

---

# Python Tutorial

*Version 3.9.21*

**Guido van Rossum  
and the Python development team**

décembre 08, 2024

**Python Software Foundation  
Email : [docs@python.org](mailto:docs@python.org)**



---

## Table des matières

---

<b>1</b>	<b>Mise en bouche</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Mode d'emploi de l'interpréteur Python</b>	<b>5</b>
2.1	Lancement de l'interpréteur . . . . .	5
2.1.1	Passage d'arguments . . . . .	6
2.1.2	Mode interactif . . . . .	6
2.2	L'interpréteur et son environnement . . . . .	7
2.2.1	Encodage du code source . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Introduction informelle à Python</b>	<b>9</b>
3.1	Utilisation de Python comme une calculatrice . . . . .	10
3.1.1	Les nombres . . . . .	10
3.1.2	Chaînes de caractères . . . . .	11
3.1.3	Listes . . . . .	15
3.2	Premiers pas vers la programmation . . . . .	16
<b>4</b>	<b>D'autres outils de contrôle de flux</b>	<b>19</b>
4.1	L'instruction <code>if</code> . . . . .	19
4.2	L'instruction <code>for</code> . . . . .	20
4.3	La fonction <code>range()</code> . . . . .	20
4.4	Les instructions <code>break</code> , <code>continue</code> et les clauses <code>else</code> au sein des boucles . . . . .	21
4.5	L'instruction <code>pass</code> . . . . .	22
4.6	Définir des fonctions . . . . .	23
4.7	Davantage sur la définition des fonctions . . . . .	24
4.7.1	Valeur par défaut des arguments . . . . .	24
4.7.2	Les arguments nommés . . . . .	26
4.7.3	Paramètres spéciaux . . . . .	27
4.7.4	Listes d'arguments arbitraires . . . . .	30
4.7.5	Séparation des listes d'arguments . . . . .	30
4.7.6	Fonctions anonymes . . . . .	31
4.7.7	Chaînes de documentation . . . . .	31
4.7.8	Annotations de fonctions . . . . .	32
4.8	Aparté : le style de codage . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Structures de données</b>	<b>35</b>
5.1	Compléments sur les listes . . . . .	35
5.1.1	Utilisation des listes comme des piles . . . . .	37

5.1.2	Utilisation des listes comme des files	37
5.1.3	Compréhensions de listes	37
5.1.4	Compréhensions de listes imbriquées	39
5.2	L'instruction <code>del</code>	40
5.3	Tuples et séquences	40
5.4	Ensembles	42
5.5	Dictionnaires	42
5.6	Techniques de boucles	44
5.7	Plus d'informations sur les conditions	45
5.8	Comparer des séquences avec d'autres types	46
<b>6</b>	<b>Modules</b>	<b>47</b>
6.1	Les modules en détail	48
6.1.1	Exécuter des modules comme des scripts	49
6.1.2	Les dossiers de recherche de modules	50
6.1.3	Fichiers Python « compilés »	50
6.2	Modules standards	51
6.3	La fonction <code>dir()</code>	51
6.4	Les paquets	53
6.4.1	Importer <code>*</code> depuis un paquet	54
6.4.2	Références internes dans un paquet	55
6.4.3	Paquets dans plusieurs dossiers	55
<b>7</b>	<b>Les entrées/sorties</b>	<b>57</b>
7.1	Formatage de données	57
7.1.1	Les chaînes de caractères formatées ( <i>f-strings</i> )	58
7.1.2	La méthode de chaîne de caractères <code>format()</code>	59
7.1.3	Formatage de chaînes à la main	60
7.1.4	Anciennes méthodes de formatage de chaînes	61
7.2	Lecture et écriture de fichiers	61
7.2.1	Méthodes des objets fichiers	62
7.2.2	Sauvegarde de données structurées avec le module <code>json</code>	64
<b>8</b>	<b>Erreurs et exceptions</b>	<b>65</b>
8.1	Les erreurs de syntaxe	65
8.2	Exceptions	65
8.3	Gestion des exceptions	66
8.4	Déclencher des exceptions	69
8.5	Chaînage d'exceptions	69
8.6	Exceptions définies par l'utilisateur	70
8.7	Définition d'actions de nettoyage	70
8.8	Actions de nettoyage prédéfinies	72
<b>9</b>	<b>Classes</b>	<b>73</b>
9.1	Objets et noms : préambule	74
9.2	Portées et espaces de nommage en Python	74
9.2.1	Exemple de portées et d'espaces de nommage	75
9.3	Une première approche des classes	76
9.3.1	Syntaxe de définition des classes	76
9.3.2	Objets classes	77
9.3.3	Objets instances	78
9.3.4	Objets méthode	78
9.3.5	Classes et variables d'instance	79
9.4	Remarques diverses	80
9.5	Héritage	81

9.5.1	Héritage multiple . . . . .	82
9.6	Variables privées . . . . .	83
9.7	Trucs et astuces . . . . .	84
9.8	Itérateurs . . . . .	84
9.9	Générateurs . . . . .	85
9.10	Expressions et générateurs . . . . .	86
<b>10</b>	<b>Survol de la bibliothèque standard</b>	<b>87</b>
10.1	Interface avec le système d'exploitation . . . . .	87
10.2	Jokers sur les noms de fichiers . . . . .	88
10.3	Paramètres passés en ligne de commande . . . . .	88
10.4	Redirection de la sortie d'erreur et fin d'exécution . . . . .	88
10.5	Recherche de motifs dans les chaînes . . . . .	89
10.6	Mathématiques . . . . .	89
10.7	Accès à internet . . . . .	90
10.8	Dates et heures . . . . .	90
10.9	Compression de données . . . . .	91
10.10	Mesure des performances . . . . .	91
10.11	Contrôle qualité . . . . .	91
10.12	Piles fournies . . . . .	92
<b>11</b>	<b>Survol de la bibliothèque standard -- Deuxième partie</b>	<b>93</b>
11.1	Formatage de l'affichage . . . . .	93
11.2	Gabarits ( <i>templates</i> en anglais) . . . . .	94
11.3	Traitement des données binaires . . . . .	95
11.4	Fils d'exécution . . . . .	96
11.5	Journalisation . . . . .	96
11.6	Références faibles . . . . .	97
11.7	Outils pour les listes . . . . .	98
11.8	Arithmétique décimale à virgule flottante . . . . .	99
<b>12</b>	<b>Environnements virtuels et paquets</b>	<b>101</b>
12.1	Introduction . . . . .	101
12.2	Création d'environnements virtuels . . . . .	101
12.3	Gestion des paquets avec <i>pip</i> . . . . .	102
<b>13</b>	<b>Pour aller plus loin</b>	<b>105</b>
<b>14</b>	<b>Édition interactive des entrées et substitution d'historique</b>	<b>107</b>
14.1	Complétion automatique et édition de l'historique . . . . .	107
14.2	Alternatives à l'interpréteur interactif . . . . .	107
<b>15</b>	<b>Arithmétique en nombres à virgule flottante : problèmes et limites</b>	<b>109</b>
15.1	Erreurs de représentation . . . . .	112
<b>16</b>	<b>Annexe</b>	<b>115</b>
16.1	Mode interactif . . . . .	115
16.1.1	Gestion des erreurs . . . . .	115
16.1.2	Scripts Python exécutables . . . . .	115
16.1.3	Configuration du mode interactif . . . . .	116
16.1.4	Modules de personnalisation . . . . .	116
<b>A</b>	<b>Glossaire</b>	<b>119</b>
<b>B</b>	<b>À propos de ces documents</b>	<b>133</b>

B.1	Contributeurs de la documentation Python . . . . .	133
<b>C</b>	<b>Histoire et licence</b>	<b>135</b>
C.1	Histoire du logiciel . . . . .	135
C.2	Conditions générales pour accéder à, ou utiliser, Python . . . . .	136
C.2.1	PSF LICENSE AGREEMENT FOR PYTHON 3.9.21 . . . . .	136
C.2.2	LICENCE D'UTILISATION BEOPEN.COM POUR PYTHON 2.0 . . . . .	137
C.2.3	LICENCE D'UTILISATION CNRI POUR PYTHON 1.6.1 . . . . .	138
C.2.4	LICENCE D'UTILISATION CWI POUR PYTHON 0.9.0 à 1.2 . . . . .	139
C.2.5	LICENCE BSD ZERO-CLAUSE POUR LE CODE DANS LA DOCUMENTATION DE PYTHON 3.9.21 . . . . .	139
C.3	Licences et remerciements pour les logiciels tiers . . . . .	140
C.3.1	Mersenne twister . . . . .	140
C.3.2	Interfaces de connexion ( <i>sockets</i> ) . . . . .	141
C.3.3	Interfaces de connexion asynchrones . . . . .	141
C.3.4	Gestion de témoin ( <i>cookie</i> ) . . . . .	142
C.3.5	Traçage d'exécution . . . . .	142
C.3.6	Les fonctions UUencode et UUdecode . . . . .	143
C.3.7	Appel de procédures distantes en XML ( <i>RPC</i> , pour <i>Remote Procedure Call</i> ) . . . . .	143
C.3.8	test_epoll . . . . .	144
C.3.9	Select kqueue . . . . .	144
C.3.10	SipHash24 . . . . .	145
C.3.11	<i>strtod</i> et <i>dtoa</i> . . . . .	146
C.3.12	OpenSSL . . . . .	146
C.3.13	expat . . . . .	148
C.3.14	libffi . . . . .	149
C.3.15	zlib . . . . .	149
C.3.16	cfuhash . . . . .	150
C.3.17	libmpdec . . . . .	151
C.3.18	Ensemble de tests C14N du W3C . . . . .	151
<b>D</b>	<b>Copyright</b>	<b>153</b>
	<b>Index</b>	<b>155</b>

Python est un langage de programmation puissant et facile à apprendre. Il dispose de structures de données de haut niveau et permet une approche simple mais efficace de la programmation orientée objet. Parce que sa syntaxe est élégante, que son typage est dynamique et qu'il est interprété, Python est un langage idéal pour l'écriture de scripts et le développement rapide d'applications dans de nombreux domaines et sur la plupart des plateformes.

L'interpréteur Python et sa vaste bibliothèque standard sont disponibles librement, sous forme de sources ou de binaires, pour toutes les plateformes majeures depuis le site Internet <https://www.python.org/> et peuvent être librement redistribués. Ce même site distribue et pointe vers des modules, des programmes et des outils tiers. Enfin, il constitue une source de documentation.

L'interpréteur Python peut être facilement étendu par de nouvelles fonctions et types de données implémentés en C ou C++ (ou tout autre langage appelable depuis le C). Python est également adapté comme langage d'extension pour personnaliser des applications.

Dans ce tutoriel, nous introduisons, de façon informelle, les concepts de base ainsi que les fonctionnalités du langage Python et de son écosystème. Il est utile de disposer d'un interpréteur Python à portée de main pour mettre en pratique les notions abordées. Si ce n'est pas possible, pas de souci, les exemples sont inclus et le tutoriel est adapté à une lecture "hors ligne".

Pour une description des objets et modules de la bibliothèque standard, reportez-vous à [library-index](#). [reference-index](#) présente le langage de manière plus formelle. Pour écrire des extensions en C ou en C++, lisez [extending-index](#) et [c-api-index](#). Des livres sont également disponibles qui couvrent Python dans le détail.

L'ambition de ce tutoriel n'est pas d'être exhaustif et de couvrir chaque fonctionnalité, ni même toutes les fonctionnalités les plus utilisées. Il vise, en revanche, à introduire les fonctionnalités les plus notables et à vous donner une bonne idée de la saveur et du style du langage. Après l'avoir lu, vous serez capable de lire et d'écrire des modules et des programmes Python et vous serez prêt à en apprendre davantage sur les modules de la bibliothèque Python décrits dans [library-index](#).

Pensez aussi à consulter le [Glossaire](#).





# CHAPITRE 1

---

## Mise en bouche

---

Lorsqu'on travaille beaucoup sur ordinateur, on finit souvent par vouloir automatiser certaines tâches : par exemple, effectuer une recherche et un remplacement sur un grand nombre de fichiers de texte ; ou renommer et réorganiser des photos d'une manière un peu compliquée. Pour vous, ce peut être créer une petite base de données, une application graphique ou un simple jeu.

Quand on est un développeur professionnel, le besoin peut se faire sentir de travailler avec des bibliothèques C/C++/Java, mais on trouve que le cycle habituel écriture/compilation/test/compilation est trop lourd. Vous écrivez peut-être une suite de tests pour une telle bibliothèque et vous trouvez que l'écriture du code de test est pénible. Ou bien vous avez écrit un logiciel qui a besoin d'être extensible grâce à un langage de script, mais vous ne voulez pas concevoir ni implémenter un nouveau langage pour votre application.

Python est le langage parfait pour vous.

Vous pouvez écrire un script shell Unix ou des fichiers batch Windows pour certaines de ces tâches. Les scripts shell sont appropriés pour déplacer des fichiers et modifier des données textuelles, mais pas pour une application ayant une interface graphique ni pour des jeux. Vous pouvez écrire un programme en C/C++/Java, mais cela peut prendre beaucoup de temps, ne serait-ce que pour avoir une première maquette. Python est plus facile à utiliser et il vous aidera à terminer plus rapidement votre travail, que ce soit sous Windows, macOS ou Unix.

Python reste facile à utiliser, mais c'est un vrai langage de programmation : il offre une bien meilleure structure et prise en charge des grands programmes que les scripts shell ou les fichiers batch. Par ailleurs, Python permet de beaucoup mieux vérifier les erreurs que le langage C et, en tant que *langage de très haut niveau*, il possède nativement des types de données très évolués tels que les tableaux de taille variable ou les dictionnaires. Grâce à ses types de données plus universels, Python est utilisable pour des domaines beaucoup plus variés que ne peuvent l'être *Awk* ou même *Perl*. Pourtant, vous pouvez faire de nombreuses choses au moins aussi facilement en Python que dans ces langages.

Python vous permet de découper votre programme en modules qui peuvent être réutilisés dans d'autres programmes Python. Il est fourni avec une grande variété de modules standards que vous pouvez utiliser comme base de vos programmes, ou comme exemples pour apprendre à programmer. Certains de ces modules donnent accès aux entrées/sorties, aux appels système, aux connecteurs réseaux et même aux outils comme Tk pour créer des interfaces graphiques.

Python est un langage interprété, ce qui peut vous faire gagner un temps considérable pendant le développement de vos programmes car aucune compilation ni édition de liens n'est nécessaire. L'interpréteur peut être utilisé de manière interactive, pour vous permettre d'expérimenter les fonctionnalités du langage, d'écrire des programmes jetables ou de tester des fonctions lors d'un développement incrémental. C'est aussi une calculatrice de bureau bien pratique.

Python permet d'écrire des programmes compacts et lisibles. Les programmes écrits en Python sont généralement beaucoup plus courts que leurs équivalents en C, C++ ou Java. Et ceci pour plusieurs raisons :

- les types de données de haut niveau vous permettent d'exprimer des opérations complexes en une seule instruction ;
- les instructions sont regroupées entre elles grâce à l'indentation, plutôt que par l'utilisation d'accolades ;
- aucune déclaration de variable ou d'argument n'est nécessaire.

Python est *extensible* : si vous savez écrire un programme en C, une nouvelle fonction ou module peut être facilement ajouté à l'interpréteur afin de l'étendre, que ce soit pour effectuer des opérations critiques à vitesse maximale ou pour lier des programmes en Python à des bibliothèques disponibles uniquement sous forme binaire (par exemple des bibliothèques graphiques dédiées à un matériel). Une fois que vous êtes à l'aise avec ces principes, vous pouvez relier l'interpréteur Python à une application écrite en C et l'utiliser comme un langage d'extensions ou de commandes pour cette application.

Au fait, le nom du langage provient de l'émission de la BBC « Monty Python's Flying Circus » et n'a rien à voir avec les reptiles. Faire référence aux sketches des Monty Python dans la documentation n'est pas seulement permis, c'est encouragé !

Maintenant que vos papilles ont été chatouillées, nous allons pouvoir rentrer dans le vif du sujet Python. Et comme la meilleure façon d'apprendre un langage est de l'utiliser, ce tutoriel vous invite à jouer avec l'interpréteur au fur et à mesure de votre lecture.

Dans le prochain chapitre, nous expliquons l'utilisation de l'interpréteur. Ce n'est pas la section la plus passionnante, mais c'est un passage obligé pour que vous puissiez mettre en pratique les exemples donnés plus loin.

Le reste du tutoriel présente diverses fonctionnalités du langage et du système Python au travers d'exemples, en commençant par les expressions simples, les instructions et les types de données, jusqu'à aborder des concepts avancés comme les exceptions et les classes, en passant par les fonctions et modules.

---

## Mode d'emploi de l'interpréteur Python

---

### 2.1 Lancement de l'interpréteur

En général, vous trouvez l'interpréteur Python sous `/usr/local/bin/python3.9` sur les machines où il est disponible ; ajoutez `/usr/local/bin` au chemin de recherche de votre shell Unix afin de pouvoir le lancer en tapant la commande :

```
python3.9
```

dans le shell.<sup>1</sup> Le choix du répertoire où se trouve l'interpréteur étant une option d'installation, d'autres chemins sont possibles ; voyez avec votre gourou Python local ou votre administrateur système (par exemple, `/usr/local/python` est un endroit courant).

Sur les machines Windows sur lesquelles vous avez installé Python à partir du Microsoft Store, la commande `python3.9` est disponible. Si le lanceur `py.exe` est installé, vous pouvez utiliser la commande `py`. Voir `setting-envvars` pour d'autres façons de lancer Python.

Tapez un caractère de fin de fichier (`Ctrl-D` sous Unix, `Ctrl-Z` sous Windows) dans une invite de commande primaire provoque la fermeture de l'interpréteur avec un code de sortie nul. Si cela ne fonctionne pas, vous pouvez fermer l'interpréteur en tapant la commande `quit()`.

Les fonctionnalités d'édition de l'interpréteur comprennent l'édition interactive, la substitution depuis l'historique et la complétion sur les systèmes qui gèrent la bibliothèque [GNU Readline](#). Un moyen rapide de tester comment est gérée l'édition de la ligne de commande, c'est de taper `Control-P` à la première invite de commande que vous rencontrez. Si cela bipe, vous disposez de l'édition de la ligne de commande ; lisez l'appendice [Édition interactive des entrées et substitution d'historique](#) pour une introduction aux touches. Si rien ne semble se produire ou si `^P` s'affiche, l'édition de la ligne de commande n'est pas disponible ; vous serez seulement en mesure d'utiliser la touche retour arrière pour supprimer des caractères de la ligne courante.

L'interpréteur fonctionne de façon similaire au shell Unix : lorsqu'il est appelé avec l'entrée standard connectée à un périphérique tty, il lit et exécute les commandes de façon interactive ; lorsqu'il est appelé avec un nom de fichier en argument ou avec un fichier comme entrée standard, il lit et exécute un *script* depuis ce fichier.

---

1. Sous Unix, par défaut, l'interpréteur Python 3.x n'est pas installé sous le nom de `python` afin de ne pas entrer en conflit avec une éventuelle installation de Python 2.x.

Une autre façon de lancer l'interpréteur est `python -c commande [arg] ...`. Cela exécute les instructions de *commande* de façon analogue à l'option `-c` du shell. Parce que les instructions Python contiennent souvent des espaces et d'autres caractères spéciaux pour le shell, il est généralement conseillé de mettre *commande* entre guillemets simples.

Certains modules Python sont aussi utiles en tant que scripts. Ils peuvent être appelés avec `python -m module [arg] ...` qui exécute le fichier source de *module* comme si vous aviez tapé son nom complet dans la ligne de commande.

Quand un fichier de script est utilisé, il est parfois utile de pouvoir lancer le script puis d'entrer dans le mode interactif après coup. Cela est possible en passant `-i` avant le script.

Tous les paramètres utilisables en ligne de commande sont documentés dans `using-on-general`.

### 2.1.1 Passage d'arguments

Lorsqu'ils sont connus de l'interpréteur, le nom du script et les arguments additionnels sont représentés sous forme d'une liste assignée à la variable `argv` du module `sys`. Vous pouvez y accéder en exécutant `import sys`. La liste contient au minimum un élément ; quand aucun script ni aucun argument n'est donné, `sys.argv[0]` est une chaîne vide. Quand `'-'` (qui représente l'entrée standard) est passé comme nom de script, `sys.argv[0]` contient `'-'`. Quand `-c commande` est utilisé, `sys.argv[0]` contient `'-c'`. Enfin, quand `-m module` est utilisé, le nom complet du module est assigné à `sys.argv[0]`. Les options trouvées après `-c commande` ou `-m module` ne sont pas lues comme options de l'interpréteur Python mais laissées dans `sys.argv` pour être utilisées par le module ou la commande.

### 2.1.2 Mode interactif

Lorsque des commandes sont lues depuis un tty, l'interpréteur est dit être en *mode interactif*. Dans ce mode, il demande la commande suivante avec le *prompt primaire*, en général trois signes plus-grand-que (`>>>`) ; pour les lignes de continuation, il affiche le *prompt secondaire*, par défaut trois points (`...`). L'interpréteur affiche un message de bienvenue indiquant son numéro de version et une notice de copyright avant d'afficher le premier prompt :

```
$ python3.9
Python 3.9 (default, June 4 2019, 09:25:04)
[GCC 4.8.2] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>>
```

Les lignes de continuation sont nécessaires pour entrer une construction multi-lignes. Par exemple, regardez cette instruction `if` :

```
>>> the_world_is_flat = True
>>> if the_world_is_flat:
...     print("Be careful not to fall off!")
...
Be careful not to fall off!
```

Pour plus d'informations sur le mode interactif, voir *Mode interactif*.

## 2.2 L'interpréteur et son environnement

### 2.2.1 Encodage du code source

Par défaut, Python considère que ses fichiers sources sont encodés en UTF-8. Dans cet encodage, les caractères de la plupart des langues peuvent être utilisés à la fois dans les chaînes de caractères, identifiants et commentaires. Notez que la bibliothèque standard n'utilise que des caractères ASCII dans ses identifiants et que nous considérons que c'est une bonne habitude que tout code portable devrait suivre. Pour afficher correctement tous ces caractères, votre éditeur doit reconnaître que le fichier est en UTF-8 et utiliser une police qui comprend tous les caractères utilisés dans le fichier.

Pour annoncer un encodage différent de l'encodage par défaut, une ligne de commentaire particulière doit être ajoutée en tant que *première* ligne du fichier. Sa syntaxe est la suivante :

```
# -*- coding: encoding -*-
```

où *encoding* est un des `codecs` géré par Python.

Par exemple, pour déclarer un encodage *Windows-1252*, la première ligne de votre code source doit être :

```
# -*- coding: cp1252 -*-
```

Une exception à la règle *première ligne* est lorsque la première ligne est un *shebang UNIX*. Dans ce cas, la déclaration de l'encodage doit être placée sur la deuxième ligne du fichier. Par exemple :

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: cp1252 -*-
```

### Notes



---

## Introduction informelle à Python

---

Dans les exemples qui suivent, les entrées et sorties se distinguent par la présence ou l'absence d'invite (`>>>` et `...`) : pour reproduire les exemples, vous devez taper tout ce qui est après l'invite, au moment où celle-ci apparaît ; les lignes qui n'affichent pas d'invite sont les sorties de l'interpréteur. Notez qu'une invite secondaire affichée seule sur une ligne dans un exemple indique que vous devez entrer une ligne vide ; ceci est utilisé pour terminer une commande multi-lignes.

Beaucoup d'exemples de ce manuel, même ceux saisis à l'invite de l'interpréteur, incluent des commentaires. Les commentaires en Python commencent avec un caractère croisillon, `#`, et s'étendent jusqu'à la fin de la ligne. Un commentaire peut apparaître au début d'une ligne ou à la suite d'un espace ou de code, mais pas à l'intérieur d'une chaîne de caractères littérale. Un caractère croisillon à l'intérieur d'une chaîne de caractères est juste un caractère croisillon. Comme les commentaires ne servent qu'à expliquer le code et ne sont pas interprétés par Python, ils peuvent être ignorés lorsque vous tapez les exemples.

Quelques exemples :

```
# this is the first comment
spam = 1 # and this is the second comment
        # ... and now a third!
text = "# This is not a comment because it's inside quotes."
```

## 3.1 Utilisation de Python comme une calculatrice

Essayons quelques commandes Python simples. Démarrez l'interpréteur et attendez l'invite primaire, `>>>`. Ça ne devrait pas être long.

### 3.1.1 Les nombres

L'interpréteur agit comme une simple calculatrice : vous pouvez lui entrer une expression et il vous affiche la valeur. La syntaxe des expressions est simple : les opérateurs `+`, `-`, `*` et `/` fonctionnent comme dans la plupart des langages (par exemple, Pascal ou C) ; les parenthèses peuvent être utilisées pour faire des regroupements. Par exemple :

```
>>> 2 + 2
4
>>> 50 - 5*6
20
>>> (50 - 5*6) / 4
5.0
>>> 8 / 5  # division always returns a floating point number
1.6
```

Les nombres entiers (comme 2, 4, 20) sont de type `int`, alors que les décimaux (comme 5.0, 1.6) sont de type `float`. Vous trouvez plus de détails sur les types numériques plus loin dans ce tutoriel.

Les divisions (`/`) donnent toujours des `float`. Utilisez l'opérateur `//` pour effectuer des divisions entières et donc obtenir un résultat entier. Pour obtenir le reste d'une division entière, utilisez l'opérateur `%` :

```
>>> 17 / 3  # classic division returns a float
5.666666666666667
>>>
>>> 17 // 3 # floor division discards the fractional part
5
>>> 17 % 3  # the % operator returns the remainder of the division
2
>>> 5 * 3 + 2 # floored quotient * divisor + remainder
17
```

En Python, il est possible de calculer des puissances avec l'opérateur `**`<sup>1</sup> :

```
>>> 5 ** 2  # 5 squared
25
>>> 2 ** 7  # 2 to the power of 7
128
```

Le signe égal (`=`) est utilisé pour affecter une valeur à une variable. Dans ce cas, aucun résultat n'est affiché avant l'invite suivante :

```
>>> width = 20
>>> height = 5 * 9
>>> width * height
900
```

Si une variable n'est pas « définie » (si aucune valeur ne lui a été affectée), son utilisation produit une erreur :

---

1. Puisque `**` est prioritaire sur `-`, `-3 ** 2` est interprété `-(3 ** 2)` et vaut donc `-9`. Pour éviter cela et obtenir `9`, utilisez des parenthèses : `(-3) ** 2`.



```
>>> n # try to access an undefined variable
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: name 'n' is not defined
```

Les nombres à virgule flottante sont tout à fait admis (NdT : Python utilise le point . comme séparateur entre la partie entière et la partie décimale des nombres, c'est la convention anglo-saxonne) ; les opérateurs avec des opérandes de types différents convertissent l'opérande de type entier en type virgule flottante :

```
>>> 4 * 3.75 - 1
14.0
```

En mode interactif, la dernière expression affichée est affectée à la variable `_`. Ainsi, lorsque vous utilisez Python comme calculatrice, cela vous permet de continuer des calculs facilement, par exemple :

```
>>> tax = 12.5 / 100
>>> price = 100.50
>>> price * tax
12.5625
>>> price + _
113.0625
>>> round(_, 2)
113.06
```

Cette variable doit être considérée comme une variable en lecture seule par l'utilisateur. Ne lui affectez pas de valeur explicitement — vous créeriez ainsi une variable locale indépendante, avec le même nom, qui masquerait la variable native et son fonctionnement magique.

En plus des `int` et des `float`, il existe les `Decimal` et les `Fraction`. Python gère aussi les nombres complexes, en utilisant le suffixe `j` ou `J` pour indiquer la partie imaginaire (tel que `3+5j`).

### 3.1.2 Chaînes de caractères

En plus des nombres, Python sait aussi manipuler des chaînes de caractères, qui peuvent être exprimées de différentes manières. Elles peuvent être écrites entre guillemets simples ('...') ou entre guillemets ("...") sans distinction<sup>2</sup>. \ peut être utilisé pour protéger un guillemet :

```
>>> 'spam eggs' # single quotes
'spam eggs'
>>> 'doesn\'t' # use \' to escape the single quote...
"doesn't"
>>> "doesn't" # ...or use double quotes instead
"doesn't"
>>> '"Yes," they said.'
'"Yes," they said.'
>>> "\"Yes,\" they said."
'"Yes," they said.'
>>> '"Isn\'t," they said.'
'"Isn\'t," they said.'
```

En mode interactif, l'interpréteur affiche les chaînes de caractères entre guillemets. Les guillemets et autres caractères spéciaux sont protégés avec des barres obliques inverses (*backslash* en anglais). Bien que cela puisse être affiché différemment de ce qui a été entré (les guillemets peuvent changer), les deux formats sont équivalents. La chaîne est affichée

2. Contrairement à d'autres langages, les caractères spéciaux comme `\n` ont la même signification entre guillemets ("...") ou entre guillemets simples ('...'). La seule différence est que, dans une chaîne entre guillemets, il n'est pas nécessaire de protéger les guillemets simples et vice-versa.

entre guillemets si elle contient un guillemet simple et aucun guillemet, sinon elle est affichée entre guillemets simples. La fonction `print()` affiche les chaînes de manière plus lisible, en retirant les guillemets et en affichant les caractères spéciaux qui étaient protégés par une barre oblique inverse :

```
>>> "Isn't," they said.
'Isn't," they said.'
>>> print("Isn't," they said.)
Isn't," they said.
>>> s = 'First line.\nSecond line.' # \n means newline
>>> s # without print(), \n is included in the output
'First line.\nSecond line.'
>>> print(s) # with print(), \n produces a new line
First line.
Second line.
```

Si vous ne voulez pas que les caractères précédés d'un `\` soient interprétés comme étant spéciaux, utilisez les *chaînes brutes* (*raw strings* en anglais) en préfixant la chaîne d'un `r` :

```
>>> print('C:\some\name') # here \n means newline!
C:\some
ame
>>> print(r'C:\some\name') # note the r before the quote
C:\some\name
```

Les chaînes de caractères peuvent s'étendre sur plusieurs lignes. Utilisez alors des triples guillemets, simples ou doubles : `'''...'''` ou `"""..."""`. Les retours à la ligne sont automatiquement inclus, mais on peut l'empêcher en ajoutant `\` à la fin de la ligne. L'exemple suivant :

```
print("""\
Usage: thingy [OPTIONS]
    -h                Display this usage message
    -H hostname       Hostname to connect to
""")
```

produit l'affichage suivant (notez que le premier retour à la ligne n'est pas inclus) :

```
Usage: thingy [OPTIONS]
    -h                Display this usage message
    -H hostname       Hostname to connect to
```

Les chaînes peuvent être concaténées (collées ensemble) avec l'opérateur `+` et répétées avec l'opérateur `*` :

```
>>> # 3 times 'un', followed by 'ium'
>>> 3 * 'un' + 'ium'
'unununium'
```

Plusieurs chaînes de caractères, écrites littéralement (c'est-à-dire entre guillemets), côte à côte, sont automatiquement concaténées.

```
>>> 'Py' 'thon'
'Python'
```

Cette fonctionnalité est surtout intéressante pour couper des chaînes trop longues :

```
>>> text = ('Put several strings within parentheses '
...         'to have them joined together.')
>>> text
'Put several strings within parentheses to have them joined together.'
```

Cela ne fonctionne cependant qu'avec les chaînes littérales, pas avec les variables ni les expressions :

```
>>> prefix = 'Py'
>>> prefix 'thon' # can't concatenate a variable and a string literal
File "<stdin>", line 1
    prefix 'thon'
          ^
SyntaxError: invalid syntax
>>> ('un' * 3) 'ium'
File "<stdin>", line 1
    ('un' * 3) 'ium'
              ^
SyntaxError: invalid syntax
```

Pour concaténer des variables, ou des variables avec des chaînes littérales, utilisez l'opérateur + :

```
>>> prefix + 'thon'
'Python'
```

Les chaînes de caractères peuvent être indexées (ou indicées, c'est-à-dire que l'on peut accéder aux caractères par leur position), le premier caractère d'une chaîne étant à la position 0. Il n'existe pas de type distinct pour les caractères, un caractère est simplement une chaîne de longueur 1 :

```
>>> word = 'Python'
>>> word[0] # character in position 0
'P'
>>> word[5] # character in position 5
'n'
```

Les indices peuvent également être négatifs, on compte alors en partant de la droite. Par exemple :

```
>>> word[-1] # last character
'n'
>>> word[-2] # second-last character
'o'
>>> word[-6]
'P'
```

Notez que, comme  $-0$  égale 0, les indices négatifs commencent par  $-1$ .

En plus d'accéder à un élément par son indice, il est aussi possible de « trancher » (*slice* en anglais) une chaîne. Accéder à une chaîne par un indice permet d'obtenir un caractère, *trancher* permet d'obtenir une sous-chaîne :

```
>>> word[0:2] # characters from position 0 (included) to 2 (excluded)
'Py'
>>> word[2:5] # characters from position 2 (included) to 5 (excluded)
'tho'
```

Les valeurs par défaut des indices de tranches ont une utilité ; le premier indice vaut zéro par défaut (c.-à-d. lorsqu'il est omis), le deuxième correspond par défaut à la taille de la chaîne de caractères

```
>>> word[:2] # character from the beginning to position 2 (excluded)
'Py'
>>> word[4:] # characters from position 4 (included) to the end
'on'
>>> word[-2:] # characters from the second-last (included) to the end
'on'
```

Notez que le début est toujours inclus et la fin toujours exclue. Cela assure que `s[:i] + s[i:]` est toujours égal à `s` :

```
>>> word[:2] + word[2:]
'Python'
>>> word[:4] + word[4:]
'Python'
```

Pour mémoriser la façon dont les tranches fonctionnent, vous pouvez imaginer que les indices pointent *entre* les caractères, le côté gauche du premier caractère ayant la position 0. Le côté droit du dernier caractère d'une chaîne de  $n$  caractères a alors pour indice  $n$ . Par exemple :

```
+---+---+---+---+---+---+
| P | y | t | h | o | n |
+---+---+---+---+---+---+
0   1   2   3   4   5   6
-6  -5  -4  -3  -2  -1
```

La première ligne de nombres donne la position des indices 0...6 dans la chaîne ; la deuxième ligne donne l'indice négatif correspondant. La tranche de  $i$  à  $j$  est constituée de tous les caractères situés entre les bords libellés  $i$  et  $j$ , respectivement.

Pour des indices non négatifs, la longueur d'une tranche est la différence entre ces indices, si les deux sont entre les bornes. Par exemple, la longueur de `word[1:3]` est 2.

Utiliser un indice trop grand produit une erreur :

```
>>> word[42] # the word only has 6 characters
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
IndexError: string index out of range
```

Cependant, les indices hors bornes sont gérés silencieusement lorsqu'ils sont utilisés dans des tranches :

```
>>> word[4:42]
'on'
>>> word[42:]
''
```

Les chaînes de caractères, en Python, ne peuvent pas être modifiées. On dit qu'elles sont *immuables*. Affecter une nouvelle valeur à un indice dans une chaîne produit une erreur :

```
>>> word[0] = 'J'
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'str' object does not support item assignment
>>> word[2:] = 'py'
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'str' object does not support item assignment
```

Si vous avez besoin d'une chaîne différente, vous devez en créer une nouvelle :

```
>>> 'J' + word[1:]
'Jython'
>>> word[:2] + 'py'
'Pypy'
```

La fonction native `len()` renvoie la longueur d'une chaîne :

```
>>> s = 'supercalifragilisticexpialidocious'
>>> len(s)
34
```

#### Voir aussi :

**textseq** Les chaînes de caractères sont des exemples de *types séquences* ; elles acceptent donc les opérations classiques prises en charge par ces types.

**string-methods** Les chaînes de caractères gèrent un large éventail de méthodes de transformations basiques et de recherche.

**f-strings** Des chaînes littérales qui contiennent des expressions.

**formatstrings** Informations sur le formatage des chaînes avec la méthode `str.format()`.

**old-string-formatting** Description détaillée des anciennes méthodes de mise en forme, appelées lorsque les chaînes de caractères sont à gauche de l'opérateur `%`.

### 3.1.3 Listes

Python connaît différents types de données *combinés*, utilisés pour regrouper plusieurs valeurs. Le plus souple est la *liste*, qui peut être écrit comme une suite, placée entre crochets, de valeurs (éléments) séparées par des virgules. Les éléments d'une liste ne sont pas obligatoirement tous du même type, bien qu'à l'usage ce soit souvent le cas.

```
>>> squares = [1, 4, 9, 16, 25]
>>> squares
[1, 4, 9, 16, 25]
```

Comme les chaînes de caractères (et toute autre type de *sequence*), les listes peuvent être indicées et découpées :

```
>>> squares[0] # indexing returns the item
1
>>> squares[-1]
25
>>> squares[-3:] # slicing returns a new list
[9, 16, 25]
```

Toutes les opérations par tranches renvoient une nouvelle liste contenant les éléments demandés. Cela signifie que l'opération suivante renvoie une copie (superficielle) de la liste :

```
>>> squares[:]
[1, 4, 9, 16, 25]
```

Les listes gèrent aussi les opérations comme les concaténations :

```
>>> squares + [36, 49, 64, 81, 100]
[1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100]
```

Mais à la différence des chaînes qui sont *immuables*, les listes sont *muables* : il est possible de modifier leur contenu :

```
>>> cubes = [1, 8, 27, 65, 125] # something's wrong here
>>> 4 ** 3 # the cube of 4 is 64, not 65!
64
>>> cubes[3] = 64 # replace the wrong value
>>> cubes
[1, 8, 27, 64, 125]
```

Il est aussi possible d'ajouter de nouveaux éléments à la fin d'une liste avec la méthode `append()` (les méthodes sont abordées plus tard) :

```
>>> cubes.append(216) # add the cube of 6
>>> cubes.append(7 ** 3) # and the cube of 7
>>> cubes
[1, 8, 27, 64, 125, 216, 343]
```

Des affectations de tranches sont également possibles, ce qui peut même modifier la taille de la liste ou la vider complètement :

```
>>> letters = ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g']
>>> letters
['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g']
>>> # replace some values
>>> letters[2:5] = ['C', 'D', 'E']
>>> letters
['a', 'b', 'C', 'D', 'E', 'f', 'g']
>>> # now remove them
>>> letters[2:5] = []
>>> letters
['a', 'b', 'f', 'g']
>>> # clear the list by replacing all the elements with an empty list
>>> letters[:] = []
>>> letters
[]
```

La primitive `len()` s'applique aussi aux listes :

```
>>> letters = ['a', 'b', 'c', 'd']
>>> len(letters)
4
```

Il est possible d'imbriquer des listes (c.-à-d. créer des listes contenant d'autres listes). Par exemple :

```
>>> a = ['a', 'b', 'c']
>>> n = [1, 2, 3]
>>> x = [a, n]
>>> x
[['a', 'b', 'c'], [1, 2, 3]]
>>> x[0]
['a', 'b', 'c']
>>> x[0][1]
'b'
```

## 3.2 Premiers pas vers la programmation

Bien entendu, on peut utiliser Python pour des tâches plus compliquées que d'additionner deux et deux. Par exemple, on peut écrire le début de la [suite de Fibonacci](#) comme ceci :

```
>>> # Fibonacci series:
... # the sum of two elements defines the next
... a, b = 0, 1
>>> while a < 10:
...     print(a)
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

...     a, b = b, a+b
...
0
1
1
2
3
5
8

```

Cet exemple introduit plusieurs nouvelles fonctionnalités.

- La première ligne contient une *affectation multiple* : les variables `a` et `b` se voient affecter simultanément leurs nouvelles valeurs 0 et 1. Cette méthode est encore utilisée à la dernière ligne, pour démontrer que les expressions sur la partie droite de l'affectation sont toutes évaluées avant que les affectations ne soient effectuées. Ces expressions en partie droite sont toujours évaluées de la gauche vers la droite.
- La boucle `while` s'exécute tant que la condition (ici : `a < 10`) reste vraie. En Python, comme en C, tout entier différent de zéro est vrai et zéro est faux. La condition peut aussi être une chaîne de caractères, une liste, ou en fait toute séquence ; une séquence avec une valeur non nulle est vraie, une séquence vide est fausse. Le test utilisé dans l'exemple est une simple comparaison. Les opérateurs de comparaison standards sont écrits comme en C : `<` (inférieur), `>` (supérieur), `==` (égal), `<=` (inférieur ou égal), `>=` (supérieur ou égal) et `!=` (non égal).
- Le *corps* de la boucle est *indenté* : l'indentation est la méthode utilisée par Python pour regrouper des instructions. En mode interactif, vous devez saisir une tabulation ou des espaces pour chaque ligne indentée. En pratique, vous aurez intérêt à utiliser un éditeur de texte pour les saisies plus compliquées ; tous les éditeurs de texte dignes de ce nom disposent d'une fonction d'auto-indentation. Lorsqu'une expression composée est saisie en mode interactif, elle doit être suivie d'une ligne vide pour indiquer qu'elle est terminée (car l'analyseur ne peut pas deviner que vous venez de saisir la dernière ligne). Notez bien que toutes les lignes à l'intérieur d'un bloc doivent être indentées au même niveau.
- La fonction `print()` écrit les valeurs des paramètres qui lui sont fournis. Ce n'est pas la même chose que d'écrire l'expression que vous voulez afficher (comme nous l'avons fait dans l'exemple de la calculatrice), en raison de la manière qu'a `print` de gérer les paramètres multiples, les nombres décimaux et les chaînes. Les chaînes sont affichées sans apostrophe et une espace est insérée entre les éléments de telle sorte que vous pouvez facilement formater les choses, comme ceci :

```

>>> i = 256*256
>>> print('The value of i is', i)
The value of i is 65536

```

Le paramètre nommé *end* peut servir pour enlever le retour à la ligne ou pour terminer la ligne par une autre chaîne :

```

>>> a, b = 0, 1
>>> while a < 1000:
...     print(a, end=', ')
...     a, b = b, a+b
...
0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987,

```

## Notes



---

## D'autres outils de contrôle de flux

---

En plus de l'instruction `while` qui vient d'être présentée, Python dispose des instructions de contrôle de flux classiques que l'on trouve dans d'autres langages, mais toujours avec ses propres tournures.

### 4.1 L'instruction `if`

L'instruction `if` est sans doute la plus connue. Par exemple :

```
>>> x = int(input("Please enter an integer: "))
Please enter an integer: 42
>>> if x < 0:
...     x = 0
...     print('Negative changed to zero')
... elif x == 0:
...     print('Zero')
... elif x == 1:
...     print('Single')
... else:
...     print('More')
...
More
```

Il peut y avoir un nombre quelconque de parties `elif` et la partie `else` est facultative. Le mot clé `elif` est un raccourci pour *else if*, et permet de gagner un niveau d'indentation. Une séquence `if ... elif ... elif ...` est par ailleurs équivalente aux instructions `switch` ou `case` disponibles dans d'autres langages.

## 4.2 L'instruction `for`

L'instruction `for` que propose Python est un peu différente de celle que l'on peut trouver en C ou en Pascal. Au lieu de toujours itérer sur une suite arithmétique de nombres (comme en Pascal), ou de donner à l'utilisateur la possibilité de définir le pas d'itération et la condition de fin (comme en C), l'instruction `for` en Python itère sur les éléments d'une séquence (qui peut être une liste, une chaîne de caractères...), dans l'ordre dans lequel ils apparaissent dans la séquence. Par exemple :

```
>>> # Measure some strings:
... words = ['cat', 'window', 'defenestrate']
>>> for w in words:
...     print(w, len(w))
...
cat 3
window 6
defenestrate 12
```

Écrire du code qui modifie une collection tout en itérant dessus peut s'avérer délicat. Il est généralement plus simple de boucler sur une copie de la collection ou de créer une nouvelle collection :

```
# Strategy: Iterate over a copy
for user, status in users.copy().items():
    if status == 'inactive':
        del users[user]

# Strategy: Create a new collection
active_users = {}
for user, status in users.items():
    if status == 'active':
        active_users[user] = status
```

## 4.3 La fonction `range()`

Si vous devez itérer sur une suite de nombres, la fonction native `range()` est faite pour cela. Elle génère des suites arithmétiques :

```
>>> for i in range(5):
...     print(i)
...
0
1
2
3
4
```

Le dernier élément fourni en paramètre ne fait jamais partie de la liste générée ; `range(10)` génère une liste de 10 valeurs, dont les valeurs vont de 0 à 9. Il est possible de spécifier une valeur de début et une valeur d'incrément différentes (y compris négative pour cette dernière, que l'on appelle également parfois le « pas ») :

```
>>> list(range(5, 10))
[5, 6, 7, 8, 9]

>>> list(range(0, 10, 3))
[0, 3, 6, 9]
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
>>> list(range(-10, -100, -30))
[-10, -40, -70]
```

Pour itérer sur les indices d'une séquence, on peut combiner les fonctions `range()` et `len()` :

```
>>> a = ['Mary', 'had', 'a', 'little', 'lamb']
>>> for i in range(len(a)):
...     print(i, a[i])
...
0 Mary
1 had
2 a
3 little
4 lamb
```

Cependant, dans la plupart des cas, il est plus pratique d'utiliser la fonction `enumerate()`. Voyez pour cela [Techniques de boucles](#).

Une chose étrange se produit lorsqu'on affiche un *range* :

```
>>> range(10)
range(0, 10)
```

L'objet renvoyé par `range()` se comporte presque comme une liste, mais ce n'en est pas une. Cet objet génère les éléments de la séquence au fur et à mesure de l'itération, sans réellement produire la liste en tant que telle, économisant ainsi de l'espace.

On appelle de tels objets des *itérables*, c'est-à-dire des objets qui conviennent à des fonctions ou constructions qui s'attendent à quelque chose duquel elles peuvent tirer des éléments, successivement, jusqu'à épuisement. Nous avons vu que l'instruction `for` est une de ces constructions, et un exemple de fonction qui prend un itérable en paramètre est `sum()` :

```
>>> sum(range(4)) # 0 + 1 + 2 + 3
6
```

Plus loin nous voyons d'autres fonctions qui donnent des itérables ou en prennent en paramètre. De plus amples détails sur `list()` sont donnés dans [Structures de données](#).

## 4.4 Les instructions `break`, `continue` et les clauses `else` au sein des boucles

L'instruction `break`, comme en C, interrompt la boucle `for` ou `while` la plus profonde.

Les boucles peuvent également disposer d'une instruction `else`; celle-ci est exécutée lorsqu'une boucle se termine alors que tous ses éléments ont été traités (dans le cas d'un `for`) ou que la condition devient fausse (dans le cas d'un `while`), mais pas lorsque la boucle est interrompue par une instruction `break`. L'exemple suivant, qui effectue une recherche de nombres premiers, en est une démonstration :

```
>>> for n in range(2, 10):
...     for x in range(2, n):
...         if n % x == 0:
...             print(n, 'equals', x, '*', n//x)
...             break
...     else:
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

...         # loop fell through without finding a factor
...         print(n, 'is a prime number')
...
2 is a prime number
3 is a prime number
4 equals 2 * 2
5 is a prime number
6 equals 2 * 3
7 is a prime number
8 equals 2 * 4
9 equals 3 * 3

```

(Oui, ce code est correct. Regardez attentivement : l'instruction `else` est rattachée à la boucle `for`, et **non** à l'instruction `if`.)

Lorsqu'elle est utilisée dans une boucle, la clause `else` est donc plus proche de celle associée à une instruction `try` que de celle associée à une instruction `if` : la clause `else` d'une instruction `try` s'exécute lorsqu'aucune exception n'est déclenchée, et celle d'une boucle lorsqu'aucun `break` n'intervient. Pour plus d'informations sur l'instruction `try` et le traitement des exceptions, consultez la section [Gestion des exceptions](#).

L'instruction `continue`, également empruntée au C, fait passer la boucle à son itération suivante :

```

>>> for num in range(2, 10):
...     if num % 2 == 0:
...         print("Found an even number", num)
...         continue
...     print("Found an odd number", num)
...
Found an even number 2
Found an odd number 3
Found an even number 4
Found an odd number 5
Found an even number 6
Found an odd number 7
Found an even number 8
Found an odd number 9

```

## 4.5 L'instruction `pass`

L'instruction `pass` ne fait rien. Elle peut être utilisée lorsqu'une instruction est nécessaire pour fournir une syntaxe correcte, mais qu'aucune action ne doit être effectuée. Par exemple :

```

>>> while True:
...     pass # Busy-wait for keyboard interrupt (Ctrl+C)
...

```

On utilise couramment cette instruction pour créer des classes minimales :

```

>>> class MyEmptyClass:
...     pass
...

```

Un autre cas d'utilisation du `pass` est de réserver un espace en phase de développement pour une fonction ou un traitement conditionnel, vous permettant ainsi de construire votre code à un niveau plus abstrait. L'instruction `pass` est alors ignorée silencieusement :

```
>>> def initlog(*args):
...     pass    # Remember to implement this!
... 
```

## 4.6 Définir des fonctions

On peut créer une fonction qui écrit la suite de Fibonacci jusqu'à une limite imposée :

```
>>> def fib(n):    # write Fibonacci series up to n
...     """Print a Fibonacci series up to n."""
...     a, b = 0, 1
...     while a < n:
...         print(a, end=' ')
...         a, b = b, a+b
...     print()
...
>>> # Now call the function we just defined:
... fib(2000)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377 610 987 1597
```

Le mot-clé `def` introduit une *définition* de fonction. Il doit être suivi du nom de la fonction et d'une liste, entre parenthèses, de ses paramètres. L'instruction qui constitue le corps de la fonction débute à la ligne suivante et doit être indentée.

La première instruction d'une fonction peut, de façon facultative, être une chaîne de caractères littérale ; cette chaîne de caractères sera alors la chaîne de documentation de la fonction, appelée *docstring* (consultez la section [Chaînes de documentation](#) pour en savoir plus). Il existe des outils qui utilisent ces chaînes de documentation pour générer automatiquement une documentation en ligne ou imprimée, ou pour permettre à l'utilisateur de naviguer de façon interactive dans le code ; prenez-en l'habitude, c'est une bonne pratique que de documenter le code que vous écrivez.

L'exécution d'une fonction introduit une nouvelle table de symboles utilisée par les variables locales de la fonction. Plus précisément, toutes les affectations de variables effectuées au sein d'une fonction stockent les valeurs dans la table des symboles locaux ; en revanche, les références de variables sont recherchées dans la table des symboles locaux, puis dans les tables des symboles locaux des fonctions englobantes, puis dans la table des symboles globaux et finalement dans la table des noms des primitives. Par conséquent, bien qu'elles puissent être référencées, il est impossible d'affecter une valeur à une variable globale ou à une variable d'une fonction englobante (sauf pour les variables globales désignées dans une instruction `global` et, pour les variables des fonctions englobantes, désignées dans une instruction `nonlocal`).

Les paramètres effectifs (arguments) d'une fonction sont introduits dans la table des symboles locaux de la fonction appelée, au moment où elle est appelée ; par conséquent, les passages de paramètres se font *par valeur*, la *valeur* étant toujours une *référence* à un objet et non la valeur de l'objet lui-même<sup>1</sup>. Lorsqu'une fonction appelle une autre fonction, ou s'appelle elle-même par récursion, une nouvelle table de symboles locaux est créée pour cet appel.

Une définition de fonction associe un nom de fonction à un objet fonction dans l'espace de noms actuel. Pour l'interpréteur, l'objet référencé par ce nom est une fonction définie par l'utilisateur. Plusieurs noms peuvent faire référence à une même fonction, ils peuvent alors tous être utilisés pour appeler la fonction :

```
>>> fib
<function fib at 10042ed0>
>>> f = fib
>>> f(100)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89
```

1. En fait, *appels par référence d'objets* serait sans doute une description plus juste dans la mesure où, si un objet muable est passé en argument, l'appelant verra toutes les modifications qui lui auront été apportées par l'appelé (insertion d'éléments dans une liste...).

Si vous venez d'autres langages, vous pouvez penser que `fib` n'est pas une fonction mais une procédure, puisqu'elle ne renvoie pas de résultat. En fait, même les fonctions sans instruction `return` renvoient une valeur, quoique ennuyeuse. Cette valeur est appelée `None` (c'est le nom d'une primitive). Écrire la valeur `None` est normalement supprimé par l'interpréteur lorsqu'il s'agit de la seule valeur qui doit être écrite. Vous pouvez le constater, si vous y tenez vraiment, en utilisant `print()` :

```
>>> fib(0)
>>> print(fib(0))
None
```

Il est facile d'écrire une fonction qui renvoie une liste de la série de Fibonacci au lieu de l'afficher :

```
>>> def fib2(n): # return Fibonacci series up to n
...     """Return a list containing the Fibonacci series up to n."""
...     result = []
...     a, b = 0, 1
...     while a < n:
...         result.append(a)    # see below
...         a, b = b, a+b
...     return result
...
>>> f100 = fib2(100)    # call it
>>> f100               # write the result
[0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89]
```

Cet exemple, comme d'habitude, illustre de nouvelles fonctionnalités de Python :

- l'instruction `return` provoque la sortie de la fonction en renvoyant une valeur. `return` sans expression en paramètre renvoie `None`. Arriver à la fin d'une fonction renvoie également `None` ;
- l'instruction `result.append(a)` appelle une *méthode* de l'objet `result` qui est une liste. Une méthode est une fonction qui « appartient » à un objet et qui est nommée `obj.methodname`, où `obj` est un objet (il peut également s'agir d'une expression) et `methodname` est le nom d'une méthode que le type de l'objet définit. Différents types définissent différentes méthodes. Des méthodes de différents types peuvent porter le même nom sans qu'il n'y ait d'ambiguïté (vous pouvez définir vos propres types d'objets et leurs méthodes en utilisant des *classes*, voir [Classes](#)). La méthode `append()` utilisée dans cet exemple est définie pour les listes ; elle ajoute un nouvel élément à la fin de la liste. Dans cet exemple, elle est l'équivalent de `result = result + [a]`, en plus efficace.

## 4.7 Davantage sur la définition des fonctions

Il est également possible de définir des fonctions avec un nombre variable d'arguments. Trois syntaxes peuvent être utilisées, éventuellement combinées.

### 4.7.1 Valeur par défaut des arguments

La forme la plus utile consiste à indiquer une valeur par défaut pour certains arguments. Ceci crée une fonction qui peut être appelée avec moins d'arguments que ceux présents dans sa définition. Par exemple :

```
def ask_ok(prompt, retries=4, reminder='Please try again!'):
    while True:
        ok = input(prompt)
        if ok in ('y', 'ye', 'yes'):
            return True
        if ok in ('n', 'no', 'nop', 'nope'):
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

        return False
    retries = retries - 1
    if retries < 0:
        raise ValueError('invalid user response')
    print(reminder)

```

Cette fonction peut être appelée de plusieurs façons :

- en ne fournissant que les arguments obligatoires : `ask_ok('Do you really want to quit?')`;
- en fournissant une partie des arguments facultatifs : `ask_ok('OK to overwrite the file?', 2)`;
- en fournissant tous les arguments : `ask_ok('OK to overwrite the file?', 2, 'Come on, only yes or no!')`.

Cet exemple présente également le mot-clé `in`. Celui-ci permet de tester si une séquence contient une certaine valeur.

Les valeurs par défaut sont évaluées lors de la définition de la fonction dans la portée de la *définition*, de telle sorte que :

```

i = 5

def f(arg=i):
    print(arg)

i = 6
f()

```

affiche 5.

**Avertissement important :** la valeur par défaut n'est évaluée qu'une seule fois. Ceci fait une différence lorsque cette valeur par défaut est un objet muable tel qu'une liste, un dictionnaire ou des instances de la plupart des classes. Par exemple, la fonction suivante accumule les arguments qui lui sont passés au fil des appels successifs :

```

def f(a, L=[]):
    L.append(a)
    return L

print(f(1))
print(f(2))
print(f(3))

```

affiche :

```

[1]
[1, 2]
[1, 2, 3]

```

Si vous ne voulez pas que cette valeur par défaut soit partagée entre des appels successifs, vous pouvez écrire la fonction de cette façon :

```

def f(a, L=None):
    if L is None:
        L = []
    L.append(a)
    return L

```

## 4.7.2 Les arguments nommés

Les fonctions peuvent également être appelées en utilisant des *arguments nommés* sous la forme `kwarg=value`. Par exemple, la fonction suivante :

```
def parrot(voltage, state='a stiff', action='vroom', type='Norwegian Blue'):
    print("-- This parrot wouldn't", action, end=' ')
    print("if you put", voltage, "volts through it.")
    print("-- Lovely plumage, the", type)
    print("-- It's", state, "!")
```

accepte un argument obligatoire (`voltage`) et trois arguments facultatifs (`state`, `action` et `type`). Cette fonction peut être appelée de n'importe laquelle des façons suivantes :

```
parrot(1000)                                # 1 positional argument
parrot(voltage=1000)                        # 1 keyword argument
parrot(voltage=1000000, action='VOOOOOM')   # 2 keyword arguments
parrot(action='VOOOOOM', voltage=1000000)   # 2 keyword arguments
parrot('a million', 'bereft of life', 'jump') # 3 positional arguments
parrot('a thousand', state='pushing up the daisies') # 1 positional, 1 keyword
```

mais tous les appels qui suivent sont incorrects :

```
parrot()                                # required argument missing
parrot(voltage=5.0, 'dead')             # non-keyword argument after a keyword argument
parrot(110, voltage=220)                 # duplicate value for the same argument
parrot(actor='John Cleese')             # unknown keyword argument
```

Dans un appel de fonction, les arguments nommés doivent suivre les arguments positionnés. Tous les arguments nommés doivent correspondre à l'un des arguments acceptés par la fonction (par exemple, `actor` n'est pas un argument accepté par la fonction `parrot`), mais leur ordre n'est pas important. Ceci inclut également les arguments obligatoires (`parrot(voltage=1000)` est également correct). Aucun argument ne peut recevoir une valeur plus d'une fois, comme l'illustre cet exemple incorrect du fait de cette restriction :

```
>>> def function(a):
...     pass
...
>>> function(0, a=0)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: function() got multiple values for argument 'a'
```

Quand un dernier paramètre formel est présent sous la forme `**name`, il reçoit un dictionnaire (voir `typesmapping`) contenant tous les arguments nommés à l'exception de ceux correspondant à un paramètre formel. Ceci peut être combiné à un paramètre formel sous la forme `*name` (décrit dans la section suivante) qui lui reçoit un *n-uplet* contenant les arguments positionnés au-delà de la liste des paramètres formels (`*name` doit être présent avant `**name`). Par exemple, si vous définissez une fonction comme ceci :

```
def cheeseshop(kind, *arguments, **keywords):
    print("-- Do you have any", kind, "?")
    print("-- I'm sorry, we're all out of", kind)
    for arg in arguments:
        print(arg)
    print("-" * 40)
    for kw in keywords:
        print(kw, ":", keywords[kw])
```

Elle pourrait être appelée comme ceci :



```
cheeseshop("Limburger", "It's very runny, sir.",
           "It's really very, VERY runny, sir.",
           shopkeeper="Michael Palin",
           client="John Cleese",
           sketch="Cheese Shop Sketch")
```

et, bien sûr, elle affiche :

```
-- Do you have any Limburger ?
-- I'm sorry, we're all out of Limburger
It's very runny, sir.
It's really very, VERY runny, sir.
-----
shopkeeper : Michael Palin
client : John Cleese
sketch : Cheese Shop Sketch
```

Notez que Python garantit que l'ordre d'affichage des arguments est le même que l'ordre dans lesquels ils sont fournis lors de l'appel à la fonction.

### 4.7.3 Paramètres spéciaux

Par défaut, les arguments peuvent être passés à une fonction Python par position, ou explicitement en les nommant. Pour la lisibilité et la performance, il est logique de restreindre la façon dont les arguments peuvent être transmis afin qu'un développeur n'ait qu'à regarder la définition de la fonction pour déterminer si les éléments sont transmis par position seule, par position ou nommé, ou seulement nommé.

Voici à quoi ressemble une définition de fonction :

```
def f(pos1, pos2, /, pos_or_kwd, *, kwd1, kwd2):  
    -----  
    |           |           |  
    |           Positional or keyword   |  
    |                                     |  
    -- Positional only                 - Keyword only
```

où / et \* sont facultatifs. S'ils sont utilisés, ces symboles indiquent par quel type de paramètre un argument peut être transmis à la fonction : position seule, position ou nommé, et seulement nommé. Les paramètres par mot-clé sont aussi appelés paramètres nommés.

## Les arguments positionnels-ou-nommés

Si / et \* ne sont pas présents dans la définition de fonction, les arguments peuvent être passés à une fonction par position ou par nommés.

### Paramètres positionnels uniquement

En y regardant de plus près, il est possible de marquer certains paramètres comme *positionnels uniquement*. S'ils sont marqués comme *positionnels uniquement*, l'ordre des paramètres est important, et les paramètres ne peuvent pas être transmis en tant que « arguments nommés ». Les paramètres « positionnels uniquement » sont placés avant un /. Le / est utilisé pour séparer logiquement les paramètres « positionnels uniquement » du reste des paramètres. S'il n'y a pas de / dans la définition de fonction, il n'y a pas de paramètres « positionnels uniquement ».

Les paramètres qui suivent le / peuvent être *positionnels-ou-nommés* ou *nommés-uniquement*.

### Arguments nommés uniquement

Pour marquer les paramètres comme *uniquement nommés*, indiquant que les paramètres doivent être passés avec l'argument comme mot-clé, placez un \* dans la liste des arguments juste avant le premier paramètre *uniquement nommé*.

### Exemples de fonctions

Considérons l'exemple suivant de définitions de fonctions en portant une attention particulière aux marqueurs / et \* :

```
>>> def standard_arg(arg):
...     print(arg)
...
>>> def pos_only_arg(arg, /):
...     print(arg)
...
>>> def kwd_only_arg(*, arg):
...     print(arg)
...
>>> def combined_example(pos_only, /, standard, *, kwd_only):
...     print(pos_only, standard, kwd_only)
```

La première définition de fonction, `standard_arg`, la forme la plus familière, n'impose aucune restriction sur la convention d'appel et les arguments peuvent être passés par position ou nommés :

```
>>> standard_arg(2)
2

>>> standard_arg(arg=2)
2
```

La deuxième fonction `pos_only_arg` restreint le passage aux seuls arguments par position car il y a un / dans la définition de fonction :

```
>>> pos_only_arg(1)
1

>>> pos_only_arg(arg=1)
Traceback (most recent call last):
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: pos_only_arg() got some positional-only arguments passed as keyword_
↳arguments: 'arg'
```

La troisième fonction `kwd_only_args` n'autorise que les arguments nommés comme l'indique le `*` dans la définition de fonction :

```
>>> kwd_only_arg(3)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: kwd_only_arg() takes 0 positional arguments but 1 was given

>>> kwd_only_arg(arg=3)
3
```

Et la dernière utilise les trois conventions d'appel dans la même définition de fonction :

```
>>> combined_example(1, 2, 3)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: combined_example() takes 2 positional arguments but 3 were given

>>> combined_example(1, 2, kwd_only=3)
1 2 3

>>> combined_example(1, standard=2, kwd_only=3)
1 2 3

>>> combined_example(pos_only=1, standard=2, kwd_only=3)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: combined_example() got some positional-only arguments passed as keyword_
↳arguments: 'pos_only'
```

Enfin, considérons cette définition de fonction qui a une collision potentielle entre l'argument positionnel `name` et `**kws` qui a `name` comme mot-clé :

```
def foo(name, **kws):
    return 'name' in kws
```

Il n'y a pas d'appel possible qui renvoie `True` car le mot-clé `'name'` est toujours lié au premier paramètre. Par exemple :

```
>>> foo(1, **{'name': 2})
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: foo() got multiple values for argument 'name'
>>>
```

Mais en utilisant `/` (arguments positionnels seulement), c'est possible puisqu'il permet d'utiliser `name` comme argument positionnel et `'name'` comme mot-clé dans les arguments nommés :

```
def foo(name, /, **kws):
    return 'name' in kws
>>> foo(1, **{'name': 2})
True
```

En d'autres termes, les noms des paramètres seulement positionnels peuvent être utilisés sans ambiguïté dans `**kws`.

## Récapitulatif

Le cas d'utilisation détermine les paramètres à utiliser dans la définition de fonction :

```
def f(pos1, pos2, /, pos_or_kwd, *, kwd1, kwd2):
```

Quelques conseils :

- utilisez les paramètres positionnels si vous voulez que le nom des paramètres soit masqué à l'utilisateur. Ceci est utile lorsque les noms de paramètres n'ont pas de signification réelle, si vous voulez faire respecter l'ordre des arguments lorsque la fonction est appelée ou si vous avez besoin de prendre certains paramètres positionnels et mots-clés arbitraires ;
- utilisez les paramètres nommés lorsque les noms ont un sens et que la définition de la fonction est plus compréhensible avec des noms explicites ou si vous voulez empêcher les utilisateurs de se fier à la position de l'argument qui est passé ;
- dans le cas d'une API, utilisez les paramètres seulement positionnels pour éviter de casser l'API si le nom du paramètre est modifié dans l'avenir.

### 4.7.4 Listes d'arguments arbitraires

Pour terminer, l'option la moins fréquente consiste à indiquer qu'une fonction peut être appelée avec un nombre arbitraire d'arguments. Ces arguments sont intégrés dans un *n*-uplet (voir *Tuples et séquences*). Avant le nombre variable d'arguments, zéro ou plus arguments normaux peuvent apparaître :

```
def write_multiple_items(file, separator, *args):  
    file.write(separator.join(args))
```

Normalement, ces arguments *variadiques* sont les derniers paramètres, parce qu'ils agrègent toutes les valeurs suivantes. Tout paramètre placé après le paramètre *\*arg* ne pourra être utilisé que comme argument nommé, pas comme argument positionnel :

```
>>> def concat(*args, sep="/"):  
...     return sep.join(args)  
...  
>>> concat("earth", "mars", "venus")  
'earth/mars/venus'  
>>> concat("earth", "mars", "venus", sep=".")  
'earth.mars.venus'
```

### 4.7.5 Séparation des listes d'arguments

La situation inverse intervient lorsque les arguments sont déjà dans une liste ou un *n*-uplet mais doivent être séparés pour un appel de fonction nécessitant des arguments positionnés séparés. Par exemple, la primitive `range()` attend des arguments *start* et *stop* distincts. S'ils ne sont pas disponibles séparément, écrivez l'appel de fonction en utilisant l'opérateur `*` pour séparer les arguments présents dans une liste ou un *n*-uplet :

```
>>> list(range(3, 6))           # normal call with separate arguments  
[3, 4, 5]  
>>> args = [3, 6]  
>>> list(range(*args))         # call with arguments unpacked from a list  
[3, 4, 5]
```

De la même façon, les dictionnaires peuvent fournir des arguments nommés en utilisant l'opérateur `**` :

```
>>> def parrot(voltage, state='a stiff', action='vroom'):
...     print("-- This parrot wouldn't", action, end=' ')
...     print("if you put", voltage, "volts through it.", end=' ')
...     print("E's", state, "!")
...
>>> d = {"voltage": "four million", "state": "bleedin' demised", "action": "VOOM"}
>>> parrot(**d)
-- This parrot wouldn't VOOM if you put four million volts through it. E's bleedin'
↳ demised !
```

## 4.7.6 Fonctions anonymes

Avec le mot-clé `lambda`, vous pouvez créer de petites fonctions anonymes. En voici une qui renvoie la somme de ses deux arguments : `lambda a, b: a+b`. Les fonctions `lambda` peuvent être utilisées partout où un objet fonction est attendu. Elles sont syntaxiquement restreintes à une seule expression. Sémantiquement, elles ne sont que du sucre syntaxique pour une définition de fonction normale. Comme les fonctions imbriquées, les fonctions `lambda` peuvent référencer des variables de la portée englobante :

```
>>> def make_incrementor(n):
...     return lambda x: x + n
...
>>> f = make_incrementor(42)
>>> f(0)
42
>>> f(1)
43
```

L'exemple précédent utilise une fonction anonyme pour renvoyer une fonction. Une autre utilisation classique est de donner une fonction minimaliste directement en tant que paramètre :

```
>>> pairs = [(1, 'one'), (2, 'two'), (3, 'three'), (4, 'four')]
>>> pairs.sort(key=lambda pair: pair[1])
>>> pairs
[(4, 'four'), (1, 'one'), (3, 'three'), (2, 'two')]
```

## 4.7.7 Chaînes de documentation

Voici quelques conventions concernant le contenu et le format des chaînes de documentation.

Il convient que la première ligne soit toujours courte et résume de manière concise l'utilité de l'objet. Afin d'être bref, nul besoin de rappeler le nom de l'objet ou son type, qui sont accessibles par d'autres moyens (sauf si le nom est un verbe qui décrit une opération). La convention veut que la ligne commence par une majuscule et se termine par un point.

S'il y a d'autres lignes dans la chaîne de documentation, la deuxième ligne devrait être vide, pour la séparer visuellement du reste de la description. Les autres lignes peuvent alors constituer un ou plusieurs paragraphes décrivant le mode d'utilisation de l'objet, ses effets de bord, etc.

L'analyseur de code Python ne supprime pas l'indentation des chaînes de caractères littérales multi-lignes, donc les outils qui utilisent la documentation doivent si besoin faire cette opération eux-mêmes. La convention suivante s'applique : la première ligne non vide *après* la première détermine la profondeur d'indentation de l'ensemble de la chaîne de documentation (on ne peut pas utiliser la première ligne qui est généralement accolée aux guillemets d'ouverture de la chaîne de caractères et dont l'indentation n'est donc pas visible). Les espaces « correspondant » à cette profondeur d'indentation sont alors supprimées du début de chacune des lignes de la chaîne. Aucune ligne ne devrait présenter un niveau d'indentation

inférieur mais, si cela arrive, toutes les espaces situées en début de ligne doivent être supprimées. L'équivalent des espaces doit être testé après expansion des tabulations (normalement remplacées par 8 espaces).

Voici un exemple de chaîne de documentation multi-lignes :

```
>>> def my_function():
...     """Do nothing, but document it.
...
...     No, really, it doesn't do anything.
...     """
...     pass
>>> print(my_function.__doc__)
Do nothing, but document it.

    No, really, it doesn't do anything.
```

## 4.7.8 Annotations de fonctions

Les annotations de fonction sont des métadonnées optionnelles décrivant les types utilisés par une fonction définie par l'utilisateur (voir les [PEP 3107](#) et [PEP 484](#) pour plus d'informations).

Les *annotations* sont stockées dans l'attribut `__annotations__` de la fonction, sous la forme d'un dictionnaire, et n'ont aucun autre effet. Les annotations sur les paramètres sont définies par deux points (:) après le nom du paramètre suivi d'une expression donnant la valeur de l'annotation. Les annotations de retour sont définies par `->` suivi d'une expression, entre la liste des paramètres et les deux points de fin de l'instruction `def`. L'exemple suivant a un paramètre requis, un paramètre optionnel et la valeur de retour annotés :

```
>>> def f(ham: str, eggs: str = 'eggs') -> str:
...     print("Annotations:", f.__annotations__)
...     print("Arguments:", ham, eggs)
...     return ham + ' and ' + eggs
...
>>> f('spam')
Annotations: {'ham': <class 'str'>, 'return': <class 'str'>, 'eggs': <class 'str'>}
Arguments: spam eggs
'spam and eggs'
```

## 4.8 Aparté : le style de codage

Maintenant que vous êtes prêt à écrire des programmes plus longs et plus complexes, il est temps de parler du *style de codage*. La plupart des langages peuvent être écrits (ou plutôt *formatés*) selon différents styles ; certains sont plus lisibles que d'autres. Rendre la lecture de votre code plus facile aux autres est toujours une bonne idée et adopter un bon style de codage peut énormément vous y aider.

En Python, la plupart des projets adhèrent au style défini dans la [PEP 8](#) ; elle met en avant un style de codage très lisible et agréable à l'œil. Chaque développeur Python se doit donc de la lire et de s'en inspirer autant que possible ; voici ses principaux points notables :

- Utilisez des indentations de 4 espaces et pas de tabulation.

4 espaces constituent un bon compromis entre une indentation courte (qui permet une profondeur d'imbrication plus importante) et une longue (qui rend le code plus facile à lire). Les tabulations introduisent de la confusion et doivent être proscrites autant que possible.

- Faites en sorte que les lignes ne dépassent pas 79 caractères, au besoin en insérant des retours à la ligne.  
Vous facilitez ainsi la lecture pour les utilisateurs qui n'ont qu'un petit écran et, pour les autres, cela leur permet de visualiser plusieurs fichiers côte à côte.
- Utilisez des lignes vides pour séparer les fonctions et les classes, ou pour scinder de gros blocs de code à l'intérieur de fonctions.
- Lorsque c'est possible, placez les commentaires sur leurs propres lignes.
- Utilisez les chaînes de documentation.
- Utilisez des espaces autour des opérateurs et après les virgules, mais pas juste à l'intérieur des parenthèses : `a = f(1, 2) + g(3, 4)`.
- Nommez toujours vos classes et fonctions de la même manière ; la convention est d'utiliser une notation `UpperCamelCase` pour les classes, et `minuscules_avec_trait_bas` pour les fonctions et méthodes. Utilisez toujours `self` comme nom du premier argument des méthodes (voyez [Une première approche des classes](#) pour en savoir plus sur les classes et les méthodes).
- N'utilisez pas d'encodage exotique dès lors que votre code est censé être utilisé dans des environnements internationaux. Par défaut, Python travaille en UTF-8. Pour couvrir tous les cas, préférez le simple ASCII.
- De la même manière, n'utilisez que des caractères ASCII pour vos noms de variables s'il est envisageable qu'une personne parlant une autre langue lise ou doive modifier votre code.

## Notes





Ce chapitre reprend plus en détail quelques points déjà décrits précédemment et introduit également de nouvelles notions.

## 5.1 Compléments sur les listes

Le type liste dispose de méthodes supplémentaires. Voici toutes les méthodes des objets de type liste :

- `list.append(x)`  
Ajoute un élément à la fin de la liste. Équivalent à `a[len(a) :] = [x]`.
- `list.extend(iterable)`  
Étend la liste en y ajoutant tous les éléments de l'itérable. Équivalent à `a[len(a) :] = iterable`.
- `list.insert(i, x)`  
Insère un élément à la position indiquée. Le premier argument est la position de l'élément courant avant lequel l'insertion doit s'effectuer, donc `a.insert(0, x)` insère l'élément en tête de la liste et `a.insert(len(a), x)` est équivalent à `a.append(x)`.
- `list.remove(x)`  
Supprime de la liste le premier élément dont la valeur est égale à `x`. Une exception `ValueError` est levée s'il n'existe aucun élément avec cette valeur.
- `list.pop([i])`  
Enlève de la liste l'élément situé à la position indiquée et le renvoie en valeur de retour. Si aucune position n'est spécifiée, `a.pop()` enlève et renvoie le dernier élément de la liste (les crochets autour du `i` dans la signature de la méthode indiquent que ce paramètre est facultatif et non que vous devez placer des crochets dans votre code ! Vous retrouverez cette notation fréquemment dans le Guide de Référence de la Bibliothèque Python).
- `list.clear()`  
Supprime tous les éléments de la liste. Équivalent à `del a[:]`.
- `list.index(x[, start[, end]])`  
Renvoie la position du premier élément de la liste dont la valeur égale `x` (en commençant à compter les positions à partir de zéro). Une exception `ValueError` est levée si aucun élément n'est trouvé.

Les arguments optionnels *start* et *end* sont interprétés de la même manière que dans la notation des tranches et sont utilisés pour limiter la recherche à une sous-séquence particulière. L'indice renvoyé est calculé relativement au début de la séquence complète et non relativement à *start*.

`list.count(x)`

Renvoie le nombre d'éléments ayant la valeur *x* dans la liste.

`list.sort(*, key=None, reverse=False)`

Ordonne les éléments dans la liste (les arguments peuvent personnaliser l'ordonnement, voir `sorted()` pour leur explication).

`list.reverse()`

Inverse l'ordre des éléments dans la liste.

`list.copy()`

Renvoie une copie superficielle de la liste. Équivalent à `a[:]`.

L'exemple suivant utilise la plupart des méthodes des listes :

```
>>> fruits = ['orange', 'apple', 'pear', 'banana', 'kiwi', 'apple', 'banana']
>>> fruits.count('apple')
2
>>> fruits.count('tangerine')
0
>>> fruits.index('banana')
3
>>> fruits.index('banana', 4)  # Find next banana starting a position 4
6
>>> fruits.reverse()
>>> fruits
['banana', 'apple', 'kiwi', 'banana', 'pear', 'apple', 'orange']
>>> fruits.append('grape')
>>> fruits
['banana', 'apple', 'kiwi', 'banana', 'pear', 'apple', 'orange', 'grape']
>>> fruits.sort()
>>> fruits
['apple', 'apple', 'banana', 'banana', 'grape', 'kiwi', 'orange', 'pear']
>>> fruits.pop()
'pear'
```

Vous avez probablement remarqué que les méthodes telles que `insert`, `remove` ou `sort`, qui ne font que modifier la liste, n'affichent pas de valeur de retour (elles renvoient `None`)<sup>1</sup>. C'est un principe respecté par toutes les structures de données variables en Python.

Une autre chose que vous remarquerez peut-être est que toutes les données ne peuvent pas être ordonnées ou comparées. Par exemple, `[None, 'hello', 10]` ne sera pas ordonné parce que les entiers ne peuvent pas être comparés aux chaînes de caractères et `None` ne peut pas être comparé à d'autres types. En outre, il existe certains types qui n'ont pas de relation d'ordre définie. Par exemple, `3+4j < 5+7j` n'est pas une comparaison valide.

---

1. D'autres langages renvoient l'objet modifié, ce qui permet de chaîner les méthodes comme ceci :  
`d->insert("a")->remove("b")->sort();`

### 5.1.1 Utilisation des listes comme des piles

Les méthodes des listes rendent très facile leur utilisation comme des piles, où le dernier élément ajouté est le premier récupéré (« dernier entré, premier sorti » ou LIFO pour *last-in, first-out* en anglais). Pour ajouter un élément sur la pile, utilisez la méthode `append()`. Pour récupérer l'objet au sommet de la pile, utilisez la méthode `pop()` sans indicateur de position. Par exemple :

```
>>> stack = [3, 4, 5]
>>> stack.append(6)
>>> stack.append(7)
>>> stack
[3, 4, 5, 6, 7]
>>> stack.pop()
7
>>> stack
[3, 4, 5, 6]
>>> stack.pop()
6
>>> stack.pop()
5
>>> stack
[3, 4]
```

### 5.1.2 Utilisation des listes comme des files

Il est également possible d'utiliser une liste comme une file, où le premier élément ajouté est le premier récupéré (« premier entré, premier sorti » ou FIFO pour *first-in, first-out*); toutefois, les listes ne sont pas très efficaces pour réaliser ce type de traitement. Alors que les ajouts et suppressions en fin de liste sont rapides, les opérations d'insertions ou de retraits en début de liste sont lentes (car tous les autres éléments doivent être décalés d'une position).

Pour implémenter une file, utilisez la classe `collections.deque` qui a été conçue pour réaliser rapidement les opérations d'ajouts et de retraits aux deux extrémités. Par exemple :

```
>>> from collections import deque
>>> queue = deque(["Eric", "John", "Michael"])
>>> queue.append("Terry")           # Terry arrives
>>> queue.append("Graham")         # Graham arrives
>>> queue.popleft()                # The first to arrive now leaves
'Eric'
>>> queue.popleft()                # The second to arrive now leaves
'John'
>>> queue                           # Remaining queue in order of arrival
deque(['Michael', 'Terry', 'Graham'])
```

### 5.1.3 Compréhensions de listes

Les compréhensions de listes fournissent un moyen de construire des listes de manière très concise. Une application classique est la construction de nouvelles listes où chaque élément est le résultat d'une opération appliquée à chaque élément d'une autre séquence; ou de créer une sous-séquence des éléments satisfaisant une condition spécifique.

Par exemple, supposons que l'on veuille créer une liste de carrés, comme :

```
>>> squares = []
>>> for x in range(10):
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
...     squares.append(x**2)
...
>>> squares
[0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81]
```

Notez que cela crée (ou remplace) une variable nommée `x` qui existe toujours après l'exécution de la boucle. On peut calculer une liste de carrés sans effet de bord avec :

```
squares = list(map(lambda x: x**2, range(10)))
```

ou, de manière équivalente :

```
squares = [x**2 for x in range(10)]
```

qui est plus court et lisible.

Une compréhension de liste consiste à placer entre crochets une expression suivie par une clause `for` puis par zéro ou plus clauses `for` ou `if`. Le résultat est une nouvelle liste résultat de l'évaluation de l'expression dans le contexte des clauses `for` et `if` qui la suivent. Par exemple, cette compréhension de liste combine les éléments de deux listes s'ils ne sont pas égaux :

```
>>> [(x, y) for x in [1,2,3] for y in [3,1,4] if x != y]
[(1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 1), (2, 4), (3, 1), (3, 4)]
```

et c'est équivalent à :

```
>>> combs = []
>>> for x in [1,2,3]:
...     for y in [3,1,4]:
...         if x != y:
...             combs.append((x, y))
...
>>> combs
[(1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 1), (2, 4), (3, 1), (3, 4)]
```

Notez que l'ordre des instructions `for` et `if` est le même dans ces différents extraits de code.

Si l'expression est un *n*-uplet (c'est-à-dire `(x, y)` dans cet exemple), elle doit être entourée par des parenthèses :

```
>>> vec = [-4, -2, 0, 2, 4]
>>> # create a new list with the values doubled
>>> [x*2 for x in vec]
[-8, -4, 0, 4, 8]
>>> # filter the list to exclude negative numbers
>>> [x for x in vec if x >= 0]
[0, 2, 4]
>>> # apply a function to all the elements
>>> [abs(x) for x in vec]
[4, 2, 0, 2, 4]
>>> # call a method on each element
>>> freshfruit = [' banana', ' loganberry ', 'passion fruit ']
>>> [weapon.strip() for weapon in freshfruit]
['banana', 'loganberry', 'passion fruit']
>>> # create a list of 2-tuples like (number, square)
>>> [(x, x**2) for x in range(6)]
[(0, 0), (1, 1), (2, 4), (3, 9), (4, 16), (5, 25)]
>>> # the tuple must be parenthesized, otherwise an error is raised
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
>>> [x, x**2 for x in range(6)]
File "<stdin>", line 1, in <module>
    [x, x**2 for x in range(6)]
      ^
SyntaxError: invalid syntax
>>> # flatten a list using a listcomp with two 'for'
>>> vec = [[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]]
>>> [num for elem in vec for num in elem]
[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```

Les compréhensions de listes peuvent contenir des expressions complexes et des fonctions imbriquées :

```
>>> from math import pi
>>> [str(round(pi, i)) for i in range(1, 6)]
['3.1', '3.14', '3.142', '3.1416', '3.14159']
```

## 5.1.4 Compréhensions de listes imbriquées

La première expression dans une compréhension de liste peut être n'importe quelle expression, y compris une autre compréhension de liste.

Voyez l'exemple suivant d'une matrice de 3 par 4, implémentée sous la forme de 3 listes de 4 éléments :

```
>>> matrix = [
...     [1, 2, 3, 4],
...     [5, 6, 7, 8],
...     [9, 10, 11, 12],
... ]
```

Cette compréhension de liste transpose les lignes et les colonnes :

```
>>> [[row[i] for row in matrix] for i in range(4)]
[[1, 5, 9], [2, 6, 10], [3, 7, 11], [4, 8, 12]]
```

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, la compréhension de liste imbriquée est évaluée dans le contexte de l'instruction `for` qui la suit, donc cet exemple est équivalent à :

```
>>> transposed = []
>>> for i in range(4):
...     transposed.append([row[i] for row in matrix])
...
>>> transposed
[[1, 5, 9], [2, 6, 10], [3, 7, 11], [4, 8, 12]]
```

lequel à son tour est équivalent à :

```
>>> transposed = []
>>> for i in range(4):
...     # the following 3 lines implement the nested listcomp
...     transposed_row = []
...     for row in matrix:
...         transposed_row.append(row[i])
...     transposed.append(transposed_row)
...
... 
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
>>> transposed
[[1, 5, 9], [2, 6, 10], [3, 7, 11], [4, 8, 12]]
```

Dans des cas concrets, il est toujours préférable d'utiliser des fonctions natives plutôt que des instructions de contrôle de flux complexes. La fonction `zip()` ferait dans ce cas un excellent travail :

```
>>> list(zip(*matrix))
[(1, 5, 9), (2, 6, 10), (3, 7, 11), (4, 8, 12)]
```

Voyez *Séparation des listes d'arguments* pour plus de détails sur l'astérisque de cette ligne.

## 5.2 L'instruction `del`

Il existe un moyen de retirer un élément d'une liste à partir de sa position au lieu de sa valeur : l'instruction `del`. Elle diffère de la méthode `pop()` qui, elle, renvoie une valeur. L'instruction `del` peut également être utilisée pour supprimer des tranches d'une liste ou la vider complètement (ce que nous avons fait auparavant en affectant une liste vide à la tranche). Par exemple :

```
>>> a = [-1, 1, 66.25, 333, 333, 1234.5]
>>> del a[0]
>>> a
[1, 66.25, 333, 333, 1234.5]
>>> del a[2:4]
>>> a
[1, 66.25, 1234.5]
>>> del a[:]
>>> a
[]
```

`del` peut aussi être utilisée pour supprimer des variables :

```
>>> del a
```

À partir de là, référencer le nom `a` est une erreur (au moins jusqu'à ce qu'une autre valeur lui soit affectée). Vous trouverez d'autres utilisations de la fonction `del` plus tard.

## 5.3 Tuples et séquences

Nous avons vu que les listes et les chaînes de caractères ont beaucoup de propriétés en commun, comme l'indexage et les opérations sur des tranches. Ce sont deux exemples de *séquences* (voir `typeseq`). Comme Python est un langage en constante évolution, d'autres types de séquences y seront peut-être ajoutés. Il existe également un autre type standard de séquence : le *tuple* (ou *n-uplet*, dénomination que nous utiliserons dans la suite de cette documentation).

Un *n-uplet* consiste en différentes valeurs séparées par des virgules, par exemple :

```
>>> t = 12345, 54321, 'hello!'
>>> t[0]
12345
>>> t
(12345, 54321, 'hello!')
```

```
>>> # Tuples may be nested:
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

... u = t, (1, 2, 3, 4, 5)
>>> u
((12345, 54321, 'hello!'), (1, 2, 3, 4, 5))
>>> # Tuples are immutable:
... t[0] = 88888
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
>>> # but they can contain mutable objects:
... v = ([1, 2, 3], [3, 2, 1])
>>> v
([1, 2, 3], [3, 2, 1])

```

Comme vous pouvez le voir, les  $n$ -uplets sont toujours affichés entre parenthèses, de façon à ce que des  $n$ -uplets imbriqués soient interprétés correctement ; ils peuvent être saisis avec ou sans parenthèses, même si celles-ci sont souvent nécessaires (notamment lorsqu'un  $n$ -uplet fait partie d'une expression plus longue). Il n'est pas possible d'affecter de valeur à un élément d'un  $n$ -uplet ; par contre, il est possible de créer des  $n$ -uplets contenant des objets muables, comme des listes.

Si les  $n$ -uplets peuvent sembler similaires aux listes, ils sont souvent utilisés dans des cas différents et pour des raisons différentes. Les  $n$ -uplets sont *immuables* et contiennent souvent des séquences hétérogènes d'éléments qui sont accédés par « dissociation » (*unpacking* en anglais, voir plus loin) ou par indice (ou même par attributs dans le cas des *namedtuples*). Les listes sont souvent *muables* et contiennent des éléments généralement homogènes qui sont accédés par itération sur la liste.

Un problème spécifique est la construction de  $n$ -uplets ne contenant aucun ou un seul élément : la syntaxe a quelques tournures spécifiques pour s'en accommoder. Les  $n$ -uplets vides sont construits par une paire de parenthèses vides ; un  $n$ -uplet avec un seul élément est construit en faisant suivre la valeur par une virgule (il n'est pas suffisant de placer cette valeur entre parenthèses). Pas très joli, mais efficace. Par exemple :

```

>>> empty = ()
>>> singleton = 'hello',      # <-- note trailing comma
>>> len(empty)
0
>>> len(singleton)
1
>>> singleton
('hello',)

```

L'instruction `t = 12345, 54321, 'hello !'` est un exemple d'un *d'agrégation de  $n$ -uplet* (*tuple packing* en anglais) : les valeurs 12345, 54321 et `hello !` sont agrégées ensemble dans un  $n$ -uplet. L'opération inverse est aussi possible :

```

>>> x, y, z = t

```

Ceci est appelé, de façon plus ou moins appropriée, une *dissociation de séquence* (*sequence unpacking* en anglais) et fonctionne pour toute séquence placée à droite de l'expression. Cette dissociation requiert autant de variables dans la partie gauche qu'il y a d'éléments dans la séquence. Notez également que cette affectation multiple est juste une combinaison entre une agrégation de  $n$ -uplet et une dissociation de séquence.

## 5.4 Ensembles

Python fournit également un type de donnée pour les *ensembles*. Un ensemble est une collection non ordonnée sans élément dupliqué. Des utilisations basiques concernent par exemple des tests d'appartenance ou des suppressions de doublons. Les ensembles savent également effectuer les opérations mathématiques telles que les unions, intersections, différences et différences symétriques.

Des accolades ou la fonction `set()` peuvent être utilisés pour créer des ensembles. Notez que pour créer un ensemble vide, `{}` ne fonctionne pas, cela crée un dictionnaire vide. Utilisez plutôt `set()`.

Voici une brève démonstration :

```
>>> basket = {'apple', 'orange', 'apple', 'pear', 'orange', 'banana'}
>>> print(basket)           # show that duplicates have been removed
{'orange', 'banana', 'pear', 'apple'}
>>> 'orange' in basket      # fast membership testing
True
>>> 'crabgrass' in basket
False

>>> # Demonstrate set operations on unique letters from two words
...
>>> a = set('abracadabra')
>>> b = set('alacazam')
>>> a                               # unique letters in a
{'a', 'r', 'b', 'c', 'd'}
>>> a - b                           # letters in a but not in b
{'r', 'd', 'b'}
>>> a | b                           # letters in a or b or both
{'a', 'c', 'r', 'd', 'b', 'm', 'z', 'l'}
>>> a & b                           # letters in both a and b
{'a', 'c'}
>>> a ^ b                           # letters in a or b but not both
{'r', 'd', 'b', 'm', 'z', 'l'}
```

Tout comme pour les *compréhensions de listes*, il est possible d'écrire des compréhensions d'ensembles :

```
>>> a = {x for x in 'abracadabra' if x not in 'abc'}
>>> a
{'r', 'd'}
```

## 5.5 Dictionnaires

Un autre type de donnée très utile, natif dans Python, est le *dictionnaire* (voir `typesmapping`). Ces dictionnaires sont parfois présents dans d'autres langages sous le nom de « mémoires associatives » ou de « tableaux associatifs ». À la différence des séquences, qui sont indexées par des nombres, les dictionnaires sont indexés par des *clés*, qui peuvent être de n'importe quel type immuable ; les chaînes de caractères et les nombres peuvent toujours être des clés. Des *n*-uplets peuvent être utilisés comme clés s'ils ne contiennent que des chaînes, des nombres ou des *n*-uplets ; si un *n*-uplet contient un objet muable, de façon directe ou indirecte, il ne peut pas être utilisé comme une clé. Vous ne pouvez pas utiliser des listes comme clés, car les listes peuvent être modifiées en place en utilisant des affectations par position, par tranches ou via des méthodes comme `append()` ou `extend()`.

Le plus simple est de considérer les dictionnaires comme des ensembles de paires *clé : valeur*, les clés devant être uniques (au sein d'un dictionnaire). Une paire d'accolades crée un dictionnaire vide : `{}`. Placer une liste de paires *clé : valeur*



séparées par des virgules à l'intérieur des accolades ajoute les valeurs correspondantes au dictionnaire ; c'est également de cette façon que les dictionnaires sont affichés.

Les opérations classiques sur un dictionnaire consistent à stocker une valeur pour une clé et à extraire la valeur correspondant à une clé. Il est également possible de supprimer une paire clé-valeur avec `del`. Si vous stockez une valeur pour une clé qui est déjà utilisée, l'ancienne valeur associée à cette clé est perdue. Si vous tentez d'extraire une valeur associée à une clé qui n'existe pas, une exception est levée.

Exécuter `list(d)` sur un dictionnaire `d` renvoie une liste de toutes les clés utilisées dans le dictionnaire, dans l'ordre d'insertion (si vous voulez qu'elles soient ordonnées, utilisez `sorted(d)`). Pour tester si une clé est dans le dictionnaire, utilisez le mot-clé `in`.

Voici un petit exemple utilisant un dictionnaire :

```
>>> tel = {'jack': 4098, 'sape': 4139}
>>> tel['guido'] = 4127
>>> tel
{'jack': 4098, 'sape': 4139, 'guido': 4127}
>>> tel['jack']
4098
>>> del tel['sape']
>>> tel['irv'] = 4127
>>> tel
{'jack': 4098, 'guido': 4127, 'irv': 4127}
>>> list(tel)
['jack', 'guido', 'irv']
>>> sorted(tel)
['guido', 'irv', 'jack']
>>> 'guido' in tel
True
>>> 'jack' not in tel
False
```

Le constructeur `dict()` fabrique un dictionnaire directement à partir d'une liste de paires clé-valeur stockées sous la forme de *n*-uplets :

```
>>> dict([('sape', 4139), ('guido', 4127), ('jack', 4098)])
{'sape': 4139, 'guido': 4127, 'jack': 4098}
```

De plus, il est possible de créer des dictionnaires par compréhension depuis un jeu de clef et valeurs :

```
>>> {x: x**2 for x in (2, 4, 6)}
{2: 4, 4: 16, 6: 36}
```

Lorsque les clés sont de simples chaînes de caractères, il est parfois plus facile de spécifier les paires en utilisant des paramètres nommés :

```
>>> dict(sape=4139, guido=4127, jack=4098)
{'sape': 4139, 'guido': 4127, 'jack': 4098}
```

## 5.6 Techniques de boucles

Lorsque vous faites une boucle sur un dictionnaire, les clés et leurs valeurs peuvent être récupérées en même temps en utilisant la méthode `items()` :

```
>>> knights = {'gallahad': 'the pure', 'robin': 'the brave'}
>>> for k, v in knights.items():
...     print(k, v)
...
gallahad the pure
robin the brave
```

Lorsque vous faites une boucle sur une séquence, la position et la valeur correspondante peuvent être récupérées en même temps en utilisant la fonction `enumerate()`.

```
>>> for i, v in enumerate(['tic', 'tac', 'toe']):
...     print(i, v)
...
0 tic
1 tac
2 toe
```

Pour faire une boucle sur deux séquences ou plus en même temps, les éléments peuvent être associés en utilisant la fonction `zip()` :

```
>>> questions = ['name', 'quest', 'favorite color']
>>> answers = ['lancelot', 'the holy grail', 'blue']
>>> for q, a in zip(questions, answers):
...     print('What is your {0}? It is {1}'.format(q, a))
...
What is your name? It is lancelot.
What is your quest? It is the holy grail.
What is your favorite color? It is blue.
```

Pour faire une boucle en sens inverse sur une séquence, commencez par spécifier la séquence dans son ordre normal, puis appliquez la fonction `reversed()` :

```
>>> for i in reversed(range(1, 10, 2)):
...     print(i)
...
9
7
5
3
1
```

Pour faire une boucle sur une séquence de manière ordonnée, utilisez la fonction `sorted()` qui renvoie une nouvelle liste ordonnée sans altérer la source :

```
>>> basket = ['apple', 'orange', 'apple', 'pear', 'orange', 'banana']
>>> for i in sorted(basket):
...     print(i)
...
apple
apple
banana
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
orange
orange
pear
```

L'utilisation de la fonction `set()` sur une séquence élimine les doublons. L'utilisation de la fonction `sorted()` en combinaison avec `set()` sur une séquence est une façon idiomatique de boucler sur les éléments uniques d'une séquence dans l'ordre. :

```
>>> basket = ['apple', 'orange', 'apple', 'pear', 'orange', 'banana']
>>> for f in sorted(set(basket)):
...     print(f)
...
apple
banana
orange
pear
```

Il est parfois tentant de modifier une liste pendant son itération. Cependant, c'est souvent plus simple et plus sûr de créer une nouvelle liste à la place. :

```
>>> import math
>>> raw_data = [56.2, float('NaN'), 51.7, 55.3, 52.5, float('NaN'), 47.8]
>>> filtered_data = []
>>> for value in raw_data:
...     if not math.isnan(value):
...         filtered_data.append(value)
...
>>> filtered_data
[56.2, 51.7, 55.3, 52.5, 47.8]
```

## 5.7 Plus d'informations sur les conditions

Les conditions utilisées dans une instruction `while` ou `if` peuvent contenir n'importe quel opérateur, pas seulement des comparaisons.

The comparison operators `in` and `not in` check whether a value occurs (does not occur) in a sequence. The operators `is` and `is not` compare whether two objects are really the same object. All comparison operators have the same priority, which is lower than that of all numerical operators.

Les comparaisons peuvent être enchaînées. Par exemple, `a < b == c` teste si `a` est inférieur à `b` et si, de plus, `b` égale `c`.

Les comparaisons peuvent être combinées en utilisant les opérateurs booléens `and` et `or`, le résultat d'une comparaison (ou de toute expression booléenne) pouvant être inversé avec `not`. Ces opérateurs ont une priorité inférieure à celle des opérateurs de comparaison; entre eux, `not` a la priorité la plus élevée et `or` la plus faible, de telle sorte que `A and not B or C` est équivalent à `(A and (not B)) or C`. Comme toujours, des parenthèses peuvent être utilisées pour exprimer l'instruction désirée.

Les opérateurs booléens `and` et `or` sont appelés opérateurs *en circuit court* : leurs arguments sont évalués de la gauche vers la droite et l'évaluation s'arrête dès que le résultat est déterminé. Par exemple, si `A` et `C` sont vrais et `B` est faux, `A and B and C` n'évalue pas l'expression `C`. Lorsqu'elle est utilisée en tant que valeur et non en tant que booléen, la valeur de retour d'un opérateur en circuit court est celle du dernier argument évalué.

Il est possible d'affecter le résultat d'une comparaison ou d'une autre expression booléenne à une variable. Par exemple :

```
>>> string1, string2, string3 = '', 'Trondheim', 'Hammer Dance'
>>> non_null = string1 or string2 or string3
>>> non_null
'Trondheim'
```

Notez qu'en Python, à la différence du C, une affectation à l'intérieur d'une expression doit être faite explicitement avec l'opérateur morse `:`. Cela évite des erreurs fréquentes que l'on rencontre en C, lorsque l'on tape `=` alors que l'on voulait faire un test avec `==`.

## 5.8 Comparer des séquences avec d'autres types

Des séquences peuvent être comparées avec d'autres séquences du même type. La comparaison utilise un ordre *lexicographique* : les deux premiers éléments de chaque séquence sont comparés et, s'ils diffèrent, cela détermine le résultat de la comparaison ; s'ils sont égaux, les deux éléments suivants sont comparés à leur tour et ainsi de suite jusqu'à ce que l'une des séquences soit épuisée. Si deux éléments à comparer sont eux-mêmes des séquences du même type, alors la comparaison lexicographique est effectuée récursivement. Si tous les éléments des deux séquences sont égaux, les deux séquences sont alors considérées comme égales. Si une séquence est une sous-séquence de l'autre, la séquence la plus courte est celle dont la valeur est inférieure. La comparaison lexicographique des chaînes de caractères utilise le code Unicode des caractères. Voici quelques exemples de comparaisons entre séquences de même type :

```
(1, 2, 3) < (1, 2, 4)
[1, 2, 3] < [1, 2, 4]
'ABC' < 'C' < 'Pascal' < 'Python'
(1, 2, 3, 4) < (1, 2, 4)
(1, 2) < (1, 2, -1)
(1, 2, 3) == (1.0, 2.0, 3.0)
(1, 2, ('aa', 'ab')) < (1, 2, ('abc', 'a'), 4)
```

Comparer des objets de type différents avec `<` ou `>` est autorisé si les objets ont des méthodes de comparaison appropriées. Par exemple, les types numériques sont comparés via leur valeur numérique, donc 0 égale 0,0, etc. Dans les autres cas, au lieu de donner un ordre imprévisible, l'interpréteur lève une exception `TypeError`.

### Notes

Lorsque vous quittez et entrez à nouveau dans l'interpréteur Python, tout ce que vous avez déclaré dans la session précédente est perdu. Afin de rédiger des programmes plus longs, vous devez utiliser un éditeur de texte, préparer votre code dans un fichier et exécuter Python avec ce fichier en paramètre. Cela s'appelle créer un *script*. Lorsque votre programme grandit, vous pouvez séparer votre code dans plusieurs fichiers. Ainsi, il vous est facile de réutiliser des fonctions écrites pour un programme dans un autre sans avoir à les copier.

Pour gérer cela, Python vous permet de placer des définitions dans un fichier et de les utiliser dans un script ou une session interactive. Un tel fichier est appelé un *module* et les définitions d'un module peuvent être importées dans un autre module ou dans le module *main* (qui est le module qui contient vos variables et définitions lors de l'exécution d'un script au niveau le plus haut ou en mode interactif).

Un module est un fichier contenant des définitions et des instructions. Son nom de fichier est le nom du module suffixé de `.py`. À l'intérieur d'un module, son propre nom est accessible par la variable `__name__`. Par exemple, prenez votre éditeur favori et créez un fichier `fibonacci.py` dans le répertoire courant qui contient :

```
# Fibonacci numbers module

def fib(n):    # write Fibonacci series up to n
    a, b = 0, 1
    while a < n:
        print(a, end=' ')
        a, b = b, a+b
    print()

def fib2(n):   # return Fibonacci series up to n
    result = []
    a, b = 0, 1
    while a < n:
        result.append(a)
        a, b = b, a+b
    return result
```

Maintenant, ouvrez un interpréteur et importez le module en tapant :

```
>>> import fibo
```

Cela n'importe pas les noms des fonctions définies dans `fibo` directement dans la table des symboles courants mais y ajoute simplement `fibo`. Vous pouvez donc appeler les fonctions *via* le nom du module :

```
>>> fibo.fib(1000)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377 610 987
>>> fibo.fib2(100)
[0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89]
>>> fibo.__name__
'fibo'
```

Si vous avez l'intention d'utiliser souvent une fonction, il est possible de lui assigner un nom local :

```
>>> fib = fibo.fib
>>> fib(500)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377
```

## 6.1 Les modules en détail

Un module peut contenir aussi bien des instructions que des déclarations de fonctions. Ces instructions permettent d'initialiser le module. Elles ne sont exécutées que la *première* fois que le nom d'un module est trouvé dans un `import`<sup>1</sup> (elles sont aussi exécutées lorsque le fichier est exécuté en tant que script).

Chaque module possède sa propre table de symboles, utilisée comme table de symboles globaux par toutes les fonctions définies par le module. Ainsi l'auteur d'un module peut utiliser des variables globales dans un module sans se soucier de collisions de noms avec des variables globales définies par l'utilisateur du module. Cependant, si vous savez ce que vous faites, vous pouvez modifier une variable globale d'un module avec la même notation que pour accéder aux fonctions : `nommodule.nomelement`.

Des modules peuvent importer d'autres modules. Il est courant, mais pas obligatoire, de ranger tous les `import` au début du module (ou du script). Les noms des modules importés sont insérés dans la table des symboles globaux du module qui importe.

Il existe une variante de l'instruction `import` qui importe les noms d'un module directement dans la table de symboles du module qui l'importe, par exemple :

```
>>> from fibo import fib, fib2
>>> fib(500)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377
```

Cela n'insère pas le nom du module depuis lequel les définitions sont récupérées dans la table des symboles locaux (dans cet exemple, `fibo` n'est pas défini).

Il existe même une variante permettant d'importer tous les noms qu'un module définit :

```
>>> from fibo import *
>>> fib(500)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377
```

Tous les noms ne commençant pas par un tiret bas (`_`) sont importés. Dans la grande majorité des cas, les développeurs n'utilisent pas cette syntaxe puisqu'en important un ensemble indéfini de noms, des noms déjà définis peuvent se retrouver masqués.

---

1. En réalité, la déclaration d'une fonction est elle-même une instruction ; son exécution enregistre le nom de la fonction dans la table des symboles globaux du module.

Notez qu'en général, importer `*` d'un module ou d'un paquet est déconseillé. Souvent, le code devient difficilement lisible. Son utilisation en mode interactif est acceptée pour gagner quelques secondes.

Si le nom du module est suivi par `as`, alors le nom suivant `as` est directement lié au module importé.

```
>>> import fibo as fib
>>> fib.fib(500)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377
```

Dans les faits, le module est importé de la même manière qu'avec `import fibo`, la seule différence est qu'il sera disponible sous le nom de `fib`.

C'est aussi valide en utilisant `from`, et a le même effet :

```
>>> from fibo import fib as fibonacci
>>> fibonacci(500)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377
```

**Note :** pour des raisons de performance, chaque module n'est importé qu'une fois par session. Si vous changez le code d'un module vous devez donc redémarrer l'interpréteur afin d'en voir l'impact ; ou, s'il s'agit simplement d'un seul module que vous voulez tester en mode interactif, vous pouvez le ré-importer explicitement en utilisant `importlib.reload()`, par exemple : `import importlib; importlib.reload(nommodule)`.

## 6.1.1 Exécuter des modules comme des scripts

Lorsque vous exécutez un module Python avec

```
python fibo.py <arguments>
```

le code du module est exécuté comme si vous l'aviez importé mais son `__name__` vaut `"__main__"`. Donc, en ajoutant ces lignes à la fin du module :

```
if __name__ == "__main__":
    import sys
    fib(int(sys.argv[1]))
```

vous pouvez rendre le fichier utilisable comme script aussi bien que comme module importable, car le code qui analyse la ligne de commande n'est lancé que si le module est exécuté comme fichier « main » :

```
$ python fibo.py 50
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34
```

Si le fichier est importé, le code n'est pas exécuté :

```
>>> import fibo
>>>
```

C'est typiquement utilisé soit pour proposer une interface utilisateur pour un module, soit pour lancer les tests sur le module (exécuter le module en tant que script lance les tests).

## 6.1.2 Les dossiers de recherche de modules

Lorsqu'un module nommé par exemple `spam` est importé, il est d'abord recherché parmi les modules natifs. Les noms de ces modules sont listés dans `sys.builtin_module_names`. S'il n'est pas trouvé, l'interpréteur cherche un fichier nommé `spam.py` dans une liste de dossiers donnée par la variable `sys.path`. Par défaut, `sys.path` est initialisée à :

- le dossier contenant le script courant (ou le dossier courant si aucun script n'est donné) ;
- `PYTHONPATH` (une liste de dossiers, utilisant la même syntaxe que la variable shell `PATH`) ;
- La valeur par défaut, qui dépend de l'installation (incluant par convention un dossier `site-packages`, géré par le module `site`).

---

**Note :** sur les systèmes qui gèrent les liens symboliques, le dossier contenant le script courant est résolu après avoir suivi le lien symbolique du script. Autrement dit, le dossier contenant le lien symbolique n'est **pas** ajouté aux dossiers de recherche de modules.

---

Après leur initialisation, les programmes Python peuvent modifier leur `sys.path`. Le dossier contenant le script courant est placé au début de la liste des dossiers à rechercher, avant les dossiers de bibliothèques. Cela signifie qu'un module dans ce dossier, ayant le même nom qu'un module, sera chargé à sa place. C'est une erreur typique, à moins que ce ne soit voulu. Voir [Modules standards](#) pour plus d'informations.

## 6.1.3 Fichiers Python « compilés »

Pour accélérer le chargement des modules, Python cache une version compilée de chaque module dans un fichier nommé `module(version).pyc` (ou `version` représente le format du fichier compilé, typiquement une version de Python) dans le dossier `__pycache__`. Par exemple, avec CPython 3.3, la version compilée de `spam.py` serait `__pycache__/spam.cpython-33.pyc`. Cette règle de nommage permet à des versions compilées par des versions différentes de Python de coexister.

Python compare les dates de modification du fichier source et de sa version compilée pour voir si le module doit être recompilé. Ce processus est entièrement automatique. Par ailleurs, les versions compilées sont indépendantes de la plateforme et peuvent donc être partagées entre des systèmes d'architectures différentes.

Il existe deux situations où Python ne vérifie pas le cache : le premier cas est lorsque le module est donné par la ligne de commande (cas où le module est toujours recompilé, sans même cacher sa version compilée) ; le second cas est lorsque le module n'a pas de source. Pour gérer un module sans source (où seule la version compilée est fournie), le module compilé doit se trouver dans le dossier source et sa source ne doit pas être présente.

Astuces pour les experts :

- vous pouvez utiliser les options `-O` ou `-OO` lors de l'appel à Python pour réduire la taille des modules compilés. L'option `-O` supprime les instructions `assert` et l'option `-OO` supprime aussi les documentations `__doc__`. Cependant, puisque certains programmes ont besoin de ces `__doc__`, vous ne devriez utiliser `-OO` que si vous savez ce que vous faites. Les modules « optimisés » sont marqués d'un `opt-` et sont généralement plus petits. Les versions futures de Python pourraient changer les effets de l'optimisation ;
- un programme ne s'exécute pas plus vite lorsqu'il est lu depuis un `.pyc`, il est juste chargé plus vite ;
- le module `compileall` peut créer des fichiers `.pyc` pour tous les modules d'un dossier ;
- vous trouvez plus de détails sur ce processus, ainsi qu'un organigramme des décisions, dans la [PEP 3147](#).



## 6.2 Modules standards

Python est accompagné d'une bibliothèque de modules standards, décrits dans la documentation de la Bibliothèque Python, plus loin. Certains modules sont intégrés dans l'interpréteur, ils proposent des outils qui ne font pas partie du langage mais qui font tout de même partie de l'interpréteur, soit pour le côté pratique, soit pour mettre à disposition des outils essentiels tels que l'accès aux appels système. La composition de ces modules est configurable à la compilation et dépend aussi de la plateforme cible. Par exemple, le module `winreg` n'est proposé que sur les systèmes Windows. Un module mérite une attention particulière, le module `sys`, qui est présent dans tous les interpréteurs Python. Les variables `sys.ps1` et `sys.ps2` définissent les chaînes d'invites principales et secondaires :

```
>>> import sys
>>> sys.ps1
'>>> '
>>> sys.ps2
'... '
>>> sys.ps1 = 'C> '
C> print('Yuck!')
Yuck!
C>
```

Ces deux variables ne sont définies que si l'interpréteur est en mode interactif.

La variable `sys.path` est une liste de chaînes qui détermine les chemins de recherche de modules pour l'interpréteur. Elle est initialisée à un chemin par défaut pris de la variable d'environnement `PYTHONPATH` ou d'une valeur par défaut interne si `PYTHONPATH` n'est pas définie. `sys.path` est modifiable en utilisant les opérations habituelles des listes :

```
>>> import sys
>>> sys.path.append('/ufs/guido/lib/python')
```

## 6.3 La fonction `dir()`

La fonction interne `dir()` est utilisée pour trouver quels noms sont définis par un module. Elle donne une liste de chaînes classées par ordre lexicographique :

```
>>> import fibo, sys
>>> dir(fibo)
['__name__', 'fib', 'fib2']
>>> dir(sys)
['__breakpointhook__', '__displayhook__', '__doc__', '__excepthook__',
 '__interactivehook__', '__loader__', '__name__', '__package__', '__spec__',
 '__stderr__', '__stdin__', '__stdout__', '__unraisablehook__',
 '_clear_type_cache', '_current_frames', '_debugmallocstats', '_framework',
 '_getframe', '_git', '_home', '_xoptions', 'abiflags', 'addaudithook',
 'api_version', 'argv', 'audit', 'base_exec_prefix', 'base_prefix',
 'breakpointhook', 'builtin_module_names', 'byteorder', 'call_tracing',
 'callstats', 'copyright', 'displayhook', 'dont_write_bytecode', 'exc_info',
 'excepthook', 'exec_prefix', 'executable', 'exit', 'flags', 'float_info',
 'float_repr_style', 'get_asyncgen_hooks', 'get_coroutine_origin_tracking_depth',
 'getallocatedblocks', 'getdefaultencoding', 'getdlopenflags',
 'getfilesystemcodeerrors', 'getfilesystemencoding', 'getprofile',
 'getrecursionlimit', 'getrefcount', 'getsizeof', 'getswitchinterval',
 'gettrace', 'hash_info', 'hexversion', 'implementation', 'int_info',
 'intern', 'is_finalizing', 'last_traceback', 'last_type', 'last_value',
 'maxsize', 'maxunicode', 'meta_path', 'modules', 'path', 'path_hooks',
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
'path_importer_cache', 'platform', 'prefix', 'ps1', 'ps2', 'pycache_prefix',
'set_asyncgen_hooks', 'set_coroutine_origin_tracking_depth', 'setdlopenflags',
'setprofile', 'setrecursionlimit', 'setswitchinterval', 'settrace', 'stderr',
'stdin', 'stdout', 'thread_info', 'unraisablehook', 'version', 'version_info',
'warnoptions']
```

Sans paramètre, `dir()` liste les noms actuellement définis :

```
>>> a = [1, 2, 3, 4, 5]
>>> import fibo
>>> fib = fibo.fib
>>> dir()
['__builtins__', '__name__', 'a', 'fib', 'fibo', 'sys']
```

Notez qu'elle liste tous les types de noms : les variables, fonctions, modules, etc.

`dir()` ne liste ni les fonctions primitives, ni les variables internes. Si vous voulez les lister, elles sont définies dans le module `builtins` :

```
>>> import builtins
>>> dir(builtins)
['ArithmeticError', 'AssertionError', 'AttributeError', 'BaseException',
'BlockingIOError', 'BrokenPipeError', 'BufferError', 'BytesWarning',
'ChildProcessError', 'ConnectionAbortedError', 'ConnectionError',
'ConnectionRefusedError', 'ConnectionResetError', 'DeprecationWarning',
'EOFError', 'Ellipsis', 'EnvironmentError', 'Exception', 'False',
'FileExistsError', 'FileNotFoundError', 'FloatingPointError',
'FutureWarning', 'GeneratorExit', 'IOError', 'ImportError',
'ImportWarning', 'IndentationError', 'IndexError', 'InterruptedError',
'IsADirectoryError', 'KeyError', 'KeyboardInterrupt', 'LookupError',
'MemoryError', 'NameError', 'None', 'NotADirectoryError', 'NotImplemented',
'NotImplementedError', 'OSError', 'OverflowError',
'PendingDeprecationWarning', 'PermissionError', 'ProcessLookupError',
'ReferenceError', 'ResourceWarning', 'RuntimeError', 'RuntimeWarning',
'StopIteration', 'SyntaxError', 'SyntaxWarning', 'SystemError',
'SystemExit', 'TabError', 'TimeoutError', 'True', 'TypeError',
'UnboundLocalError', 'UnicodeDecodeError', 'UnicodeEncodeError',
'UnicodeError', 'UnicodeTranslateError', 'UnicodeWarning', 'UserWarning',
'ValueError', 'Warning', 'ZeroDivisionError', '_', '__build_class__',
'__debug__', '__doc__', '__import__', '__name__', '__package__', 'abs',
'all', 'any', 'ascii', 'bin', 'bool', 'bytearray', 'bytes', 'callable',
'chr', 'classmethod', 'compile', 'complex', 'copyright', 'credits',
'delattr', 'dict', 'dir', 'divmod', 'enumerate', 'eval', 'exec', 'exit',
'filter', 'float', 'format', 'frozenset', 'getattr', 'globals', 'hasattr',
'hash', 'help', 'hex', 'id', 'input', 'int', 'isinstance', 'issubclass',
'iter', 'len', 'license', 'list', 'locals', 'map', 'max', 'memoryview',
'min', 'next', 'object', 'oct', 'open', 'ord', 'pow', 'print', 'property',
'quit', 'range', 'repr', 'reversed', 'round', 'set', 'setattr', 'slice',
'sorted', 'staticmethod', 'str', 'sum', 'super', 'tuple', 'type', 'vars',
'zip']
```

## 6.4 Les paquets

Les paquets sont un moyen de structurer les espaces de nommage des modules Python en utilisant une notation « pointée ». Par exemple, le nom de module `A.B` désigne le sous-module `B` du paquet `A`. De la même manière que l'utilisation des modules évite aux auteurs de différents modules d'avoir à se soucier des noms de variables globales des autres, l'utilisation des noms de modules avec des points évite aux auteurs de paquets contenant plusieurs modules tel que NumPy ou Pillow d'avoir à se soucier des noms des modules des autres.

Imaginez que vous voulez construire un ensemble de modules (un « paquet ») pour gérer uniformément les fichiers contenant du son et des données sonores. Il existe un grand nombre de formats de fichiers pour stocker du son (généralement identifiés par leur extension, par exemple `.wav`, `.aiff`, `.au`), vous avez donc besoin de créer et maintenir un nombre croissant de modules pour gérer la conversion entre tous ces formats. Vous voulez aussi pouvoir appliquer un certain nombre d'opérations sur ces sons : mixer, ajouter de l'écho, égaliser, ajouter un effet stéréo artificiel, etc. Donc, en plus des modules de conversion, vous allez écrire une myriade de modules permettant d'effectuer ces opérations. Voici une structure possible pour votre paquet (exprimée sous la forme d'une arborescence de fichiers) :

```

sound/                                Top-level package
  __init__.py                        Initialize the sound package
  formats/                          Subpackage for file format conversions
    __init__.py
    wavread.py
    wavwrite.py
    aiffread.py
    aiffwrite.py
    auread.py
    auwrite.py
    ...
  effects/                          Subpackage for sound effects
    __init__.py
    echo.py
    surround.py
    reverse.py
    ...
  filters/                          Subpackage for filters
    __init__.py
    equalizer.py
    vocoder.py
    karaoke.py
    ...

```

Lorsqu'il importe des paquets, Python cherche dans chaque dossier de `sys.path` un sous-dossier du nom du paquet.

Les fichiers `__init__.py` sont nécessaires pour que Python considère un dossier contenant ce fichier comme un paquet. Cela évite que des dossiers ayant des noms courants comme `string` ne masquent des modules qui auraient été trouvés plus tard dans la recherche des dossiers. Dans le plus simple des cas, `__init__.py` peut être vide, mais il peut aussi exécuter du code d'initialisation pour son paquet ou configurer la variable `__all__` (documentée plus loin).

Les utilisateurs d'un module peuvent importer ses modules individuellement, par exemple :

```
import sound.effects.echo
```

charge le sous-module `sound.effects.echo`. Il doit alors être référencé par son nom complet.

```
sound.effects.echo.echofilter(input, output, delay=0.7, atten=4)
```

Une autre manière d'importer des sous-modules est :

```
from sound.effects import echo
```

charge aussi le sous-module `echo` et le rend disponible sans avoir à indiquer le préfixe du paquet. Il peut donc être utilisé comme ceci :

```
echo.echofilter(input, output, delay=0.7, atten=4)
```

Une autre méthode consiste à importer la fonction ou la variable désirée directement :

```
from sound.effects.echo import echofilter
```

Le sous-module `echo` est toujours chargé mais ici la fonction `echofilter()` est disponible directement :

```
echofilter(input, output, delay=0.7, atten=4)
```

Notez que lorsque vous utilisez `from package import element`, `element` peut aussi bien être un sous-module, un sous-paquet ou simplement un nom déclaré dans le paquet (une variable, une fonction ou une classe). L'instruction `import` cherche en premier si `element` est défini dans le paquet ; s'il ne l'est pas, elle cherche à charger un module et, si elle n'en trouve pas, une exception `ImportError` est levée.

Au contraire, en utilisant la syntaxe `import element.souselement.soussouselement`, chaque `element` sauf le dernier doit être un paquet. Le dernier `element` peut être un module ou un paquet, mais ne peut être ni une fonction, ni une classe, ni une variable définie dans l'élément précédent.

### 6.4.1 Importer \* depuis un paquet

Qu'arrive-t-il lorsqu'un utilisateur écrit `from sound.effects import *` ? Idéalement, on pourrait espérer que Python aille chercher tous les sous-modules du paquet sur le système de fichiers et qu'ils seraient tous importés. Cela pourrait être long et importer certains sous-modules pourrait avoir des effets secondaires indésirables ou, du moins, désirés seulement lorsque le sous-module est importé explicitement.

La seule solution, pour l'auteur du paquet, est de fournir un index explicite du contenu du paquet. L'instruction `import` utilise la convention suivante : si le fichier `__init__.py` du paquet définit une liste nommée `__all__`, cette liste est utilisée comme liste des noms de modules devant être importés lorsque `from package import *` est utilisé. Il est de la responsabilité de l'auteur du paquet de maintenir cette liste à jour lorsque de nouvelles versions du paquet sont publiées. Un auteur de paquet peut aussi décider de ne pas autoriser d'importer `*` pour son paquet. Par exemple, le fichier `sound/effects/__init__.py` peut contenir le code suivant :

```
__all__ = ["echo", "surround", "reverse"]
```

Cela signifie que `from sound.effects import *` importe les trois sous-modules explicitement désignés du paquet `sound.effects`.

Si `__all__` n'est pas définie, l'instruction `from sound.effects import *` n'importe *pas* tous les sous-modules du paquet `sound.effects` dans l'espace de nommage courant mais s'assure seulement que le paquet `sound.effects` a été importé (c.-à-d. que tout le code du fichier `__init__.py` a été exécuté) et importe ensuite les noms définis dans le paquet. Cela inclut tous les noms définis (et sous-modules chargés explicitement) par `__init__.py`. Sont aussi inclus tous les sous-modules du paquet ayant été chargés explicitement par une instruction `import`. Typiquement :

```
import sound.effects.echo
import sound.effects.surround
from sound.effects import *
```

Dans cet exemple, les modules `echo` et `surround` sont importés dans l'espace de nommage courant lorsque `from... import` est exécuté parce qu'ils sont définis dans le paquet `sound.effects` (cela fonctionne aussi lorsque `__all__` est définie).

Bien que certains modules ont été pensés pour n'exporter que les noms respectant une certaine structure lorsque `import *` est utilisé, `import *` reste considéré comme une mauvaise pratique dans du code à destination d'un environnement de production.

Rappelez-vous que rien ne vous empêche d'utiliser `from paquet import sous_module_specifique`! C'est d'ailleurs la manière recommandée, à moins que le module qui fait les importations ait besoin de sous-modules ayant le même nom mais provenant de paquets différents.

## 6.4.2 Références internes dans un paquet

Lorsque les paquets sont organisés en sous-paquets (comme le paquet `sound` par exemple), vous pouvez utiliser des importations absolues pour cibler des paquets voisins. Par exemple, si le module `sound.filters.vocoder` a besoin du module `echo` du paquet `sound.effects`, il peut utiliser `from sound.effects import echo`.

Il est aussi possible d'écrire des importations relatives de la forme `from module import name`. Ces importations relatives sont préfixées par des points pour indiquer leur origine (paquet courant ou parent). Depuis le module `surround`, par exemple vous pouvez écrire :

```
from . import echo
from .. import formats
from ..filters import equalizer
```

Notez que les importations relatives se fient au nom du module actuel. Puisque le nom du module principal est toujours `"__main__"`, les modules utilisés par le module principal d'une application ne peuvent être importés que par des importations absolues.

## 6.4.3 Paquets dans plusieurs dossiers

Les paquets possèdent un attribut supplémentaire, `__path__`, qui est une liste initialisée avant l'exécution du fichier `__init__.py`, contenant le nom de son dossier dans le système de fichiers. Cette liste peut être modifiée, altérant ainsi les futures recherches de modules et sous-paquets contenus dans le paquet.

Bien que cette fonctionnalité ne soit que rarement utile, elle peut servir à élargir la liste des modules trouvés dans un paquet.

### Notes



Il existe bien des moyens de présenter les sorties d'un programme ; les données peuvent être affichées sous une forme lisible par un être humain ou sauvegardées dans un fichier pour une utilisation future. Ce chapitre présente quelques possibilités.

## 7.1 Formatage de données

Jusqu'ici, nous avons rencontré deux moyens d'écrire des données : les *déclarations d'expressions* et la fonction `print()`. Une troisième méthode consiste à utiliser la méthode `write()` des fichiers, avec le fichier de sortie standard référencé en tant que `sys.stdout`. Voyez le Guide de Référence de la Bibliothèque Standard pour en savoir plus.

Souvent vous voudrez plus de contrôle sur le formatage de vos sorties et aller au delà d'un affichage de valeurs séparées par des espaces. Il y a plusieurs moyens de les formater.

- Pour utiliser *les expressions formatées*, commencez une chaîne de caractère avec `f` ou `F` avant d'ouvrir vos guillemets doubles ou triples. Dans ces chaînes de caractère, vous pouvez entrer des expressions Python entre les caractères `{` et `}` qui peuvent contenir des variables ou des valeurs littérales.

```
>>> year = 2016
>>> event = 'Referendum'
>>> f'Results of the {year} {event}'
'Results of the 2016 Referendum'
```

- La méthode `str.format()` sur les chaînes de caractères exige un plus grand effort manuel. Vous utiliserez toujours les caractères `{` et `}` pour indiquer où une variable sera substituée et donner des détails sur son formatage, mais vous devrez également fournir les informations à formater.

```
>>> yes_votes = 42_572_654
>>> no_votes = 43_132_495
>>> percentage = yes_votes / (yes_votes + no_votes)
>>> '{:-9} YES votes {:.2%}'.format(yes_votes, percentage)
' 42572654 YES votes 49.67%'
```

- Enfin, vous pouvez construire des concaténations de tranches de chaînes vous-même, et ainsi créer n'importe quel agencement. Le type des chaînes a des méthodes utiles pour aligner des chaînes dans une largeur de taille fixe.

Lorsque qu'un affichage basique suffit, pour afficher simplement une variable pour en inspecter le contenu, vous pouvez convertir n'importe quelle valeur en chaîne de caractères en utilisant la fonction `repr()` ou la fonction `str()`.

La fonction `str()` est destinée à représenter les valeurs sous une forme lisible par un être humain, alors que la fonction `repr()` est destinée à générer des représentations qui puissent être lues par l'interpréteur (ou qui lèvera une `SyntaxError` s'il n'existe aucune syntaxe équivalente). Pour les objets qui n'ont pas de représentation humaine spécifique, `str()` renvoie la même valeur que `repr()`. Beaucoup de valeurs, comme les nombres ou les structures telles que les listes ou les dictionnaires, ont la même représentation en utilisant les deux fonctions. Les chaînes de caractères, en particulier, ont deux représentations distinctes.

Quelques exemples :

```
>>> s = 'Hello, world.'
>>> str(s)
'Hello, world.'
>>> repr(s)
"'Hello, world.'"
>>> str(1/7)
'0.14285714285714285'
>>> x = 10 * 3.25
>>> y = 200 * 200
>>> s = 'The value of x is ' + repr(x) + ', and y is ' + repr(y) + '...'
>>> print(s)
The value of x is 32.5, and y is 40000...
>>> # The repr() of a string adds string quotes and backslashes:
... hello = 'hello, world\n'
>>> hellos = repr(hello)
>>> print(hellos)
'hello, world\n'
>>> # The argument to repr() may be any Python object:
... repr((x, y, ('spam', 'eggs'))))
"(32.5, 40000, ('spam', 'eggs'))"
```

Le module `string` contient une classe `Template` qui permet aussi de remplacer des valeurs au sein de chaînes de caractères, en utilisant des marqueurs comme `$x`, et en les remplaçant par les valeurs d'un dictionnaire, mais sa capacité à formater les chaînes est plus limitée.

### 7.1.1 Les chaînes de caractères formatées (f-strings)

Les chaînes de caractères formatées (aussi appelées f-strings) vous permettent d'inclure la valeur d'expressions Python dans des chaînes de caractères en les préfixant avec `f` ou `F` et écrire des expressions comme `{expression}`.

L'expression peut être suivie d'un spécificateur de format. Cela permet un plus grand contrôle sur la façon dont la valeur est rendue. L'exemple suivant arrondit `pi` à trois décimales après la virgule :

```
>>> import math
>>> print(f'The value of pi is approximately {math.pi:.3f}.')
The value of pi is approximately 3.142.
```

Donner un entier après le `:` indique la largeur minimale de ce champ en nombre de caractères. C'est utile pour faire de jolis tableaux

```
>>> table = {'Sjoerd': 4127, 'Jack': 4098, 'Dcab': 7678}
>>> for name, phone in table.items():
...     print(f'{name:10} ==> {phone:10d}')
...
Sjoerd      ==>      4127
```

(suite sur la page suivante)



(suite de la page précédente)

```
Jack      ==>      4098
Dcab      ==>      7678
```

D'autres modificateurs peuvent être utilisés pour convertir la valeur avant son formatage. `'!a'` applique `ascii()`, `'!s'` applique `str()`, et `'!r'` applique `repr()` :

```
>>> animals = 'eels'
>>> print(f'My hovercraft is full of {animals}.')
My hovercraft is full of eels.
>>> print(f'My hovercraft is full of {animals!r}.')
My hovercraft is full of 'eels'.
```

Pour une référence sur ces spécifications de formats, voir le guide de référence pour les formatspec.

## 7.1.2 La méthode de chaîne de caractères `format()`

L'utilisation de base de la méthode `str.format()` ressemble à ceci :

```
>>> print('We are the {} who say "{}!".format('knights', 'Ni'))
We are the knights who say "Ni!"
```

Les accolades et les caractères à l'intérieur (appelés les champs de formatage) sont remplacés par les objets passés en paramètres à la méthode `str.format()`. Un nombre entre accolades se réfère à la position de l'objet passé à la méthode `str.format()`.

```
>>> print('{0} and {1}'.format('spam', 'eggs'))
spam and eggs
>>> print('{1} and {0}'.format('spam', 'eggs'))
eggs and spam
```

Si des arguments nommés sont utilisés dans la méthode `str.format()`, leurs valeurs sont utilisées en se basant sur le nom des arguments

```
>>> print('This {food} is {adjective}'.format(
...     food='spam', adjective='absolutely horrible'))
This spam is absolutely horrible.
```

Les arguments positionnés et nommés peuvent être combinés arbitrairement :

```
>>> print('The story of {0}, {1}, and {other}'.format('Bill', 'Manfred',
...                                                other='Georg'))
The story of Bill, Manfred, and Georg.
```

Si vous avez une chaîne de formatage vraiment longue que vous ne voulez pas découper, il est possible de référencer les variables à formater par leur nom plutôt que par leur position. Utilisez simplement un dictionnaire et la notation entre crochets `[]` pour accéder aux clés

```
>>> table = {'Sjoerd': 4127, 'Jack': 4098, 'Dcab': 8637678}
>>> print('Jack: {0[Jack]:d}; Sjoerd: {0[Sjoerd]:d}; '
...       'Dcab: {0[Dcab]:d}'.format(table))
Jack: 4098; Sjoerd: 4127; Dcab: 8637678
```

Vous pouvez obtenir le même résultat en passant le tableau comme des arguments nommés en utilisant la notation `**`

```
>>> table = {'Sjoerd': 4127, 'Jack': 4098, 'Dcab': 8637678}
>>> print('Jack: {Jack:d}; Sjoerd: {Sjoerd:d}; Dcab: {Dcab:d}'.format(**table))
Jack: 4098; Sjoerd: 4127; Dcab: 8637678
```

C'est particulièrement utile en combinaison avec la fonction native `vars()` qui renvoie un dictionnaire contenant toutes les variables locales.

À titre d'exemple, les lignes suivantes produisent un ensemble de colonnes alignées de façon ordonnée donnant les entiers, leurs carrés et leurs cubes :

```
>>> for x in range(1, 11):
...     print('{0:2d} {1:3d} {2:4d}'.format(x, x*x, x*x*x))
...
1    1    1
2    4    8
3    9   27
4   16   64
5   25  125
6   36  216
7   49  343
8   64  512
9   81  729
10 100 1000
```

Pour avoir une description complète du formatage des chaînes de caractères avec la méthode `str.format()`, lisez : [formatstrings](#).

### 7.1.3 Formatage de chaînes à la main

Voici le même tableau de carrés et de cubes, formaté à la main :

```
>>> for x in range(1, 11):
...     print(repr(x).rjust(2), repr(x*x).rjust(3), end=' ')
...     # Note use of 'end' on previous line
...     print(repr(x*x*x).rjust(4))
...
1    1    1
2    4    8
3    9   27
4   16   64
5   25  125
6   36  216
7   49  343
8   64  512
9   81  729
10 100 1000
```

(Remarquez que l'espace séparant les colonnes vient de la manière dont `print()` fonctionne : il ajoute toujours des espaces entre ses arguments.)

La méthode `str.rjust()` des chaînes de caractères justifie à droite une chaîne dans un champ d'une largeur donnée en ajoutant des espaces sur la gauche. Il existe des méthodes similaires `str.ljust()` et `str.center()`. Ces méthodes n'écrivent rien, elles renvoient simplement une nouvelle chaîne. Si la chaîne passée en paramètre est trop longue, elle n'est pas tronquée mais renvoyée sans modification ; cela peut chambouler votre mise en page mais c'est souvent préférable à l'alternative, qui pourrait mentir sur une valeur (et si vous voulez vraiment tronquer vos valeurs, vous pouvez toujours utiliser une tranche, comme dans `x.ljust(n)[:n]`).

Il existe une autre méthode, `str.zfill()`, qui comble une chaîne numérique à gauche avec des zéros. Elle comprend les signes plus et moins :

```
>>> '12'.zfill(5)
'00012'
>>> '-3.14'.zfill(7)
'-003.14'
>>> '3.14159265359'.zfill(5)
'3.14159265359'
```

### 7.1.4 Anciennes méthodes de formatage de chaînes

L'opérateur `%` (modulo) peut également être utilisé pour le formatage des chaînes de caractères. Pour `'string' % values`, les instances de `%` dans la chaîne de caractères `string` sont remplacées par zéro ou plusieurs d'éléments de `values`. Cette opération est communément appelée interpolation de chaîne de caractères. Par exemple :

```
>>> import math
>>> print('The value of pi is approximately %5.3f.' % math.pi)
The value of pi is approximately 3.142.
```

Vous trouvez plus d'informations dans la section `old-string-formatting`.

## 7.2 Lecture et écriture de fichiers

La fonction `open()` renvoie un *objet fichier* et est le plus souvent utilisée avec deux arguments positionnels et un argument nommé : `open(filename, mode, encoding=None)`

```
>>> f = open('workfile', 'w', encoding="utf-8")
```

Le premier argument est une chaîne contenant le nom du fichier. Le deuxième argument est une autre chaîne contenant quelques caractères décrivant la façon dont le fichier est utilisé. *mode* peut être `'r'` quand le fichier n'est accédé qu'en lecture, `'w'` en écriture seulement (un fichier existant portant le même nom sera alors écrasé) et `'a'` ouvre le fichier en mode ajout (toute donnée écrite dans le fichier est automatiquement ajoutée à la fin). `'r+'` ouvre le fichier en mode lecture/écriture. L'argument *mode* est optionnel, sa valeur par défaut est `'r'`.

Normalement, les fichiers sont ouverts en *mode texte*, c'est-à-dire que vous lisez et écrivez des chaînes de caractères depuis et dans ce fichier, suivant un encodage donné via *encoding*. Si *encoding* n'est pas spécifié, l'encodage par défaut dépend de la plateforme (voir `open()`). UTF-8 étant le standard moderne de facto, `encoding="utf-8"` est recommandé à moins que vous ne sachiez que vous devez utiliser un autre encodage. L'ajout d'un `'b'` au mode ouvre le fichier en *mode binaire*. Les données en mode binaire sont lues et écrites sous forme d'objets `bytes`. Vous ne pouvez pas spécifier *encoding* lorsque vous ouvrez un fichier en mode binaire.

En mode texte, le comportement par défaut, à la lecture, est de convertir les fin de lignes spécifiques à la plateforme (`\n` sur Unix, `\r\n` sur Windows, etc.) en simples `\n`. Lors de l'écriture, le comportement par défaut est d'appliquer l'opération inverse : les `\n` sont convertis dans leur équivalent sur la plateforme courante. Ces modifications effectuées automatiquement sont normales pour du texte mais détérioreraient des données binaires contenues dans un fichier de type JPEG ou EXE. Soyez particulièrement attentifs à ouvrir ces fichiers binaires en mode binaire.

C'est une bonne pratique d'utiliser le mot-clé `with` lorsque vous traitez des fichiers. Vous fermez ainsi toujours correctement le fichier, même si une exception est levée. Utiliser `with` est aussi beaucoup plus court que d'utiliser l'équivalent avec des blocs `try...finally` :

```
>>> with open('workfile', encoding="utf-8") as f:
...     read_data = f.read()

>>> # We can check that the file has been automatically closed.
>>> f.closed
True
```

Si vous n'utilisez pas le mot clé `with`, vous devez appeler `f.close()` pour fermer le fichier, et ainsi immédiatement libérer les ressources qu'il utilise.

**Avertissement :** Appeler `f.write()` sans utiliser le mot clé `with` ni appeler `f.close()` **pourrait** mener à une situation où les arguments de `f.write()` ne seraient pas complètement écrits sur le disque, même si le programme se termine avec succès.

Après la fermeture du fichier, que ce soit *via* une instruction `with` ou en appelant `f.close()`, toute tentative d'utilisation de l'objet fichier échoue systématiquement.

```
>>> f.close()
>>> f.read()
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
ValueError: I/O operation on closed file.
```

## 7.2.1 Méthodes des objets fichiers

Les derniers exemples de cette section supposent qu'un objet fichier appelé `f` a déjà été créé.

Pour lire le contenu d'un fichier, appelez `f.read(taille)`, cette dernière lit une certaine quantité de données et la renvoie sous forme de chaîne (en mode texte) ou d'objet *bytes* (en mode binaire). *taille* est un argument numérique facultatif. Lorsque *taille* est omis ou négatif, la totalité du contenu du fichier sera lue et renvoyée ; c'est votre problème si le fichier est deux fois plus grand que la mémoire de votre machine. Sinon, au maximum *taille* caractères (en mode texte) ou *taille* octets (en mode binaire) sont lus et renvoyés. Si la fin du fichier est atteinte, `f.read()` renvoie une chaîne vide (`''`).

```
>>> f.read()
'This is the entire file.\n'
>>> f.read()
''
```

`f.readline()` lit une seule ligne du fichier ; un caractère de fin de ligne (`\n`) est laissé à la fin de la chaîne. Il n'est omis que sur la dernière ligne du fichier si celui-ci ne se termine pas un caractère de fin de ligne. Ceci permet de rendre la valeur de retour non ambiguë : si `f.readline()` renvoie une chaîne vide, c'est que la fin du fichier a été atteinte, alors qu'une ligne vide est représentée par `'\n'` (une chaîne de caractères ne contenant qu'une fin de ligne).

```
>>> f.readline()
'This is the first line of the file.\n'
>>> f.readline()
'Second line of the file\n'
>>> f.readline()
''
```

Pour lire ligne à ligne, vous pouvez aussi boucler sur l'objet fichier. C'est plus efficace en termes de gestion mémoire, plus rapide et donne un code plus simple :

```
>>> for line in f:
...     print(line, end='')
...
This is the first line of the file.
Second line of the file
```

Pour construire une liste avec toutes les lignes d'un fichier, il est aussi possible d'utiliser `list(f)` ou `f.readlines()`. `f.write(chaine)` écrit le contenu de *chaine* dans le fichier et renvoie le nombre de caractères écrits.

```
>>> f.write('This is a test\n')
15
```

Les autres types doivent être convertis, soit en une chaîne (en mode texte), soit en objet *bytes* (en mode binaire) avant de les écrire :

```
>>> value = ('the answer', 42)
>>> s = str(value) # convert the tuple to string
>>> f.write(s)
18
```

`f.tell()` renvoie un entier indiquant la position actuelle dans le fichier, mesurée en octets à partir du début du fichier lorsque le fichier est ouvert en mode binaire, ou un nombre obscur en mode texte.

Pour modifier la position dans le fichier, utilisez `f.seek(décalage, origine)`. La position est calculée en ajoutant *décalage* à un point de référence ; ce point de référence est déterminé par l'argument *origine* : la valeur 0 pour le début du fichier, 1 pour la position actuelle et 2 pour la fin du fichier. *origine* peut être omis et sa valeur par défaut est 0 (Python utilise le début du fichier comme point de référence). :

```
>>> f = open('workfile', 'rb+')
>>> f.write(b'0123456789abcdef')
16
>>> f.seek(5) # Go to the 6th byte in the file
5
>>> f.read(1)
b'5'
>>> f.seek(-3, 2) # Go to the 3rd byte before the end
13
>>> f.read(1)
b'd'
```

Sur un fichier en mode texte (ceux ouverts sans `b` dans le mode), seuls les changements de position relatifs au début du fichier sont autorisés (sauf une exception : se rendre à la fin du fichier avec `seek(0, 2)`) et les seules valeurs possibles pour le paramètre *décalage* sont les valeurs renvoyées par `f.tell()`, ou zéro. Toute autre valeur pour le paramètre *décalage* produit un comportement indéfini.

Les fichiers disposent de méthodes supplémentaires, telles que `isatty()` et `truncate()` qui sont moins souvent utilisées ; consultez la Référence de la Bibliothèque Standard pour avoir un guide complet des objets fichiers.

## 7.2.2 Sauvegarde de données structurées avec le module `json`

Les chaînes de caractères peuvent facilement être écrites dans un fichier et relues. Les nombres nécessitent un peu plus d'effort, car la méthode `read()` ne renvoie que des chaînes. Elles doivent donc être passées à une fonction comme `int()`, qui prend une chaîne comme `'123'` en entrée et renvoie sa valeur numérique 123. Mais dès que vous voulez enregistrer des types de données plus complexes comme des listes, des dictionnaires ou des instances de classes, le traitement lecture/écriture à la main devient vite compliqué.

Plutôt que de passer son temps à écrire et déboguer du code permettant de sauvegarder des types de données compliqués, Python permet d'utiliser **JSON** (*\*JavaScript Object Notation\**), un format répandu de représentation et d'échange de données. Le module standard appelé `json` peut transformer des données hiérarchisées Python en une représentation sous forme de chaîne de caractères. Ce processus est nommé *sérialiser*. Reconstruire les données à partir de leur représentation sous forme de chaîne est appelé *désérialiser*. Entre sa sérialisation et sa dé-sérialisation, la chaîne représentant les données peut avoir été stockée ou transmise à une autre machine.

---

**Note :** Le format JSON est couramment utilisé dans les applications modernes pour échanger des données. Beaucoup de développeurs le maîtrisent, ce qui en fait un format de prédilection pour l'interopérabilité.

---

Si vous avez un objet `x`, vous pouvez voir sa représentation JSON en tapant simplement :

```
>>> import json
>>> x = [1, 'simple', 'list']
>>> json.dumps(x)
'[1, "simple", "list"]'
```

Une variante de la fonction `dumps()`, nommée `dump()`, sérialise simplement l'objet donné vers un *fichier texte*. Donc si `f` est un *fichier texte* ouvert en écriture, il est possible de faire :

```
json.dump(x, f)
```

Pour reconstruire l'objet, si `f` est cette fois un *binary file* ou un *text file* ouvert en lecture :

```
x = json.load(f)
```

---

**Note :** Les fichiers JSON doivent être encodés en UTF-8. Utilisez `encoding="utf-8"` lorsque vous ouvrez un fichier JSON en tant que *fichier texte*, que ce soit en lecture ou en écriture.

---

Cette méthode de sérialisation peut sérialiser des listes et des dictionnaires. Mais sérialiser d'autres types de données requiert un peu plus de travail. La documentation du module `json` explique comment faire.

### Voir aussi :

Le module `pickle`

Au contraire de *JSON*, *pickle* est un protocole permettant la sérialisation d'objets Python arbitrairement complexes. Il est donc spécifique à Python et ne peut pas être utilisé pour communiquer avec d'autres langages. Il est aussi, par défaut, une source de vulnérabilité : dé-sérialiser des données au format *pickle* provenant d'une source malveillante et particulièrement habile peut mener à exécuter du code arbitraire.

---

Erreurs et exceptions

---

Jusqu'ici, les messages d'erreurs ont seulement été mentionnés. Mais si vous avez essayé les exemples vous avez certainement vu plus que cela. En fait, il y a au moins deux types d'erreurs à distinguer : les *erreurs de syntaxe* et les *exceptions*.

## 8.1 Les erreurs de syntaxe

Les erreurs de syntaxe, qui sont des erreurs d'analyse du code, sont peut-être celles que vous rencontrez le plus souvent lorsque vous êtes encore en phase d'apprentissage de Python :

```
>>> while True print('Hello world')
File "<stdin>", line 1
    while True print('Hello world')
                ^
SyntaxError: invalid syntax
```

L'analyseur indique la ligne incriminée et affiche une petite « flèche » pointant vers le premier endroit de la ligne où l'erreur a été détectée. L'erreur est causée (ou, au moins, a été détectée comme telle) par le symbole placé *avant* la flèche. Dans cet exemple la flèche est sur la fonction `print()` car il manque deux points (`' : '`) juste avant. Le nom du fichier et le numéro de ligne sont affichés pour vous permettre de localiser facilement l'erreur lorsque le code provient d'un script.

## 8.2 Exceptions

Même si une instruction ou une expression est syntaxiquement correcte, elle peut générer une erreur lors de son exécution. Les erreurs détectées durant l'exécution sont appelées des *exceptions* et ne sont pas toujours fatales : nous apprendrons bientôt comment les traiter dans vos programmes. La plupart des exceptions toutefois ne sont pas prises en charge par les programmes, ce qui génère des messages d'erreurs comme celui-ci :

```
>>> 10 * (1/0)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

(suite sur la page suivante)

```

ZeroDivisionError: division by zero
>>> 4 + spam*3
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: name 'spam' is not defined
>>> '2' + 2
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: can only concatenate str (not "int") to str

```

La dernière ligne du message d'erreur indique ce qui s'est passé. Les exceptions peuvent être de différents types et ce type est indiqué dans le message : les types indiqués dans l'exemple sont `ZeroDivisionError`, `NameError` et `TypeError`. Le texte affiché comme type de l'exception est le nom de l'exception native qui a été déclenchée. Ceci est vrai pour toutes les exceptions natives mais n'est pas une obligation pour les exceptions définies par l'utilisateur (même si c'est une convention bien pratique). Les noms des exceptions standards sont des identifiants natifs (pas des mots-clé réservés).

Le reste de la ligne fournit plus de détails en fonction du type de l'exception et de ce qui l'a causée.

La partie précédente du message d'erreur indique le contexte dans lequel s'est produite l'exception, sous la forme d'une trace de pile d'exécution. En général, celle-ci contient les lignes du code source ; toutefois, les lignes lues à partir de l'entrée standard ne sont pas affichées.

Vous trouvez la liste des exceptions natives et leur signification dans `bltin-exceptions`.

## 8.3 Gestion des exceptions

Il est possible d'écrire des programmes qui prennent en charge certaines exceptions. Regardez l'exemple suivant, qui demande une saisie à l'utilisateur jusqu'à ce qu'un entier valide ait été entré, mais permet à l'utilisateur d'interrompre le programme (en utilisant `Control-C` ou un autre raccourci que le système accepte) ; notez qu'une interruption générée par l'utilisateur est signalée en levant l'exception `KeyboardInterrupt`.

```

>>> while True:
...     try:
...         x = int(input("Please enter a number: "))
...         break
...     except ValueError:
...         print("Oops! That was no valid number. Try again...")
...

```

L'instruction `try` fonctionne comme ceci :

- premièrement, la *clause try* (instruction(s) placée(s) entre les mots-clés `try` et `except`) est exécutée.
- si aucune exception n'intervient, la clause `except` est sautée et l'exécution de l'instruction `try` est terminée.
- si une exception intervient pendant l'exécution de la clause `try`, le reste de cette clause est sauté. Si le type d'exception levée correspond à un nom indiqué après le mot-clé `except`, la clause `except` correspondante est exécutée, puis l'exécution continue après l'instruction `try`.
- si une exception intervient et ne correspond à aucune exception mentionnée dans la clause `except`, elle est transmise à l'instruction `try` de niveau supérieur ; si aucun gestionnaire d'exception n'est trouvé, il s'agit d'une *exception non gérée* et l'exécution s'arrête avec un message comme indiqué ci-dessus.

Une instruction `try` peut comporter plusieurs clauses `except` pour permettre la prise en charge de différentes exceptions. Mais un seul gestionnaire, au plus, sera exécuté. Les gestionnaires ne prennent en charge que les exceptions qui interviennent dans la clause `!try` correspondante, pas dans d'autres gestionnaires de la même instruction `try`. Mais une même clause `except` peut citer plusieurs exceptions sous la forme d'un *n-uplet* entre parenthèses, comme dans cet exemple :



```
... except (RuntimeError, TypeError, NameError):
...     pass
```

Une classe dans une clause `except` est compatible avec une exception si elle est de la même classe ou d'une de ses classes dérivées. Mais l'inverse n'est pas vrai, une clause `except` spécifiant une classe dérivée n'est pas compatible avec une classe de base. Par exemple, le code suivant affiche B, C et D dans cet ordre :

```
class B(Exception):
    pass

class C(B):
    pass

class D(C):
    pass

for cls in [B, C, D]:
    try:
        raise cls()
    except D:
        print("D")
    except C:
        print("C")
    except B:
        print("B")
```

Notez que si les clauses `except` avaient été inversées (avec `except B` en premier), il aurait affiché B, B, B — la première clause `except` qui correspond est déclenchée.

La dernière clause `except` peut omettre le(s) nom(s) d'exception(s) et joue alors le rôle de joker. C'est toutefois à utiliser avec beaucoup de précautions car il est facile de masquer une vraie erreur de programmation par ce biais. Elle peut aussi être utilisée pour afficher un message d'erreur avant de propager l'exception (en permettant à un appelant de gérer également l'exception) :

```
import sys

try:
    f = open('myfile.txt')
    s = f.readline()
    i = int(s.strip())
except OSError as err:
    print("OS error: {0}".format(err))
except ValueError:
    print("Could not convert data to an integer.")
except:
    print("Unexpected error:", sys.exc_info()[0])
    raise
```

L'instruction `try ... except` accepte également une *clause else* optionnelle qui, lorsqu'elle est présente, doit se placer après toutes les clauses `except`. Elle est utile pour du code qui doit être exécuté lorsqu'aucune exception n'a été levée par la clause `try`. Par exemple :

```
for arg in sys.argv[1:]:
    try:
        f = open(arg, 'r')
    except OSError:
        print('cannot open', arg)
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

else:
    print(arg, 'has', len(f.readlines()), 'lines')
    f.close()

```

Il vaut mieux utiliser la clause `else` plutôt que d'ajouter du code à la clause `try` car cela évite de capturer accidentellement une exception qui n'a pas été levée par le code initialement protégé par l'instruction `try ... except`.

Quand une exception intervient, une valeur peut lui être associée, que l'on appelle *l'argument* de l'exception. La présence de cet argument et son type dépendent du type de l'exception.

La clause `except` peut spécifier un nom de variable après le nom de l'exception. Cette variable est liée à une instance d'exception avec les arguments stockés dans `instance.args`. Pour plus de commodité, l'instance de l'exception définit la méthode `__str__()` afin que les arguments puissent être affichés directement sans avoir à référencer `.args`. Il est possible de construire une exception, y ajouter ses attributs, puis la lever plus tard.

```

>>> try:
...     raise Exception('spam', 'eggs')
... except Exception as inst:
...     print(type(inst))      # the exception instance
...     print(inst.args)      # arguments stored in .args
...     print(inst)           # __str__ allows args to be printed directly,
...                             # but may be overridden in exception subclasses
...     x, y = inst.args      # unpack args
...     print('x =', x)
...     print('y =', y)
...
<class 'Exception'>
('spam', 'eggs')
('spam', 'eggs')
x = spam
y = eggs

```

Si une exception a un argument, il est affiché dans la dernière partie du message des exceptions non gérées.

Les gestionnaires d'exceptions n'interceptent pas que les exceptions qui sont levées immédiatement dans leur clause `try`, mais aussi celles qui sont levées au sein de fonctions appelées (parfois indirectement) dans la clause `try`. Par exemple :

```

>>> def this_fails():
...     x = 1/0
...
>>> try:
...     this_fails()
... except ZeroDivisionError as err:
...     print('Handling run-time error:', err)
...
Handling run-time error: division by zero

```

## 8.4 Déclencher des exceptions

L'instruction `raise` permet au programmeur de déclencher une exception spécifique. Par exemple :

```
>>> raise NameError('HiThere')
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: HiThere
```

Le seul argument à `raise` indique l'exception à déclencher. Cela peut être soit une instance d'exception, soit une classe d'exception (une classe dérivée de `Exception`). Si une classe est donnée, elle est implicitement instanciée *via* l'appel de son constructeur, sans argument :

```
raise ValueError # shorthand for 'raise ValueError()'
```

Si vous avez besoin de savoir si une exception a été levée mais que vous n'avez pas intention de la gérer, une forme plus simple de l'instruction `raise` permet de propager l'exception :

```
>>> try:
...     raise NameError('HiThere')
... except NameError:
...     print('An exception flew by!')
...     raise
...
An exception flew by!
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 2, in <module>
NameError: HiThere
```

## 8.5 Chaînage d'exceptions

L'instruction `raise` autorise un `from` optionnel qui permet de chaîner les exceptions. Par exemple :

```
# exc must be exception instance or None.
raise RuntimeError from exc
```

Cela peut être utile lorsque vous transformez des exceptions. Par exemple :

```
>>> def func():
...     raise IOError
...
>>> try:
...     func()
... except IOError as exc:
...     raise RuntimeError('Failed to open database') from exc
...
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 2, in <module>
  File "<stdin>", line 2, in func
OSError

The above exception was the direct cause of the following exception:

Traceback (most recent call last):
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
File "<stdin>", line 4, in <module>
RuntimeError: Failed to open database
```

Le chaînage d'exceptions se produit automatiquement lorsqu'une exception est levée dans une section `except` ou `finally`. Le chaînage d'exceptions peut être désactivé en utilisant l'idiome `from None` :

```
>>> try:
...     open('database.sqlite')
... except OSError:
...     raise RuntimeError from None
...
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 4, in <module>
RuntimeError
```

Pour plus d'informations sur les mécanismes de chaînage, voir [builtin-exceptions](#).

## 8.6 Exceptions définies par l'utilisateur

Les programmes peuvent nommer leurs propres exceptions en créant une nouvelle classe d'exception (voir [Classes](#) pour en savoir plus sur les classes de Python). Les exceptions sont typiquement dérivées de la classe `Exception`, directement ou non.

Les classes d'exceptions sont des classes comme les autres, et peuvent donc utiliser toutes les fonctionnalités des classes. Néanmoins, en général, elles demeurent assez simples, et se contentent d'offrir des attributs qui permettent aux gestionnaires de ces exceptions d'extraire les informations relatives à l'erreur qui s'est produite.

La plupart des exceptions sont définies avec des noms qui se terminent par "Error", comme les exceptions standards.

Beaucoup de modules standards définissent leurs propres exceptions pour signaler les erreurs possibles dans les fonctions qu'ils définissent. Plus d'informations sur les classes sont présentées dans le chapitre [Classes](#).

## 8.7 Définition d'actions de nettoyage

L'instruction `try` a une autre clause optionnelle qui est destinée à définir des actions de nettoyage devant être exécutées dans certaines circonstances. Par exemple :

```
>>> try:
...     raise KeyboardInterrupt
... finally:
...     print('Goodbye, world!')
...
Goodbye, world!
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 2, in <module>
KeyboardInterrupt
```

Si la clause `finally` est présente, la clause `finally` est la dernière tâche exécutée avant la fin du bloc `try`. La clause `finally` se lance que le bloc `try` produise une exception ou non. Les prochains points parlent de cas plus complexes lorsqu'une exception apparaît :

- Si une exception se produit durant l'exécution de la clause `try`, elle peut être récupérée par une clause `except`. Si l'exception n'est pas récupérée par une clause `except`, l'exception est levée à nouveau après que la clause `finally` a été exécutée.

- Une exception peut se produire durant l'exécution d'une clause `except` ou `else`. Encore une fois, l'exception est reprise après que la clause `finally` a été exécutée.
- Si dans l'exécution d'un bloc `finally`, on atteint une instruction `break`, `continue` ou `return`, alors les exceptions ne sont pas reprises.
- Si dans l'exécution d'un bloc `try`, on atteint une instruction `break`, `continue` ou `return`, alors la clause `finally` s'exécute juste avant l'exécution de `break`, `continue` ou `return`.
- Si la clause `finally` contient une instruction `return`, la valeur retournée sera celle du `return` de la clause `finally`, et non la valeur du `return` de la clause `try`.

Par exemple :

```
>>> def bool_return():
...     try:
...         return True
...     finally:
...         return False
...
>>> bool_return()
False
```

Un exemple plus compliqué :

```
>>> def divide(x, y):
...     try:
...         result = x / y
...     except ZeroDivisionError:
...         print("division by zero!")
...     else:
...         print("result is", result)
...     finally:
...         print("executing finally clause")
...
>>> divide(2, 1)
result is 2.0
executing finally clause
>>> divide(2, 0)
division by zero!
executing finally clause
>>> divide("2", "1")
executing finally clause
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File "<stdin>", line 3, in divide
TypeError: unsupported operand type(s) for /: 'str' and 'str'
```

Comme vous pouvez le voir, la clause `finally` est exécutée dans tous les cas. L'exception de type `TypeError`, déclenchée en divisant deux chaînes de caractères, n'est pas prise en charge par la clause `except` et est donc propagée après que la clause `finally` a été exécutée.

Dans les vraies applications, la clause `finally` est notamment utile pour libérer des ressources externes (telles que des fichiers ou des connexions réseau), quelle qu'ait été l'utilisation de ces ressources.

## 8.8 Actions de nettoyage prédéfinies

Certains objets définissent des actions de nettoyage standards qui doivent être exécutées lorsque l'objet n'est plus nécessaire, indépendamment du fait que l'opération ayant utilisé l'objet ait réussi ou non. Regardez l'exemple suivant, qui tente d'ouvrir un fichier et d'afficher son contenu à l'écran :

```
for line in open("myfile.txt"):
    print(line, end="")
```

Le problème avec ce code est qu'il laisse le fichier ouvert pendant une durée indéterminée après que le code a fini de s'exécuter. Ce n'est pas un problème avec des scripts simples, mais peut l'être au sein d'applications plus conséquentes. L'instruction `with` permet d'utiliser certains objets comme des fichiers d'une façon qui assure qu'ils seront toujours nettoyés rapidement et correctement.

```
with open("myfile.txt") as f:
    for line in f:
        print(line, end="")
```

Après l'exécution du bloc, le fichier *f* est toujours fermé, même si un problème est survenu pendant l'exécution de ces lignes. D'autres objets qui, comme pour les fichiers, fournissent des actions de nettoyage prédéfinies l'indiquent dans leur documentation.

---

### Classes

---

Les classes sont un moyen de réunir des données et des fonctionnalités. Créer une nouvelle classe crée un nouveau *type* d'objet et ainsi de nouvelles *instances* de ce type peuvent être construites. Chaque instance peut avoir ses propres attributs, ce qui définit son état. Une instance peut aussi avoir des méthodes (définies par la classe de l'instance) pour modifier son état.

La notion de classes en Python s'inscrit dans le langage avec un minimum de syntaxe et de sémantique nouvelles. C'est un mélange des mécanismes rencontrés dans C++ et Modula-3. Les classes fournissent toutes les fonctionnalités standards de la programmation orientée objet : l'héritage de classes autorise les héritages multiples, une classe dérivée peut surcharger les méthodes de sa ou ses classes de base et une méthode peut appeler la méthode d'une classe de base qui possède le même nom. Les objets peuvent contenir n'importe quel nombre ou type de données. De la même manière que les modules, les classes participent à la nature dynamique de Python : elles sont créées pendant l'exécution et peuvent être modifiées après leur création.

Dans la terminologie C++, les membres des classes (y compris les données) sont *publics* (sauf exception, voir [Variables privées](#)) et toutes les fonctions membres sont *virtuelles*. Comme avec Modula-3, il n'y a aucune façon d'accéder aux membres d'un objet à partir de ses méthodes : une méthode est déclarée avec un premier argument explicite représentant l'objet et cet argument est transmis de manière implicite lors de l'appel. Comme avec Smalltalk, les classes elles-mêmes sont des objets. Il existe ainsi une sémantique pour les importer et les renommer. Au contraire de C++ et Modula-3, les types natifs peuvent être utilisés comme classes de base pour être étendus par l'utilisateur. Enfin, comme en C++, la plupart des opérateurs natifs avec une syntaxe spéciale (opérateurs arithmétiques, indiciage, etc.) peuvent être redéfinis pour les instances de classes.

En l'absence d'une terminologie communément admise pour parler des classes, nous utilisons parfois des termes de Smalltalk et C++. Nous voulions utiliser les termes de Modula-3 puisque sa sémantique orientée objet est plus proche de celle de Python que C++, mais il est probable que seul un petit nombre de lecteurs les connaissent.

## 9.1 Objets et noms : préambule

Les objets possèdent une existence propre et plusieurs noms peuvent être utilisés (dans divers contextes) pour faire référence à un même objet. Ce concept est connu sous le nom d'alias dans d'autres langages. Il n'apparaît pas au premier coup d'œil en Python et il peut être ignoré tant qu'on travaille avec des types de base immuables (nombres, chaînes,  $n$ -uplets). Cependant, les alias peuvent produire des effets surprenants sur la sémantique d'un code Python mettant en jeu des objets muables comme les listes, les dictionnaires et la plupart des autres types. En général, leur utilisation est bénéfique au programme car les alias se comportent, d'un certain point de vue, comme des pointeurs. Par exemple, transmettre un objet n'a aucun coût car c'est simplement un pointeur qui est transmis par l'implémentation ; et si une fonction modifie un objet passé en argument, le code à l'origine de l'appel voit le changement. Ceci élimine le besoin d'avoir deux mécanismes de transmission d'arguments comme en Pascal.

## 9.2 Portées et espaces de nommage en Python

Avant de présenter les classes, nous devons aborder la notion de portée en Python. Les définitions de classes font d'habiles manipulations avec les espaces de nommage, vous devez donc savoir comment les portées et les espaces de nommage fonctionnent. Soit dit en passant, la connaissance de ce sujet est aussi utile aux développeurs Python expérimentés.

Commençons par quelques définitions.

Un *espace de nommage* est une table de correspondance entre des noms et des objets. La plupart des espaces de nommage sont actuellement implémentés sous forme de dictionnaires Python, mais ceci n'est normalement pas visible (sauf pour les performances) et peut changer dans le futur. Comme exemples d'espaces de nommage, nous pouvons citer les primitives (fonctions comme `abs()` et les noms des exceptions de base) ; les noms globaux dans un module ; et les noms locaux lors d'un appel de fonction. D'une certaine manière, l'ensemble des attributs d'un objet forme lui-même un espace de nommage. L'important à retenir concernant les espaces de nommage est qu'il n'y a absolument aucun lien entre les noms de différents espaces de nommage ; par exemple, deux modules différents peuvent définir une fonction `maximize` sans qu'il n'y ait de confusion. Les utilisateurs des modules doivent préfixer le nom de la fonction avec celui du module.

À ce propos, nous utilisons le mot *attribut* pour tout nom suivant un point. Par exemple, dans l'expression `z.real`, `real` est un attribut de l'objet `z`. Rigoureusement parlant, les références à des noms dans des modules sont des références d'attributs : dans l'expression `nommodule.nomfonction`, `nommodule` est un objet module et `nomfonction` est un attribut de cet objet. Dans ces conditions, il existe une correspondance directe entre les attributs du module et les noms globaux définis dans le module : ils partagent le même espace de nommage<sup>1</sup> !

Les attributs peuvent être en lecture seule ou modifiables. S'ils sont modifiables, l'affectation à un attribut est possible. Les attributs de modules sont modifiables : vous pouvez écrire `nommodule.la_reponse = 42`. Les attributs modifiables peuvent aussi être effacés avec l'instruction `del`. Par exemple, `del nommodule.la_reponse` supprime l'attribut `la_reponse` de l'objet nommé `nommodule`.

Les espaces de nommage sont créés à différents moments et ont différentes durées de vie. L'espace de nommage contenant les primitives est créé au démarrage de l'interpréteur Python et n'est jamais effacé. L'espace de nommage globaux pour un module est créé lorsque la définition du module est lue. Habituellement, les espaces de nommage des modules durent aussi jusqu'à l'arrêt de l'interpréteur. Les instructions exécutées par la première invocation de l'interpréteur, qu'elles soient lues depuis un fichier de script ou de manière interactive, sont considérées comme faisant partie d'un module appelé `__main__`, de façon qu'elles possèdent leur propre espace de nommage (les primitives vivent elles-mêmes dans un module, appelé `builtins`).

L'espace des noms locaux d'une fonction est créé lors de son appel, puis effacé lorsqu'elle renvoie un résultat ou lève une exception non prise en charge (en fait, « oublié » serait une meilleure façon de décrire ce qui se passe réellement). Bien sûr, des invocations récursives ont chacune leur propre espace de nommage.

---

1. Il existe une exception : les modules disposent d'un attribut secret en lecture seule appelé `__dict__` qui renvoie le dictionnaire utilisé pour implémenter l'espace de nommage du module ; le nom `__dict__` est un attribut mais pas un nom global. Évidemment, si vous l'utilisez, vous brisez l'abstraction de l'implémentation des espaces de nommage. Il est donc réservé à des choses comme les débogueurs post-mortem.



La *portée* est la zone textuelle d'un programme Python où un espace de nommage est directement accessible. « Directement accessible » signifie ici qu'une référence non qualifiée à un nom est cherchée dans l'espace de nommage.

Bien que les portées soient déterminées de manière statique, elles sont utilisées de manière dynamique. À n'importe quel moment de l'exécution, il y a au minimum trois ou quatre portées imbriquées dont les espaces de nommage sont directement accessibles :

- la portée la plus au centre, celle qui est consultée en premier, contient les noms locaux ;
- les portées des fonctions englobantes, qui sont consultées en commençant avec la portée englobante la plus proche, contiennent des noms non-locaux mais aussi non-globaux ;
- l'avant-dernière portée contient les noms globaux du module courant ;
- la portée englobante, consultée en dernier, est l'espace de nommage contenant les primitives.

Si un nom est déclaré comme global, alors toutes les références et affectations vont directement dans la portée intermédiaire contenant les noms globaux du module. Pour pointer une variable qui se trouve en dehors de la portée la plus locale, vous pouvez utiliser l'instruction `nonlocal`. Si une telle variable n'est pas déclarée *nonlocal*, elle est en lecture seule (toute tentative de la modifier crée simplement une *nouvelle* variable dans la portée la plus locale, en laissant inchangée la variable du même nom dans sa portée d'origine).

Habituellement, la portée locale référence les noms locaux de la fonction courante. En dehors des fonctions, la portée locale référence le même espace de nommage que la portée globale : l'espace de nommage du module. Les définitions de classes créent un nouvel espace de nommage dans la portée locale.

Il est important de réaliser que les portées sont déterminées de manière textuelle : la portée globale d'une fonction définie dans un module est l'espace de nommage de ce module, quelle que soit la provenance de l'appel à la fonction. En revanche, la recherche réelle des noms est faite dynamiquement au moment de l'exécution. Cependant la définition du langage est en train d'évoluer vers une résolution statique des noms au moment de la « compilation », donc ne vous basez pas sur une résolution dynamique (en réalité, les variables locales sont déjà déterminées de manière statique) !

Une particularité de Python est que, si aucune instruction `global` ou `nonlocal` n'est active, les affectations de noms vont toujours dans la portée la plus proche. Les affectations ne copient aucune donnée : elles se contentent de lier des noms à des objets. Ceci est également vrai pour l'effacement : l'instruction `del x` supprime la liaison de `x` dans l'espace de nommage référencé par la portée locale. En réalité, toutes les opérations qui impliquent des nouveaux noms utilisent la portée locale : en particulier, les instructions `import` et les définitions de fonctions effectuent une liaison du module ou du nom de fonction dans la portée locale.

L'instruction `global` peut être utilisée pour indiquer que certaines variables existent dans la portée globale et doivent être reliées en local ; l'instruction `nonlocal` indique que certaines variables existent dans une portée supérieure et doivent être reliées en local.

### 9.2.1 Exemple de portées et d'espaces de nommage

Ceci est un exemple montrant comment utiliser les différentes portées et espaces de nommage, et comment `global` et `nonlocal` modifient l'affectation de variable :

```
def scope_test():
    def do_local():
        spam = "local spam"

    def do_nonlocal():
        nonlocal spam
        spam = "nonlocal spam"

    def do_global():
        global spam
        spam = "global spam"

    spam = "test spam"
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
do_local()
print("After local assignment:", spam)
do_nonlocal()
print("After nonlocal assignment:", spam)
do_global()
print("After global assignment:", spam)

scope_test()
print("In global scope:", spam)
```

Ce code donne le résultat suivant :

```
After local assignment: test spam
After nonlocal assignment: nonlocal spam
After global assignment: nonlocal spam
In global scope: global spam
```

Vous pouvez constater que l'affectation *locale* (qui est effectuée par défaut) n'a pas modifié la liaison de *spam* dans *scope\_test*. L'affectation *nonlocal* a changé la liaison de *spam* dans *scope\_test* et l'affectation *global* a changé la liaison au niveau du module.

Vous pouvez également voir qu'aucune liaison pour *spam* n'a été faite avant l'affectation *global*.

## 9.3 Une première approche des classes

Le concept de classe introduit un peu de syntaxe nouvelle, trois nouveaux types d'objets ainsi que quelques nouveaux éléments de sémantique.

### 9.3.1 Syntaxe de définition des classes

La forme la plus simple de définition d'une classe est la suivante :

```
class ClassName:
    <statement-1>
    .
    .
    .
    <statement-N>
```

Les définitions de classes, comme les définitions de fonctions (définitions `def`), doivent être exécutées avant d'avoir un effet. Vous pouvez tout à fait placer une définition de classe dans une branche d'une instruction conditionnelle `if` ou encore à l'intérieur d'une fonction.

Dans la pratique, les déclarations dans une définition de classe sont généralement des définitions de fonctions mais d'autres déclarations sont permises et parfois utiles (nous revenons sur ce point plus tard). Les définitions de fonction à l'intérieur d'une classe ont normalement une forme particulière de liste d'arguments, dictée par les conventions d'appel aux méthodes (à nouveau, tout ceci est expliqué plus loin).

Quand une classe est définie, un nouvel espace de nommage est créé et utilisé comme portée locale --- Ainsi, toutes les affectations de variables locales entrent dans ce nouvel espace de nommage. En particulier, les définitions de fonctions y lient le nom de la nouvelle fonction.

À la fin de la définition d'une classe, un *objet classe* est créé. C'est, pour simplifier, une encapsulation du contenu de l'espace de nommage créé par la définition de classe. Nous revoyons les objets classes dans la prochaine section. La portée locale

initiale (celle qui prévaut avant le début de la définition de la classe) est ré-instanciée et l'objet de classe est lié ici au nom de classe donné dans l'en-tête de définition de classe (ClassName dans l'exemple).

### 9.3.2 Objets classes

Les objets classes prennent en charge deux types d'opérations : des références à des attributs et l'instanciation.

Les *références d'attributs* utilisent la syntaxe standard utilisée pour toutes les références d'attributs en Python : `obj.nom`. Les noms d'attribut valides sont tous les noms qui se trouvaient dans l'espace de nommage de la classe quand l'objet classe a été créé. Donc, si la définition de classe est de cette forme :

```
class MyClass:
    """A simple example class"""
    i = 12345

    def f(self):
        return 'hello world'
```

alors `MyClass.i` et `MyClass.f` sont des références valides à des attributs, renvoyant respectivement un entier et un objet fonction. Les attributs de classes peuvent également être affectés, de sorte que vous pouvez modifier la valeur de `MyClass.i` par affectation. `__doc__` est aussi un attribut valide, renvoyant la *docstring* appartenant à la classe : "A simple example class".

L'*instanciation* de classes utilise la notation des fonctions. Considérez simplement que l'objet classe est une fonction sans paramètre qui renvoie une nouvelle instance de la classe. Par exemple (en considérant la classe définie ci-dessus) :

```
x = MyClass()
```

crée une nouvelle *instance* de la classe et affecte cet objet à la variable locale `x`.

L'opération d'instanciation (en "appelant" un objet classe) crée un objet vide. De nombreuses classes aiment créer des instances personnalisées correspondant à un état initial spécifique. À cet effet, une classe peut définir une méthode spéciale nommée `__init__()`, comme ceci :

```
def __init__(self):
    self.data = []
```

Quand une classe définit une méthode `__init__()`, l'instanciation de la classe appelle automatiquement `__init__()` pour la nouvelle instance de la classe. Donc, dans cet exemple, l'initialisation d'une nouvelle instance peut être obtenue par :

```
x = MyClass()
```

Bien sûr, la méthode `__init__()` peut avoir des arguments pour une plus grande flexibilité. Dans ce cas, les arguments donnés à l'opérateur d'instanciation de classe sont transmis à `__init__()`. Par exemple

```
>>> class Complex:
...     def __init__(self, realpart, imagpart):
...         self.r = realpart
...         self.i = imagpart
...
>>> x = Complex(3.0, -4.5)
>>> x.r, x.i
(3.0, -4.5)
```

### 9.3.3 Objets instances

Maintenant, que pouvons-nous faire avec des objets instances ? Les seules opérations comprises par les objets instances sont des références d'attributs. Il y a deux sortes de noms d'attributs valides, les attributs 'données' et les méthodes.

Les *attributs 'données'* correspondent à des "variables d'instance" en Smalltalk et aux "membres de données" en C++. Les attributs 'données' n'ont pas à être déclarés. Comme les variables locales, ils existent dès lors qu'ils sont assignés une première fois. Par exemple, si `x` est l'instance de `MyClass` créée ci-dessus, le code suivant affiche la valeur 16, sans laisser de trace :

```
x.counter = 1
while x.counter < 10:
    x.counter = x.counter * 2
print(x.counter)
del x.counter
```

L'autre type de référence à un attribut d'instance est une *méthode*. Une méthode est une fonction qui "appartient à" un objet (en Python, le terme de méthode n'est pas unique aux instances de classes : d'autres types d'objets peuvent aussi avoir des méthodes. Par exemple, les objets listes ont des méthodes appelées `append`, `insert`, `remove`, `sort` et ainsi de suite. Toutefois, dans la discussion qui suit, sauf indication contraire, nous utilisons le terme de méthode exclusivement en référence à des méthodes d'objets instances de classe).

Les noms de méthodes valides d'un objet instance dépendent de sa classe. Par définition, tous les attributs d'une classe qui sont des objets fonctions définissent les méthodes correspondantes de ses instances. Donc, dans notre exemple, `x.f` est une référence valide à une méthode car `MyClass.f` est une fonction, mais pas `x.i` car `MyClass.i` n'en est pas une. Attention cependant, `x.f` n'est pas la même chose que `MyClass.f` --- Il s'agit d'un *objet méthode*, pas d'un objet fonction.

### 9.3.4 Objets méthode

Le plus souvent, une méthode est appelée juste après avoir été liée :

```
x.f()
```

Dans l'exemple de la classe `MyClass`, cela renvoie la chaîne de caractères `hello world`. Toutefois, il n'est pas nécessaire d'appeler la méthode directement : `x.f` est un objet méthode, il peut être gardé de côté et être appelé plus tard. Par exemple :

```
xf = x.f
while True:
    print(xf())
```

affiche `hello world` jusqu'à la fin des temps.

Que se passe-t-il exactement quand une méthode est appelée ? Vous avez dû remarquer que `x.f()` a été appelée dans le code ci-dessus sans argument, alors que la définition de la méthode `f()` spécifie bien qu'elle prend un argument. Qu'est-il arrivé à l'argument ? Python doit sûrement lever une exception lorsqu'une fonction qui requiert un argument est appelée sans -- même si l'argument n'est pas utilisé...

En fait, vous avez peut-être deviné la réponse : la particularité des méthodes est que l'objet est passé comme premier argument de la fonction. Dans notre exemple, l'appel `x.f()` est exactement équivalent à `MyClass.f(x)`. En général, appeler une méthode avec une liste de  $n$  arguments est équivalent à appeler la fonction correspondante avec une liste d'arguments créée en ajoutant l'instance de l'objet de la méthode avant le premier argument.

Si vous ne comprenez toujours pas comment les méthodes fonctionnent, un coup d'œil à l'implémentation vous aidera peut-être. Lorsque un attribut d'une instance est référencé et que ce n'est pas un attribut 'données', sa classe est recherchée. Si le nom correspond à un attribut valide et que c'est un objet fonction, un objet méthode est créé en générant un objet

abstrait qui regroupe (des pointeurs vers) l'objet instance et l'objet fonction qui vient d'être trouvé : c'est l'objet méthode. Quand l'objet méthode est appelé avec une liste d'arguments, une nouvelle liste d'arguments est construite à partir de l'objet instance et de la liste des arguments. L'objet fonction est alors appelé avec cette nouvelle liste d'arguments.

### 9.3.5 Classes et variables d'instance

En général, les variables d'instance stockent des informations relatives à chaque instance alors que les variables de classe servent à stocker les attributs et méthodes communes à toutes les instances de la classe :

```
class Dog:

    kind = 'canine'          # class variable shared by all instances

    def __init__(self, name):
        self.name = name    # instance variable unique to each instance

>>> d = Dog('Fido')
>>> e = Dog('Buddy')
>>> d.kind                # shared by all dogs
'canine'
>>> e.kind                # shared by all dogs
'canine'
>>> d.name                # unique to d
'Fido'
>>> e.name                # unique to e
'Buddy'
```

Comme nous l'avons vu dans *Objets et noms : préambule*, les données partagées *muable* (telles que les listes, dictionnaires, etc.) peuvent avoir des effets surprenants. Par exemple, la liste *tricks* dans le code suivant ne devrait pas être utilisée en tant que variable de classe car, dans ce cas, une seule liste est partagée par toutes les instances de *Dog* :

```
class Dog:

    tricks = []             # mistaken use of a class variable

    def __init__(self, name):
        self.name = name

    def add_trick(self, trick):
        self.tricks.append(trick)

>>> d = Dog('Fido')
>>> e = Dog('Buddy')
>>> d.add_trick('roll over')
>>> e.add_trick('play dead')
>>> d.tricks                # unexpectedly shared by all dogs
['roll over', 'play dead']
```

Une conception correcte de la classe est d'utiliser une variable d'instance à la place :

```
class Dog:

    def __init__(self, name):
        self.name = name
        self.tricks = []    # creates a new empty list for each dog
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

def add_trick(self, trick):
    self.tricks.append(trick)

>>> d = Dog('Fido')
>>> e = Dog('Buddy')
>>> d.add_trick('roll over')
>>> e.add_trick('play dead')
>>> d.tricks
['roll over']
>>> e.tricks
['play dead']

```

## 9.4 Remarques diverses

Si le même nom d'attribut apparaît à la fois dans une instance et dans une classe, alors la recherche d'attribut donne la priorité à l'instance :

```

>>> class Warehouse:
    purpose = 'storage'
    region = 'west'

>>> w1 = Warehouse()
>>> print(w1.purpose, w1.region)
storage west
>>> w2 = Warehouse()
>>> w2.region = 'east'
>>> print(w2.purpose, w2.region)
storage east

```

Les attributs 'données' peuvent être référencés par des méthodes comme par des utilisateurs ordinaires ("clients") d'un objet. En d'autres termes, les classes ne sont pas utilisables pour implémenter des types de données purement abstraits. En fait, il n'est pas possible en Python d'imposer de masquer des données — tout est basé sur des conventions (d'un autre côté, l'implémentation de Python, écrite en C, peut complètement masquer les détails d'implémentation et contrôler l'accès à un objet si nécessaire ; ceci peut être utilisé par des extensions de Python écrites en C).

Les clients doivent utiliser les attributs 'données' avec précaution --- ils pourraient mettre le désordre dans les invariants gérés par les méthodes avec leurs propres valeurs d'attributs. Remarquez que les clients peuvent ajouter leurs propres attributs 'données' à une instance d'objet sans altérer la validité des méthodes, pour autant que les noms n'entrent pas en conflit --- là aussi, adopter une convention de nommage peut éviter bien des problèmes.

Il n'y a pas de notation abrégée pour référencer des attributs 'données' (ou les autres méthodes !) depuis les méthodes. Nous pensons que ceci améliore en fait la lisibilité des méthodes : il n'y a aucune chance de confondre variables locales et variables d'instances quand on regarde le code d'une méthode.

Souvent, le premier argument d'une méthode est nommé `self`. Ce n'est qu'une convention : le nom `self` n'a aucune signification particulière en Python. Notez cependant que si vous ne suivez pas cette convention, votre code risque d'être moins lisible pour d'autres programmeurs Python et il est aussi possible qu'un programme qui fasse l'inspection de classes repose sur une telle convention.

Tout objet fonction qui est un attribut de classe définit une méthode pour des instances de cette classe. Il n'est pas nécessaire que le texte de définition de la fonction soit dans la définition de la classe : il est possible d'affecter un objet fonction à une variable locale de la classe. Par exemple :

```
# Function defined outside the class
def f1(self, x, y):
    return min(x, x+y)

class C:
    f = f1

    def g(self):
        return 'hello world'

    h = g
```

Maintenant, `f`, `g` et `h` sont toutes des attributs de la classe `C` et font référence à des fonctions objets. Par conséquent, ce sont toutes des méthodes des instances de `C` --- `h` est exactement identique à `g`. Remarquez qu'en pratique, ceci ne sert qu'à embrouiller le lecteur d'un programme.

Les méthodes peuvent appeler d'autres méthodes en utilisant des méthodes qui sont des attributs de l'argument `self` :

```
class Bag:
    def __init__(self):
        self.data = []

    def add(self, x):
        self.data.append(x)

    def addtwice(self, x):
        self.add(x)
        self.add(x)
```

Les méthodes peuvent faire référence à des noms globaux de la même manière que les fonctions. La portée globale associée à une méthode est le module contenant la définition de la classe (la classe elle-même n'est jamais utilisée en tant que portée globale). Alors qu'il est rare d'avoir une bonne raison d'utiliser des données globales dans une méthode, il y a de nombreuses utilisations légitimes de la portée globale : par exemple, les fonctions et modules importés dans une portée globale peuvent être utilisés par des méthodes, de même que les fonctions et classes définies dans cette même portée. Habituellement, la classe contenant la méthode est elle-même définie dans cette portée globale et, dans la section suivante, nous verrons de bonnes raisons pour qu'une méthode référence sa propre classe.

Toute valeur est un objet et a donc une *classe* (appelée aussi son *type*). Elle est stockée dans `objet.__class__`.

## 9.5 Héritage

Bien sûr, ce terme de "classe" ne serait pas utilisé s'il n'y avait pas d'héritage. La syntaxe pour définir une sous-classe est de cette forme :

```
class DerivedClassName(BaseClassName):
    <statement-1>
    .
    .
    .
    <statement-N>
```

Le nom `BaseClassName` doit être défini dans une portée contenant la définition de la classe dérivée. À la place du nom d'une classe de base, une expression est aussi autorisée. Ceci peut être utile, par exemple, lorsque la classe est définie dans un autre module :

```
class DerivedClassName(modname.BaseClassName):
```

L'exécution d'une définition de classe dérivée se déroule comme pour une classe de base. Quand l'objet de la classe est construit, la classe de base est mémorisée. Elle est utilisée pour la résolution des références d'attributs : si un attribut n'est pas trouvé dans la classe, la recherche se poursuit en regardant dans la classe de base. Cette règle est appliquée récursivement si la classe de base est elle-même dérivée d'une autre classe.

Il n'y a rien de particulier dans l'instanciation des classes dérivées : `DerivedClassName()` crée une nouvelle instance de la classe. Les références aux méthodes sont résolues comme suit : l'attribut correspondant de la classe est recherché, en remontant la hiérarchie des classes de base si nécessaire, et la référence de méthode est valide si cela conduit à une fonction.

Les classes dérivées peuvent surcharger des méthodes de leurs classes de base. Comme les méthodes n'ont aucun privilège particulier quand elles appellent d'autres méthodes d'un même objet, une méthode d'une classe de base qui appelle une autre méthode définie dans la même classe peut en fait appeler une méthode d'une classe dérivée qui la surcharge (pour les programmeurs C++ : toutes les méthodes de Python sont en effet "virtuelles").

Une méthode dans une classe dérivée peut aussi, en fait, vouloir étendre plutôt que simplement remplacer la méthode du même nom de sa classe de base. L'appel direct à la méthode de la classe de base s'écrit simplement `BaseClassName.nomMethode(self, arguments)`. C'est parfois utile également aux clients (notez bien que ceci ne fonctionne que si la classe de base est accessible en tant que `BaseClassName` dans la portée globale).

Python définit deux fonctions primitives pour gérer l'héritage :

- utilisez `isinstance()` pour tester le type d'une instance : `isinstance(obj, int)` renvoie `True` seulement si `obj.__class__` est égal à `int` ou à une autre classe dérivée de `int` ;
- utilisez `issubclass()` pour tester l'héritage d'une classe : `issubclass(bool, int)` renvoie `True` car la classe `bool` est une sous-classe de `int`. Cependant, `issubclass(float, int)` renvoie `False` car `float` n'est pas une sous-classe de `int`.

## 9.5.1 Héritage multiple

Python gère également une forme d'héritage multiple. Une définition de classe ayant plusieurs classes de base est de cette forme :

```
class DerivedClassName(Base1, Base2, Base3):
    <statement-1>
    .
    .
    .
    <statement-N>
```

Dans la plupart des cas, vous pouvez vous représenter la recherche d'attributs dans les classes parentes comme étant : le plus profond d'abord, de gauche à droite, sans chercher deux fois dans la même classe si elle apparaît plusieurs fois dans la hiérarchie. Ainsi, si un attribut n'est pas trouvé dans `DerivedClassName`, il est recherché dans `Base1`, puis (récursivement) dans les classes de base de `Base1` ; s'il n'y est pas trouvé, il est recherché dans `Base2` et ses classes de base, et ainsi de suite.

Dans les faits, c'est un peu plus complexe que ça ; l'ordre de la recherche (*method resolution order*, ou *MRO* en anglais) change dynamiquement pour gérer des appels coopératifs à `super()`. Cette approche est connue sous le nom de la "appel de la méthode la plus proche" (*call-next-method* en anglais) dans d'autres langages avec héritage multiple. Elle est plus puissante que le simple appel à `super` que l'on trouve dans les langages à héritage simple.

L'ordre défini dynamiquement est nécessaire car tous les cas d'héritage multiple comportent une ou plusieurs relations en losange (où au moins une classe peut être accédée à partir de plusieurs chemins en partant de la classe la plus basse). Par exemple, puisque toutes les classes héritent de `object`, tout héritage multiple ouvre plusieurs chemins pour atteindre `object`. Pour qu'une classe de base ne soit pas appelée plusieurs fois, l'algorithme dynamique



linéarise l'ordre de recherche d'une façon qui préserve l'ordre d'héritage, de la gauche vers la droite, spécifié dans chaque classe, qui appelle chaque classe parente une seule fois, qui est monotone (ce qui signifie qu'une classe peut être sous-classée sans affecter l'ordre d'héritage de ses parents). Prises ensemble, ces propriétés permettent de concevoir des classes de façon fiable et extensible dans un contexte d'héritage multiple. Pour plus de détails, consultez <http://www.python.org/download/releases/2.3/mro/>.

## 9.6 Variables privées

Les membres "privés", qui ne peuvent être accédés que depuis l'intérieur d'un objet, n'existent pas en Python. Toutefois, il existe une convention respectée par la majorité du code Python : un nom préfixé par un tiret bas (comme `_spam`) doit être considéré comme une partie non publique de l'API (qu'il s'agisse d'une fonction, d'une méthode ou d'un attribut "données"). Il doit être vu comme un détail d'implémentation pouvant faire l'objet de modifications futures sans préavis.

Dès lors qu'il y a un cas d'utilisation valable pour avoir des attributs privés aux classes (notamment pour éviter des conflits avec des noms définis dans des sous-classes), il existe un support (certes limité) pour un tel mécanisme, appelé *name mangling*. Tout identifiant de la forme `__spam` (avec au moins deux tirets bas en tête et au plus un à la fin) est remplacé textuellement par `_classname__spam`, où `classname` est le nom de la classe sans le ou les premiers tirets-bas. Ce "découpage" est effectué sans tenir compte de la position syntaxique de l'identifiant, tant qu'il est présent dans la définition d'une classe.

Ce changement de nom est utile pour permettre à des sous-classes de surcharger des méthodes sans casser les appels de méthodes à l'intérieur d'une classe. Par exemple :

```
class Mapping:
    def __init__(self, iterable):
        self.items_list = []
        self.__update(iterable)

    def update(self, iterable):
        for item in iterable:
            self.items_list.append(item)

    __update = update    # private copy of original update() method

class MappingSubclass(Mapping):

    def update(self, keys, values):
        # provides new signature for update()
        # but does not break __init__()
        for item in zip(keys, values):
            self.items_list.append(item)
```

L'exemple ci-dessus fonctionnerait même si `MappingSubclass` introduisait un identifieur `__update` puisqu'il a été remplacé avec `_Mapping__update` dans la classe `Mapping` et `_MappingSubclass__update` dans la classe `MappingSubclass` respectivement.

Notez que ces règles sont conçues avant tout pour éviter les accidents ; il reste possible d'accéder ou de modifier une variable considérée comme privée. Ceci peut même être utile dans certaines circonstances, comme au sein du débogueur.

Remarquez que le code que vous passez à `exec()`, `eval()` ne considère pas le nom de la classe appelante comme étant la classe courante ; le même effet s'applique à la directive `global` dont l'effet est, de la même façon, restreint au code compilé dans le même ensemble de byte-code. Les mêmes restrictions s'appliquent à `getattr()`, `setattr()` et `delattr()`, ainsi qu'aux références directes à `__dict__`.

## 9.7 Trucs et astuces

Il est parfois utile d'avoir un type de donnée similaire au "record" du Pascal ou au *struct* du C, qui regroupent ensemble quelques attributs 'données' nommés. La définition d'une classe vide remplit parfaitement ce besoin :

```
class Employee:
    pass

john = Employee()  # Create an empty employee record

# Fill the fields of the record
john.name = 'John Doe'
john.dept = 'computer lab'
john.salary = 1000
```

À du code Python qui s'attend à recevoir un type de donnée abstrait spécifique, on peut souvent fournir une classe qui simule les méthodes de ce type. Par exemple, à une fonction qui formate des données extraites d'un objet fichier, vous pouvez lui passer comme argument une instance d'une classe qui implémente les méthodes `read()` et `readline()` en puisant ses données à partir d'un tampon de chaînes de caractères.

Les objets méthodes d'instances ont aussi des attributs : `m.__self__` est l'instance d'objet avec la méthode `m()` et `m.__func__` est l'objet fonction correspondant à la méthode.

## 9.8 Itérateurs

Vous avez maintenant certainement remarqué que l'on peut itérer sur la plupart des objets conteneurs en utilisant une instruction `for` :

```
for element in [1, 2, 3]:
    print(element)
for element in (1, 2, 3):
    print(element)
for key in {'one':1, 'two':2}:
    print(key)
for char in "123":
    print(char)
for line in open("myfile.txt"):
    print(line, end='')
```

Ce style est simple, concis et pratique. L'utilisation d'itérateurs imprègne et unifie Python. En arrière plan, l'instruction `for` appelle la fonction `iter()` sur l'objet conteneur. Cette fonction renvoie un objet itérateur qui définit la méthode `__next__()`, laquelle accède aux éléments du conteneur un par un. Lorsqu'il n'y a plus d'élément, `__next__()` lève une exception `StopIteration` qui indique à la boucle de l'instruction `for` de se terminer. Vous pouvez appeler la méthode `__next__()` en utilisant la fonction native `next()`. Cet exemple montre comment tout cela fonctionne :

```
>>> s = 'abc'
>>> it = iter(s)
>>> it
<str_iterator object at 0x10c90e650>
>>> next(it)
'a'
>>> next(it)
'b'
>>> next(it)
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
'c'
>>> next(it)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
    next(it)
StopIteration
```

Une fois compris les mécanismes de gestion des itérateurs, il est simple d'ajouter ce comportement à vos classes. Définissez une méthode `__iter__()` qui renvoie un objet disposant d'une méthode `__next__()`. Si la classe définit elle-même la méthode `__next__()`, alors `__iter__()` peut simplement renvoyer `self` :

```
class Reverse:
    """Iterator for looping over a sequence backwards."""
    def __init__(self, data):
        self.data = data
        self.index = len(data)

    def __iter__(self):
        return self

    def __next__(self):
        if self.index == 0:
            raise StopIteration
        self.index = self.index - 1
        return self.data[self.index]
```

```
>>> rev = Reverse('spam')
>>> iter(rev)
<__main__.Reverse object at 0x00A1DB50>
>>> for char in rev:
...     print(char)
...
m
a
p
s
```

## 9.9 Générateurs

Les *générateurs* sont des outils simples et puissants pour créer des itérateurs. Ils sont écrits comme des fonctions classiques mais utilisent l'instruction `yield` lorsqu'ils veulent renvoyer des données. À chaque fois qu'il est appelé par `next()`, le générateur reprend son exécution là où il s'était arrêté (en conservant tout son contexte d'exécution). Un exemple montre très bien combien les générateurs sont simples à créer :

```
def reverse(data):
    for index in range(len(data)-1, -1, -1):
        yield data[index]
```

```
>>> for char in reverse('golf'):
...     print(char)
...
f
l
```

(suite sur la page suivante)

```
o
g
```

Tout ce qui peut être fait avec des générateurs peut également être fait avec des itérateurs basés sur des classes, comme décrit dans le paragraphe précédent. Ce qui rend les générateurs si compacts, c'est que les méthodes `__iter__()` et `__next__()` sont créées automatiquement.

Une autre fonctionnalité clé est que les variables locales ainsi que le contexte d'exécution sont sauvegardés automatiquement entre les appels. Cela simplifie d'autant plus l'écriture de ces fonctions et rend leur code beaucoup plus lisible qu'avec une approche utilisant des variables d'instance telles que `self.index` et `self.data`.

En plus de la création automatique de méthodes et de la sauvegarde du contexte d'exécution, les générateurs lèvent automatiquement une exception `StopIteration` lorsqu'ils terminent leur exécution. La combinaison de ces fonctionnalités rend très simple la création d'itérateurs, sans plus d'effort que l'écriture d'une fonction classique.

## 9.10 Expressions et générateurs

Des générateurs simples peuvent être codés très rapidement avec des expressions utilisant la même syntaxe que les compréhensions de listes, mais en utilisant des parenthèses à la place des crochets. Ces expressions sont conçues pour des situations où le générateur est utilisé tout de suite dans une fonction. Ces expressions sont plus compactes mais moins souples que des définitions complètes de générateurs et ont tendance à être plus économes en mémoire que leur équivalent en compréhension de listes.

Exemples :

```
>>> sum(i*i for i in range(10))           # sum of squares
285

>>> xvec = [10, 20, 30]
>>> yvec = [7, 5, 3]
>>> sum(x*y for x,y in zip(xvec, yvec))   # dot product
260

>>> unique_words = set(word for line in page for word in line.split())

>>> valedictorian = max((student.gpa, student.name) for student in graduates)

>>> data = 'golf'
>>> list(data[i] for i in range(len(data)-1, -1, -1))
['f', 'l', 'o', 'g']
```

---

## Survol de la bibliothèque standard

---

### 10.1 Interface avec le système d'exploitation

Le module `os` propose des dizaines de fonctions pour interagir avec le système d'exploitation :

```
>>> import os
>>> os.getcwd()          # Return the current working directory
'C:\\Python39'
>>> os.chdir('/server/accesslogs')  # Change current working directory
>>> os.system('mkdir today')  # Run the command mkdir in the system shell
0
```

Veillez bien à utiliser `import os` plutôt que `from os import *`, sinon `os.open()` cache la primitive `open()` qui fonctionne différemment.

Les primitives `dir()` et `help()` sont des aides utiles lorsque vous travaillez en mode interactif avec des gros modules comme `os` :

```
>>> import os
>>> dir(os)
<returns a list of all module functions>
>>> help(os)
<returns an extensive manual page created from the module's docstrings>
```

Pour la gestion des fichiers et dossiers, le module `shutil` expose une interface plus abstraite et plus facile à utiliser :

```
>>> import shutil
>>> shutil.copyfile('data.db', 'archive.db')
'archive.db'
>>> shutil.move('/build/executables', 'installdir')
'installdir'
```

## 10.2 Jokers sur les noms de fichiers

Le module `glob` fournit une fonction pour construire des listes de fichiers à partir de motifs :

```
>>> import glob
>>> glob.glob('*.py')
['primes.py', 'random.py', 'quote.py']
```

## 10.3 Paramètres passés en ligne de commande

Typiquement, les outils en ligne de commande ont besoin de lire les paramètres qui leur sont donnés. Ces paramètres sont stockés dans la variable `argv` du module `sys` sous la forme d'une liste. Par exemple, l'affichage suivant vient de l'exécution de `python demo.py one two three` depuis la ligne de commande :

```
>>> import sys
>>> print(sys.argv)
['demo.py', 'one', 'two', 'three']
```

Le module `argparse` fournit un mécanisme plus sophistiqué pour traiter les arguments de la ligne de commande. Le script suivant extrait un ou plusieurs noms de fichiers et un nombre facultatif de lignes à afficher :

```
import argparse

parser = argparse.ArgumentParser(
    prog='top',
    description='Show top lines from each file')
parser.add_argument('filenames', nargs='+')
parser.add_argument('-l', '--lines', type=int, default=10)
args = parser.parse_args()
print(args)
```

Lorsqu'il est exécuté avec la ligne de commande `python top.py --lines=5 alpha.txt beta.txt`, le script définit `args.lines` à 5 et `args.filenames` à `['alpha.txt', 'beta.txt']`.

## 10.4 Redirection de la sortie d'erreur et fin d'exécution

Le module `sys` a aussi des attributs pour `stdin`, `stdout` et `stderr`. Ce dernier est utile pour émettre des messages d'avertissement ou d'erreur qui restent visibles même si `stdout` est redirigé :

```
>>> sys.stderr.write('Warning, log file not found starting a new one\n')
Warning, log file not found starting a new one
```

Le moyen le plus direct de terminer un script est d'utiliser `sys.exit()`.

## 10.5 Recherche de motifs dans les chaînes

Le module `re` fournit des outils basés sur les expressions rationnelles permettant des opérations complexes sur les chaînes. C'est une solution optimisée, utilisant une syntaxe concise, pour rechercher des motifs complexes ou effectuer des remplacements complexes dans les chaînes :

```
>>> import re
>>> re.findall(r'\b[a-z]*', 'which foot or hand fell fastest')
['foot', 'fell', 'fastest']
>>> re.sub(r'(\b[a-z]+) \1', r'\1', 'cat in the the hat')
'cat in the hat'
```

Lorsque les opérations sont simples, il est préférable d'utiliser les méthodes des chaînes. Elles sont plus lisibles et plus faciles à déboguer :

```
>>> 'tea for too'.replace('too', 'two')
'tea for two'
```

## 10.6 Mathématiques

Le module `math` donne accès aux fonctions sur les nombres à virgule flottante (*float* en anglais) de la bibliothèque C :

```
>>> import math
>>> math.cos(math.pi / 4)
0.70710678118654757
>>> math.log(1024, 2)
10.0
```

Le module `random` offre des outils pour faire des tirages aléatoires :

```
>>> import random
>>> random.choice(['apple', 'pear', 'banana'])
'apple'
>>> random.sample(range(100), 10)    # sampling without replacement
[30, 83, 16, 4, 8, 81, 41, 50, 18, 33]
>>> random.random()                 # random float
0.17970987693706186
>>> random.randrange(6)             # random integer chosen from range(6)
4
```

Le module `statistics` permet de calculer des valeurs statistiques basiques (moyenne, médiane, variance...) :

```
>>> import statistics
>>> data = [2.75, 1.75, 1.25, 0.25, 0.5, 1.25, 3.5]
>>> statistics.mean(data)
1.6071428571428572
>>> statistics.median(data)
1.25
>>> statistics.variance(data)
1.3720238095238095
```

Le projet SciPy <<https://scipy.org>> contient beaucoup d'autres modules dédiés aux calculs numériques.

## 10.7 Accès à internet

Il existe beaucoup de modules permettant d'accéder à internet et gérer les protocoles réseaux. Les deux plus simples sont `urllib.request` qui permet de récupérer des données à partir d'une URL et `smtplib` pour envoyer des courriers électroniques :

```
>>> from urllib.request import urlopen
>>> with urlopen('http://worldtimeapi.org/api/timezone/etc/UTC.txt') as response:
...     for line in response:
...         line = line.decode()           # Convert bytes to a str
...         if line.startswith('datetime'):
...             print(line.rstrip())       # Remove trailing newline
...
datetime: 2022-01-01T01:36:47.689215+00:00

>>> import smtplib
>>> server = smtplib.SMTP('localhost')
>>> server.sendmail('soothsayer@example.org', 'jcaesar@example.org',
...     """To: jcaesar@example.org
...     From: soothsayer@example.org
...
...     Beware the Ides of March.
...     """)
>>> server.quit()
```

(Notez que le deuxième exemple a besoin d'un serveur mail tournant localement.)

## 10.8 Dates et heures

Le module `datetime` propose des classes pour manipuler les dates et les heures de manière simple ou plus complexe. Bien que faire des calculs de dates et d'heures soit possible, la priorité de l'implémentation est mise sur l'extraction efficace des attributs pour le formatage et la manipulation. Le module gère aussi les objets dépendant des fuseaux horaires

```
>>> # dates are easily constructed and formatted
>>> from datetime import date
>>> now = date.today()
>>> now
datetime.date(2003, 12, 2)
>>> now.strftime("%m-%d-%y. %d %b %Y is a %A on the %d day of %B.")
'12-02-03. 02 Dec 2003 is a Tuesday on the 02 day of December.'

>>> # dates support calendar arithmetic
>>> birthday = date(1964, 7, 31)
>>> age = now - birthday
>>> age.days
14368
```



## 10.9 Compression de données

Les formats d'archivage et de compression les plus communs sont directement gérés par les modules `zlib`, `gzip`, `bz2`, `lzma`, `zipfile` et `tarfile`

```
>>> import zlib
>>> s = b'witch which has which witches wrist watch'
>>> len(s)
41
>>> t = zlib.compress(s)
>>> len(t)
37
>>> zlib.decompress(t)
b'witch which has which witches wrist watch'
>>> zlib.crc32(s)
226805979
```

## 10.10 Mesure des performances

Certains utilisateurs de Python sont très intéressés par les performances de différentes approches d'un même problème. Python propose un outil de mesure répondant simplement à ces questions.

Par exemple, pour échanger deux variables, il peut être tentant d'utiliser l'empaquetage et le dépaquetage de  $n$ -uplets plutôt que la méthode traditionnelle. Le module `timeit` montre rapidement le léger gain de performance obtenu :

```
>>> from timeit import Timer
>>> Timer('t=a; a=b; b=t', 'a=1; b=2').timeit()
0.57535828626024577
>>> Timer('a,b = b,a', 'a=1; b=2').timeit()
0.54962537085770791
```

En opposition à `timeit` et sa granularité fine, `profile` et `pstats` fournissent des outils permettant d'identifier les parties les plus gourmandes en temps d'exécution dans des volumes de code plus grands.

## 10.11 Contrôle qualité

Une approche possible pour développer des applications de très bonne qualité est d'écrire des tests pour chaque fonction au fur et à mesure de son développement, puis d'exécuter ces tests fréquemment lors du processus de développement.

Le module `doctest` cherche des tests dans les chaînes de documentation. Un test ressemble à un simple copier-coller d'un appel et son résultat depuis le mode interactif. Cela améliore la documentation en fournissant des exemples tout en prouvant qu'ils sont justes :

```
def average(values):
    """Computes the arithmetic mean of a list of numbers.

    >>> print(average([20, 30, 70]))
    40.0
    """
    return sum(values) / len(values)

import doctest
doctest.testmod() # automatically validate the embedded tests
```

Le module `unittest` requiert plus d'efforts que le module `doctest` mais il permet de construire un jeu de tests plus complet que l'on fait évoluer dans un fichier séparé :

```
import unittest

class TestStatisticalFunctions(unittest.TestCase):

    def test_average(self):
        self.assertEqual(average([20, 30, 70]), 40.0)
        self.assertEqual(round(average([1, 5, 7]), 1), 4.3)
        with self.assertRaises(ZeroDivisionError):
            average([])
        with self.assertRaises(TypeError):
            average(20, 30, 70)

unittest.main() # Calling from the command line invokes all tests
```

## 10.12 Piles fournies

Python adopte le principe des "piles fournies". Vous pouvez le constater au travers des fonctionnalités évoluées et solides fournies par ses plus gros paquets. Par exemple :

- The `xmlrpc.client` and `xmlrpc.server` modules make implementing remote procedure calls into an almost trivial task. Despite the modules' names, no direct knowledge or handling of XML is needed.
- Le paquet `email` est une bibliothèque pour gérer les messages électroniques, incluant les MIME et autres encodages basés sur la [RFC 2822](#). Contrairement à `smtplib` et `poplib` qui envoient et reçoivent des messages, le paquet `email` est une boîte à outils pour construire, lire des structures de messages complexes (comprenant des pièces jointes) ou implémenter des encodages et protocoles.
- Le paquet `json` permet de lire et d'écrire du JSON, format d'encodage de données répandu. Le module `csv` gère la lecture et l'écriture de données stockées sous forme de valeurs séparées par des virgules dans des fichiers (*Comma-Separated Values* en anglais), format typiquement interopérable avec les bases de données et les feuilles de calculs. Pour la lecture du XML, utilisez les paquets `xml.etree.ElementTree`, `xml.dom` et `xml.sax`. Combinés, ces modules et paquets simplifient grandement l'échange de données entre les applications Python et les autres outils.
- Le module `sqlite3` est une abstraction de la bibliothèque SQLite, permettant de manipuler une base de données persistante, accédée et manipulée en utilisant une syntaxe SQL quasi standard.
- L'internationalisation est possible grâce à de nombreux paquets tels que `gettext`, `locale` ou `codecs`.

---

## Survol de la bibliothèque standard -- Deuxième partie

---

Cette deuxième partie aborde des modules plus à destination des programmeurs professionnels. Ces modules sont rarement nécessaires dans de petits scripts.

### 11.1 Formatage de l'affichage

Le module `reprlib` est une variante de la fonction `repr()`, spécialisé dans l'affichage concis de conteneurs volumineux ou fortement imbriqués :

```
>>> import reprlib
>>> reprlib.repr(set('supercalifragilisticexpialidocious'))
{'a', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', ...}"
```

Le module `pprint` propose un contrôle plus fin de l'affichage des objets, aussi bien natifs que ceux définis par l'utilisateur, de manière à être lisible par l'interpréteur. Lorsque le résultat fait plus d'une ligne, il est séparé sur plusieurs lignes et est indenté pour rendre la structure plus visible :

```
>>> import pprint
>>> t = [[['black', 'cyan'], 'white', ['green', 'red']], [['magenta',
...     'yellow'], 'blue']]
...
>>> pprint.pprint(t, width=30)
[[['black', 'cyan'],
  'white',
  ['green', 'red']],
 [['magenta', 'yellow'],
  'blue']]
```

Le module `textwrap` formate des paragraphes de texte pour tenir sur un écran d'une largeur donnée :

```
>>> import textwrap
>>> doc = """The wrap() method is just like fill() except that it returns
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
... a list of strings instead of one big string with newlines to separate
... the wrapped lines."""
...
>>> print(textwrap.fill(doc, width=40))
The wrap() method is just like fill()
except that it returns a list of strings
instead of one big string with newlines
to separate the wrapped lines.
```

Le module `locale` utilise une base de données des formats spécifiques à chaque région pour les dates, nombres, etc. L'attribut `grouping` de la fonction de formatage permet de formater directement des nombres avec un séparateur :

```
>>> import locale
>>> locale.setlocale(locale.LC_ALL, 'English_United States.1252')
'English_United States.1252'
>>> conv = locale.localeconv()           # get a mapping of conventions
>>> x = 1234567.8
>>> locale.format("%d", x, grouping=True)
'1,234,567'
>>> locale.format_string("%s%.*f", (conv['currency_symbol'],
...                               conv['frac_digits'], x), grouping=True)
'$1,234,567.80'
```

## 11.2 Gabarits (*templates* en anglais)

Le module `string` contient une classe polyvalente : `Template`. Elle permet d'écrire des gabarits (*templates* en anglais) avec une syntaxe simple, dans le but d'être utilisable par des non-développeurs. Ainsi, vos utilisateurs peuvent personnaliser leur application sans la modifier.

Le format utilise des marqueurs formés d'un `$` suivi d'un identifiant Python valide (caractères alphanumériques et tirets-bas). Entourer le marqueur d'accolades permet de lui coller d'autres caractères alphanumériques sans intercaler une espace. Écrire `$$` produit un simple `$` :

```
>>> from string import Template
>>> t = Template('${village}folk send $$10 to $cause.')
>>> t.substitute(village='Nottingham', cause='the ditch fund')
'Nottinghamfolk send $10 to the ditch fund.'
```

La méthode `substitute()` lève une exception `KeyError` lorsqu'un marqueur n'a pas été fourni, ni dans un dictionnaire, ni sous forme d'un paramètre nommé. Dans certains cas, lorsque la donnée à appliquer peut n'être fournie que partiellement par l'utilisateur, la méthode `safe_substitute()` est plus appropriée car elle laisse tels quels les marqueurs manquants :

```
>>> t = Template('Return the $item to $owner.')
>>> d = dict(item='unladen swallow')
>>> t.substitute(d)
Traceback (most recent call last):
...
KeyError: 'owner'
>>> t.safe_substitute(d)
'Return the unladen swallow to $owner.'
```

Les classes filles de `Template` peuvent définir leur propre délimiteur. Typiquement, un script de renommage de photos par lots peut choisir le symbole pourcent comme marqueur pour les champs tels que la date actuelle, le numéro de l'image

ou son format :

```
>>> import time, os.path
>>> photofiles = ['img_1074.jpg', 'img_1076.jpg', 'img_1077.jpg']
>>> class BatchRename(Template):
...     delimiter = '%'
>>> fmt = input('Enter rename style (%d-date %n-seqnum %f-format): ')
Enter rename style (%d-date %n-seqnum %f-format): Ashley_%n%f

>>> t = BatchRename(fmt)
>>> date = time.strftime('%d%b%y')
>>> for i, filename in enumerate(photofiles):
...     base, ext = os.path.splitext(filename)
...     newname = t.substitute(d=date, n=i, f=ext)
...     print('{0} --> {1}'.format(filename, newname))

img_1074.jpg --> Ashley_0.jpg
img_1076.jpg --> Ashley_1.jpg
img_1077.jpg --> Ashley_2.jpg
```

Une autre utilisation des gabarits consiste à séparer la logique métier des détails spécifiques à chaque format de sortie. Il est ainsi possible de générer des gabarits spécifiques pour les fichiers XML, texte, HTML...

## 11.3 Traitement des données binaires

Le module `struct` expose les fonctions `pack()` et `unpack()` permettant de travailler avec des données binaires. L'exemple suivant montre comment parcourir un entête de fichier ZIP sans recourir au module `zipfile`. Les marqueurs "H" et "I" représentent des nombres entiers non signés, stockés respectivement sur deux et quatre octets. Le "<" indique qu'ils ont une taille standard et utilisent la convention petit-boutiste :

```
import struct

with open('myfile.zip', 'rb') as f:
    data = f.read()

start = 0
for i in range(3):
    # show the first 3 file headers
    start += 14
    fields = struct.unpack('<IIIHH', data[start:start+16])
    crc32, comp_size, uncomp_size, filenamesize, extra_size = fields

    start += 16
    filename = data[start:start+filenamesize]
    start += filenamesize
    extra = data[start:start+extra_size]
    print(filename, hex(crc32), comp_size, uncomp_size)

    start += extra_size + comp_size    # skip to the next header
```

## 11.4 Fils d'exécution

Des tâches indépendantes peuvent être exécutées de manière non séquentielle en utilisant des fils d'exécution (*threading* en anglais). Les fils d'exécution peuvent être utilisés pour améliorer la réactivité d'une application qui interagit avec l'utilisateur pendant que d'autres traitements sont exécutés en arrière-plan. Une autre utilisation typique est de séparer sur deux fils d'exécution distincts les entrées / sorties et le calcul.

Le code suivant donne un exemple d'utilisation du module `threading` exécutant des tâches en arrière-plan pendant que le programme principal continue de s'exécuter :

```
import threading, zipfile

class AsyncZip(threading.Thread):
    def __init__(self, infile, outfile):
        threading.Thread.__init__(self)
        self.infile = infile
        self.outfile = outfile

    def run(self):
        f = zipfile.ZipFile(self.outfile, 'w', zipfile.ZIP_DEFLATED)
        f.write(self.infile)
        f.close()
        print('Finished background zip of:', self.infile)

background = AsyncZip('mydata.txt', 'myarchive.zip')
background.start()
print('The main program continues to run in foreground.')

background.join()    # Wait for the background task to finish
print('Main program waited until background was done.')
```

Le principal défi des applications avec plusieurs fils d'exécution consiste à coordonner ces fils qui partagent des données ou des ressources. Pour ce faire, le module `threading` expose quelques outils dédiés à la synchronisation comme les verrous (*locks* en anglais), les événements (*events* en anglais), les variables conditionnelles (*condition variables* en anglais) et les sémaphores (*semaphore* en anglais).

Bien que ces outils soient puissants, de petites erreurs de conception peuvent engendrer des problèmes difficiles à reproduire. Donc, l'approche classique pour coordonner des tâches est de restreindre l'accès d'une ressource à un seul fil d'exécution et d'utiliser le module `queue` pour alimenter ce fil d'exécution en requêtes venant d'autres fils d'exécution. Les applications utilisant des `Queue` pour leurs communication et coordination entre fils d'exécution sont plus simples à concevoir, plus lisibles et plus fiables.

## 11.5 Journalisation

Le module `logging` est un système de journalisation complet. Dans son utilisation la plus élémentaire, les messages sont simplement envoyés dans un fichier ou sur `sys.stderr` :

```
import logging
logging.debug('Debugging information')
logging.info('Informational message')
logging.warning('Warning:config file %s not found', 'server.conf')
logging.error('Error occurred')
logging.critical('Critical error -- shutting down')
```

Cela produit l'affichage suivant :

```
WARNING:root:Warning:config file server.conf not found
ERROR:root:Error occurred
CRITICAL:root:Critical error -- shutting down
```

Par défaut, les messages d'information et de débogage sont ignorés, les autres sont envoyés vers la sortie standard. Il est aussi possible d'envoyer les messages par courriel, datagrammes, en utilisant des connecteurs réseau ou vers un serveur HTTP. Des nouveaux filtres permettent d'utiliser des sorties différentes en fonction de la priorité du message : DEBUG, INFO, WARNING, ERROR et CRITICAL.

La configuration de la journalisation peut être effectuée directement dans le code Python ou peut être chargée depuis un fichier de configuration, permettant de personnaliser la journalisation sans modifier l'application.

## 11.6 Références faibles

Python gère lui-même la mémoire (par comptage des références pour la plupart des objets et en utilisant un *ramasse-miettes* (*garbage collector* en anglais) pour éliminer les cycles). La mémoire est libérée rapidement lorsque sa dernière référence est supprimée.

Cette approche fonctionne bien pour la majorité des applications mais, parfois, il est nécessaire de surveiller un objet seulement durant son utilisation par quelque chose d'autre. Malheureusement, le simple fait de le suivre crée une référence qui rend l'objet permanent. Le module `weakref` expose des outils pour suivre les objets sans pour autant créer une référence. Lorsqu'un objet n'est pas utilisé, il est automatiquement supprimé du tableau des références faibles et une fonction de rappel (*callback* en anglais) est appelée. Un exemple typique est le cache d'objets coûteux à créer :

```
>>> import weakref, gc
>>> class A:
...     def __init__(self, value):
...         self.value = value
...     def __repr__(self):
...         return str(self.value)
...
>>> a = A(10)                                # create a reference
>>> d = weakref.WeakValueDictionary()
>>> d['primary'] = a                          # does not create a reference
>>> d['primary']                              # fetch the object if it is still alive
10
>>> del a                                    # remove the one reference
>>> gc.collect()                             # run garbage collection right away
0
>>> d['primary']                             # entry was automatically removed
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
    d['primary']                             # entry was automatically removed
  File "C:/python39/lib/weakref.py", line 46, in __getitem__
    o = self.data[key]()
KeyError: 'primary'
```

## 11.7 Outils pour les listes

Beaucoup de structures de données peuvent être représentées avec les listes natives. Cependant, d'autres besoins peuvent émerger pour des structures ayant des caractéristiques différentes, typiquement en termes de performance.

Le module `array` fournit un objet `array()` ne permettant de stocker que des listes homogènes mais d'une manière plus compacte. L'exemple suivant montre une liste de nombres stockés chacun sur deux octets non signés (marqueur "H") plutôt que d'utiliser 16 octets comme l'aurait fait une liste classique :

```
>>> from array import array
>>> a = array('H', [4000, 10, 700, 22222])
>>> sum(a)
26932
>>> a[1:3]
array('H', [10, 700])
```

Le module `collections` fournit la classe `deque()`. Elle ressemble à une liste mais est plus rapide pour l'insertion ou l'extraction des éléments par la gauche et plus lente pour accéder aux éléments du milieu. Ces objets sont particulièrement adaptés pour construire des queues ou des algorithmes de parcours d'arbres en largeur (ou BFS, pour *Breadth First Search* en anglais) :

```
>>> from collections import deque
>>> d = deque(["task1", "task2", "task3"])
>>> d.append("task4")
>>> print("Handling", d.popleft())
Handling task1
```

```
unsearched = deque([starting_node])
def breadth_first_search(unsearched):
    node = unsearched.popleft()
    for m in gen_moves(node):
        if is_goal(m):
            return m
    unsearched.append(m)
```

En plus de fournir des implémentations de listes alternatives, la bibliothèque fournit des outils tels que `bisect`, un module contenant des fonctions de manipulation de listes triées :

```
>>> import bisect
>>> scores = [(100, 'perl'), (200, 'tcl'), (400, 'lua'), (500, 'python')]
>>> bisect.insort(scores, (300, 'ruby'))
>>> scores
[(100, 'perl'), (200, 'tcl'), (300, 'ruby'), (400, 'lua'), (500, 'python')]
```

Le module `heapq` permet d'implémenter des tas (*heap* en anglais) à partir de simples listes. La valeur la plus faible est toujours à la première position (indice 0). C'est utile dans les cas où l'application accède souvent à l'élément le plus petit mais sans vouloir classer entièrement la liste :

```
>>> from heapq import heapify, heappop, heappush
>>> data = [1, 3, 5, 7, 9, 2, 4, 6, 8, 0]
>>> heapify(data) # rearrange the list into heap order
>>> heappush(data, -5) # add a new entry
>>> [heappop(data) for i in range(3)] # fetch the three smallest entries
[-5, 0, 1]
```



## 11.8 Arithmétique décimale à virgule flottante

Le module `decimal` exporte la classe `Decimal` : elle est spécialisée dans le calcul de nombres décimaux représentés en virgule flottante. Par rapport à la classe native `float`, elle est particulièrement utile pour :

- les applications traitant de finance et autres utilisations nécessitant une représentation décimale exacte,
- le contrôle de la précision,
- le contrôle sur les arrondis pour répondre à des obligations légales ou réglementaires,
- suivre les décimales significatives, ou
- les applications pour lesquelles l'utilisateur attend des résultats identiques aux calculs faits à la main.

Par exemple, calculer 5 % de taxe sur une facture de 70 centimes donne un résultat différent en nombre à virgule flottante binaire et décimale. La différence devient significative lorsqu'on arrondit le résultat au centime près :

```
>>> from decimal import *
>>> round(Decimal('0.70') * Decimal('1.05'), 2)
Decimal('0.74')
>>> round(.70 * 1.05, 2)
0.73
```

Le résultat d'un calcul donné par `Decimal` conserve les zéros non-significatifs. La classe conserve automatiquement quatre décimales significatives pour des opérandes à deux décimales significatives. La classe `Decimal` imite les mathématiques telles qu'elles pourraient être effectuées à la main, évitant les problèmes typiques de l'arithmétique binaire à virgule flottante qui n'est pas capable de représenter exactement certaines quantités décimales.

La représentation exacte de la classe `Decimal` lui permet de faire des calculs de modulo ou des tests d'égalité qui ne seraient pas possibles avec une représentation à virgule flottante binaire :

```
>>> Decimal('1.00') % Decimal('.10')
Decimal('0.00')
>>> 1.00 % 0.10
0.09999999999999995

>>> sum([Decimal('0.1')]*10) == Decimal('1.0')
True
>>> sum([0.1]*10) == 1.0
False
```

Le module `decimal` permet de faire des calculs avec autant de précision que nécessaire :

```
>>> getcontext().prec = 36
>>> Decimal(1) / Decimal(7)
Decimal('0.142857142857142857142857142857142857')
```



---

## Environnements virtuels et paquets

---

### 12.1 Introduction

Les programmes Python utilisent souvent des paquets et modules qui ne font pas partie de la bibliothèque standard. Ils nécessitent aussi, parfois, une version spécifique d'une bibliothèque, par exemple parce qu'un certain bogue a été corrigé ou encore que le programme a été implémenté en utilisant une version obsolète de l'interface de cette bibliothèque.

Cela signifie qu'il n'est pas toujours possible, pour une installation unique de Python, de couvrir tous les besoins de toutes les applications. Basiquement, si une application A dépend de la version 1.0 d'un module et qu'une application B dépend de la version 2.0, ces dépendances entrent en conflit et installer la version 1.0 ou 2.0 laisse une des deux applications incapable de fonctionner.

La solution est de créer un *environnement virtuel*, un dossier auto-suffisant qui contient une installation de Python pour une version particulière de Python ainsi que des paquets additionnels.

Différentes applications peuvent alors utiliser des environnements virtuels différents. Pour résoudre l'exemple précédent où il existe un conflit de dépendances, l'application A a son environnement virtuel avec la version 1.0 installée pendant que l'application B a un autre environnement virtuel avec la version 2.0. Si l'application B requiert que la bibliothèque soit mise à jour à la version 3.0, cela n'affecte pas l'environnement de A.

### 12.2 Création d'environnements virtuels

Le module utilisé pour créer et gérer des environnements virtuels s'appelle `venv`. `venv` installe en général la version de Python la plus récente dont vous disposez. Si plusieurs versions de Python sont sur votre système, vous pouvez choisir une version particulière en exécutant `python3.X` où X indique la version de votre choix.

Pour créer un environnement virtuel, décidez d'un dossier où vous voulez le placer et exécutez le module `venv` comme un script avec le chemin du dossier :

```
python3 -m venv tutorial-env
```

Cela crée le dossier `tutorial-env` (s'il n'existe pas) et des sous-dossiers contenant une copie de l'interpréteur Python, de la bibliothèque standard et quelques autres fichiers utiles.

Un répertoire habituel pour un environnement virtuel est `.venv`. Ce nom fait que le répertoire est généralement caché dans votre explorateur de fichiers, et donc non gênant, tout en lui donnant un nom qui explique pourquoi le répertoire existe. Il empêche également de rentrer en conflit avec les fichiers de définition de variable d'environnement `.env` que certains outils utilisent.

Une fois l'environnement virtuel créé, vous pouvez l'activer.

Sur Windows, lancez :

```
tutorial-env\Scripts\activate.bat
```

Sur Unix et MacOS, lancez :

```
source tutorial-env/bin/activate
```

(Ce script est écrit pour le shell **bash**. Si vous utilisez **csh** ou **fish**, utilisez les variantes `activate.csh` ou `activate.fish`.)

Activer l'environnement virtuel change le prompt de votre ligne de commande pour afficher le nom de l'environnement virtuel que vous utilisez. Cela modifie aussi l'environnement afin, lorsque vous tapez `python`, d'exécuter la version spécifique de Python installée dans l'environnement. Par exemple :

```
$ source ~/envs/tutorial-env/bin/activate
(tutorial-env) $ python
Python 3.5.1 (default, May 6 2016, 10:59:36)
...
>>> import sys
>>> sys.path
['', '/usr/local/lib/python35.zip', ...,
 '~/envs/tutorial-env/lib/python3.5/site-packages']
>>>
```

## 12.3 Gestion des paquets avec *pip*

You can install, upgrade, and remove packages using a program called **pip**. By default `pip` will install packages from the Python Package Index, <<https://pypi.org>>. You can browse the Python Package Index by going to it in your web browser.

`pip` a plusieurs sous-commandes : `install`, `uninstall`, `freeze`, etc. Consultez le guide `installing-index` pour une documentation exhaustive sur `pip`.

Vous pouvez installer la dernière version d'un paquet en indiquant son nom :

```
(tutorial-env) $ python -m pip install novas
Collecting novas
  Downloading novas-3.1.1.3.tar.gz (136kB)
Installing collected packages: novas
  Running setup.py install for novas
Successfully installed novas-3.1.1.3
```

Vous pouvez installer une version spécifique d'un paquet en donnant le nom du paquet suivi de `==` et du numéro de version souhaitée :

```
(tutorial-env) $ python -m pip install requests==2.6.0
Collecting requests==2.6.0
  Using cached requests-2.6.0-py2.py3-none-any.whl
Installing collected packages: requests
Successfully installed requests-2.6.0
```

Si vous relancez cette commande, `pip` remarque que la version demandée est déjà installée et ne fait rien. Vous pouvez fournir un numéro de version différent pour récupérer cette version ou lancer `pip install --upgrade` pour mettre à jour le paquet à la dernière version :

```
(tutorial-env) $ python -m pip install --upgrade requests
Collecting requests
Installing collected packages: requests
  Found existing installation: requests 2.6.0
    Uninstalling requests-2.6.0:
      Successfully uninstalled requests-2.6.0
Successfully installed requests-2.7.0
```

`pip uninstall` suivi d'un ou plusieurs noms de paquets les supprime de votre environnement virtuel.

`pip show` affiche des informations à propos d'un paquet précis :

```
(tutorial-env) $ pip show requests
---
Metadata-Version: 2.0
Name: requests
Version: 2.7.0
Summary: Python HTTP for Humans.
Home-page: http://python-requests.org
Author: Kenneth Reitz
Author-email: me@kennethreitz.com
License: Apache 2.0
Location: /Users/akuchling/envs/tutorial-env/lib/python3.4/site-packages
Requires:
```

`pip list` liste tous les paquets installés dans l'environnement virtuel :

```
(tutorial-env) $ pip list
novas (3.1.1.3)
numpy (1.9.2)
pip (7.0.3)
requests (2.7.0)
setuptools (16.0)
```

`pip freeze` produit une liste similaire des paquets installés mais l'affichage adopte un format que `pip install` peut lire. La convention habituelle est de mettre cette liste dans un fichier `requirements.txt` :

```
(tutorial-env) $ pip freeze > requirements.txt
(tutorial-env) $ cat requirements.txt
novas==3.1.1.3
numpy==1.9.2
requests==2.7.0
```

Le fichier `requirements.txt` peut alors être ajouté dans un système de gestion de versions comme faisant partie de votre application. Les utilisateurs peuvent alors installer tous les paquets nécessaires à l'application avec `install -r` :

```
(tutorial-env) $ python -m pip install -r requirements.txt
Collecting novas==3.1.1.3 (from -r requirements.txt (line 1))
...
Collecting numpy==1.9.2 (from -r requirements.txt (line 2))
...
Collecting requests==2.7.0 (from -r requirements.txt (line 3))
...
Installing collected packages: novas, numpy, requests
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
Running setup.py install for novas
Successfully installed novas-3.1.1.3 numpy-1.9.2 requests-2.7.0
```

`pip` reconnaît beaucoup d'autres options, documentées dans le guide [installing-index](#). Lorsque vous avez écrit un paquet, si vous voulez le rendre disponible sur PyPI, lisez le guide [distributing-index](#).

# CHAPITRE 13

---

## Pour aller plus loin

---

La lecture de ce tutoriel a probablement renforcé votre intérêt pour Python et vous devez être impatient de l'utiliser pour résoudre des vrais problèmes. Où aller pour en apprendre plus ?

Ce tutoriel fait partie de la documentation de Python, et la documentation de Python est vaste :

- `library-index` :

Nous vous conseillons de naviguer dans le manuel, c'est une référence complète (quoique laconique) sur les types, fonctions et modules de la bibliothèque standard. La distribution standard de Python inclut *énormément* de code supplémentaire. Il existe des modules pour lire les courriels, récupérer des documents *via* HTTP, générer des nombres aléatoires, analyser les paramètres de la ligne de commande, écrire des programmes CGI, compresser des données et beaucoup d'autres fonctions. Une balade dans la documentation de la bibliothèque vous donnera une idée de ce qui est disponible.

- `installing-index` explique comment installer des paquets écrits par d'autres utilisateurs de Python.
- `reference-index` contient une explication détaillée de la syntaxe et sémantique de Python. C'est une lecture fastidieuse, mais elle a sa place dans une documentation exhaustive.

D'autres ressources :

- <https://www.python.org> est le site principal pour Python. Il contient du code, de la documentation, des liens vers d'autres sites traitant de Python partout sur Internet. Il est répliqué dans différents endroits autour du globe, comme en Europe, au Japon et en Australie. Ces répliques peuvent dans certains cas être plus rapides que le site principal, en fonction de l'endroit où vous vous trouvez.
- <https://docs.python.org/fr/> offre un accès rapide à la documentation de Python en français.
- <https://pypi.org> (*The Python Package Index* en anglais, pour le "répertoire des paquets Python") : auparavant surnommé "La Fromagerie"<sup>1</sup> (*The Cheese Shop* en anglais), c'est un catalogue de modules Python disponibles au téléchargement, construit par les utilisateurs. Lorsque vous commencez à distribuer du code, vous pouvez l'inscrire ici afin que les autres puissent le trouver.
- <https://code.activestate.com/recipes/langs/python/> : "The Python Cookbook" est un recueil assez imposant d'exemples de code, de modules et de scripts. Les contributions les plus remarquables y sont regroupées dans le livre "Python Cookbook" (O'Reilly & Associates, ISBN 0-596-00797-3).
- <http://www.pyvideo.org> regroupe des liens vers des vidéos relatives à Python, enregistrées lors de conférences ou de réunions de groupes d'utilisateurs.

---

1. « Cheese Shop » est un sketch de Monty Python : un client entre dans une fromagerie, mais peu importe le fromage que demande le client, le vendeur dit qu'il n'en a pas.

- <https://scipy.org> : le projet "The Scientific Python" contient des modules pour manipuler et calculer rapidement sur des tableaux. Le projet héberge aussi divers paquets sur l'algèbre linéaire, les transformées de Fourier, des résolveurs non-linéaires, différentes distributions de nombres aléatoires, l'analyse statistique et d'autres choses du domaine scientifique.

Pour poser des questions ou remonter des problèmes liés à Python, vous pouvez écrire sur le forum *comp.lang.python* ou les envoyer à la liste de diffusion [<python-list@python.org>](mailto:python-list@python.org). Le forum et la liste de diffusion sont liées, un message publié sur l'un sera automatiquement transféré sur l'autre. Des centaines de messages y sont publiés chaque jour, posant (ou répondant à) des questions, suggérant de nouvelles fonctionnalités et annonçant des nouveaux modules. Les archives sont disponibles à <https://mail.python.org/pipermail/>.

Avant de publier un message, assurez-vous d'avoir lu la liste de la Foire Aux Questions (aussi appelée FAQ). La FAQ répond à beaucoup de questions fréquentes et contient probablement une solution à votre problème.

## Notes



---

## Édition interactive des entrées et substitution d'historique

---

Certaines versions de l'interpréteur Python prennent en charge l'édition de la ligne d'entrée courante et la substitution d'historique, similaires aux facilités que l'on trouve dans le shell Korn et dans le shell GNU Bash. Ces implémentations utilisent la bibliothèque [GNU Readline](#), qui gère plusieurs styles d'édition. La bibliothèque a sa propre documentation, nous ne la dupliquons pas ici.

### 14.1 Complétion automatique et édition de l'historique

La complétion de noms de variables et de modules est automatiquement activée au démarrage de l'interpréteur. Ainsi, la touche `Tab` invoque la fonction de complétion ; la recherche s'effectue dans les noms d'instructions Python, les noms des variables locales et les noms de modules disponibles. Pour les expressions pointées telles que `string.a`, l'expression est évaluée jusqu'au dernier `' . '` avant de suggérer les options disponibles à partir des attributs de l'objet résultant de cette évaluation. Notez bien que ceci peut exécuter une partie du code de l'application si un objet disposant d'une méthode `__getattr__()` fait partie de l'expression. La configuration par défaut sauvegarde l'historique dans un fichier nommé `.python_history` dans votre dossier d'utilisateur. L'historique est ainsi conservé entre les sessions interactives successives.

### 14.2 Alternatives à l'interpréteur interactif

Cette facilité constitue un énorme pas en avant comparé aux versions précédentes de l'interpréteur. Toutefois, il reste des fonctions à implémenter comme l'indentation correcte sur les lignes de continuation (l'analyseur sait si une indentation doit suivre) ; le mécanisme de complétion devrait utiliser la table de symboles de l'interpréteur. Une commande pour vérifier (ou même suggérer) les correspondances de parenthèses, de guillemets, etc., serait également utile.

Une alternative améliorée de l'interpréteur interactif est développée depuis maintenant quelques temps : [IPython](#). Il fournit la complétion, l'exploration d'objets et une gestion avancée de l'historique. Il peut également être personnalisé en profondeur et embarqué dans d'autres applications. Un autre environnement interactif amélioré similaire est [bpython](#).



---

## Arithmétique en nombres à virgule flottante : problèmes et limites

---

Les nombres à virgule flottante sont représentés, au niveau matériel, en fractions de nombres binaires (base 2). Par exemple, la fraction décimale

0.125

a la valeur  $1/10 + 2/100 + 5/1000$  et, de la même manière, la fraction binaire

0.001

a la valeur  $0/2 + 0/4 + 1/8$ . Ces deux fractions ont une valeur identique, la seule différence est que la première est une fraction décimale, la seconde est une fraction binaire.

Malheureusement, la plupart des fractions décimales ne peuvent pas avoir de représentation exacte en fractions binaires. Par conséquent, en général, les nombres à virgule flottante que vous donnez sont seulement approximés en fractions binaires pour être stockés dans la machine.

Le problème est plus simple à aborder en base 10. Prenons par exemple, la fraction  $1/3$ . Vous pouvez l'approximer en une fraction décimale :

0.3

ou, mieux,

0.33

ou, mieux,

0.333

etc. Peu importe le nombre de décimales que vous écrivez, le résultat ne vaut jamais exactement  $1/3$ , mais c'est une estimation s'en approchant toujours mieux.

De la même manière, peu importe combien de décimales en base 2 vous utilisez, la valeur décimale 0.1 ne peut pas être représentée exactement en fraction binaire. En base 2,  $1/10$  est le nombre périodique suivant

```
0.00011001100110011001100110011001100110011001100110011...
```

En se limitant à une quantité finie de bits, on ne peut obtenir qu'une approximation. Sur la majorité des machines aujourd'hui, les nombres à virgule flottante sont approximés par une fraction binaire avec les 53 premiers bits comme numérateur et une puissance de deux au dénominateur. Dans le cas de  $1/10$ , la fraction binaire est  $3602879701896397 / 2^{55}$  qui est proche mais ne vaut pas exactement  $1/10$ .

Du fait de la manière dont les flottants sont affichés par l'interpréteur, il est facile d'oublier que la valeur stockée est une approximation de la fraction décimale d'origine. Python n'affiche qu'une approximation décimale de la valeur stockée en binaire. Si Python devait afficher la vraie valeur décimale de l'approximation binaire stockée pour 0,1, il afficherait

```
>>> 0.1
0.1000000000000000055511151231257827021181583404541015625
```

C'est bien plus de décimales que ce qu'attendent la plupart des utilisateurs, donc Python affiche une valeur arrondie afin d'améliorer la lisibilité

```
>>> 1 / 10
0.1
```

Rappelez-vous simplement que, bien que la valeur affichée ressemble à la valeur exacte de  $1/10$ , la valeur stockée est la représentation la plus proche en fraction binaire.

Il existe beaucoup de nombres décimaux qui partagent une même approximation en fraction binaire. Par exemple, 0.1, 0.10000000000000001 et 0.1000000000000000055511151231257827021181583404541015625 ont tous pour approximation  $3602879701896397 / 2^{55}$ . Puisque toutes ces valeurs décimales partagent la même approximation, chacune peut être affichée tout en respectant `eval(repr(x)) == x`.

Historiquement, le mode interactif de Python et la primitive `repr()` choisissaient la version avec 17 décimales significatives, 0.10000000000000001. Python, depuis la version 3.1 (sur la majorité des systèmes) est maintenant capable de choisir la plus courte représentation et n'affiche que 0.1.

Ce comportement est inhérent à la nature même de la représentation des nombres à virgule flottante dans la machine : ce n'est pas un bogue dans Python et ce n'est pas non plus un bogue dans votre code. Vous pouvez observer le même type de comportement dans tous les autres langages utilisant le support matériel pour le calcul des nombres à virgule flottante (bien que certains langages ne rendent pas visible la différence par défaut, ou pas dans tous les modes d'affichage).

Pour obtenir un affichage plus plaisant, les fonctions de formatage de chaînes de caractères peuvent limiter le nombre de décimales significatives affichées :

```
>>> format(math.pi, '.12g')  # give 12 significant digits
'3.14159265359'

>>> format(math.pi, '.2f')   # give 2 digits after the point
'3.14'

>>> repr(math.pi)
'3.141592653589793'
```

Il est important de comprendre que tout cela n'est, au sens propre, qu'une illusion : vous demandez simplement à Python d'arrondir la valeur stockée réellement dans la machine à l'affichage.

Une autre conséquence du fait que 0,1 n'est pas exactement stocké  $1/10$  est que la somme de trois valeurs de 0,1 ne donne pas 0,3 non plus :

```
>>> .1 + .1 + .1 == .3
False
```

Aussi, puisque 0,1 ne peut pas être stocké avec une représentation plus proche de sa valeur exacte 1/10, comme 0,3 qui ne peut pas être plus proche de sa valeur exacte 3/10, arrondir au préalable avec la fonction `round()` n'aide en rien :

```
>>> round(.1, 1) + round(.1, 1) + round(.1, 1) == round(.3, 1)
False
```

Bien que les nombres ne peuvent se rapprocher plus de la valeur qu'on attend qu'ils aient, la fonction `round()` peut être utile à postériori pour arrondir deux valeurs inexactes et pouvoir les comparer :

```
>>> round(.1 + .1 + .1, 10) == round(.3, 10)
True
```

Binary floating-point arithmetic holds many surprises like this. The problem with "0.1" is explained in precise detail below, in the "Representation Error" section. See [The Perils of Floating Point](#) for a more complete account of other common surprises.

Même s'il est vrai qu'il n'existe pas de réponse simple, ce n'est pas la peine de vous méfier outre mesure des nombres à virgule flottante ! Les erreurs, en Python, dans les opérations de nombres à virgule flottante sont dues au matériel sous-jacent et, sur la plupart des machines, sont de l'ordre de  $1 \text{ sur } 2^{53}$  par opération. C'est plus que suffisant pour la plupart des tâches, mais vous devez garder à l'esprit que ce ne sont pas des opérations décimales et que chaque opération sur des nombres à virgule flottante peut souffrir d'une nouvelle erreur.

Bien que des cas pathologiques existent, pour la plupart des cas d'utilisations courants vous obtiendrez le résultat attendu à la fin en arrondissant simplement au nombre de décimales désirées à l'affichage avec `str()`. Pour un contrôle fin sur la manière dont les décimales sont affichées, consultez dans `formatstrings` les spécifications de formatage de la méthode `str.format()`.

Pour les cas requérant une représentation décimale exacte, le module `decimal` peut être utile : il implémente l'arithmétique décimale et peut donc être un choix adapté pour des applications nécessitant une grande précision.

Une autre forme d'arithmétique exacte est implémentée dans le module `fractions` qui se base sur les nombres rationnels (donc 1/3 peut y être représenté exactement).

Si vous êtes un utilisateur intensif des opérations sur les nombres à virgule flottante, nous vous conseillons de considérer le paquet *NumPy* ainsi que les paquets pour les opérations statistiques et mathématiques fournis par le projet *SciPy*. Consultez <https://scipy.org>.

Python fournit des outils qui peuvent être utiles dans les rares occasions où vous voulez réellement connaître la valeur exacte d'un nombre à virgule flottante. La méthode `float.as_integer_ratio()` donne la valeur du nombre sous forme de fraction :

```
>>> x = 3.14159
>>> x.as_integer_ratio()
(3537115888337719, 1125899906842624)
```

Puisque le ratio est exact, il peut être utilisé pour recréer la valeur originale sans perte :

```
>>> x == 3537115888337719 / 1125899906842624
True
```

La méthode `float.hex()` donne le nombre en hexadécimal (base 16), donnant ici aussi la valeur exacte stockée par la machine :

```
>>> x.hex()
'0x1.921f9f01b866ep+1'
```

Cette représentation hexadécimale peut être utilisée pour reconstruire, sans approximation, le *float* :

```
>>> x == float.fromhex('0x1.921f9f01b866ep+1')
True
```

Puisque cette représentation est exacte, elle est pratique pour échanger des valeurs entre différentes versions de Python (indépendamment de la machine) ou d'autres langages qui comprennent ce format (tels que Java et C99).

Une autre fonction utile est `math.fsum()`, elle aide à diminuer les pertes de précision lors des additions. Elle surveille les *décimales perdues* au fur et à mesure que les valeurs sont ajoutées au total. Cela peut faire une différence au niveau de la précision globale en empêchant les erreurs de s'accumuler jusqu'à affecter le résultat final :

```
>>> sum([0.1] * 10) == 1.0
False
>>> math.fsum([0.1] * 10) == 1.0
True
```

## 15.1 Erreurs de représentation

Cette section explique en détail l'exemple du « 0.1 » et montre comment vous pouvez effectuer une analyse exacte de ce type de cas par vous-même. Nous supposons que la représentation binaire des nombres flottants vous est familière.

Le terme *Erreur de représentation* (*representation error* en anglais) signifie que la plupart des fractions décimales ne peuvent être représentées exactement en binaire. C'est la principale raison pour laquelle Python (ou Perl, C, C++, Java, Fortran et beaucoup d'autres) n'affiche habituellement pas le résultat exact en décimal.

Pourquoi ?  $1/10$  n'est pas représentable de manière exacte en fraction binaire. Cependant, toutes les machines d'aujourd'hui (novembre 2000) suivent la norme IEEE-754 en ce qui concerne l'arithmétique des nombres à virgule flottante et la plupart des plateformes utilisent un « IEEE-754 double précision » pour représenter les *floats* de Python. Les « IEEE-754 double précision » utilisent 53 bits de précision donc, à la lecture, l'ordinateur essaie de convertir 0,1 dans la fraction la plus proche possible de la forme  $J/2^N$  avec  $J$  un nombre entier d'exactly 53 bits. Pour réécrire

```
1 / 10 ~= J / (2**N)
```

en

```
J ~= 2**N / 10
```

en se rappelant que  $J$  fait exactement 53 bits (donc  $\geq 2^{52}$  mais  $< 2^{53}$ ), la meilleure valeur possible pour  $N$  est 56 :

```
>>> 2**52 <= 2**56 // 10 < 2**53
True
```

Donc 56 est la seule valeur possible pour  $N$  qui laisse exactement 53 bits pour  $J$ . La meilleure valeur possible pour  $J$  est donc ce quotient, arrondi :

```
>>> q, r = divmod(2**56, 10)
>>> r
6
```

Puisque la retenue est plus grande que la moitié de 10, la meilleure approximation est obtenue en arrondissant par le haut :

```
>>> q+1
7205759403792794
```

Par conséquent la meilleure approximation possible pour 1/10 en « IEEE-754 double précision » est celle au-dessus de  $2^{*}56$ , soit :

$$7205759403792794 / 2^{**} 56$$

Diviser le numérateur et le dénominateur par deux réduit la fraction à :

```
3602879701896397 / 2 ** 55
```

Notez que puisque l'arrondi a été fait vers le haut, le résultat est en réalité légèrement plus grand que  $1/10$  ; si nous n'avions pas arrondi par le haut, le quotient aurait été légèrement plus petit que  $1/10$ . Mais dans aucun cas il ne vaut *exactement*  $1/10$  !

Donc l'ordinateur ne « voit » jamais  $1/10$  : ce qu'il voit est la fraction exacte donnée ci-dessus, la meilleure approximation utilisant les nombres à virgule flottante double précision de l'« IEEE-754 » :

```
>>> 0.1 * 2 ** 55
3602879701896397.0
```

Si nous multiplions cette fraction par  $10^{*}30$ , nous pouvons observer les valeurs de ses 55 décimales de poids fort :

```
>>> 3602879701896397 * 10 ** 55 // 2 ** 55
10000000000000000055511151231257827021181583404541015625
```

La valeur stockée dans l'ordinateur est donc égale à 0,1000000000000000055511151231257827021181583404541015625. Au lieu d'afficher toutes les décimales, beaucoup de langages (dont les vieilles versions de Python) arrondissent le résultat à la 17<sup>e</sup> décimale significative :

```
>>> format(0.1, '.17f')
'0.10000000000000001'
```

Les modules `fractions` et `decimal` rendent simples ces calculs :

```
>>> from decimal import Decimal
>>> from fractions import Fraction

>>> Fraction.from_float(0.1)
Fraction(3602879701896397, 36028797018963968)

>>> (0.1).as_integer_ratio()
(3602879701896397, 36028797018963968)

>>> Decimal.from_float(0.1)
Decimal('0.1000000000000000055511151231257827021181583404541015625')
```





## 16.1 Mode interactif

### 16.1.1 Gestion des erreurs

Quand une erreur se produit, l'interpréteur affiche un message d'erreur et la trace d'appels. En mode interactif, il revient à l'invite de commande primaire ; si l'entrée provient d'un fichier, l'interpréteur se termine avec un code de sortie non nul après avoir affiché la trace d'appels (les exceptions gérées par une clause `except` dans une instruction `try` ne sont pas considérées comme des erreurs dans ce contexte). Certaines erreurs sont inconditionnellement fatales et provoquent la fin du programme avec un code de sortie non nul ; les incohérences internes et, dans certains cas, les pénuries de mémoire sont traitées de la sorte. Tous les messages d'erreur sont écrits sur le flux d'erreur standard ; l'affichage normal des commandes exécutées est écrit sur la sortie standard.

Taper le caractère d'interruption (généralement `Ctrl+C` ou `Supprimer`) au niveau de l'invite de commande primaire annule l'entrée et revient à l'invite<sup>1</sup>. Saisir une interruption tandis qu'une commande s'exécute lève une exception `KeyboardInterrupt` qui peut être gérée par une instruction `try`.

### 16.1.2 Scripts Python exécutables

Sur les systèmes Unix, un script Python peut être rendu directement exécutable, comme un script *shell*, en ajoutant la ligne

```
#!/usr/bin/env python3.5
```

(en supposant que l'interpréteur est dans le `PATH` de l'utilisateur) au début du script et en rendant le fichier exécutable. `'#!'` doivent être les deux premiers caractères du fichier. Sur certaines plateformes, cette première ligne doit finir avec une fin de ligne de type Unix (`'\n'`) et pas de type Windows (`'\r\n'`). Notez que le caractère croisillon, `'#'`, est utilisé pour initier un commentaire en Python.

Un script peut être rendu exécutable en utilisant la commande `chmod`.

1. Un problème avec GNU *Readline* peut l'en empêcher.

```
$ chmod +x myscript.py
```

Sur les systèmes Windows il n'y a pas de "mode exécutable". L'installateur Python associe automatiquement les fichiers en `.py` avec `python.exe` de telle sorte qu'un double clic sur un fichier Python le lance comme un script. L'extension peut aussi être `.pyw`. Dans ce cas, la console n'apparaît pas.

### 16.1.3 Configuration du mode interactif

En mode interactif, il peut être pratique de faire exécuter quelques commandes au lancement de l'interpréteur. Configurez la variable d'environnement `PYTHONSTARTUP` avec le nom d'un fichier contenant les instructions à exécuter, à la même manière du `.profile` pour un *shell* Unix.

Ce fichier n'est lu qu'en mode interactif, pas quand Python lit les instructions depuis un fichier, ni quand `/dev/tty` est donné explicitement comme fichier source (pour tout le reste, Python se comporte alors comme dans une session interactive). Les instructions de ce fichier sont exécutées dans le même espace de nommage que vos commandes, donc les objets définis et modules importés peuvent être utilisés directement dans la session interactive. Dans ce fichier, il est aussi possible de changer les invites de commande `sys.ps1` et `sys.ps2`.

Si vous voulez exécuter d'autres fichiers du dossier courant au démarrage, vous pouvez le programmer dans le fichier de démarrage global, par exemple avec le code suivant : `if os.path.isfile('.pythonrc.py') : exec(open('.pythonrc.py').read())`. Et si vous voulez exécuter le fichier de démarrage depuis un script, vous devez le faire explicitement dans le script :

```
import os
filename = os.environ.get('PYTHONSTARTUP')
if filename and os.path.isfile(filename):
    with open(filename) as fobj:
        startup_file = fobj.read()
        exec(startup_file)
```

### 16.1.4 Modules de personnalisation

Python peut être personnalisé *via* les modules `sitecustomize` et `usercustomize`. Pour découvrir comment ils fonctionnent, vous devez d'abord trouver l'emplacement de votre dossier « site-packages » utilisateur. Démarrez Python et exécutez ce code :

```
>>> import site
>>> site.getusersitepackages()
'/home/user/.local/lib/python3.5/site-packages'
```

Vous pouvez maintenant y créer un fichier `usercustomize.py` et y écrire ce que vous voulez. Il est toujours pris en compte par Python, peu importe le mode, sauf lorsque vous démarrez avec l'option `-s` qui désactive l'importation automatique.

`sitecustomize` fonctionne de la même manière mais est généralement créé par un administrateur et stocké dans le dossier `site-packages` global. Il est importé avant `usercustomize`. Pour plus de détails, consultez la documentation de `site`.

## Notes



>>> L'invite de commande utilisée par défaut dans l'interpréteur interactif. On la voit souvent dans des exemples de code qui peuvent être exécutés interactivement dans l'interpréteur.

... Peut faire référence à :

- L'invite de commande utilisée par défaut dans l'interpréteur interactif lorsqu'on entre un bloc de code indenté, dans des délimiteurs fonctionnant par paires (parenthèses, crochets, accolades, triple guillemets), ou après un avoir spécifié un décorateur.
- La constante `Ellipsis`.

**2to3** Outil qui essaie de convertir du code pour Python 2.x en code pour Python 3.x en gérant la plupart des incompatibilités qui peuvent être détectées en analysant la source et parcourant son arbre syntaxique.

`2to3` est disponible dans la bibliothèque standard sous le nom de `lib2to3`; un point d'entrée indépendant est fourni via `Tools/scripts/2to3`. Cf. `2to3-reference`.

**classe de base abstraite** Les classes de base abstraites (ABC, suivant l'abréviation anglaise *Abstract Base Class*) complètent le *duck-typing* en fournissant un moyen de définir des interfaces pour les cas où d'autres techniques comme `hasattr()` seraient inélégantes ou subtilement fausses (par exemple avec les méthodes magiques). Les ABC introduisent des sous-classes virtuelles qui n'héritent pas d'une classe mais qui sont quand même reconnues par `isinstance()` ou `issubclass()` (voir la documentation du module `abc`). Python contient de nombreuses ABC pour les structures de données (dans le module `collections.abc`), les nombres (dans le module `numbers`), les flux (dans le module `io`) et les chercheurs-chargeurs du système d'importation (dans le module `importlib.abc`). Vous pouvez créer vos propres ABC avec le module `abc`.

**annotation** Étiquette associée à une variable, un attribut de classe, un paramètre de fonction ou une valeur de retour. Elle est utilisée par convention comme *type hint*.

Les annotations de variables locales ne sont pas accessibles au moment de l'exécution, mais les annotations de variables globales, d'attributs de classe et de fonctions sont stockées dans l'attribut spécial `__annotations__` des modules, classes et fonctions, respectivement.

Voir *variable annotation*, *function annotation*, **PEP 484** et **PEP 526**, qui décrivent cette fonctionnalité.

**argument** Valeur, donnée à une *fonction* ou à une *méthode* lors de son appel. Il existe deux types d'arguments :

- *argument nommé* : un argument précédé d'un identifiant (comme `name=`) ou un dictionnaire précédé de `**`, lors d'un appel de fonction. Par exemple, 3 et 5 sont tous les deux des arguments nommés dans l'appel à `complex()` ici :

```
complex(real=3, imag=5)
complex(**{'real': 3, 'imag': 5})
```

- *argument positionnel* : un argument qui n'est pas nommé. Les arguments positionnels apparaissent au début de la liste des arguments, ou donnés sous forme d'un *itérable* précédé par \*. Par exemple, 3 et 5 sont tous les deux des arguments positionnels dans les appels suivants :

```
complex(3, 5)
complex(*(3, 5))
```

Les arguments se retrouvent dans le corps de la fonction appelée parmi les variables locales. Voir la section [calls](#) à propos des règles dictant cette affectation. Syntaxiquement, toute expression est acceptée comme argument, et c'est la valeur résultante de l'expression qui sera affectée à la variable locale.

Voir aussi *parameter* dans le glossaire, la question Différence entre argument et paramètre de la FAQ et la [PEP 362](#).

**gestionnaire de contexte asynchrone** (*asynchronous context manager* en anglais) Objet contrôlant l'environnement à l'intérieur d'une instruction `with` en définissant les méthodes `__aenter__()` et `__aexit__()`. A été introduit par la [PEP 492](#).

**générateur asynchrone** Fonction qui renvoie un *asynchronous generator iterator*. Cela ressemble à une coroutine définie par `async def`, sauf qu'elle contient une ou des expressions `yield` produisant ainsi une série de valeurs utilisables dans une boucle `async for`.

Générateur asynchrone fait généralement référence à une fonction, mais peut faire référence à un *itérateur de générateur asynchrone* dans certains contextes. Dans les cas où le sens voulu n'est pas clair, utiliser l'ensemble des termes lève l'ambiguïté.

Un générateur asynchrone peut contenir des expressions `await` ainsi que des instructions `async for`, et `async with`.

**itérateur de générateur asynchrone** Objet créé par une fonction *asynchronous generator*.

C'est un *asynchronous iterator* qui, lorsqu'il est appelé via la méthode `__anext__()` renvoie un objet *awaitable* qui exécute le corps de la fonction du générateur asynchrone jusqu'au prochain `yield`.

Chaque `yield` suspend temporairement l'exécution, en gardant en mémoire l'endroit et l'état de l'exécution (ce qui inclut les variables locales et les `try` en cours). Lorsque l'exécution de l'itérateur de générateur asynchrone reprend avec un nouvel *awaitable* renvoyé par `__anext__()`, elle repart de là où elle s'était arrêtée. Voir la [PEP 492](#) et la [PEP 525](#).

**itérable asynchrone** Objet qui peut être utilisé dans une instruction `async for`. Sa méthode `__aiter__()` doit renvoyer un *asynchronous iterator*. A été introduit par la [PEP 492](#).

**itérateur asynchrone** Objet qui implémente les méthodes `__aiter__()` et `__anext__()`. `__anext__()` doit renvoyer un objet *awaitable*. Tant que la méthode `__anext__()` produit des objets *awaitable*, le `async for` appelant les consomme. L'itérateur asynchrone lève une exception `StopAsyncIteration` pour signifier la fin de l'itération. A été introduit par la [PEP 492](#).

**attribut** Valeur associée à un objet et désignée par son nom via une notation utilisant des points. Par exemple, si un objet *o* possède un attribut *a*, il sera référencé par *o.a*.

**awaitable** Objet pouvant être utilisé dans une expression `await`. Ce peut être une *coroutine* ou un objet avec une méthode `__await__()`. Voir aussi la [PEP 492](#).

**BDFL** Dictateur bienveillant à vie (*Benevolent Dictator For Life* en anglais). Pseudonyme de [Guido van Rossum](#), le créateur de Python.

**fichier binaire** Un *file object* capable de lire et d'écrire des *bytes-like objects*. Des fichiers binaires sont, par exemple, les fichiers ouverts en mode binaire ('rb', 'wb', ou 'rb+'), `sys.stdin.buffer`, `sys.stdout.buffer`, les instances de `io.BytesIO` ou de `gzip.GzipFile`.

Consultez *fichier texte*, un objet fichier capable de lire et d'écrire des objets `str`.

**objet octet-compatible** Un objet gérant les *buffer objects* et pouvant exporter un tampon (*buffer* en anglais) *C-contiguous*. Cela inclut les objets `bytes`, `bytearray` et `array.array`, ainsi que beaucoup d'objets

`memoryview`. Les objets bytes-compatibles peuvent être utilisés pour diverses opérations sur des données binaires, comme la compression, la sauvegarde dans un fichier binaire ou l'envoi sur le réseau.

Certaines opérations nécessitent de travailler sur des données binaires variables. La documentation parle de ceux-ci comme des *read-write bytes-like objects*. Par exemple, `bytearray` ou une `memoryview` d'un `bytearray` en font partie. D'autres opérations nécessitent de travailler sur des données binaires stockées dans des objets immuables (*"read-only bytes-like objects"*), par exemples `bytes` ou `memoryview` d'un objet `byte`.

**code intermédiaire (*bytecode*)** Le code source, en Python, est compilé en un code intermédiaire (*bytecode* en anglais), la représentation interne à CPython d'un programme Python. Le code intermédiaire est mis en cache dans un fichier `.pyc` de manière à ce qu'une seconde exécution soit plus rapide (la compilation en code intermédiaire a déjà été faite). On dit que ce *langage intermédiaire* est exécuté sur une *virtual machine* qui exécute des instructions machine pour chaque instruction du code intermédiaire. Notez que le code intermédiaire n'a pas vocation à fonctionner sur différentes machines virtuelles Python ou à être stable entre différentes versions de Python.

La documentation du module `dis` fournit une liste des instructions du code intermédiaire.

**fonction de rappel** Une sous-fonction passée en argument pour être exécutée plus tard.

**classe** Modèle pour créer des objets définis par l'utilisateur. Une définition de classe (*class*) contient normalement des définitions de méthodes qui agissent sur les instances de la classe.

**variable de classe** Une variable définie dans une classe et destinée à être modifiée uniquement au niveau de la classe (c'est-à-dire, pas dans une instance de la classe).

**coercition** Conversion implicite d'une instance d'un type vers un autre lors d'une opération dont les deux opérandes doivent être de même type. Par exemple `int(3.15)` convertit explicitement le nombre à virgule flottante en nombre entier 3. Mais dans l'opération `3 + 4.5`, les deux opérandes sont d'un type différent (un entier et un nombre à virgule flottante), alors qu'ils doivent avoir le même type pour être additionnés (sinon une exception `TypeError` serait levée). Sans coercition, tous les opérandes, même de types compatibles, devraient être convertis (on parle aussi de *cast*) explicitement par le développeur, par exemple : `float(3) + 4.5` au lieu du simple `3 + 4.5`.

**nombre complexe** Extension des nombres réels familiers, dans laquelle tous les nombres sont exprimés sous la forme d'une somme d'une partie réelle et d'une partie imaginaire. Les nombres imaginaires sont les nombres réels multipliés par l'unité imaginaire (la racine carrée de  $-1$ , souvent écrite *i* en mathématiques ou *j* par les ingénieurs). Python comprend nativement les nombres complexes, écrits avec cette dernière notation : la partie imaginaire est écrite avec un suffixe *j*, exemple, `3+1j`. Pour utiliser les équivalents complexes de `math`, utilisez `cmath`. Les nombres complexes sont un concept assez avancé en mathématiques. Si vous ne connaissez pas ce concept, vous pouvez tranquillement les ignorer.

**gestionnaire de contexte** Objet contrôlant l'environnement à l'intérieur d'un bloc `with` en définissant les méthodes `__enter__()` et `__exit__()`. Consultez la [PEP 343](#).

**variable de contexte** Une variable qui peut avoir des valeurs différentes en fonction de son contexte. Cela est similaire au stockage par fil d'exécution (*Thread Local Storage* en anglais) dans lequel chaque fil d'exécution peut avoir une valeur différente pour une variable. Toutefois, avec les variables de contexte, il peut y avoir plusieurs contextes dans un fil d'exécution et l'utilisation principale pour les variables de contexte est de garder une trace des variables dans les tâches asynchrones concourantes. Voir `contextvars`.

**contigu** Un tampon (*buffer* en anglais) est considéré comme contigu s'il est soit *C-contigu* soit *Fortran-contigu*. Les tampons de dimension zéro sont C-contigus et Fortran-contigus. Pour un tableau à une dimension, ses éléments doivent être placés en mémoire l'un à côté de l'autre, dans l'ordre croissant de leur indice, en commençant à zéro. Pour qu'un tableau multidimensionnel soit C-contigu, le dernier indice doit être celui qui varie le plus rapidement lors du parcours de ses éléments dans l'ordre de leur adresse mémoire. À l'inverse, dans les tableaux Fortran-contigu, c'est le premier indice qui doit varier le plus rapidement.

**coroutine** Les coroutines sont une forme généralisée des fonctions. On entre dans une fonction en un point et on en sort en un autre point. On peut entrer, sortir et reprendre l'exécution d'une coroutine en plusieurs points. Elles peuvent être implémentées en utilisant l'instruction `async def`. Voir aussi la [PEP 492](#).

**fonction coroutine** Fonction qui renvoie un objet *coroutine*. Une fonction coroutine peut être définie par l'instruction `async def` et peut contenir les mots clés `await`, `async for` ainsi que `async with`. A été introduit par la [PEP 492](#).

**CPython** L'implémentation canonique du langage de programmation Python, tel que distribué sur [python.org](https://python.org). Le terme "CPython" est utilisé dans certains contextes lorsqu'il est nécessaire de distinguer cette implémentation des autres comme *Jython* ou *IronPython*.

**décorateur** Fonction dont la valeur de retour est une autre fonction. Un décorateur est habituellement utilisé pour transformer une fonction via la syntaxe `@wrapper`, dont les exemples typiques sont : `classmethod()` et `staticmethod()`.

La syntaxe des décorateurs est simplement du sucre syntaxique, les définitions des deux fonctions suivantes sont sémantiquement équivalentes :

```
def f(arg):
    ...
f = staticmethod(f)

@staticmethod
def f(arg):
    ...
```

Quoique moins fréquemment utilisé, le même concept existe pour les classes. Consultez la documentation définitions de fonctions et définitions de classes pour en savoir plus sur les décorateurs.

**descripteur** N'importe quel objet définissant les méthodes `__get__()`, `__set__()`, ou `__delete__()`. Lorsque l'attribut d'une classe est un descripteur, son comportement spécial est déclenché lors de la recherche des attributs. Normalement, lorsque vous écrivez `a.b` pour obtenir, affecter ou effacer un attribut, Python recherche l'objet nommé `b` dans le dictionnaire de la classe de `a`. Mais si `b` est un descripteur, c'est la méthode de ce descripteur qui est alors appelée. Comprendre les descripteurs est requis pour avoir une compréhension approfondie de Python, ils sont la base de nombre de ses caractéristiques notamment les fonctions, méthodes, propriétés, méthodes de classes, méthodes statiques et les références aux classes parentes.

Pour plus d'informations sur les méthodes des descripteurs, consultez `descriptors` ou le guide pour l'utilisation des descripteurs.

**dictionnaire** Structure de donnée associant des clés à des valeurs. Les clés peuvent être n'importe quel objet possédant les méthodes `__hash__()` et `__eq__()`. En Perl, les dictionnaires sont appelés "*hash*".

**dictionnaire en compréhension (ou dictionnaire en intension)** Écriture concise pour traiter tout ou partie des éléments d'un itérable et renvoyer un dictionnaire contenant les résultats. `results = {n: n ** 2 for n in range(10)}` génère un dictionnaire contenant des clés `n` liée à leur valeurs `n ** 2`. Voir `comprehensions`.

**vue de dictionnaire** Objets retournés par les méthodes `dict.keys()`, `dict.values()` et `dict.items()`. Ils fournissent des vues dynamiques des entrées du dictionnaire, ce qui signifie que lorsque le dictionnaire change, la vue change. Pour transformer une vue en vraie liste, utilisez `list(dictview)`. Voir `dict-views`.

**docstring (chaîne de documentation)** Première chaîne littérale qui apparaît dans l'expression d'une classe, fonction, ou module. Bien qu'ignorée à l'exécution, elle est reconnue par le compilateur et placée dans l'attribut `__doc__` de la classe, de la fonction ou du module. Comme cette chaîne est disponible par introspection, c'est l'endroit idéal pour documenter l'objet.

**duck-typing** Style de programmation qui ne prend pas en compte le type d'un objet pour déterminer s'il respecte une interface, mais qui appelle simplement la méthode ou l'attribut (*Si ça a un bec et que ça cancanne, ça doit être un canard*, *duck* signifie canard en anglais). En se concentrant sur les interfaces plutôt que les types, du code bien construit améliore sa flexibilité en autorisant des substitutions polymorphiques. Le *duck-typing* évite de vérifier les types via `type()` ou `isinstance()`, Notez cependant que le *duck-typing* peut travailler de pair avec les *classes de base abstraites*. À la place, le *duck-typing* utilise plutôt `hasattr()` ou la programmation *EAFP*.

**EAFP** Il est plus simple de demander pardon que demander la permission (*Easier to Ask for Forgiveness than Permission* en anglais). Ce style de développement Python fait l'hypothèse que le code est valide et traite les exceptions si cette hypothèse s'avère fausse. Ce style, propre et efficace, est caractérisé par la présence de beaucoup de mots clés `try` et `except`. Cette technique de programmation contraste avec le style *LBYL* utilisé couramment dans les langages tels que C.

**expression** Suite logique de termes et chiffres conformes à la syntaxe Python dont l'évaluation fournit une valeur. En



d'autres termes, une expression est une suite d'éléments tels que des noms, opérateurs, littéraux, accès d'attributs, méthodes ou fonctions qui aboutissent à une valeur. Contrairement à beaucoup d'autres langages, les différentes constructions du langage ne sont pas toutes des expressions. On trouve également des *instructions* qui ne peuvent pas être utilisées comme expressions, tel que `while`. Les affectations sont également des instructions et non des expressions.

**module d'extension** Module écrit en C ou C++, utilisant l'API C de Python pour interagir avec Python et le code de l'utilisateur.

**f-string** Chaîne littérale préfixée de 'f' ou 'F'. Les "f-strings" sont un raccourci pour formatted string literals. Voir la [PEP 498](#).

**objet fichier** Objet exposant une ressource via une API orientée fichier (avec les méthodes `read()` ou `write()`). En fonction de la manière dont il a été créé, un objet fichier peut interfacer l'accès à un fichier sur le disque ou à un autre type de stockage ou de communication (typiquement l'entrée standard, la sortie standard, un tampon en mémoire, un connecteur réseau...). Les objets fichiers sont aussi appelés *file-like-objects* ou *streams*.

Il existe en réalité trois catégories de fichiers objets : les *fichiers binaires* bruts, les *fichiers binaires* avec tampon (*buffer*) et les *fichiers textes*. Leurs interfaces sont définies dans le module `io`. Le moyen le plus simple et direct de créer un objet fichier est d'utiliser la fonction `open()`.

**objet fichier-compatible** Synonyme de *objet fichier*.

**chercheur** Objet qui essaie de trouver un *chargeur* pour le module en cours d'importation.

Depuis Python 3.3, il existe deux types de chercheurs : les *chercheurs dans les méta-chemins* à utiliser avec `sys.meta_path`; les *chercheurs d'entrée dans path* à utiliser avec `sys.path_hooks`.

Voir les [PEP 302](#), [PEP 420](#) et [PEP 451](#) pour plus de détails.

**division entière** Division mathématique arrondissant à l'entier inférieur. L'opérateur de la division entière est `//`. Par exemple l'expression `11 // 4` vaut 2, contrairement à `11 / 4` qui vaut 2.75. Notez que `(-11) // 4` vaut -3 car l'arrondi se fait à l'entier inférieur. Voir la [PEP 328](#).

**fonction** Suite d'instructions qui renvoie une valeur à son appelant. On peut lui passer des *arguments* qui pourront être utilisés dans le corps de la fonction. Voir aussi *paramètre*, *méthode* et *fonction*.

**annotation de fonction** *annotation* d'un paramètre de fonction ou valeur de retour.

Les annotations de fonctions sont généralement utilisées pour des *indications de types* : par exemple, cette fonction devrait prendre deux arguments `int` et devrait également avoir une valeur de retour de type `int` :

```
def sum_two_numbers(a: int, b: int) -> int:
    return a + b
```

L'annotation syntaxique de la fonction est expliquée dans la section *fonction*.

Voir *variable annotation* et [PEP 484](#), qui décrivent cette fonctionnalité.

**\_\_future\_\_** Une importation depuis le futur s'écrit `from __future__ import <fonctionnalité>`. Lorsqu'une importation du futur est active dans un module, Python compile ce module avec une certaine modification de la syntaxe ou du comportement qui est vouée à devenir standard dans une version ultérieure. Le module `__future__` documente les possibilités pour *fonctionnalité*. L'importation a aussi l'effet normal d'importer une variable du module. Cette variable contient des informations utiles sur la fonctionnalité en question, notamment la version de Python dans laquelle elle a été ajoutée, et celle dans laquelle elle deviendra standard :

```
>>> import __future__
>>> __future__.division
_Feature((2, 2, 0, 'alpha', 2), (3, 0, 0, 'alpha', 0), 8192)
```

**ramasse-miettes** (*garbage collection* en anglais) Mécanisme permettant de libérer de la mémoire lorsqu'elle n'est plus utilisée. Python utilise un ramasse-miettes par comptage de référence et un ramasse-miettes cyclique capable de détecter et casser les références circulaires. Le ramasse-miettes peut être contrôlé en utilisant le module `gc`.

**générateur** Fonction qui renvoie un *itérateur de générateur*. Cela ressemble à une fonction normale, en dehors du fait qu'elle contient une ou des expressions `yield` produisant une série de valeurs utilisable dans une boucle *for* ou récupérées une à une via la fonction `next()`.

Fait généralement référence à une fonction générateur mais peut faire référence à un *itérateur de générateur* dans certains contextes. Dans les cas où le sens voulu n'est pas clair, utiliser les termes complets lève l'ambiguïté.

**itérateur de générateur** Objet créé par une fonction *générateur*.

Chaque `yield` suspend temporairement l'exécution, en se rappelant l'endroit et l'état de l'exécution (y compris les variables locales et les `try` en cours). Lorsque l'itérateur de générateur reprend, il repart là où il en était (contrairement à une fonction qui prendrait un nouveau départ à chaque invocation).

**expression génératrice** Expression qui donne un itérateur. Elle ressemble à une expression normale, suivie d'une clause `for` définissant une variable de boucle, un intervalle et une clause `if` optionnelle. Toute cette expression génère des valeurs pour la fonction qui l'entoure :

```
>>> sum(i*i for i in range(10))           # sum of squares 0, 1, 4, ... 81
285
```

**fonction générique** Fonction composée de plusieurs fonctions implémentant les mêmes opérations pour différents types. L'implémentation à utiliser est déterminée lors de l'appel par l'algorithme de répartition.

Voir aussi *single dispatch*, le décorateur `functools singledispatch()` et la [PEP 443](#).

**type générique** Un *type* qui peut être paramétré ; généralement un conteneur comme `list` ou `dict`. Utilisé pour les *indications de type* et les *annotations*.

Pour plus de détails, voir *types alias génériques* et le module `typing`. On trouvera l'historique de cette fonctionnalité dans les [PEP 483](#), [PEP 484](#) et [PEP 585](#).

**GIL** Voir *global interpreter lock*.

**verrou global de l'interpréteur** (*global interpreter lock* en anglais) Mécanisme utilisé par l'interpréteur *CPython* pour s'assurer qu'un seul fil d'exécution (*thread* en anglais) n'exécute le *bytecode* à la fois. Cela simplifie l'implémentation de *CPython* en rendant le modèle objet (incluant des parties critiques comme la classe native `dict`) implicitement protégé contre les accès concourants. Verrouiller l'interpréteur entier rend plus facile l'implémentation de multiples fils d'exécution (*multi-thread* en anglais), au détriment malheureusement de beaucoup du parallélisme possible sur les machines ayant plusieurs processeurs.

Cependant, certains modules d'extension, standards ou non, sont conçus de manière à libérer le GIL lorsqu'ils effectuent des tâches lourdes tel que la compression ou le hachage. De la même manière, le GIL est toujours libéré lors des entrées / sorties.

Les tentatives précédentes d'implémenter un interpréteur Python avec une granularité de verrouillage plus fine ont toutes échouées, à cause de leurs mauvaises performances dans le cas d'un processeur unique. Il est admis que corriger ce problème de performance induit mènerait à une implémentation beaucoup plus compliquée et donc plus coûteuse à maintenir.

**pyc utilisant le hachage** Un fichier de cache de code intermédiaire (*bytecode* en anglais) qui utilise le hachage plutôt que l'heure de dernière modification du fichier source correspondant pour déterminer sa validité. Voir *pyc-invalidation*.

**hachable** Un objet est *hachable* s'il a une empreinte (*hash*) qui ne change jamais (il doit donc implémenter une méthode `__hash__()`) et s'il peut être comparé à d'autres objets (avec la méthode `__eq__()`). Les objets hachables dont la comparaison par `__eq__` est vraie doivent avoir la même empreinte.

La hachabilité permet à un objet d'être utilisé comme clé de dictionnaire ou en tant que membre d'un ensemble (type *set*), car ces structures de données utilisent ce *hash*.

La plupart des types immuables natifs de Python sont hachables, mais les conteneurs muables (comme les listes ou les dictionnaires) ne le sont pas ; les conteneurs immuables (comme les *n-uplets* ou les ensembles figés) ne sont hachables que si leurs éléments sont hachables. Les instances de classes définies par les utilisateurs sont hachables par défaut. Elles sont toutes considérées différentes (sauf avec elles-mêmes) et leur valeur de hachage est calculée à partir de leur `id()`.

**IDLE** Environnement de développement intégré pour Python. IDLE est un éditeur basique et un interpréteur livré avec la distribution standard de Python.

**immuable** Objet dont la valeur ne change pas. Les nombres, les chaînes et les *n-uplets* sont immuables. Ils ne peuvent

être modifiés. Un nouvel objet doit être créé si une valeur différente doit être stockée. Ils jouent un rôle important quand une valeur de *hash* constante est requise, typiquement en clé de dictionnaire.

**chemin des importations** Liste de *entrées* dans lesquelles le *chercheur basé sur les chemins* cherche les modules à importer. Typiquement, lors d'une importation, cette liste vient de `sys.path`; pour les sous-paquets, elle peut aussi venir de l'attribut `__path__` du paquet parent.

**importing** Processus rendant le code Python d'un module disponible dans un autre.

**importateur** Objet qui trouve et charge un module, en même temps un *chercheur* et un *chargeur*.

**interactif** Python a un interpréteur interactif, ce qui signifie que vous pouvez écrire des expressions et des instructions à l'invite de l'interpréteur. L'interpréteur Python va les exécuter immédiatement et vous en présenter le résultat. Démarrez juste `python` (probablement depuis le menu principal de votre ordinateur). C'est un moyen puissant pour tester de nouvelles idées ou étudier de nouveaux modules (souvenez-vous de `help(x)`).

**interprété** Python est un langage interprété, en opposition aux langages compilés, bien que la frontière soit floue en raison de la présence d'un compilateur en code intermédiaire. Cela signifie que les fichiers sources peuvent être exécutés directement, sans avoir à compiler un fichier exécutable intermédiaire. Les langages interprétés ont généralement un cycle de développement / débogage plus court que les langages compilés. Cependant, ils s'exécutent généralement plus lentement. Voir aussi *interactif*.

**arrêt de l'interpréteur** Lorsqu'on lui demande de s'arrêter, l'interpréteur Python entre dans une phase spéciale où il libère graduellement les ressources allouées, comme les modules ou quelques structures de données internes. Il fait aussi quelques appels au *ramasse-miettes*. Cela peut déclencher l'exécution de code dans des destructeurs ou des fonctions de rappels de *weakrefs*. Le code exécuté lors de l'arrêt peut rencontrer des exceptions puisque les ressources auxquelles il fait appel sont susceptibles de ne plus fonctionner, (typiquement les modules des bibliothèques ou le mécanisme de *warning*).

La principale raison d'arrêt de l'interpréteur est que le module `__main__` ou le script en cours d'exécution a terminé de s'exécuter.

**itérable** Objet capable de renvoyer ses éléments un à un. Par exemple, tous les types séquence (comme `list`, `str`, et `tuple`), quelques autres types comme `dict`, *objets fichiers* ou tout objet d'une classe ayant une méthode `__iter__()` ou `__getitem__()` qui implémente la sémantique d'une *Sequence*.

Les itérables peuvent être utilisés dans des boucles `for` et à beaucoup d'autres endroits où une séquence est requise (`zip()`, `map()`...). Lorsqu'un itérable est passé comme argument à la fonction native `iter()`, celle-ci fournit en retour un itérateur sur cet itérable. Cet itérateur n'est valable que pour une seule passe sur le jeu de valeurs. Lors de l'utilisation d'itérables, il n'est habituellement pas nécessaire d'appeler `iter()` ou de s'occuper soi-même des objets itérateurs. L'instruction `for` le fait automatiquement pour vous, créant une variable temporaire anonyme pour garder l'itérateur durant la boucle. Voir aussi *itérateur*, *séquence* et *générateur*.

**itérateur** Objet représentant un flux de donnée. Des appels successifs à la méthode `__next__()` de l'itérateur (ou le passer à la fonction native `next()`) donne successivement les objets du flux. Lorsque plus aucune donnée n'est disponible, une exception `StopIteration` est levée. À ce point, l'itérateur est épuisé et tous les appels suivants à sa méthode `__next__()` lèveront encore une exception `StopIteration`. Les itérateurs doivent avoir une méthode `__iter__()` qui renvoie l'objet itérateur lui-même, de façon à ce que chaque itérateur soit aussi itérable et puisse être utilisé dans la plupart des endroits où d'autres itérables sont attendus. Une exception notable est un code qui tente plusieurs itérations complètes. Un objet conteneur, (tel que `list`) produit un nouvel itérateur neuf à chaque fois qu'il est passé à la fonction `iter()` ou s'il est utilisé dans une boucle `for`. Faire ceci sur un itérateur donnerait simplement le même objet itérateur épuisé utilisé dans son itération précédente, le faisant ressembler à un conteneur vide.

Vous trouverez davantage d'informations dans `typeiter`.

**fonction clé** Une fonction clé est un objet callable qui renvoie une valeur à fins de tri ou de classement. Par exemple, la fonction locale `locale.strxfrm()` est utilisée pour générer une clé de classement prenant en compte les conventions de classement spécifiques aux paramètres régionaux courants.

Plusieurs outils dans Python acceptent des fonctions clés pour déterminer comment les éléments sont classés ou groupés. On peut citer les fonctions `min()`, `max()`, `sorted()`, `list.sort()`, `heapq.merge()`, `heapq.nsmallest()`, `heapq.nlargest()` et `itertools.groupby()`.

Il existe plusieurs moyens de créer une fonction clé. Par exemple, la méthode `str.lower()` peut servir de fonc-

tion clé pour effectuer des recherches insensibles à la casse. Aussi, il est possible de créer des fonctions clés avec des expressions `lambda`, comme `lambda r: (r[0], r[2])`. Vous noterez que le module `operator` propose des constructeurs de fonctions clés : `attrgetter()`, `itemgetter()` et `methodcaller()`. Voir [Comment Trier](#) pour des exemples de création et d'utilisation de fonctions clés.

**argument nommé** Voir [argument](#).

**lambda** Fonction anonyme sous la forme d'une [expression](#) et ne contenant qu'une seule expression, exécutée lorsque la fonction est appelée. La syntaxe pour créer des fonctions `lambda` est : `lambda [parameters]: expression`

**LBYL** Regarde avant de sauter, (*Look before you leap* en anglais). Ce style de programmation consiste à vérifier des conditions avant d'effectuer des appels ou des accès. Ce style contraste avec le style [EAFP](#) et se caractérise par la présence de beaucoup d'instructions `if`.

Dans un environnement avec plusieurs fils d'exécution (*multi-threaded* en anglais), le style *LBYL* peut engendrer un séquençement critique (*race condition* en anglais) entre le "regarder" et le "sauter". Par exemple, le code `if key in mapping: return mapping[key]` peut échouer si un autre fil d'exécution supprime la clé `key` du *mapping* après le test mais avant l'accès. Ce problème peut être résolu avec des verrous (*locks*) ou avec l'approche *EAFP*.

**list** Un type natif de [sequence](#) dans Python. En dépit de son nom, une `list` ressemble plus à un tableau (*array* dans la plupart des langages) qu'à une liste chaînée puisque les accès se font en  $O(1)$ .

**liste en compréhension (ou liste en intention)** Écriture concise pour manipuler tout ou partie des éléments d'une séquence et renvoyer une liste contenant les résultats. `result = ['{:04x}'.format(x) for x in range(256) if x % 2 == 0]` génère la liste composée des nombres pairs de 0 à 255 écrits sous formes de chaînes de caractères et en hexadécimal (`0x...`). La clause `if` est optionnelle. Si elle est omise, tous les éléments du `range(256)` seront utilisés.

**chargeur** Objet qui charge un module. Il doit définir une méthode nommée `load_module()`. Un chargeur est typiquement donné par un [chercheur](#). Voir la [PEP 302](#) pour plus de détails et `importlib.ABC.Loader` pour sa [classe de base abstraite](#).

**méthode magique** Un synonyme informel de [special method](#).

**tableau de correspondances** (*mapping* en anglais) Conteneur permettant de rechercher des éléments à partir de clés et implémentant les méthodes spécifiées dans les classes de base abstraites `collections.abc.Mapping` ou `collections.abc.MutableMapping`. Les classes suivantes sont des exemples de tableaux de correspondances : `dict`, `collections.defaultdict`, `collections.OrderedDict` et `collections.Counter`.

**chercheur dans les méta-chemins** Un [chercheur](#) renvoyé par une recherche dans `sys.meta_path`. Les chercheurs dans les méta-chemins ressemblent, mais sont différents des [chercheurs d'entrée dans path](#).

Voir `importlib.abc.MetaPathFinder` pour les méthodes que les chercheurs dans les méta-chemins doivent implémenter.

**métaclasse** Classe d'une classe. Les définitions de classe créent un nom pour la classe, un dictionnaire de classe et une liste de classes parentes. La métaclasse a pour rôle de réunir ces trois paramètres pour construire la classe. La plupart des langages orientés objet fournissent une implémentation par défaut. La particularité de Python est la possibilité de créer des métaclasses personnalisées. La plupart des utilisateurs n'auront jamais besoin de cet outil, mais lorsque le besoin survient, les métaclasses offrent des solutions élégantes et puissantes. Elles sont utilisées pour journaliser les accès à des propriétés, rendre sûrs les environnements *multi-threads*, suivre la création d'objets, implémenter des singletons et bien d'autres tâches.

Plus d'informations sont disponibles dans : [metaclasses](#).

**méthode** Fonction définie à l'intérieur d'une classe. Lorsqu'elle est appelée comme un attribut d'une instance de cette classe, la méthode reçoit l'instance en premier [argument](#) (qui, par convention, est habituellement nommé `self`). Voir [function](#) et [nested scope](#).

**ordre de résolution des méthodes** L'ordre de résolution des méthodes (*MRO* pour *Method Resolution Order* en anglais) est, lors de la recherche d'un attribut dans les classes parentes, la façon dont l'interpréteur Python classe ces classes parentes. Voir [The Python 2.3 Method Resolution Order](#) pour plus de détails sur l'algorithme utilisé par l'interpréteur Python depuis la version 2.3.

**module** Objet utilisé pour organiser une portion unitaire de code en Python. Les modules ont un espace de nommage et peuvent contenir n'importe quels objets Python. Charger des modules est appelé *importer*.

Voir aussi *paquet*.

**spécificateur de module** Espace de nommage contenant les informations, relatives à l'importation, utilisées pour charger un module. C'est une instance de la classe `importlib.machinery.ModuleSpec`.

**MRO** Voir *ordre de résolution des méthodes*.

**muable** Un objet muable peut changer de valeur tout en gardant le même `id()`. Voir aussi *immuable*.

**n-uplet nommé** Le terme "n-uplet nommé" s'applique à tous les types ou classes qui héritent de la classe `tuple` et dont les éléments indexables sont aussi accessibles en utilisant des attributs nommés. Les types et classes peuvent avoir aussi d'autres caractéristiques.

Plusieurs types natifs sont appelés n-uplets, y compris les valeurs retournées par `time.localtime()` et `os.stat()`. Un autre exemple est `sys.float_info`:

```
>>> sys.float_info[1]                # indexed access
1024
>>> sys.float_info.max_exp           # named field access
1024
>>> isinstance(sys.float_info, tuple) # kind of tuple
True
```

Certains *n-uplets nommés* sont des types natifs (comme les exemples ci-dessus). Sinon, un *n-uplet nommé* peut être créé à partir d'une définition de classe habituelle qui hérite de `tuple` et qui définit les champs nommés. Une telle classe peut être écrite à la main ou être créée avec la fonction `collections.namedtuple()`. Cette dernière méthode ajoute des méthodes supplémentaires qui ne seront pas trouvées dans celles écrites à la main ni dans les n-uplets nommés natifs.

**espace de nommage** L'endroit où une variable est stockée. Les espaces de nommage sont implémentés avec des dictionnaires. Il existe des espaces de nommage globaux, natifs ou imbriqués dans les objets (dans les méthodes). Les espaces de nommage favorisent la modularité car ils permettent d'éviter les conflits de noms. Par exemple, les fonctions `builtins.open` et `os.open()` sont différenciées par leurs espaces de nom. Les espaces de nommage aident aussi à la lisibilité et la maintenabilité en rendant clair quel module implémente une fonction. Par exemple, écrire `random.seed()` ou `itertools.islice()` affiche clairement que ces fonctions sont implémentées respectivement dans les modules `random` et `itertools`.

**paquet-espace de nommage** Un *paquet* tel que défini dans la [PEP 421](#) qui ne sert qu'à contenir des sous-paquets. Les paquets-espace de nommage peuvent n'avoir aucune représentation physique et, plus spécifiquement, ne sont pas comme un *paquet classique* puisqu'ils n'ont pas de fichier `__init__.py`.

Voir aussi *module*.

**portée imbriquée** Possibilité de faire référence à une variable déclarée dans une définition englobante. Typiquement, une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction a accès aux variables de cette dernière. Souvenez-vous cependant que cela ne fonctionne que pour accéder à des variables, pas pour les assigner. Les variables locales sont lues et assignées dans l'espace de nommage le plus proche. Tout comme les variables globales qui sont stockés dans l'espace de nommage global, le mot clef `nonlocal` permet d'écrire dans l'espace de nommage dans lequel est déclarée la variable.

**nouvelle classe** Ancien nom pour l'implémentation actuelle des classes, pour tous les objets. Dans les anciennes versions de Python, seules les nouvelles classes pouvaient utiliser les nouvelles fonctionnalités telles que `__slots__`, les descripteurs, les propriétés, `__getattr__()`, les méthodes de classe et les méthodes statiques.

**objet** N'importe quelle donnée comportant des états (sous forme d'attributs ou d'une valeur) et un comportement (des méthodes). C'est aussi (`object`) l'ancêtre commun à absolument toutes les *nouvelles classes*.

**paquet module** Python qui peut contenir des sous-modules ou des sous-paquets. Techniquement, un paquet est un module qui possède un attribut `__path__`.

Voir aussi *paquet classique* et *namespace package*.



**paramètre** Entité nommée dans la définition d'une *fonction* (ou méthode), décrivant un *argument* (ou dans certains cas des arguments) que la fonction accepte. Il existe cinq sortes de paramètres :

- *positional-or-keyword* : l'argument peut être passé soit par sa *position*, soit en tant que *argument nommé*. C'est le type de paramètre par défaut. Par exemple, *foo* et *bar* dans l'exemple suivant :

```
def func(foo, bar=None): ...
```

- *positional-only* : définit un argument qui ne peut être fourni que par position. Les paramètres *positional-only* peuvent être définis en insérant un caractère "/" dans la liste de paramètres de la définition de fonction après eux. Par exemple : *posonly1* et *posonly2* dans le code suivant :

```
def func(posonly1, posonly2, /, positional_or_keyword): ...
```

- *keyword-only* : l'argument ne peut être fourni que nommé. Les paramètres *keyword-only* peuvent être définis en utilisant un seul paramètre *var-positional*, ou en ajoutant une étoile (\*) seule dans la liste des paramètres avant eux. Par exemple, *kw\_only1* et *kw\_only2* dans le code suivant :

```
def func(arg, *, kw_only1, kw_only2): ...
```

- *var-positional* : une séquence d'arguments positionnels peut être fournie (en plus de tous les arguments positionnels déjà acceptés par d'autres paramètres). Un tel paramètre peut être défini en préfixant son nom par une \*. Par exemple *args* ci-après :

```
def func(*args, **kwargs): ...
```

- *var-keyword* : une quantité arbitraire d'arguments peut être passée, chacun étant nommé (en plus de tous les arguments nommés déjà acceptés par d'autres paramètres). Un tel paramètre est défini en préfixant le nom du paramètre par \*\*. Par exemple, *kwargs* ci-dessus.

Les paramètres peuvent spécifier des arguments obligatoires ou optionnels, ainsi que des valeurs par défaut pour les arguments optionnels.

Voir aussi *argument* dans le glossaire, la question sur la différence entre les arguments et les paramètres dans la FAQ, la classe `inspect.Parameter`, la section *function* et la [PEP 362](#).

**entrée de chemin** Emplacement dans le *chemin des importations* (*import path* en anglais, d'où le *path*) que le *chercheur basé sur les chemins* consulte pour trouver des modules à importer.

**chercheur de chemins** *chercheur* renvoyé par un appelable sur un `sys.path_hooks` (c'est-à-dire un *point d'entrée pour la recherche dans path*) qui sait où trouver des modules lorsqu'on lui donne une *entrée de path*.

Voir `importlib.abc.PathEntryFinder` pour les méthodes qu'un chercheur d'entrée dans *path* doit implémenter.

**point d'entrée pour la recherche dans path** Appelable dans la liste `sys.path_hook` qui donne un *chercheur d'entrée dans path* s'il sait où trouver des modules pour une *entrée dans path* donnée.

**chercheur basé sur les chemins** L'un des *chercheurs dans les méta-chemins* par défaut qui cherche des modules dans un *chemin des importations*.

**objet simili-chemin** Objet représentant un chemin du système de fichiers. Un objet simili-chemin est un objet `str` ou un objet `bytes` représentant un chemin ou un objet implémentant le protocole `os.PathLike`. Un objet qui accepte le protocole `os.PathLike` peut être converti en un chemin `str` ou `bytes` du système de fichiers en appelant la fonction `os.fspath()`. `os.fsdecode()` et `os.fsencode()` peuvent être utilisées, respectivement, pour garantir un résultat de type `str` ou `bytes` à la place. A été Introduit par la [PEP 519](#).

**PEP** *Python Enhancement Proposal* (Proposition d'amélioration Python). Un PEP est un document de conception fournissant des informations à la communauté Python ou décrivant une nouvelle fonctionnalité pour Python, ses processus ou son environnement. Les PEP doivent fournir une spécification technique concise et une justification des fonctionnalités proposées.

Les PEPs sont censés être les principaux mécanismes pour proposer de nouvelles fonctionnalités majeures, pour recueillir les commentaires de la communauté sur une question et pour documenter les décisions de conception qui sont intégrées en Python. L'auteur du PEP est responsable de l'établissement d'un consensus au sein de la

communauté et de documenter les opinions contradictoires.

Voir [PEP 1](#).

**portion** Jeu de fichiers dans un seul dossier (pouvant être stocké sous forme de fichier zip) qui contribue à l'espace de nommage d'un paquet, tel que défini dans la [PEP 420](#).

**argument positionnel** Voir *argument*.

**API provisoire** Une API provisoire est une API qui n'offre aucune garantie de rétrocompatibilité (la bibliothèque standard exige la rétrocompatibilité). Bien que des changements majeurs d'une telle interface ne soient pas attendus, tant qu'elle est étiquetée provisoire, des changements cassant la rétrocompatibilité (y compris sa suppression complète) peuvent survenir si les développeurs principaux le jugent nécessaire. Ces modifications ne surviendront que si de sérieux problèmes sont découverts et qu'ils n'avaient pas été identifiés avant l'ajout de l'API.

Même pour les API provisoires, les changements cassant la rétrocompatibilité sont considérés comme des "solutions de dernier recours". Tout ce qui est possible sera fait pour tenter de résoudre les problèmes en conservant la rétrocompatibilité.

Ce processus permet à la bibliothèque standard de continuer à évoluer avec le temps, sans se bloquer longtemps sur des erreurs d'architecture. Voir la [PEP 411](#) pour plus de détails.

**paquet provisoire** Voir *provisional API*.

**Python 3000** Surnom donné à la série des Python 3.x (très vieux surnom donné à l'époque où Python 3 représentait un futur lointain). Aussi abrégé *Py3k*.

**Pythonique** Idée, ou bout de code, qui colle aux idiomes de Python plutôt qu'aux concepts communs rencontrés dans d'autres langages. Par exemple, il est idiomatique en Python de parcourir les éléments d'un itérable en utilisant `for`. Beaucoup d'autres langages n'ont pas cette possibilité, donc les gens qui ne sont pas habitués à Python utilisent parfois un compteur numérique à la place :

```
for i in range(len(food)) :
    print(food[i])
```

Plutôt qu'utiliser la méthode, plus propre et élégante, donc *Pythonique* :

```
for piece in food:
    print(piece)
```

**nom qualifié** Nom, comprenant des points, montrant le "chemin" de l'espace de nommage global d'un module vers une classe, fonction ou méthode définie dans ce module, tel que défini dans la [PEP 3155](#). Pour les fonctions et classes de premier niveau, le nom qualifié est le même que le nom de l'objet :

```
>>> class C:
...     class D:
...         def meth(self):
...             pass
...
>>> C.__qualname__
'C'
>>> C.D.__qualname__
'C.D'
>>> C.D.meth.__qualname__
'C.D.meth'
```

Lorsqu'il est utilisé pour nommer des modules, le *nom qualifié complet* (*fully qualified name* - *FQN* en anglais) signifie le chemin complet (séparé par des points) vers le module, incluant tous les paquets parents. Par exemple : `email.mime.text` :

```
>>> import email.mime.text
>>> email.mime.text.__name__
'email.mime.text'
```

**nombre de références** Nombre de références à un objet. Lorsque le nombre de références à un objet descend à zéro, l'objet est désalloué. Le comptage de référence n'est généralement pas visible dans le code Python, mais c'est un élément clé de l'implémentation *CPython*. Le module `sys` définit une fonction `getrefcount()` que les développeurs peuvent utiliser pour obtenir le nombre de références à un objet donné.

**paquet classique** *paquet* traditionnel, tel qu'un dossier contenant un fichier `__init__.py`.

Voir aussi *paquet-espace de nommage*.

**\_\_slots\_\_** Déclaration dans une classe qui économise de la mémoire en pré-allouant de l'espace pour les attributs des instances et qui élimine le dictionnaire (des attributs) des instances. Bien que populaire, cette technique est difficile à maîtriser et devrait être réservée à de rares cas où un grand nombre d'instances dans une application devient un sujet critique pour la mémoire.

**séquence** *itérable* qui offre un accès efficace à ses éléments par un indice sous forme de nombre entier via la méthode spéciale `__getitem__()` et qui définit une méthode `__len__()` donnant sa taille. Voici quelques séquences natives : `list`, `str`, `tuple`, et `bytes`. Notez que `dict` possède aussi une méthode `__getitem__()` et une méthode `__len__()`, mais il est considéré comme un *mapping* plutôt qu'une séquence, car ses accès se font par une clé arbitraire *immutable* plutôt qu'un nombre entier.

La classe abstraite de base `collections.abc.Sequence` définit une interface plus riche qui va au-delà des simples `__getitem__()` et `__len__()`, en ajoutant `count()`, `index()`, `__contains__()` et `__reversed__()`. Les types qui implémentent cette interface étendue peuvent s'enregistrer explicitement en utilisant `register()`.

**ensemble en compréhension (ou ensemble en intension)** Une façon compacte de traiter tout ou partie des éléments d'un itérable et de renvoyer un *set* avec les résultats. `results = {c for c in 'abracadabra' if c not in 'abc'}` génère l'ensemble contenant les lettres « r » et « d » { 'r', 'd' }. Voir *compréhensions*.

**distribution simple** Forme de distribution, comme les *fonction génériques*, où l'implémentation est choisie en fonction du type d'un seul argument.

**tranche** (*slice* en anglais), un objet contenant habituellement une portion de *séquence*. Une tranche est créée en utilisant la notation `[]` avec des `:` entre les nombres lorsque plusieurs sont fournis, comme dans `variable_name[1:3:5]`. Cette notation utilise des objets *slice* en interne.

**méthode spéciale** (*special method* en anglais) Méthode appelée implicitement par Python pour exécuter une opération sur un type, comme une addition. De telles méthodes ont des noms commençant et terminant par des doubles tirets bas. Les méthodes spéciales sont documentées dans *specialnames*.

**instruction** Une instruction (*statement* en anglais) est un composant d'un "bloc" de code. Une instruction est soit une *expression*, soit une ou plusieurs constructions basées sur un mot-clé, comme `if`, `while` ou `for`.

**encodage de texte** Une chaîne de caractères en Python est une suite de points de code Unicode (dans l'intervalle `U+0000--U+10FFFF`). Pour stocker ou transmettre une chaîne, il est nécessaire de la sérialiser en suite d'octets.

Sérialiser une chaîne de caractères en une suite d'octets s'appelle « encoder » et recréer la chaîne à partir de la suite d'octets s'appelle « decoder ».

Il existe de multiples codecs pour la sérialisation de texte, que l'on regroupe sous l'expression « encodages de texte ».

**fichier texte** *file object* capable de lire et d'écrire des objets `str`. Souvent, un fichier texte (*text file* en anglais) accède en fait à un flux de donnée en octets et gère l'*text encoding* automatiquement. Des exemples de fichiers textes sont les fichiers ouverts en mode texte ('r' ou 'w'), `sys.stdin`, `sys.stdout` et les instances de `io.StringIO`.

Voir aussi *binary file* pour un objet fichier capable de lire et d'écrire *bytes-like objects*.

**chaîne entre triple guillemets** Chaîne qui est délimitée par trois guillemets simples (') ou trois guillemets doubles ("). Bien qu'elle ne fournisse aucune fonctionnalité qui ne soit pas disponible avec une chaîne entre guillemets, elle est utile pour de nombreuses raisons. Elle vous autorise à insérer des guillemets simples et doubles dans une chaîne sans avoir à les protéger et elle peut s'étendre sur plusieurs lignes sans avoir à terminer chaque ligne par un \. Elle est ainsi particulièrement utile pour les chaînes de documentation (*docstrings*).



**type** Le type d'un objet Python détermine quel genre d'objet c'est. Tous les objets ont un type. Le type d'un objet peut être obtenu via son attribut `__class__` ou via `type(obj)`.

**alias de type** Synonyme d'un type, créé en affectant le type à un identifiant.

Les alias de types sont utiles pour simplifier les *indications de types*. Par exemple :

```
def remove_gray_shades(
    colors: list[tuple[int, int, int]]) -> list[tuple[int, int, int]]:
    pass
```

pourrait être rendu plus lisible comme ceci :

```
Color = tuple[int, int, int]

def remove_gray_shades(colors: list[Color]) -> list[Color]:
    pass
```

Voir `typing` et [PEP 484](#), qui décrivent cette fonctionnalité.

**indication de type** Le *annotation* qui spécifie le type attendu pour une variable, un attribut de classe, un paramètre de fonction ou une valeur de retour.

Les indications de type sont facultatives et ne sont pas indispensables à l'interpréteur Python, mais elles sont utiles aux outils d'analyse de type statique et aident les IDE à compléter et à réusiner (*code refactoring* en anglais) le code.

Les indicateurs de type de variables globales, d'attributs de classe et de fonctions, mais pas de variables locales, peuvent être consultés en utilisant `typing.get_type_hints()`.

Voir `typing` et [PEP 484](#), qui décrivent cette fonctionnalité.

**retours à la ligne universels** Une manière d'interpréter des flux de texte dans lesquels sont reconnues toutes les fins de ligne suivantes : la convention Unix `'\n'`, la convention Windows `'\r\n'` et l'ancienne convention Macintosh `'\r'`. Voir la [PEP 278](#) et la [PEP 3116](#), ainsi que la fonction `bytes.splitlines()` pour d'autres usages.

**annotation de variable** *annotation* d'une variable ou d'un attribut de classe.

Lorsque vous annotez une variable ou un attribut de classe, l'affectation est facultative :

```
class C:
    field: 'annotation'
```

Les annotations de variables sont généralement utilisées pour des *indications de types* : par exemple, cette variable devrait prendre des valeurs de type `int` :

```
count: int = 0
```

La syntaxe d'annotation de la variable est expliquée dans la section `annassign`.

Reportez-vous à *function annotation*, à la [PEP 484](#) et à la [PEP 526](#) qui décrivent cette fonctionnalité.

**environnement virtuel** Environnement d'exécution isolé (en mode coopératif) qui permet aux utilisateurs de Python et aux applications d'installer et de mettre à jour des paquets sans interférer avec d'autres applications Python fonctionnant sur le même système.

Voir aussi `venv`.

**machine virtuelle** Ordinateur défini entièrement par du logiciel. La machine virtuelle (*virtual machine*) de Python exécute le *bytecode* produit par le compilateur de *bytecode*.

**Le zen de Python** Liste de principes et de préceptes utiles pour comprendre et utiliser le langage. Cette liste peut être obtenue en tapant `"import this"` dans une invite Python interactive.



---

## À propos de ces documents

---

Ces documents sont générés à partir de sources en [reStructuredText](#) par [Sphinx](#), un analyseur de documents spécialement conçu pour la documentation Python.

Le développement de la documentation et de ses outils est entièrement basé sur le volontariat, tout comme Python. Si vous voulez contribuer, allez voir la page [reporting-bugs](#) qui contient des informations pour vous y aider. Les nouveaux volontaires sont toujours les bienvenus !

Merci beaucoup à :

- Fred L. Drake, Jr., créateur des outils originaux de la documentation Python et rédacteur de la plupart de son contenu ;
- le projet [Docutils](#) pour avoir créé *reStructuredText* et la suite d'outils *Docutils* ;
- Fredrik Lundh pour son projet *Alternative Python Reference*, dont Sphinx a pris beaucoup de bonnes idées.

### B.1 Contributeurs de la documentation Python

De nombreuses personnes ont contribué au langage Python, à sa bibliothèque standard et à sa documentation. Consultez [Misc/ACKS](#) dans les sources de la distribution Python pour avoir une liste partielle des contributeurs.

Ce n'est que grâce aux suggestions et contributions de la communauté Python que Python a une documentation si merveilleuse — Merci !



---

Histoire et licence

---

## C.1 Histoire du logiciel

Python a été créé au début des années 1990 par Guido van Rossum, au Stichting Mathematisch Centrum (CWI, voir <https://www.cwi.nl/>) au Pays-Bas en tant que successeur d'un langage appelé ABC. Guido est l'auteur principal de Python, bien qu'il inclut de nombreuses contributions de la part d'autres personnes.

En 1995, Guido continua son travail sur Python au Corporation for National Research Initiatives (CNRI, voir <https://www.cnri.reston.va.us/>) de Reston, en Virginie, d'où il diffusa plusieurs versions du logiciel.

En mai 2000, Guido et l'équipe de développement centrale de Python sont partis vers BeOpen.com pour former l'équipe BeOpen PythonLabs. En octobre de la même année, l'équipe de PythonLabs est partie vers Digital Creations (désormais Zope Corporation; voir <https://www.zope.com/>). En 2001, la Python Software Foundation (PSF, voir <https://www.python.org/psf/>) voit le jour. Il s'agit d'une organisation à but non lucratif détenant les droits de propriété intellectuelle de Python. Zope Corporation en est un sponsor.

Toutes les versions de Python sont Open Source (voir <https://www.opensource.org/> pour la définition d'Open Source). Historiquement, la plupart, mais pas toutes, des versions de Python ont également été compatible avec la GPL, le tableau ci-dessous résume les différentes versions.

Version	Dérivé de	Année	Propriétaire	Compatible avec la GPL ?
0.9.0 à 1.2	n/a	1991-1995	CWI	oui
1.3 à 1.5.2	1.2	1995-1999	CNRI	oui
1.6	1.5.2	2000	CNRI	non
2.0	1.6	2000	BeOpen.com	non
1.6.1	1.6	2001	CNRI	non
2.1	2.0+1.6.1	2001	PSF	non
2.0.1	2.0+1.6.1	2001	PSF	oui
2.1.1	2.1+2.0.1	2001	PSF	oui
2.1.2	2.1.1	2002	PSF	oui
2.1.3	2.1.2	2002	PSF	oui
2.2 et ultérieure	2.1.1	2001-maintenant	PSF	oui

---

**Note :** Compatible GPL ne signifie pas que nous distribuons Python sous licence GPL. Toutes les licences Python, excepté la licence GPL, vous permettent la distribution d'une version modifiée sans rendre open source ces changements. La licence « compatible GPL » rend possible la diffusion de Python avec un autre logiciel qui est lui, diffusé sous la licence GPL ; les licences « non-compatibles GPL » ne le peuvent pas.

---

Merci aux nombreux bénévoles qui ont travaillé sous la direction de Guido pour rendre ces versions possibles.

## C.2 Conditions générales pour accéder à, ou utiliser, Python

Le logiciel Python et sa documentation sont distribués sous *la licence d'utilisation PSF*.

Depuis Python 3.8.6, les exemples, recettes et autres codes présents dans la documentation sont sous la double licence d'utilisation PSF et *la licence Zero-Clause BSD*.

Certains logiciels faisant partie de Python sont soumis à d'autres licences. Ces licences sont incluses avec le code lié à celles-ci. Voir *Licences et remerciements pour les logiciels tiers* pour une liste non exhaustive de ces licences.

### C.2.1 PSF LICENSE AGREEMENT FOR PYTHON 3.9.21

1. This LICENSE AGREEMENT is between the Python Software Foundation ("PSF"),  
→and  
the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise using  
→Python  
3.9.21 software in source or binary form and its associated documentation.
2. Subject to the terms and conditions of this License Agreement, PSF hereby  
grants Licensee a nonexclusive, royalty-free, world-wide license to  
→reproduce,  
analyze, test, perform and/or display publicly, prepare derivative works,  
distribute, and otherwise use Python 3.9.21 alone or in any derivative  
version, provided, however, that PSF's License Agreement and PSF's notice  
→of  
copyright, i.e., "Copyright © 2001-2023 Python Software Foundation; All  
→Rights  
Reserved" are retained in Python 3.9.21 alone or in any derivative version  
prepared by Licensee.
3. In the event Licensee prepares a derivative work that is based on or  
incorporates Python 3.9.21 or any part thereof, and wants to make the  
derivative work available to others as provided herein, then Licensee  
→hereby  
agrees to include in any such work a brief summary of the changes made to  
→Python  
3.9.21.
4. PSF is making Python 3.9.21 available to Licensee on an "AS IS" basis.  
PSF MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED. BY WAY OF  
EXAMPLE, BUT NOT LIMITATION, PSF MAKES NO AND DISCLAIMS ANY REPRESENTATION  
→OR  
WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR THAT  
→THE

USE OF PYTHON 3.9.21 WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.

5. PSF SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF PYTHON 3.9.21 FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A RESULT OF  
 →MODIFYING, DISTRIBUTING, OR OTHERWISE USING PYTHON 3.9.21, OR ANY  
 →DERIVATIVE THEREOF, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF.
6. This License Agreement will automatically terminate upon a material breach  
 →of its terms and conditions.
7. Nothing in this License Agreement shall be deemed to create any  
 →relationship of agency, partnership, or joint venture between PSF and Licensee. This  
 →License Agreement does not grant permission to use PSF trademarks or trade name in  
 →a trademark sense to endorse or promote products or services of Licensee, or  
 →any third party.
8. By copying, installing or otherwise using Python 3.9.21, Licensee agrees to be bound by the terms and conditions of this License Agreement.

## C.2.2 LICENCE D'UTILISATION BEOPEN.COM POUR PYTHON 2.0

### LICENCE D'UTILISATION LIBRE BEOPEN PYTHON VERSION 1

1. This LICENSE AGREEMENT is between BeOpen.com ("BeOpen"), having an office at 160 Saratoga Avenue, Santa Clara, CA 95051, and the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise using this software in source or binary form and its associated documentation ("the Software").
2. Subject to the terms and conditions of this BeOpen Python License Agreement, BeOpen hereby grants Licensee a non-exclusive, royalty-free, world-wide license to reproduce, analyze, test, perform and/or display publicly, prepare derivative works, distribute, and otherwise use the Software alone or in any derivative version, provided, however, that the BeOpen Python License is retained in the Software, alone or in any derivative version prepared by Licensee.
3. BeOpen is making the Software available to Licensee on an "AS IS" basis. BEOPEN MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED. BY WAY OF EXAMPLE, BUT NOT LIMITATION, BEOPEN MAKES NO AND DISCLAIMS ANY REPRESENTATION OR WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR THAT THE USE OF THE SOFTWARE WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.
4. BEOPEN SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF THE SOFTWARE FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A RESULT OF USING, MODIFYING OR DISTRIBUTING THE SOFTWARE, OR ANY DERIVATIVE THEREOF, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF.
5. This License Agreement will automatically terminate upon a material breach of

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

its terms and conditions.

6. This License Agreement shall be governed by and interpreted in all respects by the law of the State of California, excluding conflict of law provisions. Nothing in this License Agreement shall be deemed to create any relationship of agency, partnership, or joint venture between BeOpen and Licensee. This License Agreement does not grant permission to use BeOpen trademarks or trade names in a trademark sense to endorse or promote products or services of Licensee, or any third party. As an exception, the "BeOpen Python" logos available at <http://www.pythonlabs.com/logos.html> may be used according to the permissions granted on that web page.
7. By copying, installing or otherwise using the software, Licensee agrees to be bound by the terms and conditions of this License Agreement.

## C.2.3 LICENCE D'UTILISATION CNRI POUR PYTHON 1.6.1

1. This LICENSE AGREEMENT is between the Corporation for National Research Initiatives, having an office at 1895 Preston White Drive, Reston, VA 20191 ("CNRI"), and the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise using Python 1.6.1 software in source or binary form and its associated documentation.
2. Subject to the terms and conditions of this License Agreement, CNRI hereby grants Licensee a nonexclusive, royalty-free, world-wide license to reproduce, analyze, test, perform and/or display publicly, prepare derivative works, distribute, and otherwise use Python 1.6.1 alone or in any derivative version, provided, however, that CNRI's License Agreement and CNRI's notice of copyright, i.e., "Copyright © 1995-2001 Corporation for National Research Initiatives; All Rights Reserved" are retained in Python 1.6.1 alone or in any derivative version prepared by Licensee. Alternately, in lieu of CNRI's License Agreement, Licensee may substitute the following text (omitting the quotes): "Python 1.6.1 is made available subject to the terms and conditions in CNRI's License Agreement. This Agreement together with Python 1.6.1 may be located on the Internet using the following unique, persistent identifier (known as a handle): 1895.22/1013. This Agreement may also be obtained from a proxy server on the Internet using the following URL: <http://hdl.handle.net/1895.22/1013>."
3. In the event Licensee prepares a derivative work that is based on or incorporates Python 1.6.1 or any part thereof, and wants to make the derivative work available to others as provided herein, then Licensee hereby agrees to include in any such work a brief summary of the changes made to Python 1.6.1.
4. CNRI is making Python 1.6.1 available to Licensee on an "AS IS" basis. CNRI MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED. BY WAY OF EXAMPLE, BUT NOT LIMITATION, CNRI MAKES NO AND DISCLAIMS ANY REPRESENTATION OR WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE OR THAT THE USE OF PYTHON 1.6.1 WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.
5. CNRI SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF PYTHON 1.6.1 FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A RESULT OF MODIFYING, DISTRIBUTING, OR OTHERWISE USING PYTHON 1.6.1, OR ANY DERIVATIVE THEREOF, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF.

(suite sur la page suivante)



(suite de la page précédente)

6. This License Agreement will automatically terminate upon a material breach of its terms and conditions.
7. This License Agreement shall be governed by the federal intellectual property law of the United States, including without limitation the federal copyright law, and, to the extent such U.S. federal law does not apply, by the law of the Commonwealth of Virginia, excluding Virginia's conflict of law provisions. Notwithstanding the foregoing, with regard to derivative works based on Python 1.6.1 that incorporate non-separable material that was previously distributed under the GNU General Public License (GPL), the law of the Commonwealth of Virginia shall govern this License Agreement only as to issues arising under or with respect to Paragraphs 4, 5, and 7 of this License Agreement. Nothing in this License Agreement shall be deemed to create any relationship of agency, partnership, or joint venture between CNRI and Licensee. This License Agreement does not grant permission to use CNRI trademarks or trade name in a trademark sense to endorse or promote products or services of Licensee, or any third party.
8. By clicking on the "ACCEPT" button where indicated, or by copying, installing or otherwise using Python 1.6.1, Licensee agrees to be bound by the terms and conditions of this License Agreement.

## C.2.4 LICENCE D'UTILISATION CWI POUR PYTHON 0.9.0 à 1.2

Copyright © 1991 - 1995, Stichting Mathematisch Centrum Amsterdam, The Netherlands. All rights reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation, and that the name of Stichting Mathematisch Centrum or CWI not be used in advertising or publicity pertaining to distribution of the software without specific, written prior permission.

STICHTING MATHEMATISCH CENTRUM DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL STICHTING MATHEMATISCH CENTRUM BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

## C.2.5 LICENCE BSD ZERO-CLAUSE POUR LE CODE DANS LA DOCUMENTATION DE PYTHON 3.9.21

Permission to use, copy, modify, and/or distribute this software for any purpose with or without fee is hereby granted.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS" AND THE AUTHOR DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, DIRECT,

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

INDIRECT, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

## C.3 Licences et remerciements pour les logiciels tiers

Cette section est une liste incomplète mais grandissante de licences et remerciements pour les logiciels tiers incorporés dans la distribution de Python.

### C.3.1 Mersenne twister

Le module `_random` inclut du code construit à partir d'un téléchargement depuis <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/MT2002/emt19937ar.html>. Voici mot pour mot les commentaires du code original :

A C-program for MT19937, with initialization improved 2002/1/26.  
Coded by Takuji Nishimura and Makoto Matsumoto.

Before using, initialize the state by using `init_genrand(seed)`  
or `init_by_array(init_key, key_length)`.

Copyright (C) 1997 - 2002, Makoto Matsumoto and Takuji Nishimura,  
All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without  
modification, are permitted provided that the following conditions  
are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. The names of its contributors may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS  
"AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT  
LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR  
A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR  
CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL,  
EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO,  
PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR  
PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF  
LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING  
NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS  
SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
Any feedback is very welcome.
http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/emt.html
email: m-mat @ math.sci.hiroshima-u.ac.jp (remove space)
```

### C.3.2 Interfaces de connexion (sockets)

Le module `socket` utilise les fonctions `getaddrinfo()` et `getnameinfo()` codées dans des fichiers source séparés et provenant du projet WIDE : <http://www.wide.ad.jp/>.

```
Copyright (C) 1995, 1996, 1997, and 1998 WIDE Project.
All rights reserved.
```

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. Neither the name of the project nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

```
THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE PROJECT AND CONTRIBUTORS ``AS IS'' AND
ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
ARE DISCLAIMED.  IN NO EVENT SHALL THE PROJECT OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS
OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY
OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF
SUCH DAMAGE.
```

### C.3.3 Interfaces de connexion asynchrones

Les modules `asyncio` et `asynchat` contiennent la note suivante :

```
Copyright 1996 by Sam Rushing
```

```
All Rights Reserved
```

```
Permission to use, copy, modify, and distribute this software and
its documentation for any purpose and without fee is hereby
granted, provided that the above copyright notice appear in all
copies and that both that copyright notice and this permission
notice appear in supporting documentation, and that the name of Sam
Rushing not be used in advertising or publicity pertaining to
distribution of the software without specific, written prior
permission.
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
SAM RUSHING DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE,
INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN
NO EVENT SHALL SAM RUSHING BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR
CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS
OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT,
NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN
CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.
```

### C.3.4 Gestion de témoin (*cookie*)

Le module `http.cookies` contient la note suivante :

```
Copyright 2000 by Timothy O'Malley <timo@alum.mit.edu>
```

```
    All Rights Reserved
```

```
Permission to use, copy, modify, and distribute this software
and its documentation for any purpose and without fee is hereby
granted, provided that the above copyright notice appear in all
copies and that both that copyright notice and this permission
notice appear in supporting documentation, and that the name of
Timothy O'Malley not be used in advertising or publicity
pertaining to distribution of the software without specific, written
prior permission.
```

```
Timothy O'Malley DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS
SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY
AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL Timothy O'Malley BE LIABLE FOR
ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES
WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS,
WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS
ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR
PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.
```

### C.3.5 Traçage d'exécution

Le module `trace` contient la note suivante :

```
portions copyright 2001, Autonomous Zones Industries, Inc., all rights...
err... reserved and offered to the public under the terms of the
Python 2.2 license.
Author: Zooko O'Whielacronx
http://zooko.com/
mailto:zooko@zooko.com
```

```
Copyright 2000, Mojam Media, Inc., all rights reserved.
Author: Skip Montanaro
```

```
Copyright 1999, Bioreason, Inc., all rights reserved.
Author: Andrew Dalke
```

```
Copyright 1995-1997, Automatrix, Inc., all rights reserved.
Author: Skip Montanaro
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

Copyright 1991-1995, Stichting Mathematisch Centrum, all rights reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this Python software and its associated documentation for any purpose without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appears in all copies, and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation, and that the name of neither Automatrix, Bioreason or Mojam Media be used in advertising or publicity pertaining to distribution of the software without specific, written prior permission.

### C.3.6 Les fonctions UUencode et UUdecode

Le module uu contient la note suivante :

Copyright 1994 by Lance Ellinghouse  
Cathedral City, California Republic, United States of America.  
All Rights Reserved

Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation, and that the name of Lance Ellinghouse not be used in advertising or publicity pertaining to distribution of the software without specific, written prior permission.

LANCE ELLINGHOUSE DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL LANCE ELLINGHOUSE CENTRUM BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

Modified by Jack Jansen, CWI, July 1995:

- Use binascii module to do the actual line-by-line conversion between ascii and binary. This results in a 1000-fold speedup. The C version is still 5 times faster, though.
- Arguments more compliant with Python standard

### C.3.7 Appel de procédures distantes en XML (*RPC*, pour *Remote Procedure Call*)

Le module xmlrpc.client contient la note suivante :

The XML-RPC client interface is

Copyright (c) 1999-2002 by Secret Labs AB  
Copyright (c) 1999-2002 by Fredrik Lundh

By obtaining, using, and/or copying this software and/or its associated documentation, you agree that you have read, understood, and will comply with the following terms and conditions:

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its associated documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appears in all copies, and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation, and that the name of Secret Labs AB or the author not be used in advertising or publicity pertaining to distribution of the software without specific, written prior permission.

SECRET LABS AB AND THE AUTHOR DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS. IN NO EVENT SHALL SECRET LABS AB OR THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

### C.3.8 test\_epoll

Le module `test_epoll` contient la note suivante :

Copyright (c) 2001-2006 Twisted Matrix Laboratories.

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

### C.3.9 Select kqueue

Le module `select` contient la note suivante pour l'interface *kqueue* :

Copyright (c) 2000 Doug White, 2006 James Knight, 2007 Christian Heimes  
All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR AND CONTRIBUTORS ``AS IS'' AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

### C.3.10 SipHash24

Le fichier Python/pyhash.c contient une implémentation par Marek Majkowski de l'algorithme *SipHash24* de Dan Bernstein. Il contient la note suivante :

```
<MIT License>
Copyright (c) 2013 Marek Majkowski <marek@popcount.org>

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
in the Software without restriction, including without limitation the rights
to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in
all copies or substantial portions of the Software.
</MIT License>

Original location:
  https://github.com/majek/csiphash/

Solution inspired by code from:
  Samuel Neves (supercop/crypto_auth/siphash24/little)
  djb (supercop/crypto_auth/siphash24/little2)
  Jean-Philippe Aumasson (https://131002.net/siphash/siphash24.c)
```

### C.3.11 *strtod* et *dtoa*

Le fichier `Python/dtoa.c`, qui fournit les fonctions `dtoa` et `strtod` pour la conversion de *doubles* C vers et depuis les chaînes, est tiré d'un fichier du même nom par David M. Gay, actuellement disponible sur <http://www.netlib.org/fp/>. Le fichier original, tel que récupéré le 16 mars 2009, contient la licence suivante :

```
/* *****  
 *  
 * The author of this software is David M. Gay.  
 *  
 * Copyright (c) 1991, 2000, 2001 by Lucent Technologies.  
 *  
 * Permission to use, copy, modify, and distribute this software for any  
 * purpose without fee is hereby granted, provided that this entire notice  
 * is included in all copies of any software which is or includes a copy  
 * or modification of this software and in all copies of the supporting  
 * documentation for such software.  
 *  
 * THIS SOFTWARE IS BEING PROVIDED "AS IS", WITHOUT ANY EXPRESS OR IMPLIED  
 * WARRANTY. IN PARTICULAR, NEITHER THE AUTHOR NOR LUCENT MAKES ANY  
 * REPRESENTATION OR WARRANTY OF ANY KIND CONCERNING THE MERCHANTABILITY  
 * OF THIS SOFTWARE OR ITS FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE.  
 *  
 ***** */
```

### C.3.12 OpenSSL

Les modules `hashlib`, `posix`, `ssl`, et `crypt` utilisent la bibliothèque OpenSSL pour améliorer les performances, si elle est disponible via le système d'exploitation. Aussi les outils d'installation sur Windows et macOS peuvent inclure une copie des bibliothèques d'OpenSSL, donc on colle une copie de la licence d'OpenSSL ici :

```
LICENSE ISSUES  
=====  
  
The OpenSSL toolkit stays under a dual license, i.e. both the conditions of  
the OpenSSL License and the original SSLeay license apply to the toolkit.  
See below for the actual license texts. Actually both licenses are BSD-style  
Open Source licenses. In case of any license issues related to OpenSSL  
please contact openssl-core@openssl.org.  
  
OpenSSL License  
-----  
  
/* =====  
 * Copyright (c) 1998-2008 The OpenSSL Project. All rights reserved.  
 *  
 * Redistribution and use in source and binary forms, with or without  
 * modification, are permitted provided that the following conditions  
 * are met:  
 *  
 * 1. Redistributions of source code must retain the above copyright  
 * notice, this list of conditions and the following disclaimer.  
 *  
 * 2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright  
 * notice, this list of conditions and the following disclaimer in  
 * the documentation and/or other materials provided with the
```

(suite sur la page suivante)



(suite de la page précédente)

```

*   distribution.
*
* 3. All advertising materials mentioning features or use of this
*   software must display the following acknowledgment:
*   "This product includes software developed by the OpenSSL Project
*   for use in the OpenSSL Toolkit. (http://www.openssl.org/)"
*
* 4. The names "OpenSSL Toolkit" and "OpenSSL Project" must not be used to
*   endorse or promote products derived from this software without
*   prior written permission. For written permission, please contact
*   openssl-core@openssl.org.
*
* 5. Products derived from this software may not be called "OpenSSL"
*   nor may "OpenSSL" appear in their names without prior written
*   permission of the OpenSSL Project.
*
* 6. Redistributions of any form whatsoever must retain the following
*   acknowledgment:
*   "This product includes software developed by the OpenSSL Project
*   for use in the OpenSSL Toolkit (http://www.openssl.org/)"
*
* THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE OpenSSL PROJECT ``AS IS'' AND ANY
* EXPRESSED OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
* IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR
* PURPOSE ARE DISCLAIMED.  IN NO EVENT SHALL THE OpenSSL PROJECT OR
* ITS CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL,
* SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT
* NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES;
* LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
* HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT,
* STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE)
* ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED
* OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.
* =====
*
* This product includes cryptographic software written by Eric Young
* (eay@cryptsoft.com).  This product includes software written by Tim
* Hudson (tjh@cryptsoft.com).
*
*/

```

Original SSLeay License

-----

```

/* Copyright (C) 1995-1998 Eric Young (eay@cryptsoft.com)
* All rights reserved.
*
* This package is an SSL implementation written
* by Eric Young (eay@cryptsoft.com).
* The implementation was written so as to conform with Netscapes SSL.
*
* This library is free for commercial and non-commercial use as long as
* the following conditions are aheared to. The following conditions
* apply to all code found in this distribution, be it the RC4, RSA,
* lhash, DES, etc., code; not just the SSL code. The SSL documentation
* included with this distribution is covered by the same copyright terms
* except that the holder is Tim Hudson (tjh@cryptsoft.com).

```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

*
* Copyright remains Eric Young's, and as such any Copyright notices in
* the code are not to be removed.
* If this package is used in a product, Eric Young should be given attribution
* as the author of the parts of the library used.
* This can be in the form of a textual message at program startup or
* in documentation (online or textual) provided with the package.
*
* Redistribution and use in source and binary forms, with or without
* modification, are permitted provided that the following conditions
* are met:
* 1. Redistributions of source code must retain the copyright
*   notice, this list of conditions and the following disclaimer.
* 2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
*   notice, this list of conditions and the following disclaimer in the
*   documentation and/or other materials provided with the distribution.
* 3. All advertising materials mentioning features or use of this software
*   must display the following acknowledgement:
*   "This product includes cryptographic software written by
*   Eric Young (eay@cryptsoft.com)"
*   The word 'cryptographic' can be left out if the routines from the library
*   being used are not cryptographic related :-).
* 4. If you include any Windows specific code (or a derivative thereof) from
*   the apps directory (application code) you must include an acknowledgement:
*   "This product includes software written by Tim Hudson (tjh@cryptsoft.com)"
*
* THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY ERIC YOUNG ``AS IS'' AND
* ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
* IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
* ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
* FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
* DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS
* OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
* HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
* LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY
* OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF
* SUCH DAMAGE.
*
* The licence and distribution terms for any publically available version or
* derivative of this code cannot be changed. i.e. this code cannot simply be
* copied and put under another distribution licence
* [including the GNU Public Licence.]
*/

```

### C.3.13 expat

Le module pyexpat est compilé avec une copie des sources d'*expat*, sauf si la compilation est configurée avec `--with-system-expat` :

```

Copyright (c) 1998, 1999, 2000 Thai Open Source Software Center Ltd
and Clark Cooper

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
a copy of this software and associated documentation files (the
"Software"), to deal in the Software without restriction, including

```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish,
distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to
permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to
the following conditions:
```

```
The above copyright notice and this permission notice shall be included
in all copies or substantial portions of the Software.
```

```
THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND,
EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF
MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT.
IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY
CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT,
TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE
SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.
```

### C.3.14 libffi

Le module `_ctypes` est compilé en utilisant une copie des sources de la *libffi*, sauf si la compilation est configurée avec `--with-system-libffi`:

```
Copyright (c) 1996-2008 Red Hat, Inc and others.
```

```
Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
a copy of this software and associated documentation files (the
`Software'), to deal in the Software without restriction, including
without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish,
distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to
permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to
the following conditions:
```

```
The above copyright notice and this permission notice shall be included
in all copies or substantial portions of the Software.
```

```
THE SOFTWARE IS PROVIDED ``AS IS'', WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND,
EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF
MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND
NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT
HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY,
WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER
DEALINGS IN THE SOFTWARE.
```

### C.3.15 zlib

Le module `zlib` est compilé en utilisant une copie du code source de *zlib* si la version de *zlib* trouvée sur le système est trop vieille pour être utilisée :

```
Copyright (C) 1995-2011 Jean-loup Gailly and Mark Adler
```

```
This software is provided 'as-is', without any express or implied
warranty. In no event will the authors be held liable for any damages
arising from the use of this software.
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

Permission is granted to anyone to use this software for any purpose, including commercial applications, and to alter it and redistribute it freely, subject to the following restrictions:

1. The origin of this software must not be misrepresented; you must not claim that you wrote the original software. If you use this software in a product, an acknowledgment in the product documentation would be appreciated but is not required.
2. Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be misrepresented as being the original software.
3. This notice may not be removed or altered from any source distribution.

Jean-loup Gailly  
jloup@gzip.org

Mark Adler  
madler@alumni.caltech.edu

### C.3.16 cfuhash

L'implémentation des dictionnaires, utilisée par le module `tracemalloc` est basée sur le projet *cfuhash* :

Copyright (c) 2005 Don Owens  
All rights reserved.

This code is released under the BSD license:

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- \* Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- \* Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- \* Neither the name of the author nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

### C.3.17 libmpdec

Le module `_decimal` est construit en incluant une copie de la bibliothèque *libmpdec*, sauf si elle est compilée avec `--with-system-libmpdec` :

```
Copyright (c) 2008-2020 Stefan Krah. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright
   notice, this list of conditions and the following disclaimer.

2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
   notice, this list of conditions and the following disclaimer in the
   documentation and/or other materials provided with the distribution.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND
ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
ARE DISCLAIMED.  IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS
OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION)
HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY
OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF
SUCH DAMAGE.
```

### C.3.18 Ensemble de tests C14N du W3C

The C14N 2.0 test suite in the `test` package (`Lib/test/xmltestdata/c14n-20/`) was retrieved from the W3C website at <https://www.w3.org/TR/xml-c14n2-testcases/> and is distributed under the 3-clause BSD license :

```
Copyright (c) 2013 W3C(R) (MIT, ERCIM, Keio, Beihang),
All Rights Reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without
modification, are permitted provided that the following conditions
are met:

* Redistributions of works must retain the original copyright notice,
  this list of conditions and the following disclaimer.
* Redistributions in binary form must reproduce the original copyright
  notice, this list of conditions and the following disclaimer in the
  documentation and/or other materials provided with the distribution.
* Neither the name of the W3C nor the names of its contributors may be
  used to endorse or promote products derived from this work without
  specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS
"AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT
LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR
A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT
OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL,
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

## ANNEXE D

---

### Copyright

---

Python et cette documentation sont :

Copyright © 2001-2023 Python Software Foundation. All rights reserved.

Copyright © 2000 *BeOpen.com*. Tous droits réservés.

Copyright © 1995-2000 *Corporation for National Research Initiatives*. Tous droits réservés.

Copyright © 1991-1995 *Stichting Mathematisch Centrum*. Tous droits réservés.

---

Voir [Histoire et licence](#) pour des informations complètes concernant la licence et les permissions.





## Non alphabétique

..., [119](#)  
 # (*hash*)  
     comment, [9](#)  
 \* (*asterisk*)  
     in function calls, [30](#)  
 \*\*  
     in function calls, [30](#)  
 2to3, [119](#)  
 : (*colon*)  
     function annotations, [32](#)  
 ->  
     function annotations, [32](#)  
 >>>, [119](#)  
 \_\_all\_\_, [54](#)  
 \_\_future\_\_, [123](#)  
 \_\_slots\_\_, [130](#)

## A

alias de type, [131](#)  
 annotation, [119](#)  
 annotation de fonction, [123](#)  
 annotation de variable, [131](#)  
 annotations  
     function, [32](#)  
 API provisoire, [129](#)  
 argument, [119](#)  
 argument nommé, [126](#)  
 argument positionnel, [129](#)  
 arrêt de l'interpréteur, [125](#)  
 attribut, [120](#)  
 awaitable, [120](#)

## B

BDFL, [120](#)  
 builtins  
     module, [52](#)

## C

C-contiguous, [121](#)

chaîne entre triple guillemets, [130](#)  
 chargeur, [126](#)  
 chemin des importations, [125](#)  
 chercheur, [123](#)  
 chercheur basé sur les chemins, [128](#)  
 chercheur dans les méta-chemins, [126](#)  
 chercheur de chemins, [128](#)  
 classe, [121](#)  
 classe de base abstraite, [119](#)  
 code intermédiaire (*bytecode*), [121](#)  
 coding  
     style, [32](#)  
 coercition, [121](#)  
 contigu, [121](#)  
 coroutine, [121](#)  
 CPython, [122](#)

## D

décorateur, [122](#)  
 descripteur, [122](#)  
 dictionnaire, [122](#)  
 dictionnaire en compréhension (*ou dictionnaire en intension*), [122](#)  
 distribution simple, [130](#)  
 division entière, [123](#)  
 docstring (*chaîne de documentation*), [122](#)  
 docstrings, [23](#), [31](#)  
 documentation strings, [23](#), [31](#)  
 duck-typing, [122](#)

## E

EAFP, [122](#)  
 encodage de texte, [130](#)  
 ensemble en compréhension (*ou ensemble en intension*), [130](#)  
 entrée de chemin, [128](#)  
 environnement virtuel, [131](#)  
 espace de nommage, [127](#)  
 état

- for, 20
- expression, 122
- expression génératrice, 124

## F

- f-string, 123
- fichier binaire, 120
- fichier texte, 130
- file
  - objet, 61
- fonction, 123
- fonction clé, 125
- fonction coroutine, 121
- fonction de base
  - help, 87
  - open, 61
- fonction de rappel, 121
- fonction générique, 124
- for
  - état, 20
- Fortran contiguous, 121
- function
  - annotations, 32

## G

- générateur, 123
- générateur asynchrone, 120
- generator, 123
- generator expression, 124
- gestionnaire de contexte, 121
- gestionnaire de contexte asynchrone, 120
- GIL, 124

## H

- hachable, 124
- help
  - fonction de base, 87

## I

- IDLE, 124
- immuable, 124
- importateur, 125
- importing, 125
- indication de type, 131
- instruction, 130
- interactif, 125
- interprété, 125
- itérable, 125
- itérable asynchrone, 120
- itérateur, 125
- itérateur asynchrone, 120
- itérateur de générateur, 124
- itérateur de générateur asynchrone, 120

## J

- json
  - module, 64

## L

- lambda, 126
- LBYL, 126
- Le zen de Python, 131
- list, 126
- liste en compréhension (*ou liste en intention*), 126

## M

- machine virtuelle, 131
- magic
  - method, 126
- mangling
  - name, 83
- métaclasses, 126
- method
  - magic, 126
  - objet, 78
  - special, 130
- méthode, 126
- méthode magique, 126
- méthode spéciale, 130
- module, 127
  - builtins, 52
  - json, 64
  - search path, 50
  - sys, 51
- module d'extension, 123
- MRO, 127
- muable, 127

## N

- n-uplet nommé, 127
- name
  - mangling, 83
- nom qualifié, 129
- nombre complexe, 121
- nombre de références, 130
- nouvelle classe, 127

## O

- objet, 127
  - file, 61
  - method, 78
- objet fichier, 123
- objet fichier-compatible, 123
- objet octet-compatible, 120
- objet simili-chemin, 128
- open
  - fonction de base, 61

ordre de résolution des méthodes, [126](#)

## P

paquet, [127](#)

paquet classique, [130](#)

paquet provisoire, [129](#)

paquet-espace de nommage, [127](#)

paramètre, [128](#)

PATH, [50](#), [115](#)

path

module search, [50](#)

PEP, [128](#)

point d'entrée pour la recherche dans

path, [128](#)

portée imbriquée, [127](#)

portion, [129](#)

pyc utilisant le hachage, [124](#)

Python 3000, [129](#)

Python Enhancement Proposals

PEP 1, [129](#)

PEP 8, [32](#)

PEP 278, [131](#)

PEP 302, [123](#), [126](#)

PEP 328, [123](#)

PEP 343, [121](#)

PEP 362, [120](#), [128](#)

PEP 411, [129](#)

PEP 420, [123](#), [129](#)

PEP 421, [127](#)

PEP 443, [124](#)

PEP 451, [123](#)

PEP 483, [124](#)

PEP 484, [32](#), [119](#), [123](#), [124](#), [131](#)

PEP 492, [120](#), [121](#)

PEP 498, [123](#)

PEP 519, [128](#)

PEP 525, [120](#)

PEP 526, [119](#), [131](#)

PEP 585, [124](#)

PEP 3107, [32](#)

PEP 3116, [131](#)

PEP 3147, [50](#)

PEP 3155, [129](#)

Pythonique, [129](#)

PYTHONPATH, [50](#), [51](#)

PYTHONSTARTUP, [116](#)

## R

ramasse-miettes, [123](#)

retours à la ligne universels, [131](#)

RFC

RFC 2822, [92](#)

## S

search

path, module, [50](#)

séquence, [130](#)

special

method, [130](#)

spécificateur de module, [127](#)

strings, documentation, [23](#), [31](#)

style

coding, [32](#)

sys

module, [51](#)

## T

tableau de correspondances, [126](#)

tranche, [130](#)

type, [131](#)

type générique, [124](#)

## V

variable de classe, [121](#)

variable de contexte, [121](#)

variable d'environnement

PATH, [50](#), [115](#)

PYTHONPATH, [50](#), [51](#)

PYTHONSTARTUP, [116](#)

verrou global de l'interpréteur, [124](#)

vue de dictionnaire, [122](#)