comme dans les **« dict »**. Pour éviter toute confusion, il est conseillé d'utiliser les attributs **« loc »** qui référence par l'index et **« iloc »** qui référence par la position de chaque objet.

```
>>> data = pd.Series([0.25, 0.5, 0.75, 1.0],
...                  index=['a', 'b', 'c', 'd'])
>>> print(data)
a    0.25
b    0.50
c    0.75
d    1.00
dtype: float64
>>> # On peut désigner un élément d'une Series par son index
... print(data.loc['b'])
0.5
>>> # Ou bien par sa position
... print(data.iloc[1])
0.5
```

La différence entre les deux devrait être claire après avoir exécuté ces lignes. Effectuer ces mêmes opérations sur les **DataFrame** se fait de manière analogue.

```
>>> data = pd.DataFrame({'area':area, 'pop':population})
>>> print(data)
              area       pop
California  423967  38332521
Florida     170312  19552860
Illinois    149995  12882135
New York    141297  19651127
Texas       695662  26448193
>>> data.loc[:'Illinois', :'pop']
              area       pop
California  423967  38332521
Florida     170312  19552860
Illinois    149995  12882135
```

Il est possible d'accéder à une colonne a l'aide de plusieurs syntaxes.

```
>>> villes.head(3)
               Janv  Févr  Mars   Avri    Mai   Juin   Juil   Août   Sept  \
Ville
Abbeville      4.27  4.96  7.27   9.94  13.17  15.89  17.73  17.95  15.47
Lille-Lesquin  3.80  4.73  7.40  10.55  14.09  16.95  18.77  18.74  15.90
Pte De La Hague  7.89  7.66  8.54  10.03  12.38  14.79  16.72  17.48  16.63

                Octo   Nove  Déce        Lat      Long  Alt    Moy    Amp  \
Ville
Abbeville      11.90   7.80  4.92  50.136000  1.834000   69  10.94  13.68
Lille-Lesquin  11.81   7.53  4.52  50.570000  3.097500   47  11.23  14.97
Pte De La Hague  14.38  11.31  8.96  49.725167 -1.939833    6  12.23   9.82
```

```
              Zone
Ville
Abbeville        NO
Lille-Lesquin    NE
Pte De La Hague  NO
>>> villes.head(3).Janv
Ville
Abbeville          4.27
Lille-Lesquin      3.80
Pte De La Hague    7.89
Name: Janv, dtype: float64
>>> villes.head(3)['Janv']
Ville
Abbeville          4.27
Lille-Lesquin      3.80
Pte De La Hague    7.89
Name: Janv, dtype: float64
```

L'objet que renvoie **`villes.head(3)['Janv']`** est de type **`pandas.Series`**. Pour obtenir les valeurs de la colonne **`Janv`** au format **`numpy`**, il faut saisir **`villes.head(3)['Janv'].values.`**

Accédons maintenant aux données de la ville Abbeville, d'abord par sa position 0, puis par son nom. Le résultat retourné est exactement le même dans les 2 cas.

```
>>> villes.iloc[0,0:3]
Janv    4.27
Févr    4.96
Mars    7.27
Name: Abbeville, dtype: object
>>> villes.loc[['Abbeville'],
...            ['Janv','Févr','Mars']]
           Janv  Févr  Mars
Ville
Abbeville  4.27  4.96  7.27

>>> villes.iloc[0:3,0:3]
                Janv  Févr  Mars
Ville
Abbeville       4.27  4.96  7.27
Lille-Lesquin   3.80  4.73  7.40
Pte De La Hague 7.89  7.66  8.54
```

On désigne généralement une colonne ou variable par son nom. Les lignes peuvent être désignées par un entier.

```
>>> import pandas as pd
>>> villes = pd.read_csv("donnees/temperatures.csv")
>>> villes.head().iloc[:,:5]
             Ville  Janv  Févr  Mars   Avri
0        Abbeville  4.27  4.96  7.27   9.94
1    Lille-Lesquin  3.80  4.73  7.40  10.55
2  Pte De La Hague  7.89  7.66  8.54  10.03
3   Caen-Carpiquet  5.38  5.94  7.80  10.02
4       Rouen-Boos  3.95  4.66  7.28   9.99
>>> villes.iloc[2]
Ville    Pte De La Hague
Janv                7.89
```

```
Févr                7.66
Mars                8.54
Avri               10.03
Mai                12.38
Juin               14.79
Juil               16.72
Août               17.48
Sept               16.63
Octo               14.38
Nove               11.31
Déce                8.96
Lat              49.7252
Long            -1.93983
Alt                   6
Moy               12.23
Amp                9.82
Zone                 NO
Name: 2, dtype: object
>>> villes.iloc[1,2]
4.7300000000000004
>>> villes.iloc[:3,:2]
            Ville  Janv
0        Abbeville  4.27
1    Lille-Lesquin  3.80
2  Pte De La Hague  7.89
```

On extrait une valeur en indiquant sa position dans la table avec des entiers

```
>>> villes.head().loc[1,'Janv']
3.7999999999999998
>>> villes.head().iloc[:,:3]
            Ville  Janv  Févr
0        Abbeville  4.27  4.96
1    Lille-Lesquin  3.80  4.73
2  Pte De La Hague  7.89  7.66
3   Caen-Carpiquet  5.38  5.94
4       Rouen-Boos  3.95  4.66
>>> villes.head().iloc[:,[1,3,5,12]]
   Janv  Mars    Mai  Déce
0  4.27  7.27  13.17  4.92
1  3.80  7.40  14.09  4.52
2  7.89  8.54  12.38  8.96
3  5.38  7.80  13.21  5.96
4  3.95  7.28  13.38  4.46
>>> villes.head().loc[:,:3]
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
...
```

Avec loc, il faut préciser le nombre de la colonne

```
>>> villes.columns
Index(['Ville', 'Janv', 'Févr', 'Mars', 'Avri', 'Mai', 'Juin', 'Juil', 'Août',
       'Sept', 'Octo', 'Nove', 'Déce', 'Lat', 'Long', 'Alt', 'Moy', 'Amp',
       'Zone'],
      dtype='object')
>>> villes.head().loc[:,['Janv','Mai','Déce']]
   Janv    Mai  Déce
```

```
0  4.27  13.17  4.92
1  3.80  14.09  4.52
2  7.89  12.38  8.96
3  5.38  13.21  5.96
4  3.95  13.38  4.46
```

Mais il est possible d'utiliser une colonne ou plusieurs colonnes comme index à l'aide de la fonction **`set_index`**.

```
>>> villesI = villes.set_index('Ville')
>>> villesI.head()
                Janv  Févr  Mars   Avri    Mai   Juin   Juil   Août   Sept
\
Ville
Abbeville        4.27  4.96  7.27   9.94  13.17  15.89  17.73  17.95  15.47
Lille-Lesquin    3.80  4.73  7.40  10.55  14.09  16.95  18.77  18.74  15.90
Pte De La Hague  7.89  7.66  8.54  10.03  12.38  14.79  16.72  17.48  16.63
Caen-Carpiquet   5.38  5.94  7.80  10.02  13.21  16.19  17.94  18.18  15.85
Rouen-Boos       3.95  4.66  7.28   9.99  13.38  16.38  18.11  18.11  15.33

                 Octo   Nove  Déce        Lat      Long  Alt    Moy    Amp
\
Ville
Abbeville        11.90   7.80  4.92  50.136000  1.834000   69  10.94  13.68
Lille-Lesquin    11.81   7.53  4.52  50.570000  3.097500   47  11.23  14.97
Pte De La Hague  14.38  11.31  8.96  49.725167 -1.939833    6  12.23   9.82
Caen-Carpiquet   12.59   8.75  5.96  49.180000 -0.456167   67  11.48  12.80
Rouen-Boos       11.60   7.40  4.46  49.383000  1.181667  151  10.89  14.16

               Zone
Ville
Abbeville        NO
Lille-Lesquin    NE
Pte De La Hague  NO
Caen-Carpiquet   NO
Rouen-Boos       NO
>>> villesI.head().iloc[:,[1,3,5,12]]
                Févr   Avri   Juin        Lat
Ville
Abbeville        4.96   9.94  15.89  50.136000
Lille-Lesquin    4.73  10.55  16.95  50.570000
Pte De La Hague  7.66  10.03  14.79  49.725167
Caen-Carpiquet   5.94  10.02  16.19  49.180000
Rouen-Boos       4.66   9.99  16.38  49.383000
>>> villesI.head().iloc[:,['Janv','Mars','Mai','Déce']]
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
...
>>> villesI.head().loc[:,['Janv','Mars','Mai','Déce']]
                Janv  Mars    Mai  Déce
Ville
Abbeville        4.27  7.27  13.17  4.92
Lille-Lesquin    3.80  7.40  14.09  4.52
Pte De La Hague  7.89  8.54  12.38  8.96
Caen-Carpiquet   5.38  7.80  13.21  5.96
Rouen-Boos       3.95  7.28  13.38  4.46
```

Il est possible d'utiliser plusieurs colonnes comme index

```
>>> commandes = pd.read_csv("donnees/stagiaire/commandes.csv",
```

```
...       sep=';',header=0,usecols=[0,1,2,3,4,5],
...       names=['No','Client','Employe','Commande','Envoi','Port'])
>>> commandes.head()
       No Client  Employe    Commande       Envoi  Port
0  215650  LONEP       84  2010-02-02  2010-03-08  50.1
1  215653  PERIC       78  2010-02-02  2010-03-14  97.6
2  215652  BOTTM       72  2010-02-02  2010-03-02  89.3
3  215674  SPECD      111  2010-02-02  2010-03-01  86.2
4  215672  WELLI       39  2010-02-02  2010-02-12  71.9
>>> commandesI =
commandes.set_index(['Client','Employe','Commande'])
>>> commandes.dtypes
No            int64
Client       object
Employe       int64
Commande     object
Envoi        object
Port        float64
dtype: object
>>> commandesI.dtypes
No         int64
Envoi     object
Port     float64
dtype: object
>>> commandesI.iloc[1]
No           215653
Envoi    2010-03-14
Port           97.6
Name: (PERIC, 78, 2010-02-02), dtype: object
>>> commandesI.loc["PERIC",78,"2010-02-02"]
No           215653
Envoi    2010-03-14
Port           97.6
Name: (PERIC, 78, 2010-02-02), dtype: object
```

Si on veut changer l'index ou le supprimer il faut utiliser la fonction **« reset_index »**. Le mot-clé **« drop »** est utilisé pour garder ou non les colonnes servant d'index et **« inplace »** signifie qu'on modifie l'instance et non qu'une copie est modifiée.

```
>>> commandesI.reset_index(drop=False, inplace=True)
>>> commandesI.set_index(['No'],inplace=True)
>>> commandesI.dtypes
Client       object
Employe       int64
Commande     object
Envoi        object
Port        float64
dtype: object
>>> commandesI.head(3)
       Client  Employe    Commande       Envoi  Port
No
215650  LONEP       84  2010-02-02  2010-03-08  50.1
215653  PERIC       78  2010-02-02  2010-03-14  97.6
215652  BOTTM       72  2010-02-02  2010-03-02  89.3
```

Les index sont particulièrement utiles lorsqu'il s'agit de fusionner deux tables. Pour des petites tables, la plupart du temps, il est plus facile de s'en passer.

La restriction

Filter consiste à sélectionner un sous-ensemble de lignes du **`DataFrame`**. Pour filter sur plusieurs conditions, il faut utiliser les opérateurs logique & (et), | (ou), ~ (non).

```
>>> villes[villes.Janv > 7].Janv
Ville
Pte De La Hague       7.89
Brest-Guipavas        7.09
Ploumanac'h           7.79
Belle Ile-Le Talut    8.16
Pte De Chassiron      7.69
Montpellier           7.50
Marignane             7.54
Cap Cepet             9.08
Nice                  8.81
Perpignan             8.78
Ajaccio               9.14
Bastia                9.27
Name: Janv, dtype: float64
>>> villes[(villes.Janv > 7) &
...        (villes.Alt > 50)].loc[:,
...            ['Janv','Lat','Long','Alt']]
               Janv        Lat      Long  Alt
Ville
Brest-Guipavas  7.09  48.444167 -4.412000   94
Ploumanac'h     7.79  48.825833 -3.473167   55
Cap Cepet       9.08  43.079333  5.940833  115
```

Les dernières versions de pandas ont introduit la méthode query qui permet de réduire encore l'écriture.

```
>>> villes.query('(Janv > 7) & (Alt > 50)').loc[:,
...            ['Janv','Lat','Long','Alt']]
               Janv        Lat      Long  Alt
Ville
Brest-Guipavas  7.09  48.444167 -4.412000   94
Ploumanac'h     7.79  48.825833 -3.473167   55
Cap Cepet       9.08  43.079333  5.940833  115

>>> villes.query('((Janv < 5) & (Moy > 10 ) & (Amp < 15)) | (Alt >
500)').loc[:,
...            ['Janv','Moy','Amp','Alt']]
              Janv    Moy    Amp  Alt
Ville
Abbeville     4.27  10.94  13.68   69
Lille-Lesquin 3.80  11.23  14.97   47
Rouen-Boos    3.95  10.89  14.16  151
Alencon       4.37  11.29  14.35  143
Le Puy-Loudes 1.11   9.12  16.84  833
Millau        3.15  10.99  16.61  712
Embrun        1.57  10.89  19.18  871
```

L'union

Une des opérations les plus simples en algèbre relationnelle est l'union de données. Dans notre cas, nous allons nous intéresser à l'union de **« Series »** ou de **« DataFrame »**. Cette opération consiste en l'assemblage de plusieurs structures pour en créer une nouvelle. Avec Pandas, cette opération s'accomplit grâce à la fonction **« pd.concat »**.

```
>>> ser1 = pd.Series(['A', 'B', 'C'], index=[1, 2, 3])
>>> ser2 = pd.Series(['D', 'E', 'F'], index=[4, 5, 6])
>>> pd.concat([ser1, ser2])
1    A
2    B
3    C
4    D
5    E
6    F
dtype: object
```

Pour une Series, cela paraît facile. Mais pour un DataFrame ?

```
>>> def make_df(cols, ind):
...     """Crée rapidement des DataFrame"""
...     data = {c: [str(c) + str(i) for i in ind]
...             for c in cols}
...     return pd.DataFrame(data, ind)
...
>>> df1 = make_df('AB', [1, 2])
>>> df2 = make_df('AB', [3, 4])
>>> df1
    A   B
1  A1  B1
2  A2  B2
>>> df2
    A   B
3  A3  B3
4  A4  B4
>>> pd.concat([df1, df2])
    A   B
1  A1  B1
2  A2  B2
3  A3  B3
4  A4  B4
>>> df1 = make_df('AB', [1, 2])
>>> df2 = make_df('CD', [3, 4])
>>> pd.concat([df1, df2])
     A    B    C    D
1   A1   B1  NaN  NaN
2   A2   B2  NaN  NaN
3  NaN  NaN   C3   D3
4  NaN  NaN   C4   D4
```

La concaténation préserve les index ! Par exemple, si les deux **DataFrames** donnés en arguments ont des index en commun, le résultat final aura des index dupliqués.

Pour accéder à un élément d'un objet Pandas avec un index hiérarchique, il suffit de spécifier plusieurs index.

```
>>> x = make_df('AB', [0, 1])
>>> y = make_df('AB', [2, 3])
>>> y.index = x.index  # Rend les index identiques
>>> # Nous avons alors des index dupliqués
>>> print(pd.concat([x, y]))
    A   B
0  A0  B0
1  A1  B1
0  A2  B2
1  A3  B3
>>> # Nous pouvons spécifier des index hiérarchiques
>>> hdf = pd.concat([x, y], keys=['x', 'y'])
>>> print(hdf)
      A   B
x 0  A0  B0
  1  A1  B1
y 0  A2  B2
  1  A3  B3
```

La jointure

Une autre fonction très utile pour manipuler les **Dataframe** est **« pd.merge »**. Elle permet de réaliser des opérations différentes en fonction des arguments qu'elle reçoit.

Jointure un-à-un

Imaginons que nous disposons de deux **Dataframe**, un contenant une liste d'employés et leurs dates d'entrée dans l'entreprise, et l'autre le nom des départements dans lesquels ils travaillent. La fonction **« pd.merge »** nous permet de transformer ces deux **Dataframes** en un seul contenant les deux informations.

```
>>> df1 = pd.DataFrame({'employee': ['Bob', 'Jake', 'Lisa', 'Sue'],
...                     'department': ['Accounting',
...                         'Engineering', 'Engineering', 'HR']})
>>> df2 = pd.DataFrame({'employee': ['Lisa', 'Bob', 'Jake', 'Sue'],
...                     'date': [2004, 2008, 2012, 2014]})
>>> df3 = pd.merge(df1, df2)
>>> df3
    department employee  date
0   Accounting      Bob  2008
1  Engineering     Jake  2012
2  Engineering     Lisa  2004
3           HR      Sue  2014
```

La fonction **« pd.merge »** a automatiquement reconnu que la colonne **employee** était commune aux deux **Dataframe**, et l'a utilisée comme clé de jointure.

Jointure plusieurs-à-un

Maintenant nous voulons ajouter une autre colonne. Chaque département a un chef. Cette information est contenue dans un **Dataframe**. Nous voulons ajouter une colonne à **df3** pour y ajouter le chef de chaque employé.

```
>>> df4 = pd.DataFrame({'department':['Accounting',
...                       'Engineering','HR'],
...                     'supervisor':['Carly','Guido','Steve']})
>>> pd.merge(df3, df4)
    department employee  date supervisor
0   Accounting      Bob  2008      Carly
1  Engineering     Jake  2012      Guido
2  Engineering     Lisa  2004      Guido
3           HR      Sue  2014      Steve
```

Remarquez que Guido apparaît plusieurs fois dans le résultat.

Jointure plusieurs-à-plusieurs

Les jointures plusieurs-à-plusieurs sont un peu compliquées à expliquer, mais elles sont quand même bien définies et très utiles. Pour continuer avec notre exemple, supposons que nous disposions d'un autre **Dataframe** contenant les compétences nécessaires pour travailler dans chaque département. Maintenant, nous souhaitons associer à chaque employé les compétences qu'il doit posséder pour travailler dans son département.

```
>>> df5 = pd.DataFrame({'department': ['Accounting','Accounting',
...                       'Engineering','Engineering','HR','HR'],
...                    'competence': ['math','spreadsheets','coding',
...                      'linux','spreadsheets','organization']})
>>> pd.merge(df1, df5)
    department employee    competence
0   Accounting      Bob          math
1   Accounting      Bob  spreadsheets
2  Engineering     Jake        coding
3  Engineering     Jake         linux
4  Engineering     Lisa        coding
5  Engineering     Lisa         linux
6           HR      Sue  spreadsheets
7           HR      Sue  organization
```

Quand la colonne utilisée comme clé de jointure possède des entrées dupliquées, comme c'est le cas pour **df5**, le résultat de **« pd.merge »** est une jointure plusieurs-à-plusieurs.

Le produit cartésien

Nous pouvons utiliser les jointures plusieurs-à-plusieurs pour réaliser une autre opération d'algèbre relationnelle, le produit cartésien.

```
>>> # Nous ajoutons une nouvelle colonne à df1 et df2
... # , qui contient toujours la même valeur, ici 0.
>>> df1['key'] = 0
>>> df2['key'] = 0
>>> # La jointure plusieurs-à-plusieurs
>>> produit_cartesien = pd.merge(df1, df2, how='left', on='key')
>>> produit_cartesien
     department employee_x  key  date employee_y
0    Accounting        Bob    0  2004       Lisa
1    Accounting        Bob    0  2008        Bob
2    Accounting        Bob    0  2012       Jake
3    Accounting        Bob    0  2014        Sue
4   Engineering       Jake    0  2004       Lisa
5   Engineering       Jake    0  2008        Bob
6   Engineering       Jake    0  2012       Jake
7   Engineering       Jake    0  2014        Sue
8   Engineering       Lisa    0  2004       Lisa
9   Engineering       Lisa    0  2008        Bob
10  Engineering       Lisa    0  2012       Jake
11  Engineering       Lisa    0  2014        Sue
12           HR        Sue    0  2004       Lisa
13           HR        Sue    0  2008        Bob
14           HR        Sue    0  2012       Jake
15           HR        Sue    0  2014        Sue
>>> # Effaçons la colonne key qui n'est plus utile
>>> produit_cartesien.drop('key',1, inplace=True)
>>> produit_cartesien.dtypes
department    object
employee_x    object
date           int64
employee_y    object
dtype: object
```

L'argument optionnel **« on »** permet de dire explicitement à **« pd.merge »** quelle colonne utiliser comme clé de jointure. L'argument **« how »** spécifie le type de jointure, parmi **« inner »**, **« outer »**, **« left »** et **« right »**.

```
>>> employes = pd.read_csv("donnees/stagiaire/employes.csv",
...         sep=';',header=0, na_values=["null"],
...         usecols=['No','Manager', 'Nom', 'Prenom'],
...         names=['No','Manager', 'Nom', 'Prenom'])
>>> managers = employes.copy()
>>> employes.dtypes
No           int64
Manager    float64
Nom         object
Prenom      object
dtype: object
>>> managers.dtypes
No           int64
Manager    float64
Nom         object
Prenom      object
dtype: object
>>> empman = pd.merge(employes, managers,left_on='Manager',
...            right_on='No',how='left')
>>> empman.head()
   No_x  Manager_x     Nom_x     Prenom_x  No_y  Manager_y     Nom_y  \
0    37        NaN    Giroux  Jean-Claude   NaN        NaN       NaN
1    14       37.0    Fuller       Andrew  37.0        NaN    Giroux
2    18       37.0  Brasseur        Hervé  37.0        NaN    Giroux
3    24       14.0  Buchanan       Steven  14.0       37.0    Fuller
4    95       18.0     Leger       Pierre  18.0       37.0  Brasseur

      Prenom_y
0          NaN
1  Jean-Claude
2  Jean-Claude
3       Andrew
4        Hervé
```

L'agrégation

Comme les tableaux **Numpy**, nous pouvons facilement effectuer des opérations sur l'ensemble des éléments d'une **Series** ou un **Dataframe**.

```
>>> import numpy as np
>>> rng = np.random.RandomState(42)
>>> # Une Series avec cinq nombres aléatoires
>>> ser = pd.Series(rng.rand(5))
>>> print(ser.sum())
2.811925491708157
>>> print(ser.mean())
0.5623850983416314
```

Pour un **Dataframe**, par défaut le calcul est fait par colonne.

```
>>> df = pd.DataFrame({'A': rng.rand(5),
...                    'B': rng.rand(5)})
>>> df
          A         B
0  0.155995  0.020584
1  0.058084  0.969910
2  0.866176  0.832443
3  0.601115  0.212339
4  0.708073  0.181825
>>> # Par colonne
... print(df.mean())
A    0.477888
B    0.443420
dtype: float64
>>> # Par ligne
>>> print(df.mean(axis='columns'))
0    0.088290
1    0.513997
2    0.849309
3    0.406727
4    0.444949
dtype: float64
```

Pandas nous permet aussi d'accomplir une agrégation par groupe, semblable à ce qu'on peut obtenir en utilisant le mot clé **« GROUP BY »** en SQL.

```
>>> df = pd.DataFrame({'key': ['A', 'B', 'C', 'A', 'B', 'C'],
...                    'data': range(6)}, columns=['key', 'data'])
>>> print(df)
  key  data
0   A     0
1   B     1
2   C     2
3   A     3
4   B     4
5   C     5
>>> df.groupby('key').sum()
     data
key
```

```
A       3
B       5
C       7
```

Dans Pandas, cette opération se fait en deux étapes. Nous allons d'abord créer un objet de type **`DataFrame`**. **`GroupBy`** c'est une sorte de vue sur notre **`DataFrame`**. Ensuite, nous pouvons appliquer les opérations que nous souhaitons sur ce nouvel objet. Le résultat sera agrégé !

```
>>> employes = pd.read_csv("donnees/stagiaire/employes.csv",
...   sep=';',header=0,index_col='No',na_values=["null"],
...   usecols=['No','Nom','Fonction','Pays','Salaire','Commission'],
...   names=['No','Manager','Nom','Prenom','Fonction','Titre',
...  'Naissance','Embauche','Salaire','Commission','Pays','Region'])
>>> employes.head()
        Nom         Fonction  Salaire  Commission Pays
No
37    Giroux        Président   150000         NaN  NaN
14    Fuller   Vice-Président    96000         NaN  NaN
18  Brasseur   Vice-Président   147000         NaN  NaN
24  Buchanan  Chef des ventes    13000     12940.0  NaN
95     Leger  Chef des ventes    19000     11150.0  NaN
>>> employes.Commission = employes.apply(lambda x: 0
...       if np.isnan(x['Commission']) else x['Commission'], axis=1)
>>> employes.Pays = employes.apply(lambda x: 'NonAff'
...        if pd.isnull(x['Pays']) else x['Pays'], axis=1)
>>> employes.head()
        Nom         Fonction  Salaire  Commission    Pays
No
37    Giroux        Président   150000         0.0  NonAff
14    Fuller   Vice-Président    96000         0.0  NonAff
18  Brasseur   Vice-Président   147000         0.0  NonAff
24  Buchanan  Chef des ventes    13000     12940.0  NonAff
95     Leger  Chef des ventes    19000     11150.0  NonAff
>>> employes.groupby('Fonction').sum()
                     Salaire  Commission
Fonction
Assistante commerciale    16540         0.0
Chef des ventes           83000     68790.0
Président                150000         0.0
Représentant(e)          692900     88900.0
Vice-Président           243000         0.0
>>> employes.groupby('Fonction').mean()
                              Salaire    Commission
Fonction
Assistante commerciale    1654.000000      0.000000
Chef des ventes          13833.333333  11465.000000
Président               150000.000000      0.000000
Représentant(e)           7531.521739    966.304348
Vice-Président          121500.000000      0.000000
>>> employes.groupby(['Fonction','Pays']).sum()
                                   Salaire  Commission
Fonction              Pays
Assistante commerciale NonAff        16540         0.0
Chef des ventes        NonAff        83000     68790.0
Président              NonAff       150000         0.0
Représentant(e)        Allemagne     51200      9660.0
                       Argentine     38900      5640.0
```

```
                      Autriche       25600      1960.0
                      Belgique       27000      2930.0
                      Brésil         23100      1090.0
                      Canada         35500      5840.0
                      Danemark       27500      3510.0
                      Espagne        36700      4860.0
                      Finlande       29800      2200.0
                      France         32200      3610.0
                      Irlande        36400      4040.0
                      Italie         29000      1590.0
                      Mexique        28900      3860.0
                      Norvège        35300      6160.0
                      Pologne        32400      5030.0
                      Portugal       31600      3860.0
                      Royaume-Uni    42900      4570.0
                      Suisse         36700      5560.0
                      Suède          31300      2790.0
                      Venezuela      37800      6510.0
                      États-Unis     23100      3630.0
Vice-Président        NonAff        243000         0.0
>>> employes.groupby(['Fonction','Pays']).mean()
                                        Salaire    Commission
Fonction              Pays
Assistante commerciale NonAff          1654.000000      0.000000
Chef des ventes       NonAff          13833.333333  11465.000000
Président             NonAff         150000.000000      0.000000
Représentant(e)       Allemagne        7314.285714   1380.000000
                      Argentine        7780.000000   1128.000000
                      Autriche         6400.000000    490.000000
                      Belgique         6750.000000    732.500000
                      Brésil           7700.000000    363.333333
                      Canada           7100.000000   1168.000000
                      Danemark         9166.666667   1170.000000
                      Espagne          7340.000000    972.000000
                      Finlande         7450.000000    550.000000
                      France           8050.000000    902.500000
                      Irlande          7280.000000    808.000000
                      Italie           7250.000000    397.500000
                      Mexique          7225.000000    965.000000
                      Norvège          7060.000000   1232.000000
                      Pologne          8100.000000   1257.500000
                      Portugal         7900.000000    965.000000
                      Royaume-Uni      8580.000000    914.000000
                      Suisse           7340.000000   1112.000000
                      Suède            7825.000000    697.500000
                      Venezuela        7560.000000   1302.000000
                      États-Unis       7700.000000   1210.000000
Vice-Président        NonAff         121500.000000      0.000000
```