
Extending and Embedding Python

Version 3.12.4

Guido van Rossum and the Python development team

juillet 31, 2024

**Python Software Foundation
Email : docs@python.org**

Table des matières

1	Les outils tiers recommandés	3
2	Création d'extensions sans outils tiers	5
2.1	Étendre Python en C ou C++	5
2.1.1	Un exemple simple	6
2.1.2	Intermezzo : les erreurs et les exceptions	7
2.1.3	Retour vers l'exemple	9
2.1.4	La fonction d'initialisation et le tableau des méthodes du module	9
2.1.5	Compilation et liaison	11
2.1.6	Appeler des fonctions Python en C	12
2.1.7	Extraire des paramètres dans des fonctions d'extension	14
2.1.8	Paramètres nommés pour des fonctions d'extension	15
2.1.9	Créer des valeurs arbitraires	16
2.1.10	Compteurs de références	17
2.1.11	Écrire des extensions en C++	20
2.1.12	Fournir une API en langage C pour un module d'extension	20
2.2	Tutoriel : définir des types dans des extensions	24
2.2.1	Les bases	24
2.2.2	ajout de données et de méthodes à l'exemple basique	28
2.2.3	Contrôle précis sur les attributs de données	34
2.2.4	Prise en charge du ramasse-miettes cyclique	39
2.2.5	Sous-classement d'autres types	44
2.3	Définir les types d'extension : divers sujets	46
2.3.1	Finalisation et libération de mémoire	49
2.3.2	Présentation de l'objet	50
2.3.3	Gestion des attributs	51
2.3.4	Comparaison des objets	53
2.3.5	Gestion de protocoles abstraits	53
2.3.6	Prise en charge de la référence faible	55
2.3.7	Plus de suggestions	56
2.4	Construire des extensions C et C++	56
2.4.1	Building C and C++ Extensions with setuptools	57
2.5	Construire des extensions C et C++ sur Windows	57
2.5.1	Une approche "recette de cuisine"	57
2.5.2	Différences entre Unix et Windows	57
2.5.3	Utiliser les DLL en pratique	58
3	Intégrer l'interpréteur CPython dans une plus grande application	59
3.1	Intégrer Python dans une autre application	59
3.1.1	Intégration de très haut niveau	60
3.1.2	Au-delà de l'intégration de haut niveau : survol	60

3.1.3	Intégration pure	61
3.1.4	Étendre un Python intégré	63
3.1.5	Intégrer Python dans du C++	64
3.1.6	Compiler et Lier en environnement Unix ou similaire	64
A	Glossaire	65
B	À propos de ces documents	81
B.1	Contributeurs de la documentation Python	81
C	Histoire et licence	83
C.1	Histoire du logiciel	83
C.2	Conditions générales pour accéder à, ou utiliser, Python	84
C.2.1	PSF LICENSE AGREEMENT FOR PYTHON 3.12.4	84
C.2.2	LICENCE D'UTILISATION BEOPEN.COM POUR PYTHON 2.0	85
C.2.3	LICENCE D'UTILISATION CNRI POUR PYTHON 1.6.1	86
C.2.4	LICENCE D'UTILISATION CWI POUR PYTHON 0.9.0 à 1.2	87
C.2.5	LICENCE BSD ZERO-CLAUSE POUR LE CODE DANS LA DOCUMENTATION DE PYTHON 3.12.4	87
C.3	Licences et remerciements pour les logiciels tiers	88
C.3.1	Mersenne twister	88
C.3.2	Interfaces de connexion (<i>sockets</i>)	89
C.3.3	Interfaces de connexion asynchrones	89
C.3.4	Gestion de témoin (<i>cookie</i>)	90
C.3.5	Traçage d'exécution	90
C.3.6	Les fonctions UUencode et UUdecode	91
C.3.7	Appel de procédures distantes en XML (<i>RPC</i> , pour <i>Remote Procedure Call</i>)	91
C.3.8	test_epoll	92
C.3.9	Select kqueue	92
C.3.10	SipHash24	93
C.3.11	<i>strtod</i> et <i>dtoa</i>	93
C.3.12	OpenSSL	94
C.3.13	expat	97
C.3.14	libffi	97
C.3.15	zlib	98
C.3.16	cfuhash	98
C.3.17	libmpdec	99
C.3.18	Ensemble de tests C14N du W3C	99
C.3.19	Audioop	100
C.3.20	asyncio	100
D	Copyright	101
	Index	103

Ce document décrit comment écrire des modules en C ou C++ pour étendre l'interpréteur Python à de nouveaux modules. En plus de définir de nouvelles fonctions, ces modules peuvent définir de nouveaux types d'objets ainsi que leur méthodes. Ce document explique aussi comment intégrer l'interpréteur Python dans une autre application, pour être utilisé comme langage d'extension. Enfin, ce document montre comment compiler et lier les modules d'extension pour qu'ils puissent être chargés dynamiquement (à l'exécution) dans l'interpréteur, si le système d'exploitation sous-jacent supporte cette fonctionnalité.

Ce document présuppose que vous avez des connaissances de base sur Python. Pour une introduction informelle du langage, voyez [tutorial-index](#). [reference-index](#) donne une définition plus formelle du langage. [library-index](#) documente les objets types, fonctions et modules existants (tous intégrés et écrits en Python) qui donnent au langage sa large gamme d'applications.

Pour une description dans sa totalité de l'API Python/C, voir [c-api-index](#).

CHAPITRE 1

Les outils tiers recommandés

This guide only covers the basic tools for creating extensions provided as part of this version of CPython. Third party tools like [Cython](#), [cffi](#), [SWIG](#) and [Numba](#) offer both simpler and more sophisticated approaches to creating C and C++ extensions for Python.

Voir aussi

Guide d'utilisation de l'empaquetage Python : Extensions binaires

Le guide d'utilisation de l'empaquetage Python ne couvre pas uniquement quelques outils disponibles qui simplifient la création d'extensions binaires, mais aborde aussi les différentes raisons pour lesquelles créer un module d'extension peut être souhaitable d'entrée.

Création d'extensions sans outils tiers

Cette section du guide couvre la création d'extensions C et C++ sans l'utilisation d'outils tiers. Cette section est destinée aux créateurs de ces outils, plus que d'être une méthode recommandée pour créer votre propre extension C.

2.1 Étendre Python en C ou C++

Il est relativement facile d'ajouter de nouveaux modules à Python, si vous savez programmer en C. Ces *modules d'extension* permettent deux choses qui ne sont pas possibles directement en Python : ils peuvent définir de nouveaux types natifs et peuvent appeler des fonctions de bibliothèques C ou faire des appels systèmes.

Pour gérer les extensions, l'API Python (*Application Programmer Interface*) définit un ensemble de fonctions, macros et variables qui donnent accès à la plupart des aspects du système d'exécution de Python. L'API Python est incorporée dans un fichier source C en incluant l'en-tête `Python.h`.

La compilation d'un module d'extension dépend de l'usage prévu et de la configuration du système, plus de détails peuvent être trouvés dans les chapitres suivants.

Note

L'interface d'extension C est spécifique à *CPython*, et les modules d'extension ne fonctionnent pas sur les autres implémentations de Python. Dans de nombreux cas, il est possible d'éviter la rédaction des extensions en C et ainsi préserver la portabilité vers d'autres implémentations. Par exemple, si vous devez appeler une fonction de la bibliothèque C ou faire un appel système, vous devriez envisager d'utiliser le module `ctypes` ou d'utiliser la bibliothèque `ffi` plutôt que d'écrire du code C sur mesure. Ces modules vous permettent d'écrire du code Python s'interfaçant avec le code C et sont plus portables entre les implémentations de Python que l'écriture et la compilation d'une d'extension C.

2.1.1 Un exemple simple

Créons un module d'extension appelé `spam` (la nourriture préférée de fans des *Monty Python*) et disons que nous voulons créer une interface Python à la fonction de la bibliothèque C `system()`¹. Cette fonction prend une chaîne de caractères à terminaison nulle comme argument et renvoie un entier. Nous voulons que cette fonction soit callable à partir de Python comme suit :

```
>>> import spam
>>> status = spam.system("ls -l")
```

Commençons par créer un fichier `spammodule.c` (historiquement, si un module se nomme `spam`, le fichier C contenant son implémentation est appelé `spammodule.c`; si le nom du module est très long, comme `spammify`, le nom du module peut être juste `spammify.c`).

Les deux premières lignes de notre fichier peuvent être :

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
```

qui récupère l'API Python (vous pouvez ajouter un commentaire décrivant le but du module et un avis de droit d'auteur si vous le souhaitez).

Note

il est possible que Python déclare certaines définitions pré-processeur qui affectent les têtes standards sur certains systèmes, vous devez donc inclure `Python.h` avant les en-têtes standards.

Il est recommandé de toujours définir `PY_SSIZE_T_CLEAN` avant d'inclure `Python.h`. Lisez [Extraire des paramètres dans des fonctions d'extension](#) pour avoir une description de cette macro.

Tous les symboles exposés par `Python.h` sont préfixés de `Py` ou `PY`, sauf ceux qui sont définis dans les en-têtes standards. Pour le confort, et comme ils sont largement utilisés par l'interpréteur Python, "`Python.h`" inclut lui-même quelques en-têtes standards : `<stdio.h>`, `<string.h>`, `<errno.h>` et `<stdlib.h>`. Si ce dernier n'existe pas sur votre système, il déclare les fonctions `malloc()`, `free()` et `realloc()` directement.

La prochaine chose que nous ajoutons à notre fichier de module est la fonction C qui sera appelée lorsque l'expression Python `spam.system(chaîne)` sera évaluée (nous verrons bientôt comment elle finit par être appelée) :

```
static PyObject *
spam_system(PyObject *self, PyObject *args)
{
    const char *command;
    int sts;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
        return NULL;
    sts = system(command);
    return PyLong_FromLong(sts);
}
```

Il y a une correspondance directe de la liste des arguments en Python (par exemple, l'expression `"ls -l"`) aux arguments passés à la fonction C. La fonction C a toujours deux arguments, appelés par convention *self* et *args*.

Pour les fonctions au niveau du module, l'argument *self* pointe sur l'objet module, pour une méthode, il pointe sur l'instance de l'objet.

L'argument *args* sera un pointeur vers un *n*-uplet Python contenant les arguments. Chaque élément du *n*-uplet correspond à un argument dans la liste des arguments de l'appel. Les arguments sont des objets Python, afin d'en faire quelque chose dans notre fonction C, nous devons les convertir en valeurs C. La fonction `PyArg_ParseTuple()` de l'API Python vérifie les types des arguments et les convertit en valeurs C. Elle utilise un modèle sous forme de

1. Une interface pour cette fonction existe déjà dans le module standard `os`, elle a été choisie comme un exemple simple et direct.

chaîne pour déterminer les types requis des arguments ainsi que les types de variables C dans lequel stocker les valeurs converties. Nous approfondirons ceci plus tard.

`PyArg_ParseTuple()` renvoie vrai (pas zéro) si tous les arguments ont le bon type et que ses composants ont été stockés dans les variables dont les adresses ont été données en entrée. Elle renvoie faux (zéro) si une liste d'arguments invalide a été passée. Dans ce dernier cas, elle lève également une exception appropriée de sorte que la fonction d'appel puisse renvoyer `NULL` immédiatement (comme nous l'avons vu dans l'exemple).

2.1.2 Intermezzo : les erreurs et les exceptions

Une convention importante dans l'interpréteur Python est la suivante : lorsqu'une fonction échoue, elle doit définir une condition d'exception et renvoyer une valeur d'erreur (généralement `-1` ou un pointeur `NULL`). Les informations d'exception sont stockées dans trois attributs de l'état du thread de l'interpréteur. Ils valent `NULL` s'il n'y a pas d'exception. Sinon, ce sont les équivalents C des membres du n -uplet Python renvoyé par `sys.exc_info()`. Il s'agit du type d'exception, de l'instance d'exception et d'un objet de trace. Il est important de les connaître pour comprendre comment les erreurs sont transmises.

L'API Python définit un certain nombre de fonctions pour créer différents types d'exceptions.

La plus courante est `PyErr_SetString()`. Ses arguments sont un objet exception et une chaîne C. L'objet exception est généralement un objet prédéfini comme `PyExc_ZeroDivisionError`. La chaîne C indique la cause de l'erreur et est convertie en une chaîne Python puis stockée en tant que « valeur associée » à l'exception.

Une autre fonction utile est `PyErr_SetFromErrno()`, qui construit une exception à partir de la valeur de la variable globale `errno`. La fonction la plus générale est `PyErr_SetObject()`, qui prend deux arguments : l'exception et sa valeur associée. Vous ne devez pas appliquer `Py_INCREF()` aux objets transmis à ces fonctions.

Vous pouvez tester de manière non destructive si une exception a été levée avec `PyErr_Occurred()`. Cela renvoie l'objet exception actuel, ou `NULL` si aucune exception n'a eu lieu. Cependant, vous ne devriez pas avoir besoin d'appeler `PyErr_Occurred()` pour voir si une erreur est survenue durant l'appel d'une fonction, puisque vous devriez être en mesure de le déterminer à partir de la valeur renvoyée.

Lorsqu'une fonction f ayant appelé une autre fonction g détecte que cette dernière a échoué, f devrait donner une valeur d'erreur à son tour (habituellement `NULL` ou `-1`). La fonction f ne devrait *pas* appeler l'une des fonctions `PyErr_*`, l'une d'entre elles ayant déjà été appelée par g . La fonction appelant f est alors censée renvoyer aussi un code d'erreur à celle qui l'a appelée, toujours sans utiliser `PyErr_*`, et ainsi de suite. La cause la plus détaillée de l'erreur a déjà été signalée par la fonction l'ayant détecté en premier. Une fois l'erreur remontée à la boucle principale de l'interpréteur Python, il interrompt le code en cours d'exécution et essaie de trouver un gestionnaire d'exception spécifié par le développeur Python.

(Il y a des situations où un module peut effectivement donner un message d'erreur plus détaillé en appelant une autre fonction `PyErr_*` et, dans de tels cas, il est tout à fait possible de le faire. Cependant, ce n'est généralement pas nécessaire, et peut amener à perdre des informations sur la cause de l'erreur : la plupart des opérations peuvent échouer pour tout un tas de raisons.)

Pour ignorer une exception qui aurait été émise lors d'un appel de fonction qui a échoué, l'exception doit être retirée explicitement en appelant `PyErr_Clear()`. Le seul cas pour lequel du code C devrait appeler `PyErr_Clear()` est lorsqu'il ne veut pas passer l'erreur à l'interpréteur, mais souhaite la gérer lui-même (peut-être en essayant quelque chose d'autre, ou en prétendant que rien n'a mal tourné).

Chaque échec de `malloc()` doit être transformé en une exception, l'appelant direct de `malloc()` (ou `realloc()`) doit appeler `PyErr_NoMemory()` et prendre l'initiative de renvoyer une valeur d'erreur. Toutes les fonctions construisant des objets (tels que `PyLong_FromLong()`) le font déjà, donc cette note ne concerne que ceux qui appellent `malloc()` directement.

Notez également que, à l'exception notable de `PyArg_ParseTuple()` et compagnie, les fonctions qui renvoient leur statut sous forme d'entier donnent généralement une valeur positive ou zéro en cas de succès et `-1` en cas d'échec, comme les appels du système Unix.

Enfin, lorsque vous renvoyez un code d'erreur, n'oubliez pas faire un brin de nettoyage (en appelant `Py_XDECREF()` ou `Py_DECREF()` avec les objets que vous auriez déjà créés) !

The choice of which exception to raise is entirely yours. There are predeclared C objects corresponding to all built-in Python exceptions, such as `PyExc_ZeroDivisionError`, which you can use directly. Of course, you should choose exceptions wisely --- don't use `PyExc_TypeError` to mean that a file couldn't be opened (that should probably be `PyExc_OSError`). If something's wrong with the argument list, the `PyArg_ParseTuple()` function usually raises `PyExc_TypeError`. If you have an argument whose value must be in a particular range or must satisfy other conditions, `PyExc_ValueError` is appropriate.

Vous pouvez également créer une exception spécifique à votre module. Pour cela, déclarez simplement une variable statique au début de votre fichier :

```
static PyObject *SpamError;
```

and initialize it in your module's initialization function (`PyInit_spam()`) with an exception object :

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_spam(void)
{
    PyObject *m;

    m = PyModule_Create(&spammodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    SpamError = PyErr_NewException("spam.error", NULL, NULL);
    Py_XINCREF(SpamError);
    if (PyModule_AddObject(m, "error", SpamError) < 0) {
        Py_XDECREF(SpamError);
        Py_CLEAR(SpamError);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

Note that the Python name for the exception object is `spam.error`. The `PyErr_NewException()` function may create a class with the base class being `Exception` (unless another class is passed in instead of `NULL`), described in `builtin-exceptions`.

Notez également que la variable `SpamError` contient une référence à la nouvelle classe créée ; ceci est intentionnel ! Comme l'exception peut être enlevée du module par du code externe, une référence à la classe est nécessaire pour assurer qu'elle ne sera pas supprimée par le ramasse-miettes, entraînant que `SpamError` devienne un pointeur dans le vide. Si cela se produisait, le code C qui lève cette exception peut engendrer un *core dump* ou des effets secondaires inattendus.

We discuss the use of `PyMODINIT_FUNC` as a function return type later in this sample.

The `spam.error` exception can be raised in your extension module using a call to `PyErr_SetString()` as shown below :

```
static PyObject *
spam_system(PyObject *self, PyObject *args)
{
    const char *command;
    int sts;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
        return NULL;
    sts = system(command);
    if (sts < 0) {
        PyErr_SetString(SpamError, "System command failed");
        return NULL;
    }
}
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
return PyLong_FromLong(sts);
}
```

2.1.3 Retour vers l'exemple

En revenant vers notre fonction exemple, vous devriez maintenant être capable de comprendre cette affirmation :

```
if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
    return NULL;
```

Elle renvoie `NULL` (l'indicateur d'erreur pour les fonctions renvoyant des pointeurs d'objet) si une erreur est détectée dans la liste des arguments, se fiant à l'exception définie par `PyArg_ParseTuple()`. Autrement, la valeur chaîne de l'argument a été copiée dans la variable locale `command`. Il s'agit d'une attribution de pointeur et vous n'êtes pas supposés modifier la chaîne vers laquelle il pointe (donc en C Standard, la variable `command` doit être clairement déclarée comme `const char *command`).

La prochaine instruction est un appel à la fonction Unix `system()`, en lui passant la chaîne que nous venons d'obtenir à partir de `PyArg_ParseTuple()` :

```
sts = system(command);
```

Notre fonction `spam.system()` doit renvoyer la valeur de `sts` comme un objet Python. Cela est effectué par l'utilisation de la fonction `PyLong_FromLong()`.

```
return PyLong_FromLong(sts);
```

Dans ce cas, elle renvoie un objet de type entier (oui, même les entiers sont des objets, stockés dans le tas, en Python!).

Si vous avez une fonction C qui ne renvoie aucun argument utile (une fonction renvoyant `void`), la fonction Python correspondante doit renvoyer `None`. Vous aurez besoin de cet idiome pour cela (qui est implémenté par la macro `Py_RETURN_NONE`) :

```
Py_INCREF(Py_None);
return Py_None;
```

`Py_None` est la dénomination en C pour l'objet spécial Python `None`. C'est un authentique objet Python plutôt qu'un pointeur `NULL` qui, dans la plupart des situations, signifie qu'une erreur est survenue comme nous l'avons vu.

2.1.4 La fonction d'initialisation et le tableau des méthodes du module

I promised to show how `spam_system()` is called from Python programs. First, we need to list its name and address in a "method table" :

```
static PyMethodDef SpamMethods[] = {
    ...
    {"system", spam_system, METH_VARARGS,
     "Execute a shell command."},
    ...
    {NULL, NULL, 0, NULL} /* Sentinel */
};
```

Notez la troisième entrée (`METH_VARARGS`). C'est un indicateur du type de convention à utiliser pour la fonction C, à destination de l'interpréteur. Il doit valoir normalement `METH_VARARGS` ou `METH_VARARGS | METH_KEYWORDS`; la valeur 0 indique qu'une variante obsolète de `PyArg_ParseTuple()` est utilisée.

Si seulement `METH_VARARGS` est utilisé, la fonction s'attend à ce que les paramètres Python soient passés comme un *n*-uplet que l'on peut analyser via `PyArg_ParseTuple()`; des informations supplémentaires sont fournies plus bas.

Le bit `METH_KEYWORDS` peut être mis à un dans le troisième champ si des arguments par mots-clés doivent être passés à la fonction. Dans ce cas, la fonction C doit accepter un troisième paramètre `PyObject *` qui est un dictionnaire des mots-clés. Utilisez `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` pour analyser les arguments d'une telle fonction.

Le tableau des méthodes doit être référencé dans la structure de définition du module :

```
static struct PyModuleDef spammodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    "spam", /* name of module */
    spam_doc, /* module documentation, may be NULL */
    -1, /* size of per-interpreter state of the module,
        or -1 if the module keeps state in global variables. */
    SpamMethods
};
```

This structure, in turn, must be passed to the interpreter in the module's initialization function. The initialization function must be named `PyInit_name()`, where *name* is the name of the module, and should be the only non-static item defined in the module file :

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_spam(void)
{
    return PyModule_Create(&spammodule);
}
```

Note that `PyMODINIT_FUNC` declares the function as `PyObject *` return type, declares any special linkage declarations required by the platform, and for C++ declares the function as `extern "C"`.

When the Python program imports module `spam` for the first time, `PyInit_spam()` is called. (See below for comments about embedding Python.) It calls `PyModule_Create()`, which returns a module object, and inserts built-in function objects into the newly created module based upon the table (an array of `PyMethodDef` structures) found in the module definition. `PyModule_Create()` returns a pointer to the module object that it creates. It may abort with a fatal error for certain errors, or return `NULL` if the module could not be initialized satisfactorily. The init function must return the module object to its caller, so that it then gets inserted into `sys.modules`.

When embedding Python, the `PyInit_spam()` function is not called automatically unless there's an entry in the `PyImport_Inittab` table. To add the module to the initialization table, use `PyImport_AppendInittab()`, optionally followed by an import of the module :

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    wchar_t *program = Py_DecodeLocale(argv[0], NULL);
    if (program == NULL) {
        fprintf(stderr, "Fatal error: cannot decode argv[0]\n");
        exit(1);
    }

    /* Add a built-in module, before Py_Initialize */
    if (PyImport_AppendInittab("spam", PyInit_spam) == -1) {
        fprintf(stderr, "Error: could not extend in-built modules table\n");
        exit(1);
    }

    /* Pass argv[0] to the Python interpreter */
    Py_SetProgramName(program);

    /* Initialize the Python interpreter. Required.
       If this step fails, it will be a fatal error. */
    Py_Initialize();
}
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

/* Optionally import the module; alternatively,
   import can be deferred until the embedded script
   imports it. */
PyObject *pmodule = PyImport_ImportModule("spam");
if (!pmodule) {
    PyErr_Print();
    fprintf(stderr, "Error: could not import module 'spam'\n");
}

...

PyMem_RawFree(program);
return 0;
}
    
```

Note

supprimer des entrées de `sys.modules` ou importer des modules compilés dans plusieurs interpréteurs au sein d'un même processus (ou le faire à la suite d'un `fork()` sans un `exec()` préalable) peut créer des problèmes pour certains modules d'extension. Les auteurs de modules d'extension doivent faire preuve de prudence lorsqu'ils initialisent des structures de données internes.

Un exemple de module plus substantiel est inclus dans la distribution des sources Python sous le nom `Modules/xxmodule.c`. Ce fichier peut être utilisé comme modèle ou simplement lu comme exemple.

Note

contrairement à notre exemple de `spam`, `xxmodule` utilise une *initialisation multi-phases* (nouveau en Python 3.5), où une structure `PyModuleDef` est renvoyée à partir de `PyInit_spam`, et la création du module est laissée au mécanisme d'importation. Pour plus de détails sur l'initialisation multi-phases, voir [PEP 489](#).

2.1.5 Compilation et liaison

Il y a encore deux choses à faire avant de pouvoir utiliser votre nouvelle extension : la compiler et la lier au système Python. Si vous utilisez le chargement dynamique, les détails peuvent dépendre du style de chargement dynamique utilisé par votre système ; voir les chapitres sur la compilation de modules d'extension (chapitre *Construire des extensions C et C++*) et les informations supplémentaires concernant uniquement la construction sous Windows (chapitre *Construire des extensions C et C++ sur Windows*) pour plus d'informations à ce sujet.

Si vous ne pouvez pas utiliser le chargement dynamique, ou si vous voulez faire de votre module une partie permanente de l'interpréteur Python, vous devez modifier la configuration et reconstruire l'interpréteur. Heureusement, c'est très simple sous Unix : placez simplement votre fichier (`spammodule.c` par exemple) dans le répertoire `Modules/` d'une distribution source décompressée, ajoutez une ligne au fichier `Modules/Setup.local` décrivant votre fichier :

```
spam spammodule.o
```

et reconstruisez l'interpréteur en exécutant **make** dans le répertoire de niveau supérieur. Vous pouvez également exécuter **make** dans le sous-répertoire `Modules/`, mais vous devez d'abord reconstruire le `Makefile` en exécutant « **make** Makefile » (c'est nécessaire chaque fois que vous modifiez le fichier `Setup`).

Si votre module nécessite d'être lié à des bibliothèques supplémentaires, celles-ci peuvent être ajoutées à la fin de la ligne de votre module dans le fichier de configuration, par exemple :

```
spam spammodule.o -lX11
```

2.1.6 Appeler des fonctions Python en C

Jusqu'à présent, nous nous sommes concentrés sur le fait de rendre les fonctions C appelables depuis Python. L'inverse est également utile : appeler des fonctions Python depuis C. C'est notamment le cas pour les bibliothèques qui gèrent les fonctions dites de « rappel » (*callback* en anglais). Si une interface C utilise des rappels, l'équivalent Python doit souvent fournir un mécanisme de rappel au développeur Python ; l'implémentation nécessite d'appeler les fonctions de rappel Python à partir d'un rappel C. D'autres utilisations sont également envisageables.

Heureusement, l'interpréteur Python est facilement appelé de manière récursive et il existe une interface standard pour appeler une fonction Python (nous ne nous attarderons pas sur la façon d'appeler l'analyseur Python avec une chaîne particulière en entrée — si vous êtes intéressé, jetez un œil à l'implémentation de l'option de ligne de commande `-c` dans `Modules/main.c` à partir du code source Python).

L'appel d'une fonction Python est facile. Tout d'abord, le programme Python doit vous transmettre d'une manière ou d'une autre l'objet de fonction Python. Vous devez fournir une fonction (ou une autre interface) pour ce faire. Lorsque cette fonction est appelée, enregistrez un pointeur vers l'objet de la fonction Python (faites attention à `Py_INCREF()` !) dans une variable globale — ou là où vous le souhaitez. Par exemple, la fonction suivante peut faire partie d'une définition de module :

```
static PyObject *my_callback = NULL;

static PyObject *
my_set_callback(PyObject *dummy, PyObject *args)
{
    PyObject *result = NULL;
    PyObject *temp;

    if (PyArg_ParseTuple(args, "O:set_callback", &temp)) {
        if (!PyCallable_Check(temp)) {
            PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "parameter must be callable");
            return NULL;
        }
        Py_XINCREF(temp);          /* Add a reference to new callback */
        Py_XDECREF(my_callback);  /* Dispose of previous callback */
        my_callback = temp;       /* Remember new callback */
        /* Boilerplate to return "None" */
        Py_INCREF(Py_None);
        result = Py_None;
    }
    return result;
}
```

Cette fonction doit être déclarée en utilisant le drapeau `METH_VARARGS` ; ceci est décrit dans la section [La fonction d'initialisation et le tableau des méthodes du module](#). La fonction `PyArg_ParseTuple()` et ses arguments sont documentés dans la section [Extraire des paramètres dans des fonctions d'extension](#).

Les macros `Py_XINCREF()` et `Py_XDECREF()` incrémentent/décrémentent le compteur des références d'un objet et sont sûres quant à la présence de pointeurs `NULL` (mais notez que `temp` ne sera pas `NULL` dans ce contexte). Plus d'informations à ce sujet dans la section [Compteurs de références](#).

Plus tard, quand il est temps d'appeler la fonction, vous appelez la fonction C `PyObject_CallObject()`. Cette fonction requiert deux arguments, tous deux des pointeurs vers des objets Python arbitraires : la fonction Python et la liste d'arguments. La liste d'arguments doit toujours être un objet *n*-uplet, dont la longueur est le nombre d'arguments. Pour appeler la fonction Python sans argument, passez `NULL` ou le *n*-uplet vide ; pour l'appeler avec un argument, passez un *n*-uplet singleton. `Py_BuildValue()` renvoie un *n*-uplet lorsque sa chaîne de format se compose de zéro ou plusieurs codes de format entre parenthèses. Par exemple :

```
int arg;
PyObject *arglist;
PyObject *result;
...
arg = 123;
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
...
/* Time to call the callback */
arglist = Py_BuildValue("(i)", arg);
result = PyObject_CallObject(my_callback, arglist);
Py_DECREF(arglist);
```

`PyObject_CallObject()` renvoie un pointeur d'objet Python : c'est la valeur de retour de la fonction Python. `PyObject_CallObject()` est « neutre en nombre de références » par rapport à ses arguments. Dans l'exemple, un nouveau n -uplet a été créé pour servir de liste d'arguments, qui est décrémenté (avec `Py_DECREF()`) immédiatement après l'appel `PyObject_CallObject()`.

La valeur de retour de `PyObject_CallObject()` est « nouvelle » : soit c'est un tout nouvel objet, soit c'est un objet existant dont le nombre de références a été incrémenté. Donc, à moins que vous ne vouliez l'enregistrer dans une variable globale, vous devriez en quelque sorte décrémenter avec `Py_DECREF()` le résultat, même (surtout !) si vous n'êtes pas intéressé par sa valeur.

Mais avant de le faire, il est important de vérifier que la valeur renvoyée n'est pas `NULL`. Si c'est le cas, la fonction Python s'est terminée par une levée d'exception. Si le code C qui a appelé `PyObject_CallObject()` est appelé depuis Python, il devrait maintenant renvoyer une indication d'erreur à son appelant Python, afin que l'interpréteur puisse afficher la pile d'appels, ou que le code Python appelant puisse gérer l'exception. Si cela n'est pas possible ou souhaitable, l'exception doit être effacée en appelant `PyErr_Clear()`. Par exemple :

```
if (result == NULL)
    return NULL; /* Pass error back */
...use result...
Py_DECREF(result);
```

Selon l'interface souhaitée pour la fonction de rappel Python, vous devrez peut-être aussi fournir une liste d'arguments à `PyObject_CallObject()`. Dans certains cas, la liste d'arguments est également fournie par le programme Python, par l'intermédiaire de la même interface qui a spécifié la fonction de rappel. Elle peut alors être sauvegardée et utilisée de la même manière que l'objet fonction. Dans d'autres cas, vous pouvez avoir à construire un nouveau n -uplet à passer comme liste d'arguments. La façon la plus simple de faire cela est d'appeler `Py_BuildValue()`. Par exemple, si vous voulez passer un code d'événement intégral, vous pouvez utiliser le code suivant :

```
PyObject *arglist;
...
arglist = Py_BuildValue("(l)", eventcode);
result = PyObject_CallObject(my_callback, arglist);
Py_DECREF(arglist);
if (result == NULL)
    return NULL; /* Pass error back */
/* Here maybe use the result */
Py_DECREF(result);
```

Notez la présence de `Py_DECREF(arglist)` immédiatement après l'appel, avant la vérification des erreurs ! Notez également qu'à proprement parler, ce code n'est pas complet : `Py_BuildValue()` peut manquer de mémoire, et cela doit être vérifié.

Vous pouvez également appeler une fonction avec des arguments nommés en utilisant `PyObject_Call()`, qui accepte les arguments et les arguments nommés. Comme dans l'exemple ci-dessus, nous utilisons `Py_BuildValue()` pour construire le dictionnaire.

```
PyObject *dict;
...
dict = Py_BuildValue("{s:i}", "name", val);
result = PyObject_Call(my_callback, NULL, dict);
Py_DECREF(dict);
if (result == NULL)
    return NULL; /* Pass error back */
/* Here maybe use the result */
Py_DECREF(result);
```

2.1.7 Extraire des paramètres dans des fonctions d'extension

La fonction `PyArg_ParseTuple()` est déclarée ainsi :

```
int PyArg_ParseTuple(PyObject *arg, const char *format, ...);
```

L'argument *arg* doit être un *n*-uplet contenant une liste d'arguments passée de Python à une fonction C. L'argument *format* doit être une chaîne de format, dont la syntaxe est expliquée dans *arg-parsing* dans le manuel de référence de l'API Python/C. Les arguments restants doivent être des adresses de variables dont le type est déterminé par la chaîne de format.

Notez que si `PyArg_ParseTuple()` vérifie que les arguments Python ont les types requis, elle ne peut pas vérifier la validité des adresses des variables C transmises à l'appel : si vous y faites des erreurs, votre code plantera probablement ou au moins écrasera des bits aléatoires en mémoire. Donc soyez prudent !

Notez que toute référence sur un objet Python donnée à l'appelant est une référence *empruntée* ; ne décrémente pas son compteur de références !

Quelques exemples d'appels :

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN /* Make "s#" use Py_ssize_t rather than int. */
#include <Python.h>
```

```
int ok;
int i, j;
long k, l;
const char *s;
Py_ssize_t size;

ok = PyArg_ParseTuple(args, ""); /* No arguments */
/* Python call: f() */
```

```
ok = PyArg_ParseTuple(args, "s", &s); /* A string */
/* Possible Python call: f('whoops!') */
```

```
ok = PyArg_ParseTuple(args, "lls", &k, &l, &s); /* Two longs and a string */
/* Possible Python call: f(1, 2, 'three') */
```

```
ok = PyArg_ParseTuple(args, "(ii)s#", &i, &j, &s, &size);
/* A pair of ints and a string, whose size is also returned */
/* Possible Python call: f((1, 2), 'three') */
```

```
{
    const char *file;
    const char *mode = "r";
    int bufsize = 0;
    ok = PyArg_ParseTuple(args, "s|si", &file, &mode, &bufsize);
    /* A string, and optionally another string and an integer */
    /* Possible Python calls:
       f('spam')
       f('spam', 'w')
       f('spam', 'wb', 100000) */
}
```

```
{
    int left, top, right, bottom, h, v;
    ok = PyArg_ParseTuple(args, "((ii)(ii))(ii)",
        &left, &top, &right, &bottom, &h, &v);
    /* A rectangle and a point */
    /* Possible Python call:
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
f(((0, 0), (400, 300)), (10, 10)) */
}
```

```
{
    Py_complex c;
    ok = PyArg_ParseTuple(args, "D:myfunction", &c);
    /* a complex, also providing a function name for errors */
    /* Possible Python call: myfunction(1+2j) */
}
```

2.1.8 Paramètres nommés pour des fonctions d'extension

La fonction `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` est déclarée ainsi :

```
int PyArg_ParseTupleAndKeywords(PyObject *arg, PyObject *kwdict,
                                const char *format, char *kwlist[], ...);
```

Les paramètres *arg* et *format* sont identiques à ceux de la fonction `PyArg_ParseTuple()`. Le paramètre *kwdict* est le dictionnaire de mots-clés reçu comme troisième paramètre du *runtime* Python. Le paramètre *kwlist* est une liste de chaînes de caractères terminée par `NULL` qui identifie les paramètres; les noms sont mis en correspondance, de gauche à droite, avec les informations de type de *format*. En cas de succès du processus, `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` renvoie vrai, sinon elle renvoie faux et lève une exception appropriée.

Note

les *n*-uplets imbriqués ne peuvent pas être traités lorsqu'on utilise des arguments nommés ! Ceux-ci doivent apparaître dans *kwlist*, dans le cas contraire une exception `TypeError` est levée.

Voici un exemple de module qui utilise des arguments nommés, basé sur un exemple de *Geoff Philbrick* (philbrick@hks.com) :

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN /* Make "s#" use Py_ssize_t rather than int. */
#include <Python.h>

static PyObject *
keywarg_parrot(PyObject *self, PyObject *args, PyObject *keywds)
{
    int voltage;
    const char *state = "a stiff";
    const char *action = "vroom";
    const char *type = "Norwegian Blue";

    static char *kwlist[] = {"voltage", "state", "action", "type", NULL};

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, keywds, "i|sss", kwlist,
                                     &voltage, &state, &action, &type))
        return NULL;

    printf("-- This parrot wouldn't %s if you put %i Volts through it.\n",
           action, voltage);
    printf("-- Lovely plumage, the %s -- It's %s!\n", type, state);

    Py_RETURN_NONE;
}

static PyMethodDef keywarg_methods[] = {
    /* The cast of the function is necessary since PyCFunction values
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

    * only take two PyObject* parameters, and keywordarg_parrot() takes
    * three.
    */
    {"parrot", (PyCFunction) (void*) (void) keywordarg_parrot, METH_VARARGS | METH_
    →KEYWORDS,
    "Print a lovely skit to standard output."},
    {NULL, NULL, 0, NULL} /* sentinel */
};

static struct PyModuleDef keywordargmodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    "keywordarg",
    NULL,
    -1,
    keywordarg_methods
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_keywordarg(void)
{
    return PyModule_Create(&keywordargmodule);
}

```

2.1.9 Créer des valeurs arbitraires

Cette fonction est le complément de `PyArg_ParseTuple()`. Elle est déclarée comme suit :

```
PyObject *Py_BuildValue(const char *format, ...);
```

Elle reconnaît un ensemble d'unités de format similaires à celles reconnues par `PyArg_ParseTuple()`, mais les arguments (qui sont les données en entrée de la fonction, et non de la sortie) ne doivent pas être des pointeurs, mais juste des valeurs. Elle renvoie un nouvel objet Python, adapté pour être renvoyé par une fonction C appelée depuis Python.

Une différence avec `PyArg_ParseTuple()` : alors que cette dernière nécessite que son premier argument soit un n -uplet (puisque les listes d'arguments Python sont toujours représentées comme des n -uplets en interne), `Py_BuildValue()` ne construit pas toujours un n -uplet. Elle construit un n -uplet uniquement si sa chaîne de format contient deux unités de format ou plus. Si la chaîne de format est vide, elle renvoie `None` ; si elle contient exactement une unité de format, elle renvoie tout objet décrit par cette unité de format. Pour la forcer à renvoyer un n -uplet de taille 0 ou un, mettez la chaîne de format entre parenthèses.

Exemples (à gauche l'appel, à droite la valeur résultante, en Python) :

<code>Py_BuildValue("")</code>	<code>None</code>
<code>Py_BuildValue("i", 123)</code>	<code>123</code>
<code>Py_BuildValue("iii", 123, 456, 789)</code>	<code>(123, 456, 789)</code>
<code>Py_BuildValue("s", "hello")</code>	<code>'hello'</code>
<code>Py_BuildValue("y", "hello")</code>	<code>b'hello'</code>
<code>Py_BuildValue("ss", "hello", "world")</code>	<code>('hello', 'world')</code>
<code>Py_BuildValue("s#", "hello", 4)</code>	<code>'hell'</code>
<code>Py_BuildValue("y#", "hello", 4)</code>	<code>b'hell'</code>
<code>Py_BuildValue("()")</code>	<code>()</code>
<code>Py_BuildValue("(i)", 123)</code>	<code>(123,)</code>
<code>Py_BuildValue("(ii)", 123, 456)</code>	<code>(123, 456)</code>
<code>Py_BuildValue("(i,i)", 123, 456)</code>	<code>(123, 456)</code>
<code>Py_BuildValue("[i,i]", 123, 456)</code>	<code>[123, 456]</code>
<code>Py_BuildValue("{s:i,s:i}",</code>	
<code>"abc", 123, "def", 456)</code>	<code>{'abc': 123, 'def': 456}</code>
<code>Py_BuildValue("((ii)(ii))(ii)",</code>	
<code>1, 2, 3, 4, 5, 6)</code>	<code>((1, 2), (3, 4)), (5, 6))</code>

2.1.10 Compteurs de références

Dans les langages comme le C ou le C++, le développeur est responsable de l'allocation dynamique et de la dés-allocation de la mémoire sur le tas. En C, cela se fait à l'aide des fonctions `malloc()` et `free()`. En C++, les opérateurs `new` et `delete` sont utilisés avec essentiellement la même signification et nous limiterons la discussion suivante au cas du C.

Every block of memory allocated with `malloc()` should eventually be returned to the pool of available memory by exactly one call to `free()`. It is important to call `free()` at the right time. If a block's address is forgotten but `free()` is not called for it, the memory it occupies cannot be reused until the program terminates. This is called a *memory leak*. On the other hand, if a program calls `free()` for a block and then continues to use the block, it creates a conflict with reuse of the block through another `malloc()` call. This is called *using freed memory*. It has the same bad consequences as referencing uninitialized data --- core dumps, wrong results, mysterious crashes.

Les causes courantes des fuites de mémoire sont des exécutions inhabituelles du code. Par exemple, une fonction peut allouer un bloc de mémoire, effectuer des calculs, puis libérer le bloc. Plus tard, une modification des exigences de la fonction peut ajouter un test au calcul qui détecte une condition d'erreur et peut sortir prématurément de la fonction. Il est facile d'oublier de libérer le bloc de mémoire alloué lors de cette sortie prématurée, surtout lorsqu'elle est ajoutée ultérieurement au code. De telles fuites, une fois introduites, passent souvent inaperçues pendant longtemps : la sortie d'erreur n'est prise que dans une petite fraction de tous les appels, et la plupart des machines modernes ont beaucoup de mémoire virtuelle, de sorte que la fuite ne devient apparente que dans un processus de longue durée qui utilise fréquemment cette fonction. Par conséquent, il est important d'éviter les fuites en ayant une convention ou une stratégie de codage qui minimise ce type d'erreurs.

Comme Python fait un usage intensif de `malloc()` et de `free()`, il a besoin d'une stratégie pour éviter les fuites de mémoire ainsi que l'utilisation de la mémoire libérée. La méthode choisie est appelée le *comptage de références*. Le principe est simple : chaque objet contient un compteur, qui est incrémenté lorsqu'une référence à l'objet est stockée quelque part, et qui est décrémenté lorsqu'une référence à celui-ci est supprimée. Lorsque le compteur atteint zéro, la dernière référence à l'objet a été supprimée et l'objet est libéré.

Une stratégie alternative est appelée *ramasse-miettes automatique* (*automatic garbage collection* en anglais). Parfois, le comptage des références est également appelé stratégie de ramasse-miettes, d'où l'utilisation du terme « automatique » pour distinguer les deux. Le grand avantage du ramasse-miettes est que l'utilisateur n'a pas besoin d'appeler `free()` explicitement (un autre avantage important est l'amélioration de la vitesse ou de l'utilisation de la mémoire, ce n'est cependant pas un fait avéré). L'inconvénient est que pour C, il n'y a pas de ramasse-miettes portable proprement-dit, alors que le comptage des références peut être implémenté de façon portable (tant que les fonctions `malloc()` et `free()` sont disponibles, ce que la norme C garantit). Peut-être qu'un jour un ramasse-miettes suffisamment portable sera disponible pour C. D'ici là, nous devons utiliser les compteurs de références.

Bien que Python utilise l'implémentation traditionnelle de comptage de références, il contient également un détecteur de cycles qui fonctionne pour détecter les cycles de références. Cela permet aux applications de ne pas se soucier de la création de références circulaires directes ou indirectes ; celles-ci sont les faiblesses des ramasse-miettes utilisant uniquement le comptage de références. Les cycles de références sont constitués d'objets qui contiennent des références (éventuellement indirectes) à eux-mêmes, de sorte que chaque objet du cycle a un compteur de références qui n'est pas nul. Les implémentations typiques de comptage de références ne sont pas capables de récupérer la mémoire des objets appartenant à un cycle de références, ou référencés à partir des objets dans le cycle, même s'il n'y a pas d'autre référence au cycle lui-même.

Le détecteur de cycle est capable de détecter les cycles isolés et peut récupérer la mémoire afférente. Le module `gc` expose un moyen d'exécuter le détecteur (la fonction `collect()`), ainsi que des interfaces de configuration et la possibilité de désactiver le détecteur au moment de l'exécution.

Comptage de références en Python

Il existe deux macros, `Py_INCREF(x)` et `Py_DECREF(x)`, qui gèrent l'incrémentation et la décrémentation du comptage de références. `Py_DECREF()` libère également l'objet lorsque le compteur atteint zéro. Pour plus de flexibilité, il n'appelle pas `free()` directement — plutôt, il fait un appel à travers un pointeur de fonction dans l'objet *type objet* de l'objet. À cette fin (et pour d'autres), chaque objet contient également un pointeur vers son objet *type*.

La grande question demeure maintenant : quand utiliser `Py_INCREF(x)` et `Py_DECREF(x)` ? Commençons par définir quelques termes. Personne ne possède un objet, mais vous pouvez en *avoir une référence*. Le compteur de références d'un objet est maintenant défini comme étant le nombre de références à cet objet. Le propriétaire d'une référence est responsable d'appeler `Py_DECREF()` lorsque la référence n'est plus nécessaire. La possession d'une référence peut être transférée. Il y a trois façons de se débarrasser d'une référence que l'on possède : la transmettre, la stocker ou appeler `Py_DECREF()`. Oublier de se débarrasser d'une référence crée une fuite de mémoire.

Il est également possible d'*emprunter*² une référence à un objet. L'emprunteur d'une référence ne doit pas appeler `Py_DECREF()`. L'emprunteur ne doit pas conserver l'objet plus longtemps que le propriétaire à qui il a été emprunté. L'utilisation d'une référence empruntée après que le propriétaire s'en est débarrassée risque d'utiliser de la mémoire libérée et doit être absolument évitée³.

L'avantage d'emprunter, plutôt qu'être propriétaire d'une référence, est que vous n'avez pas à vous soucier de libérer la référence sur tous les chemins possibles dans le code — en d'autres termes, avec une référence empruntée, vous ne courez pas le risque de fuites lors d'une sortie prématurée. L'inconvénient de l'emprunt par rapport à la possession est qu'il existe certaines situations subtiles où, dans un code apparemment correct, une référence empruntée peut être utilisée après que le propriétaire auquel elle a été empruntée l'a en fait éliminée.

Une référence empruntée peut être changée en une référence possédée en appelant `Py_INCREF()`. Cela n'affecte pas le statut du propriétaire à qui la référence a été empruntée — cela crée une nouvelle référence possédée et donne l'entière responsabilité au propriétaire (le nouveau propriétaire doit libérer la référence correctement, ainsi que le propriétaire précédent).

Règles concernant la possession de références

Chaque fois qu'une référence d'objet est passée à l'intérieur ou à l'extérieur d'une fonction, elle fait partie de la spécification de l'interface de la fonction, peu importe que la possession soit transférée avec la référence ou non.

La plupart des fonctions qui renvoient une référence à un objet transmettent la possession avec la référence. En particulier, toutes les fonctions dont la fonction est de créer un nouvel objet, telles que `PyLong_FromLong()` et `Py_BuildValue()`, transmettent la possession au récepteur. Même si l'objet n'est pas réellement nouveau, vous recevez toujours la possession d'une nouvelle référence à cet objet. Par exemple, `PyLong_FromLong()` maintient un cache des valeurs souvent utilisées et peut renvoyer une référence à un élément mis en cache.

De nombreuses fonctions qui extraient des objets d'autres objets transfèrent également la possession avec la référence, par exemple `PyObject_GetAttrString()`. L'image est moins claire ici, cependant, puisque quelques routines courantes sont des exceptions : `PyTuple_GetItem()`, `PyList_GetItem()`, `PyDict_GetItem()` et `PyDict_GetItemString()` renvoient toutes des références qui sont empruntées au *n*-uplet, à la liste ou au dictionnaire.

La fonction `PyImport_AddModule()` renvoie également une référence empruntée, même si elle peut en fait créer l'objet qu'elle renvoie : c'est possible car une référence à l'objet est stockée dans `sys.modules`.

Lorsque vous passez une référence d'objet dans une autre fonction, en général, la fonction vous emprunte la référence — si elle a besoin de la stocker, elle utilise `Py_INCREF()` pour devenir un propriétaire indépendant. Il existe exactement deux exceptions importantes à cette règle : `PyTuple_SetItem()` et `PyList_SetItem()`. Ces fonctions s'approprient l'élément qui leur est transmis, même en cas d'échec ! (Notez que `PyDict_SetItem()` et compagnie ne prennent pas la possession de l'objet, elles sont « normales ».)

Lorsqu'une fonction C est appelée depuis Python, elle emprunte à l'appelant des références aux arguments. L'appelant possède une référence à l'objet, de sorte que la durée de vie de la référence empruntée est garantie jusqu'au retour de la

2. L'expression « emprunter une référence » n'est pas tout à fait correcte, car le propriétaire a toujours une copie de la référence.

3. Vérifier que le comptage de référence est d'au moins 1 **ne fonctionne pas**, le compte de référence lui-même pourrait être en mémoire libérée et peut donc être réutilisé pour un autre objet !

fonction. Ce n'est que lorsqu'une telle référence empruntée doit être stockée ou transmise qu'elle doit être transformée en référence possédée en appelant `Py_INCREF()`.

La référence d'objet renvoyée par une fonction C appelée depuis Python doit être une référence détenue en propre — la possession est transférée de la fonction à son appelant.

Terrain dangereux

Il existe quelques situations où l'utilisation apparemment inoffensive d'une référence empruntée peut entraîner des problèmes. Tous ces problèmes sont en lien avec des invocations implicites de l'interpréteur et peuvent amener le propriétaire d'une référence à s'en défaire.

Le premier cas, et le plus important à connaître, est celui de l'utilisation de `Py_DECREF()` à un objet non relié lors de l'emprunt d'une référence à un élément de liste. Par exemple :

```
void
bug(PyObject *list)
{
    PyObject *item = PyList_GetItem(list, 0);

    PyList_SetItem(list, 1, PyLong_FromLong(0L));
    PyObject_Print(item, stdout, 0); /* BUG! */
}
```

Cette fonction emprunte d'abord une référence à `list[0]`, puis remplace `list[1]` par la valeur 0, et enfin affiche la référence empruntée. Ça a l'air inoffensif, n'est-ce pas ? Mais ce n'est pas le cas !

Let's follow the control flow into `PyList_SetItem()`. The list owns references to all its items, so when item 1 is replaced, it has to dispose of the original item 1. Now let's suppose the original item 1 was an instance of a user-defined class, and let's further suppose that the class defined a `__del__()` method. If this class instance has a reference count of 1, disposing of it will call its `__del__()` method.

Since it is written in Python, the `__del__()` method can execute arbitrary Python code. Could it perhaps do something to invalidate the reference to `item` in `bug()` ? You bet ! Assuming that the list passed into `bug()` is accessible to the `__del__()` method, it could execute a statement to the effect of `del list[0]`, and assuming this was the last reference to that object, it would free the memory associated with it, thereby invalidating `item`.

La solution, une fois que vous connaissez la source du problème, est simple : incrémentez temporairement le compteur de références. La version correcte de la fonction est :

```
void
no_bug(PyObject *list)
{
    PyObject *item = PyList_GetItem(list, 0);

    Py_INCREF(item);
    PyList_SetItem(list, 1, PyLong_FromLong(0L));
    PyObject_Print(item, stdout, 0);
    Py_DECREF(item);
}
```

This is a true story. An older version of Python contained variants of this bug and someone spent a considerable amount of time in a C debugger to figure out why his `__del__()` methods would fail...

Le deuxième cas de problèmes liés à une référence empruntée est une variante impliquant des fils d'exécution. Normalement, plusieurs threads dans l'interpréteur Python ne peuvent pas se gêner mutuellement, car il existe un verrou global protégeant tout l'espace objet de Python. Cependant, il est possible de libérer temporairement ce verrou en utilisant la macro `Py_BEGIN_ALLOW_THREADS`, et de le ré-acquérir en utilisant `Py_END_ALLOW_THREADS`. Ceci est un procédé courant pour bloquer les appels d'entrées/sorties, afin de permettre aux autres threads d'utiliser le processeur en attendant que les E/S soient terminées. Évidemment, la fonction suivante a le même problème que la précédente :


```
void
bug(PyObject *list)
{
    PyObject *item = PyList_GetItem(list, 0);
    Py_BEGIN_ALLOW_THREADS
    ...some blocking I/O call...
    Py_END_ALLOW_THREADS
    PyObject_Print(item, stdout, 0); /* BUG! */
}
```

Pointeurs NULL

En général, les fonctions qui prennent des références d'objets comme arguments ne sont pas conçues pour recevoir des pointeurs NULL, et si vous en donnez comme arguments, elles causeront une erreur de segmentation (ou provoqueront des *core dump* ultérieurs). Les fonctions qui renvoient des références d'objets renvoient généralement NULL uniquement pour indiquer qu'une exception s'est produite. La raison pour laquelle les arguments NULL ne sont pas testés est que les fonctions passent souvent les objets qu'elles reçoivent à d'autres fonctions, si chaque fonction devait tester pour NULL, il y aurait beaucoup de tests redondants et le code s'exécuterait plus lentement.

Il est préférable de tester la présence de NULL uniquement au début : lorsqu'un pointeur qui peut être NULL est reçu, par exemple, de `malloc()` ou d'une fonction qui peut lever une exception.

Les macros `Py_INCREF()` et `Py_DECREF()` ne vérifient pas les pointeurs NULL. Cependant, leurs variantes `Py_XINCREF()` et `Py_XDECREF()` le font.

Les macros de vérification d'un type d'objet particulier (`Pytype_Check()`) ne vérifient pas les pointeurs NULL — encore une fois, il y a beaucoup de code qui en appelle plusieurs à la suite pour tester un objet par rapport à différents types attendus, ce qui générerait des tests redondants. Il n'y a pas de variantes avec la vérification NULL.

Le mécanisme d'appel de fonctions C garantit que la liste d'arguments passée aux fonctions C (`args` dans les exemples) n'est jamais NULL. En fait, il garantit qu'il s'agit toujours d'un *n*-uplet⁴.

C'est une grave erreur de laisser un pointeur NULL « s'échapper » vers l'utilisateur Python.

2.1.11 Écrire des extensions en C++

C'est possible d'écrire des modules d'extension en C++, mais sous certaines conditions. Si le programme principal (l'interpréteur Python) est compilé et lié par le compilateur C, les objets globaux ou statiques avec les constructeurs ne peuvent pas être utilisés. Ceci n'est pas un problème si le programme principal est relié par le compilateur C++. Les fonctions qui seront appelées par l'interpréteur Python (en particulier, les fonctions d'initialisation des modules) doivent être déclarées en utilisant `extern "C"`. Il n'est pas nécessaire d'inclure les fichiers d'en-tête Python dans le `extern "C" {...}`, car ils utilisent déjà ce format si le symbole `__cplusplus` est défini (tous les compilateurs C++ récents définissent ce symbole).

2.1.12 Fournir une API en langage C pour un module d'extension

De nombreux modules d'extension fournissent simplement de nouvelles fonctions et de nouveaux types à utiliser à partir de Python, mais parfois le code d'un module d'extension peut être utile pour d'autres modules d'extension. Par exemple, un module d'extension peut mettre en œuvre un type « collection » qui fonctionne comme des listes sans ordre. Tout comme le type de liste Python standard possède une API C qui permet aux modules d'extension de créer et de manipuler des listes, ce nouveau type de collection devrait posséder un ensemble de fonctions C pour une manipulation directe à partir d'autres modules d'extension.

À première vue, cela semble facile : il suffit d'écrire les fonctions (sans les déclarer « statiques », bien sûr), de fournir un fichier d'en-tête approprié et de documenter l'API C. Et en fait, cela fonctionnerait si tous les modules d'extension étaient toujours liés statiquement avec l'interpréteur Python. Cependant, lorsque les modules sont utilisés comme des

4. Ces garanties ne sont pas valables lorsqu'on emploie les conventions de nommage anciennes, qu'on retrouve encore assez souvent dans beaucoup de code existant.

bibliothèques partagées, les symboles définis dans un module peuvent ne pas être visibles par un autre module. Les détails de la visibilité dépendent du système d'exploitation ; certains systèmes utilisent un espace de noms global pour l'interpréteur Python et tous les modules d'extension (Windows, par exemple), tandis que d'autres exigent une liste explicite des symboles importés au moment de la liaison des modules (AIX en est un exemple), ou offrent un choix de stratégies différentes (la plupart des *Unix*). Et même si les symboles sont globalement visibles, le module dont on souhaite appeler les fonctions n'est peut-être pas encore chargé !

La portabilité exige donc de ne faire aucune supposition sur la visibilité des symboles. Cela signifie que tous les symboles des modules d'extension doivent être déclarés `static`, à l'exception de la fonction d'initialisation du module, afin d'éviter les conflits de noms avec les autres modules d'extension (comme discuté dans la section [La fonction d'initialisation et le tableau des méthodes du module](#)). Et cela signifie que les symboles qui *devraient* être accessibles à partir d'autres modules d'extension doivent être exportés d'une manière différente.

Python fournit un mécanisme spécial pour transmettre des informations de niveau C (pointeurs) d'un module d'extension à un autre : les Capsules. Une capsule est un type de données Python qui stocke un pointeur (`void*`). Les capsules ne peuvent être créées et accessibles que via leur API C, mais elles peuvent être transmises comme n'importe quel autre objet Python. En particulier, elles peuvent être affectées à un nom dans l'espace de noms d'un module d'extension. D'autres modules d'extension peuvent alors importer ce module, récupérer la valeur de ce nom, puis récupérer le pointeur de la Capsule.

Il existe de nombreuses façons d'utiliser les Capsules pour exporter l'API C d'un module d'extension. Chaque fonction peut obtenir sa propre Capsule, ou tous les pointeurs de l'API C peuvent être stockés dans un tableau dont l'adresse est inscrite dans une Capsule. Et les différentes tâches de stockage et de récupération des pointeurs peuvent être réparties de différentes manières entre le module fournissant le code et les modules clients.

Quelle que soit la méthode que vous choisissiez, il est important de bien nommer vos Capsules. La fonction `PyCapsule_New()` prend un paramètre nommé (`const char*`). Vous êtes autorisé à passer un nom `NULL`, mais nous vous encourageons vivement à spécifier un nom. Des Capsules correctement nommées offrent un certain degré de sécurité concernant un éventuel conflit de types, car il n'y a pas de moyen de distinguer deux ou plusieurs Capsules non nommées entre elles.

En particulier, les capsules utilisées pour exposer les API C doivent recevoir un nom suivant cette convention :

```
modulename.attributename
```

La fonction de commodité `PyCapsule_Import()` permet de charger facilement une API C fournie via une Capsule, mais seulement si le nom de la Capsule correspond à cette convention. Ce comportement donne aux utilisateurs d'API C un degré élevé de certitude que la Capsule qu'ils chargent contient l'API C correcte.

L'exemple suivant montre une approche qui fait peser la plus grande partie de la charge sur le rédacteur du module d'exportation, ce qui est approprié pour les modules de bibliothèque couramment utilisés. Il stocke tous les pointeurs de l'API C (un seul dans l'exemple !) dans un tableau de pointeurs `void` qui devient la valeur d'une Capsule. Le fichier d'en-tête correspondant au module fournit une macro qui se charge d'importer le module et de récupérer ses pointeurs d'API C. Les modules clients n'ont qu'à appeler cette macro avant d'accéder à l'API C.

The exporting module is a modification of the `spam` module from section [Un exemple simple](#). The function `spam.system()` does not call the C library function `system()` directly, but a function `PySpam_System()`, which would of course do something more complicated in reality (such as adding "spam" to every command). This function `PySpam_System()` is also exported to other extension modules.

The function `PySpam_System()` is a plain C function, declared `static` like everything else :

```
static int
PySpam_System(const char *command)
{
    return system(command);
}
```

The function `spam_system()` is modified in a trivial way :

```
static PyObject *
spam_system(PyObject *self, PyObject *args)
{
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
const char *command;
int sts;

if (!PyArg_ParseTuple(args, "s", &command))
    return NULL;
sts = PySpam_System(command);
return PyLong_FromLong(sts);
}
```

Au début du module, immédiatement après la ligne :

```
#include <Python.h>
```

on doit ajouter deux lignes supplémentaires :

```
#define SPAM_MODULE
#include "spammodule.h"
```

L'indicateur `#define` est utilisé pour indiquer au fichier d'en-tête qu'il est inclus dans le module d'exportation, et non dans un module client. Enfin, la fonction d'initialisation du module doit prendre en charge l'initialisation du tableau de pointeurs de l'API C :

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_spam(void)
{
    PyObject *m;
    static void *PySpam_API[PySpam_API_pointers];
    PyObject *c_api_object;

    m = PyModule_Create(&spammodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    /* Initialize the C API pointer array */
    PySpam_API[PySpam_System_NUM] = (void *)PySpam_System;

    /* Create a Capsule containing the API pointer array's address */
    c_api_object = PyCapsule_New((void *)PySpam_API, "spam._C_API", NULL);

    if (PyModule_AddObject(m, "_C_API", c_api_object) < 0) {
        Py_XDECREF(c_api_object);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

Note that `PySpam_API` is declared `static`; otherwise the pointer array would disappear when `PyInit_spam()` terminates!

L'essentiel du travail se trouve dans le fichier d'en-tête `spammodule.h`, qui ressemble à ceci :

```
#ifndef Py_SPAMMODULE_H
#define Py_SPAMMODULE_H
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

/* Header file for spammodule */
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

/* C API functions */
#define PySpam_System_NUM 0
#define PySpam_System_RETURN int
#define PySpam_System_PROTO (const char *command)

/* Total number of C API pointers */
#define PySpam_API_pointers 1

#ifdef SPAM_MODULE
/* This section is used when compiling spammodule.c */

static PySpam_System_RETURN PySpam_System PySpam_System_PROTO;

#else
/* This section is used in modules that use spammodule's API */

static void **PySpam_API;

#define PySpam_System \
    (*(PySpam_System_RETURN (*)(PySpam_System_PROTO) PySpam_API[PySpam_System_NUM])

/* Return -1 on error, 0 on success.
 * PyCapsule_Import will set an exception if there's an error.
 */
static int
import_spam(void)
{
    PySpam_API = (void **)PyCapsule_Import("spam._C_API", 0);
    return (PySpam_API != NULL) ? 0 : -1;
}

#endif

#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif /* !defined(Py_SPAMMODULE_H) */
    
```

All that a client module must do in order to have access to the function `PySpam_System()` is to call the function (or rather macro) `import_spam()` in its initialization function :

```

PyMODINIT_FUNC
PyInit_client(void)
{
    PyObject *m;

    m = PyModule_Create(&clientmodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;
    if (import_spam() < 0)
        return NULL;
    /* additional initialization can happen here */
    return m;
}
    
```

Le principal inconvénient de cette approche est que le fichier `spammodule.h` est assez compliqué. Cependant, la structure de base est la même pour chaque fonction exportée, ce qui fait qu'elle ne doit être apprise qu'une seule fois.

Enfin, il convient de mentionner que les Capsules offrent des fonctionnalités supplémentaires, qui sont particulièrement utiles pour l'allocation de la mémoire et la dés-allocation du pointeur stocké dans un objet Capsule. Les détails sont

décrits dans le manuel de référence de l'API Python/C dans la section capsules et dans l'implémentation des Capsules (fichiers `Include/pycapsule.h` et `Objects/pycapsule.c` dans la distribution du code source Python).

Notes

2.2 Tutoriel : définir des types dans des extensions

Python permet à l'auteur d'un module d'extension C de définir de nouveaux types qui peuvent être manipulés depuis du code Python, à la manière des types natifs `str` et `list`. Les implémentations de tous les types d'extension ont des similarités, mais quelques subtilités doivent être abordées avant de commencer.

2.2.1 Les bases

CPython considère que tous les objets Python sont des variables de type `PyObject*`, qui sert de type de base pour tous les objets Python. La structure de `PyObject` ne contient que le *compteur de références* et un pointeur vers un objet de type « type de l'objet ». C'est ici que tout se joue : l'objet type détermine quelle fonction C doit être appelée par l'interpréteur quand, par exemple, un attribut est recherché sur un objet, quand une méthode est appelée, ou quand l'objet est multiplié par un autre objet. Ces fonctions C sont appelées des « méthodes de type ».

Donc, pour définir un nouveau type dans une extension, vous devez créer un nouvel objet type.

This sort of thing can only be explained by example, so here's a minimal, but complete, module that defines a new type named `Custom` inside a C extension module `custom`:

Note

ce qui est montré ici est la manière traditionnelle de définir des types d'extension *statiques*, et cela convient dans la majorité des cas. L'API C permet aussi de définir des types alloués sur le tas, via la fonction `PyType_FromSpec()`, mais ce n'est pas couvert par ce tutoriel.

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    /* Type-specific fields go here. */
} CustomObject;

static PyTypeObject CustomType = {
    .ob_base = PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT,
    .tp_new = PyType_GenericNew,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    .m_base = PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom(void)
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&CustomType);
    if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(&CustomType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

C'est un peu long, mais vous devez déjà reconnaître quelques morceaux expliqués au chapitre précédent. Ce fichier définit trois choses :

1. What a Custom **object** contains : this is the CustomObject struct, which is allocated once for each Custom instance.
2. How the Custom **type** behaves : this is the CustomType struct, which defines a set of flags and function pointers that the interpreter inspects when specific operations are requested.
3. How to initialize the custom module : this is the PyInit_custom function and the associated custommodule struct.

Commençons par :

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
} CustomObject;
```

C'est ce qu'un objet Custom contient. PyObject_HEAD est obligatoirement au début de chaque structure d'objet et définit un champ appelé ob_base de type PyObject, contenant un pointeur vers un objet type et un compteur de références (on peut y accéder en utilisant les macros Py_TYPE et Py_REFCNT, respectivement). La raison d'être de ces macros est d'abstraire l'agencement de la structure, et ainsi de permettre l'ajout de champs en mode débogage.

Note

il n'y a pas de point-virgule après la macro PyObject_HEAD. Attention à ne pas l'ajouter par accident : certains compilateurs pourraient s'en plaindre.

Bien sûr, les objets ajoutent généralement des données supplémentaires après l'entête standard PyObject_HEAD. Par exemple voici la définition du type standard Python float :

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
    double ob_fval;
} PyFloatObject;
```

La deuxième partie est la définition de l'objet type

```
static PyTypeObject CustomType = {
    .ob_base = PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
.tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
.tp_itemsize = 0,
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT,
.tp_new = PyType_GenericNew,
};
```

Note

nous recommandons d'utiliser la syntaxe d'initialisation nommée (C99) pour remplir la structure, comme ci-dessus, afin d'éviter d'avoir à lister les champs de `PyTypeObject` dont vous n'avez pas besoin, et de ne pas vous soucier de leur ordre.

La définition de `PyTypeObject` dans `object.h` contient en fait bien plus de champs que la définition ci-dessus. Les champs restants sont mis à zéro par le compilateur C, et c'est une pratique répandue de ne pas spécifier les champs dont vous n'avez pas besoin.

Regardons les champs de cette structure, un par un :

```
.ob_base = PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
```

Cette ligne, obligatoire, initialise le champ `ob_base` mentionné précédemment.

```
.tp_name = "custom.Custom",
```

C'est le nom de notre type. Il apparaît dans la représentation textuelle par défaut de nos objets, ainsi que dans quelques messages d'erreur, par exemple :

```
>>> "" + custom.Custom()
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: can only concatenate str (not "custom.Custom") to str
```

Note that the name is a dotted name that includes both the module name and the name of the type within the module. The module in this case is `custom` and the type is `Custom`, so we set the type name to `custom.Custom`. Using the real dotted import path is important to make your type compatible with the `pydoc` and `pickle` modules.

```
.tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
.tp_itemsize = 0,
```

This is so that Python knows how much memory to allocate when creating new `Custom` instances. `tp_itemsize` is only used for variable-sized objects and should otherwise be zero.

Note

If you want your type to be subclassable from Python, and your type has the same `tp_basicsize` as its base type, you may have problems with multiple inheritance. A Python subclass of your type will have to list your type first in its `__bases__`, or else it will not be able to call your type's `__new__()` method without getting an error. You can avoid this problem by ensuring that your type has a larger value for `tp_basicsize` than its base type does. Most of the time, this will be true anyway, because either your base type will be `object`, or else you will be adding data members to your base type, and therefore increasing its size.

Nous définissons les drapeaux de la classe à `Py_TPFLAGS_DEFAULT` :

```
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT,
```

Chaque type doit inclure cette constante dans ses options : elle active tous les membres définis jusqu'à au moins Python 3.3. Si vous avez besoin de plus de membres, vous pouvez la combiner à d'autres constantes avec un `OU` binaire.

Nous fournissons une *docstring* pour ce type via le membre `tp_doc`.

```
.tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
```

To enable object creation, we have to provide a `tp_new` handler. This is the equivalent of the Python method `__new__()`, but has to be specified explicitly. In this case, we can just use the default implementation provided by the API function `PyType_GenericNew()`.

```
.tp_new = PyType_GenericNew,
```

Everything else in the file should be familiar, except for some code in `PyInit_custom()` :

```
if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
    return;
```

This initializes the `Custom` type, filling in a number of members to the appropriate default values, including `ob_type` that we initially set to `NULL`.

```
Py_INCREF(&CustomType);
if (PyModule_AddObject(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
    Py_DECREF(&CustomType);
    Py_DECREF(m);
    return NULL;
}
```

This adds the type to the module dictionary. This allows us to create `Custom` instances by calling the `Custom` class :

```
>>> import custom
>>> mycustom = custom.Custom()
```

That's it! All that remains is to build it; put the above code in a file called `custom.c`,

```
[build-system]
requires = ["setuptools"]
build-backend = "setuptools.build_meta"

[project]
name = "custom"
version = "1"
```

in a file called `pyproject.toml`, and

```
from setuptools import Extension, setup
setup(ext_modules=[Extension("custom", ["custom.c"])])
```

dans un fichier appelé `setup.py`; puis en tapant

```
$ python -m pip install .
```

in a shell should produce a file `custom.so` in a subdirectory and install it; now fire up Python --- you should be able to import `custom` and play around with `Custom` objects.

Ce n'était pas si difficile, n'est-ce pas ?

Bien sûr, le type personnalisé actuel est assez inintéressant. Il n'a pas de données et ne fait rien. Il ne peut même pas être sous-classé.

2.2.2 ajout de données et de méthodes à l'exemple basique

Let's extend the basic example to add some data and methods. Let's also make the type usable as a base class. We'll create a new module, `custom2` that adds these capabilities :

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
#include <stddef.h> /* for offsetof() */

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last;  /* last name */
    int number;
} CustomObject;

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_XDECREF(self->last);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}

static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|OOi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        Py_XSETREF(self->first, Py_NewRef(first));
    }
    if (last) {
        Py_XSETREF(self->last, Py_NewRef(last));
    }
}
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

    return 0;
}

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"first", Py_T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, first), 0,
     "first name"},
    {"last", Py_T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, last), 0,
     "last name"},
    {"number", Py_T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    if (self->first == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "first");
        return NULL;
    }
    if (self->last == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "last");
        return NULL;
    }
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}

static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyTypeObject CustomType = {
    .ob_base = PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom2.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
    .tp_new = Custom_new,
    .tp_init = (initproc) Custom_init,
    .tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
    .tp_members = Custom_members,
    .tp_methods = Custom_methods,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    .m_base = PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom2",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom2(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
m = PyModule_Create(&custommodule);
if (m == NULL)
    return NULL;

if (PyModule_AddObjectRef(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
    Py_DECREF(m);
    return NULL;
}

return m;
}
```

Cette version du module comporte un certain nombre de modifications.

The `Custom` type now has three data attributes in its C struct, *first*, *last*, and *number*. The *first* and *last* variables are Python strings containing first and last names. The *number* attribute is a C integer.

La structure de l'objet est mise à jour en conséquence

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last; /* last name */
    int number;
} CustomObject;
```

Comme nous avons maintenant des données à gérer, nous devons faire plus attention à l'allocation et à la libération d'objets. Au minimum, nous avons besoin d'une méthode de dés-allocation

```
static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_XDECREF(self->last);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}
```

qui est assignée au membre `tp_dealloc`

```
.tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
```

This method first clears the reference counts of the two Python attributes. `Py_XDECREF()` correctly handles the case where its argument is `NULL` (which might happen here if `tp_new` failed midway). It then calls the `tp_free` member of the object's type (computed by `Py_TYPE(self)`) to free the object's memory. Note that the object's type might not be `CustomType`, because the object may be an instance of a subclass.

Note

La conversion explicite en `destructor` ci-dessus est nécessaire car nous avons défini `Custom_dealloc` pour prendre un argument `CustomObject *`, mais le pointeur de fonction `tp_dealloc` s'attend à recevoir un argument `PyObject *`. Sinon, le compilateur émet un avertissement. C'est du polymorphisme orienté objet, en C!

Nous voulons nous assurer que le prénom et le nom sont initialisés avec des chaînes vides, nous fournissons donc une implémentation `tp_new`

```
static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwargs)
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}
```

et installez-le dans le membre `tp_new` :

```
.tp_new = Custom_new,
```

The `tp_new` handler is responsible for creating (as opposed to initializing) objects of the type. It is exposed in Python as the `__new__()` method. It is not required to define a `tp_new` member, and indeed many extension types will simply reuse `PyType_GenericNew()` as done in the first version of the `Custom` type above. In this case, we use the `tp_new` handler to initialize the `first` and `last` attributes to non-NULL default values.

`tp_new` reçoit le type en cours d'instanciation (pas nécessairement `CustomType`, si une sous-classe est instanciée) et tous les arguments passés lorsque le type a été appelé, et devrait renvoyer l'instance créée. Les gestionnaires `tp_new` acceptent toujours les arguments positionnels et nommés, mais ils ignorent souvent les arguments, laissant la gestion des arguments aux méthodes d'initialisation (alias `tp_init` en C ou `__init__` en Python).

Note

`tp_new` ne doit pas appeler `tp_init` explicitement, car l'interpréteur le fera lui-même.

L'implémentation `tp_new` appelle l'emplacement `tp_alloc` pour allouer de la mémoire :

```
self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
```

Puisque l'allocation de mémoire peut échouer, nous devons vérifier le résultat `tp_alloc` par rapport à `NULL` avant de continuer.

Note

Nous n'avons pas rempli l'emplacement `tp_alloc` nous-mêmes. C'est `PyType_Ready()` qui le remplit pour nous car il en hérite de notre classe mère, qui est `object` par défaut. La plupart des types utilisent la stratégie d'allocation par défaut.

Note

If you are creating a co-operative `tp_new` (one that calls a base type's `tp_new` or `__new__()`), you must *not* try to determine what method to call using method resolution order at runtime. Always statically determine what type you are going to call, and call its `tp_new` directly, or via `type->tp_base->tp_new`. If you do not do

this, Python subclasses of your type that also inherit from other Python-defined classes may not work correctly. (Specifically, you may not be able to create instances of such subclasses without getting a `TypeError`.)

Nous définissons également une fonction d'initialisation qui accepte des arguments pour fournir des valeurs initiales pour notre instance

```
static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwargs)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwargs, "|OOi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_XDECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_XDECREF(tmp);
    }
    return 0;
}
```

en remplissant l'emplacement `tp_init`.

```
.tp_init = (initproc) Custom_init,
```

The `tp_init` slot is exposed in Python as the `__init__()` method. It is used to initialize an object after it's created. Initializers always accept positional and keyword arguments, and they should return either 0 on success or -1 on error.

Unlike the `tp_new` handler, there is no guarantee that `tp_init` is called at all (for example, the `pickle` module by default doesn't call `__init__()` on unpickled instances). It can also be called multiple times. Anyone can call the `__init__()` method on our objects. For this reason, we have to be extra careful when assigning the new attribute values. We might be tempted, for example to assign the `first` member like this :

```
if (first) {
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_INCREF(first);
    self->first = first;
}
```

Mais ce serait risqué. Notre type ne limite pas le type du membre `first`, il peut donc s'agir de n'importe quel type d'objet. Il pourrait avoir un destructeur qui provoque l'exécution de code essayant d'accéder au membre `first`; ou ce destructeur pourrait libérer le *Global interpreter Lock* et laisser du code arbitraire s'exécuter dans d'autres threads qui accèdent et modifient notre objet.

Dans une optique paranoïaque et se prémunir contre cette éventualité, on réaffecte presque toujours les membres avant de décrémenter leur compteur de références. Quand ne devons-nous pas faire cela ?

- lorsque l'on est sûr que le compteur de références est supérieur à 1 ;
- lorsque nous savons que la libération de la mémoire de l'objet¹ ne libérera pas le *GIL* ni ne provoquera de

1. C'est vrai lorsque nous savons que l'objet est un type de base, comme une chaîne ou un flottant.

- rappel dans le code de notre type ;
- lors de la décrémentation d'un compteur de références dans un gestionnaire `tp_dealloc` sur un type qui ne prend pas en charge le ramasse-miettes cyclique².

Nous voulons exposer nos variables d'instance en tant qu'attributs. Il existe plusieurs façons de le faire. Le moyen le plus simple consiste à définir des définitions de membres :

```
static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"first", Py_T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, first), 0,
     "first name"},
    {"last", Py_T_OBJECT_EX, offsetof(CustomObject, last), 0,
     "last name"},
    {"number", Py_T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};
```

et placer les définitions dans l'emplacement `tp_members`

```
.tp_members = Custom_members,
```

Chaque définition de membre possède un nom, un type, un décalage, des indicateurs d'accès et une chaîne de documentation. Voir la section *Gestion des attributs génériques* ci-dessous pour plus de détails.

Un inconvénient de cette approche est qu'elle ne permet pas de restreindre les types d'objets pouvant être affectés aux attributs Python. Nous nous attendons à ce que le prénom et le nom soient des chaînes, mais tous les objets Python peuvent être affectés. De plus, les attributs peuvent être supprimés, en définissant les pointeurs C sur `NULL`. Même si nous pouvons nous assurer que les membres sont initialisés avec des valeurs non `NULL`, les membres peuvent être définis sur `NULL` si les attributs sont supprimés.

We define a single method, `Custom.name()`, that outputs the objects name as the concatenation of the first and last names.

```
static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    if (self->first == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "first");
        return NULL;
    }
    if (self->last == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_AttributeError, "last");
        return NULL;
    }
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}
```

The method is implemented as a C function that takes a `Custom` (or `Custom` subclass) instance as the first argument. Methods always take an instance as the first argument. Methods often take positional and keyword arguments as well, but in this case we don't take any and don't need to accept a positional argument tuple or keyword argument dictionary. This method is equivalent to the Python method :

```
def name(self):
    return "%s %s" % (self.first, self.last)
```

Note that we have to check for the possibility that our `first` and `last` members are `NULL`. This is because they can be deleted, in which case they are set to `NULL`. It would be better to prevent deletion of these attributes and to restrict the attribute values to be strings. We'll see how to do that in the next section.

Maintenant que nous avons défini la méthode, nous devons créer un tableau de définitions de méthode

2. Nous nous sommes appuyés sur le gestionnaire `tp_dealloc` dans cet exemple, car notre type ne prend pas en charge le ramasse-miettes.

```
static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"
    },
    {NULL} /* Sentinel */
};
```

(notez que nous avons utilisé le drapeau METH_NOARGS pour indiquer que la méthode n'attend aucun argument autre que *self*)

et assignons-le à l'emplacement `tp_methods`

```
.tp_methods = Custom_methods,
```

Enfin, nous rendons notre type utilisable comme classe de base pour le sous-classement. Nous avons écrit nos méthodes avec soin jusqu'à présent afin qu'elles ne fassent aucune hypothèse sur le type de l'objet créé ou utilisé, donc tout ce que nous avons à faire est d'ajouter la macro `Py_TPFLAGS_BASETYPE` à notre définition d'indicateur de classe :

```
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
```

We rename `PyInit_custom()` to `PyInit_custom2()`, update the module name in the `PyModuleDef` struct, and update the full class name in the `PyTypeObject` struct.

Finally, we update our `setup.py` file to include the new module,

```
from setuptools import Extension, setup
setup(ext_modules=[
    Extension("custom", ["custom.c"]),
    Extension("custom2", ["custom2.c"]),
])
```

and then we re-install so that we can import `custom2`:

```
$ python -m pip install .
```

2.2.3 Contrôle précis sur les attributs de données

In this section, we'll provide finer control over how the `first` and `last` attributes are set in the `Custom` example. In the previous version of our module, the instance variables `first` and `last` could be set to non-string values or even deleted. We want to make sure that these attributes always contain strings.

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
#include <stddef.h> /* for offsetof() */

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last;  /* last name */
    int number;
} CustomObject;

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    Py_XDECREF(self->first);
    Py_XDECREF(self->last);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|UUi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        Py_SETREF(self->first, Py_NewRef(first));
    }
    if (last) {
        Py_SETREF(self->last, Py_NewRef(last));
    }
    return 0;
}

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"number", Py_T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_getfirst(CustomObject *self, void *closure)
{
    return Py_NewRef(self->first);
}

static int
Custom_setfirst(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the first attribute");
        return -1;
    }
}
    
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                        "The first attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    Py_SETREF(self->first, Py_NewRef(value));
    return 0;
}

static PyObject *
Custom_getlast(CustomObject *self, void *closure)
{
    return Py_NewRef(self->last);
}

static int
Custom_setlast(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the last attribute");
        return -1;
    }
    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                        "The last attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    Py_SETREF(self->last, Py_NewRef(value));
    return 0;
}

static PyGetSetDef Custom_getsetters[] = {
    {"first", (getter) Custom_getfirst, (setter) Custom_setfirst,
     "first name", NULL},
    {"last", (getter) Custom_getlast, (setter) Custom_setlast,
     "last name", NULL},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}

static PyMethodDef Custom_methods[] = {
    {"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
     "Return the name, combining the first and last name"},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyTypeObject CustomType = {
    .ob_base = PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom3.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
    .tp_new = Custom_new,
    .tp_init = (initproc) Custom_init,

```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

        .tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
        .tp_members = Custom_members,
        .tp_methods = Custom_methods,
        .tp_getset = Custom_getsetters,
    };

    static PyModuleDef custommodule = {
        .m_base = PyModuleDef_HEAD_INIT,
        .m_name = "custom3",
        .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
        .m_size = -1,
    };

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom3(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    if (PyModule_AddObjectRef(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
    
```

To provide greater control, over the first and last attributes, we'll use custom getter and setter functions. Here are the functions for getting and setting the first attribute :

```

    static PyObject *
    Custom_getfirst(CustomObject *self, void *closure)
    {
        Py_INCREF(self->first);
        return self->first;
    }

    static int
    Custom_setfirst(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
    {
        PyObject *tmp;
        if (value == NULL) {
            PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the first attribute");
            return -1;
        }
        if (!PyUnicode_Check(value)) {
            PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                            "The first attribute value must be a string");
            return -1;
        }
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(value);
        self->first = value;
        Py_DECREF(tmp);
        return 0;
    }
    
```

The getter function is passed a `Custom` object and a "closure", which is a void pointer. In this case, the closure is ignored. (The closure supports an advanced usage in which definition data is passed to the getter and setter. This could, for example, be used to allow a single set of getter and setter functions that decide the attribute to get or set based on data in the closure.)

The setter function is passed the `Custom` object, the new value, and the closure. The new value may be `NULL`, in which case the attribute is being deleted. In our setter, we raise an error if the attribute is deleted or if its new value is not a string.

Nous créons un tableau de structures `PyGetSetDef`

```
static PyGetSetDef Custom_getsetters[] = {
    {"first", (getter) Custom_getfirst, (setter) Custom_setfirst,
     "first name", NULL},
    {"last", (getter) Custom_getlast, (setter) Custom_setlast,
     "last name", NULL},
    {NULL} /* Sentinel */
};
```

et l'enregistrons dans l'emplacement `tp_getset`

```
.tp_getset = Custom_getsetters,
```

Le dernier élément d'une structure `PyGetSetDef` est la fermeture mentionnée ci-dessus. Dans ce cas, nous n'utilisons pas de fermeture, nous passons donc simplement `NULL`.

Nous supprimons également les définitions de membre pour ces attributs :

```
static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"number", Py_T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
};
```

Nous devons également mettre à jour le gestionnaire `tp_init` pour autoriser uniquement le passage des chaînes³

```
static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL, *tmp;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|UUi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        tmp = self->first;
        Py_INCREF(first);
        self->first = first;
        Py_DECREF(tmp);
    }
    if (last) {
        tmp = self->last;
        Py_INCREF(last);
        self->last = last;
        Py_DECREF(tmp);
    }
}
```

(suite sur la page suivante)

3. Nous savons maintenant que les premier et dernier membres sont des chaînes, nous pourrions donc peut-être être moins prudents quant à la décrémentation de leur nombre de références, cependant, nous acceptons les instances de sous-classes de chaînes. Même si la libération de la mémoire des chaînes normales ne rappellera pas nos objets, nous ne pouvons pas garantir que la libération de mémoire d'une instance d'une sous-classe de chaîne ne rappellera pas nos objets.

(suite de la page précédente)

```

return 0;
}
    
```

Avec ces modifications, nous pouvons garantir que les membres `first` et `last` ne sont jamais `NULL`, nous pouvons donc supprimer les vérifications des valeurs `NULL` dans presque tous les cas. Cela signifie que la plupart des appels `Py_XDECREF()` peuvent être convertis en appels `Py_DECREF()`. Le seul endroit où nous ne pouvons pas modifier ces appels est dans l'implémentation de `tp_dealloc`, où il est possible que l'initialisation de ces membres ait échoué dans `tp_new`.

Nous renommons également la fonction d'initialisation du module et le nom du module dans la fonction d'initialisation, comme nous l'avons fait précédemment, et nous ajoutons une définition supplémentaire au fichier `setup.py`.

2.2.4 Prise en charge du ramasse-miettes cyclique

Python a un *ramasse-miettes cyclique* qui peut identifier les objets inutiles même lorsque leur compteur de références n'est pas nul. Cela peut se produire lorsque des objets sont impliqués dans des cycles. Par exemple, considérons :

```

>>> l = []
>>> l.append(l)
>>> del l
    
```

Dans cet exemple, nous créons une liste qui se contient elle-même. Lorsque nous la supprimons, il existe toujours une référence à elle-même. Son compteur de références ne tombe pas à zéro. Heureusement, le ramasse-miettes cyclique de Python finira par comprendre que la liste est un déchet et la libérera.

In the second version of the `Custom` example, we allowed any kind of object to be stored in the `first` or `last` attributes⁴. Besides, in the second and third versions, we allowed subclassing `Custom`, and subclasses may add arbitrary attributes. For any of those two reasons, `Custom` objects can participate in cycles :

```

>>> import custom3
>>> class Derived(custom3.Custom): pass
...
>>> n = Derived()
>>> n.some_attribute = n
    
```

To allow a `Custom` instance participating in a reference cycle to be properly detected and collected by the cyclic GC, our `Custom` type needs to fill two additional slots and to enable a flag that enables these slots :

```

#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>
#include <stddef.h> /* for offsetof() */

typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *first; /* first name */
    PyObject *last; /* last name */
    int number;
} CustomObject;

static int
Custom_traverse(CustomObject *self, visitproc visit, void *arg)
{
    Py_VISIT(self->first);
    Py_VISIT(self->last);
    return 0;
}
    
```

(suite sur la page suivante)

4. De plus, même avec nos attributs limités aux instances de chaînes, l'utilisateur pourrait passer des sous-classes arbitraires `str` et donc encore créer des références cycliques.

(suite de la page précédente)

```

static int
Custom_clear(CustomObject *self)
{
    Py_CLEAR(self->first);
    Py_CLEAR(self->last);
    return 0;
}

static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    PyObject_GC_UnTrack(self);
    Custom_clear(self);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}

static PyObject *
Custom_new(PyTypeObject *type, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    CustomObject *self;
    self = (CustomObject *) type->tp_alloc(type, 0);
    if (self != NULL) {
        self->first = PyUnicode_FromString("");
        if (self->first == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->last = PyUnicode_FromString("");
        if (self->last == NULL) {
            Py_DECREF(self);
            return NULL;
        }
        self->number = 0;
    }
    return (PyObject *) self;
}

static int
Custom_init(CustomObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    static char *kwlist[] = {"first", "last", "number", NULL};
    PyObject *first = NULL, *last = NULL;

    if (!PyArg_ParseTupleAndKeywords(args, kwds, "|UUi", kwlist,
                                     &first, &last,
                                     &self->number))
        return -1;

    if (first) {
        Py_SETREF(self->first, Py_NewRef(first));
    }
    if (last) {
        Py_SETREF(self->last, Py_NewRef(last));
    }
    return 0;
}

static PyMemberDef Custom_members[] = {
    {"number", Py_T_INT, offsetof(CustomObject, number), 0,
     "custom number"},
    {NULL} /* Sentinel */
}
    
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

};

static PyObject *
Custom_getfirst(CustomObject *self, void *closure)
{
    return Py_NewRef(self->first);
}

static int
Custom_setfirst(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the first attribute");
        return -1;
    }
    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                        "The first attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    Py_XSETREF(self->first, Py_NewRef(value));
    return 0;
}

static PyObject *
Custom_getlast(CustomObject *self, void *closure)
{
    return Py_NewRef(self->last);
}

static int
Custom_setlast(CustomObject *self, PyObject *value, void *closure)
{
    if (value == NULL) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "Cannot delete the last attribute");
        return -1;
    }
    if (!PyUnicode_Check(value)) {
        PyErr_SetString(PyExc_TypeError,
                        "The last attribute value must be a string");
        return -1;
    }
    Py_XSETREF(self->last, Py_NewRef(value));
    return 0;
}

static PyGetSetDef Custom_getsetters[] = {
    {"first", (getter) Custom_getfirst, (setter) Custom_setfirst,
     "first name", NULL},
    {"last", (getter) Custom_getlast, (setter) Custom_setlast,
     "last name", NULL},
    {NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject *
Custom_name(CustomObject *self, PyObject *Py_UNUSED(ignored))
{
    return PyUnicode_FromFormat("%S %S", self->first, self->last);
}

static PyMethodDef Custom_methods[] = {

```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

{"name", (PyCFunction) Custom_name, METH_NOARGS,
 "Return the name, combining the first and last name"
},
{NULL} /* Sentinel */
};

static PyObject CustomType = {
    .ob_base = PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "custom4.Custom",
    .tp_doc = PyDoc_STR("Custom objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(CustomObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE | Py_TPFLAGS_HAVE_GC,
    .tp_new = Custom_new,
    .tp_init = (initproc) Custom_init,
    .tp_dealloc = (destructor) Custom_dealloc,
    .tp_traverse = (traverseproc) Custom_traverse,
    .tp_clear = (inquiry) Custom_clear,
    .tp_members = Custom_members,
    .tp_methods = Custom_methods,
    .tp_getset = Custom_getsetters,
};

static PyModuleDef custommodule = {
    .m_base = PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "custom4",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_custom4(void)
{
    PyObject *m;
    if (PyType_Ready(&CustomType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&custommodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    if (PyModule_AddObjectRef(m, "Custom", (PyObject *) &CustomType) < 0) {
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
    
```

Tout d'abord, la méthode de parcours (*Custom_traverse*) permet au ramasse-miettes cyclique de connaître les sous-objets qui pourraient conduire à des cycles

```

static int
Custom_traverse(CustomObject *self, visitproc visit, void *arg)
{
    int vret;
    if (self->first) {
        vret = visit(self->first, arg);
        if (vret != 0)
            return vret;
    }
}
    
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

    if (self->last) {
        vret = visit(self->last, arg);
        if (vret != 0)
            return vret;
    }
    return 0;
}
    
```

For each subobject that can participate in cycles, we need to call the `visit()` function, which is passed to the traversal method. The `visit()` function takes as arguments the subobject and the extra argument `arg` passed to the traversal method. It returns an integer value that must be returned if it is non-zero.

Python fournit une macro `Py_VISIT()` qui automatise l'appel des fonctions de visite. Avec `Py_VISIT()`, nous pouvons minimiser la quantité de code générique dans `Custom_traverse`

```

static int
Custom_traverse(CustomObject *self, visitproc visit, void *arg)
{
    Py_VISIT(self->first);
    Py_VISIT(self->last);
    return 0;
}
    
```

Note

l'implémentation `tp_traverse` doit nommer ses arguments exactement `visit` et `arg` afin d'utiliser `Py_VISIT()`.

Deuxièmement, nous devons fournir une méthode pour effacer tous les sous-objets qui peuvent conduire à des cycles

```

static int
Custom_clear(CustomObject *self)
{
    Py_CLEAR(self->first);
    Py_CLEAR(self->last);
    return 0;
}
    
```

Notez l'utilisation de la macro `Py_CLEAR()`. C'est le moyen recommandé et sûr d'effacer les attributs de données de types arbitraires tout en décrémentant leur compteur de références. Si vous deviez appeler `Py_XDECREF()` à la place sur l'attribut avant de le définir sur `NULL`, il est possible que le destructeur de l'attribut appelle du code qui lit à nouveau l'attribut (*surtout* s'il existe un cycle de références).

Note

vous pouvez émuler `Py_CLEAR()` en écrivant

```

PyObject *tmp;
tmp = self->first;
self->first = NULL;
Py_XDECREF(tmp);
    
```

Néanmoins, il est beaucoup plus facile et moins sujet aux erreurs de toujours utiliser `Py_CLEAR()` lors de la suppression d'un attribut. N'essayez pas de micro-optimiser au détriment de la robustesse !

La fonction de libération de la mémoire `Custom_dealloc` peut appeler du code arbitraire lors de la suppression des attributs. Cela signifie que le ramasse-miettes cyclique peut être déclenché à l'intérieur de la fonction. Étant donné que le ramasse-miettes suppose que le nombre de références n'est pas nul, nous devons annuler le suivi de l'objet par

le ramasse-miettes en appelant `PyObject_GC_UnTrack()` avant d'effacer les membres. Voici notre fonction de libération de la mémoire réimplémentée en utilisant `PyObject_GC_UnTrack()` et `Custom_clear` :

```
static void
Custom_dealloc(CustomObject *self)
{
    PyObject_GC_UnTrack(self);
    Custom_clear(self);
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}
```

Enfin, nous ajoutons le drapeau `Py_TPFLAGS_HAVE_GC` aux drapeaux de la classe :

```
.tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE | Py_TPFLAGS_HAVE_GC,
```

C'est à peu près tout. Si nous avons écrit des gestionnaires personnalisés `tp_alloc` ou `tp_free`, nous aurions besoin de les modifier pour le ramasse-miettes cyclique. La plupart des extensions utilisent les versions fournies automatiquement.

2.2.5 Sous-classement d'autres types

Il est possible de créer de nouveaux types d'extension dérivés de types existants. Il est plus facile d'hériter des types natifs, car une extension peut facilement utiliser le `PyTypeObject` dont elle a besoin. Il peut être difficile de partager ces structures `PyTypeObject` entre modules d'extension.

In this example we will create a `SubList` type that inherits from the built-in `list` type. The new type will be completely compatible with regular lists, but will have an additional `increment()` method that increases an internal counter :

```
>>> import sublist
>>> s = sublist.SubList(range(3))
>>> s.extend(s)
>>> print(len(s))
6
>>> print(s.increment())
1
>>> print(s.increment())
2
```

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

typedef struct {
    PyListObject list;
    int state;
} SubListObject;

static PyObject *
SubList_increment(SubListObject *self, PyObject *unused)
{
    self->state++;
    return PyLong_FromLong(self->state);
}

static PyMethodDef SubList_methods[] = {
    {"increment", (PyCFunction) SubList_increment, METH_NOARGS,
     PyDoc_STR("increment state counter")},
    {NULL},
};
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
static int
SubList_init(SubListObject *self, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    if (PyList_Type.tp_init((PyObject *) self, args, kwds) < 0)
        return -1;
    self->state = 0;
    return 0;
}

static PyTypeObject SubListType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    .tp_name = "sublist.SubList",
    .tp_doc = PyDoc_STR("SubList objects"),
    .tp_basicsize = sizeof(SubListObject),
    .tp_itemsize = 0,
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_DEFAULT | Py_TPFLAGS_BASETYPE,
    .tp_init = (initproc) SubList_init,
    .tp_methods = SubList_methods,
};

static PyModuleDef sublistmodule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    .m_name = "sublist",
    .m_doc = "Example module that creates an extension type.",
    .m_size = -1,
};

PyMODINIT_FUNC
PyInit_sublist(void)
{
    PyObject *m;
    SubListType.tp_base = &PyList_Type;
    if (PyType_Ready(&SubListType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&sublistmodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&SubListType);
    if (PyModule_AddObject(m, "SubList", (PyObject *) &SubListType) < 0) {
        Py_DECREF(&SubListType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

As you can see, the source code closely resembles the Custom examples in previous sections. We will break down the main differences between them.

```
typedef struct {
    PyListObject list;
    int state;
} SubListObject;
```

La principale différence pour les objets d'un type dérivé est que la structure d'objet du type père doit être la première valeur. Le type père inclut déjà le `PyObject_HEAD()` au début de sa structure.

When a Python object is a `SubList` instance, its `PyObject *` pointer can be safely cast to both `PyListObject *` and `SubListObject *`:

```
static int
SubList_init(SubListObject *self, PyObject *args, PyObject *kwargs)
{
    if (PyList_Type.tp_init((PyObject *) self, args, kwargs) < 0)
        return -1;
    self->state = 0;
    return 0;
}
```

We see above how to call through to the `__init__()` method of the base type.

Ce modèle est important lors de l'écriture d'un type avec des membres personnalisés `tp_new` et `tp_dealloc`. Le gestionnaire `tp_new` ne doit pas réellement allouer la mémoire pour l'objet avec son `tp_alloc`, mais laisser la classe mère gérer ça en appelant sa propre `tp_new`.

La structure `PyTypeObject` prend en charge un `tp_base` spécifiant la classe mère concrète du type. En raison de problèmes de compilateur multiplateformes, vous ne pouvez pas remplir ce champ directement avec une référence à `PyList_Type`; cela doit être fait plus tard dans la fonction d'initialisation du module :

```
PyMODINIT_FUNC
PyInit_sublist(void)
{
    PyObject* m;
    SubListType.tp_base = &PyList_Type;
    if (PyType_Ready(&SubListType) < 0)
        return NULL;

    m = PyModule_Create(&sublistmodule);
    if (m == NULL)
        return NULL;

    Py_INCREF(&SubListType);
    if (PyModule_AddObject(m, "SubList", (PyObject *) &SubListType) < 0) {
        Py_DECREF(&SubListType);
        Py_DECREF(m);
        return NULL;
    }

    return m;
}
```

Avant d'appeler `PyType_Ready()`, la structure de type doit avoir l'emplacement `tp_base` rempli. Lorsque nous dérivons un type existant, il n'est pas nécessaire de remplir l'emplacement `tp_alloc` avec `PyType_GenericNew()` – la fonction d'allocation du type père sera héritée.

After that, calling `PyType_Ready()` and adding the type object to the module is the same as with the basic Custom examples.

Notes

2.3 Définir les types d'extension : divers sujets

Cette section vise à donner un aperçu rapide des différentes méthodes de type que vous pouvez implémenter et de ce qu'elles font.

Voici la définition de `PyTypeObject`, après avoir enlevé certains champs utilisés uniquement dans debug builds :

```
typedef struct _typeobject {
    PyObject_VAR_HEAD
    const char *tp_name; /* For printing, in format "<module>.<name>" */
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

Py_ssize_t tp_basicsize, tp_itemsize; /* For allocation */

/* Methods to implement standard operations */

destructor tp_dealloc;
Py_ssize_t tp_vectorcall_offset;
getattrfunc tp_getattr;
setattrfunc tp_setattr;
PyAsyncMethods *tp_as_async; /* formerly known as tp_compare (Python 2)
                               or tp_reserved (Python 3) */

reprfunc tp_repr;

/* Method suites for standard classes */

PyNumberMethods *tp_as_number;
PySequenceMethods *tp_as_sequence;
PyMappingMethods *tp_as_mapping;

/* More standard operations (here for binary compatibility) */

hashfunc tp_hash;
ternaryfunc tp_call;
reprfunc tp_str;
getattrofunc tp_getattro;
setattrofunc tp_setattro;

/* Functions to access object as input/output buffer */
PyBufferProcs *tp_as_buffer;

/* Flags to define presence of optional/expanded features */
unsigned long tp_flags;

const char *tp_doc; /* Documentation string */

/* Assigned meaning in release 2.0 */
/* call function for all accessible objects */
traverseproc tp_traverse;

/* delete references to contained objects */
inquiry tp_clear;

/* Assigned meaning in release 2.1 */
/* rich comparisons */
richcmpfunc tp_richcompare;

/* weak reference enabler */
Py_ssize_t tp_weaklistoffset;

/* Iterators */
getiterfunc tp_iter;
iternextfunc tp_iternext;

/* Attribute descriptor and subclassing stuff */
struct PyMethodDef *tp_methods;
struct PyMemberDef *tp_members;
struct PyGetSetDef *tp_getset;
// Strong reference on a heap type, borrowed reference on a static type
struct _typeobject *tp_base;
PyObject *tp_dict;
descrgetfunc tp_descr_get;
descrsetfunc tp_descr_set;
    
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
Py_ssize_t tp_dictoffset;
initproc tp_init;
allocfunc tp_alloc;
newfunc tp_new;
freefunc tp_free; /* Low-level free-memory routine */
inquiry tp_is_gc; /* For PyObject_IS_GC */
PyObject *tp_bases;
PyObject *tp_mro; /* method resolution order */
PyObject *tp_cache;
PyObject *tp_subclasses;
PyObject *tp_weaklist;
destructor tp_del;

/* Type attribute cache version tag. Added in version 2.6 */
unsigned int tp_version_tag;

destructor tp_finalize;
vectorcallfunc tp_vectorcall;

/* bitset of which type-watchers care about this type */
unsigned char tp_watched;
} PyTypeObject;
```

Cela fait *beaucoup* de méthodes. Ne vous inquiétez pas trop cependant : si vous souhaitez définir un type, il y a de fortes chances que vous n'implémentiez qu'une petite partie d'entre elles.

Comme vous vous en doutez probablement maintenant, nous allons passer en revue cela et donner plus d'informations sur les différents gestionnaires. Nous ne suivrons pas l'ordre dans lequel ils sont définis dans la structure, car l'ordre des champs résulte d'un certain historique. Il est souvent plus facile de trouver un exemple qui inclut les champs dont vous avez besoin, puis de modifier les valeurs en fonction de votre nouveau type :

```
const char *tp_name; /* For printing */
```

Le nom du type – comme mentionné dans le chapitre précédent, cela apparaîtra à divers endroits, presque entièrement à des fins de diagnostic. Essayez de choisir quelque chose qui sera utile dans une telle situation !

```
Py_ssize_t tp_basicsize, tp_itemsize; /* For allocation */
```

Ces champs indiquent la quantité de mémoire à allouer à l'exécution lorsque de nouveaux objets de ce type sont créés. Python prend en charge nativement des structures de longueur variable (pensez : chaînes, *n*-uplets), c'est là que le champ `tp_itemsize` entre en jeu. Cela sera traité plus tard.

```
const char *tp_doc;
```

Ici vous pouvez mettre une chaîne (ou son adresse) que vous voulez renvoyer lorsque le script Python référence `obj.__doc__` pour récupérer le *docstring*.

Nous en arrivons maintenant aux méthodes de type basiques -- celles que la plupart des types d'extension mettront en œuvre.

2.3.1 Finalisation et libération de mémoire

```
destructor tp_dealloc;
```

Cette fonction est appelée lorsque le compteur de références de l'instance de votre type tombe à zéro et que l'interpréteur Python veut récupérer la mémoire afférente. Si votre type a de la mémoire à libérer ou un autre nettoyage à effectuer, vous pouvez le mettre ici. L'objet lui-même doit être libéré ici aussi. Voici un exemple de cette fonction :

```
static void
newdatatype_dealloc(newdatatypeobject *obj)
{
    free(obj->obj_UnderlyingDatatypePtr);
    Py_TYPE(obj)->tp_free((PyObject *)obj);
}
```

Si votre type prend en charge le ramasse-miettes, le destructeur doit appeler `PyObject_GC_UnTrack()` avant d'effacer les champs membres :

```
static void
newdatatype_dealloc(newdatatypeobject *obj)
{
    PyObject_GC_UnTrack(obj);
    Py_CLEAR(obj->other_obj);
    ...
    Py_TYPE(obj)->tp_free((PyObject *)obj);
}
```

Une exigence importante de la fonction de libération de la mémoire est de ne pas s'occuper de toutes les exceptions en attente. C'est important car les fonctions de libération de la mémoire sont fréquemment appelées lorsque l'interpréteur remonte la pile d'appels Python ; lorsque la pile est remontée à cause d'une exception (plutôt que de retours normaux), les fonctions de libération peuvent voir qu'une exception a déjà été définie. Toute action effectuée par une fonction de libération de la mémoire pouvant entraîner l'exécution de code Python supplémentaire peut détecter qu'une exception a été définie. Cela peut conduire l'interpréteur à se tromper sur la nature de l'erreur. La bonne façon d'éviter cela est d'enregistrer une exception en attente avant d'effectuer l'action non sécurisée et à la restaurer une fois terminée. Cela peut être fait en utilisant les fonctions `PyErr_Fetch()` et `PyErr_Restore()` :

```
static void
my_dealloc(PyObject *obj)
{
    PyObject *self = (PyObject *) obj;
    PyObject *cbresult;

    if (self->my_callback != NULL) {
        PyObject *err_type, *err_value, *err_traceback;

        /* This saves the current exception state */
        PyErr_Fetch(&err_type, &err_value, &err_traceback);

        cbresult = PyObject_CallNoArgs(self->my_callback);
        if (cbresult == NULL)
            PyErr_WriteUnraisable(self->my_callback);
        else
            Py_DECREF(cbresult);

        /* This restores the saved exception state */
        PyErr_Restore(err_type, err_value, err_traceback);

        Py_DECREF(self->my_callback);
    }
    Py_TYPE(obj)->tp_free((PyObject*)self);
}
```

Note

des limites existent à ce que vous pouvez faire en toute sécurité dans une fonction de libération de la mémoire. Tout d'abord, si votre type prend en charge le ramasse-miettes (en utilisant `tp_traverse` et/ou `tp_clear`), certains membres de l'objet peuvent avoir été effacés ou finalisés avant que `tp_dealloc` ne soit appelé. Deuxièmement, dans `tp_dealloc`, votre objet est dans un état instable : son compteur de références est égal à zéro. Tout appel à un objet non trivial ou à une API (comme dans l'exemple ci-dessus) peut finir par appeler `tp_dealloc` à nouveau, provoquant une double libération et un plantage.

À partir de Python 3.4, il est recommandé de ne pas mettre de code de finalisation complexe dans `tp_dealloc`, et d'utiliser à la place la nouvelle méthode de type `tp_finalize`.

Voir aussi

PEP 442 explique le nouveau schéma de finalisation.

2.3.2 Présentation de l'objet

En Python, il existe deux façons de générer une représentation textuelle d'un objet : la fonction `repr()` et la fonction `str()` (la fonction `print()` appelle simplement `str()`). Ces gestionnaires sont tous deux facultatifs.

```
reprfunc tp_repr;
reprfunc tp_str;
```

Le gestionnaire `tp_repr` doit renvoyer un objet chaîne contenant une représentation de l'instance pour laquelle il est appelé. Voici un exemple simple :

```
static PyObject *
newdatatype_repr(newdatatypeobject *obj)
{
    return PyUnicode_FromFormat("Repr-ified_newdatatype{{size:%d}}",
                                obj->obj_UnderlyingDatatypePtr->size);
}
```

Si aucun gestionnaire `tp_repr` n'est spécifié, l'interpréteur fournira une représentation qui utilise le type `tp_name` et une valeur d'identification unique pour l'objet.

Le gestionnaire `tp_str` est à `str()` ce que le gestionnaire `tp_repr` décrit ci-dessus est à `repr()` ; c'est-à-dire qu'il est appelé lorsque le code Python appelle `str()` sur une instance de votre objet. Son implémentation est très similaire à la fonction `tp_repr`, mais la chaîne résultante est destinée à être lue par des utilisateurs. Si `tp_str` n'est pas spécifié, le gestionnaire `tp_repr` est utilisé à la place.

Voici un exemple simple :

```
static PyObject *
newdatatype_str(newdatatypeobject *obj)
{
    return PyUnicode_FromFormat("Stringified_newdatatype{{size:%d}}",
                                obj->obj_UnderlyingDatatypePtr->size);
}
```

2.3.3 Gestion des attributs

Pour chaque objet pouvant prendre en charge des attributs, le type correspondant doit fournir les fonctions qui contrôlent la façon dont les attributs sont résolus. Il doit y avoir une fonction qui peut récupérer les attributs (le cas échéant) et une autre pour définir les attributs (si la définition des attributs est autorisée). La suppression d'un attribut est un cas particulier, pour lequel la nouvelle valeur transmise au gestionnaire est NULL.

Python prend en charge deux paires de gestionnaires d'attributs ; un type qui prend en charge les attributs n'a besoin d'implémenter les fonctions que pour une paire. La différence est qu'une paire prend le nom de l'attribut en tant que `char*`, tandis que l'autre accepte un `PyObject*`. Chaque type peut utiliser la paire la plus logique pour la commodité de l'implémentation.

```
getattrofunc tp_getattr;      /* char * version */
setattrofunc tp_setattr;
/* ... */
getattrofunc tp_getattro;    /* PyObject * version */
setattrofunc tp_setattro;
```

Si accéder aux attributs d'un objet est toujours une opération simple (ceci sera expliqué brièvement), il existe des implémentations génériques qui peuvent être utilisées pour fournir la version `PyObject*` des fonctions de gestion des attributs. Le besoin réel de gestionnaires d'attributs spécifiques au type a presque complètement disparu à partir de Python 2.2, bien qu'il existe de nombreux exemples qui n'ont pas été mis à jour pour utiliser certains des nouveaux mécanismes génériques disponibles.

Gestion des attributs génériques

La plupart des types d'extensions n'utilisent que des attributs *simples*. Alors, qu'est-ce qui rend les attributs simples ? Seules quelques conditions doivent être remplies :

1. le nom des attributs doit être déjà connu lorsqu'on lance `PyType_Ready()` ;
2. aucun traitement spécial n'est nécessaire pour enregistrer qu'un attribut a été recherché ou défini, et aucune action ne doit être entreprise en fonction de la valeur.

Notez que cette liste n'impose aucune restriction sur les valeurs des attributs, le moment où les valeurs sont calculées ou la manière dont les données pertinentes sont stockées.

Lorsque `PyType_Ready()` est appelé, il utilise trois tableaux référencés par l'objet type pour créer des *descripteurs* qui sont placés dans le dictionnaire de l'objet type. Chaque descripteur contrôle l'accès à un attribut de l'objet instance. Chacun des tableaux est facultatif ; si les trois sont NULL, les instances du type n'auront que des attributs hérités de leur type de base et doivent laisser les champs `tp_getattro` et `tp_setattro` à NULL également, permettant au type de base de gérer les attributs.

Les tableaux sont déclarés sous la forme de trois champs de type objet :

```
struct PyMethodDef *tp_methods;
struct PyMemberDef *tp_members;
struct PyGetSetDef *tp_getset;
```

Si `tp_methods` n'est pas NULL, il doit faire référence à un tableau de structures `PyMethodDef`. Chaque entrée du tableau est une instance de cette structure :

```
typedef struct PyMethodDef {
    const char *ml_name;      /* method name */
    PyCFunction ml_meth;      /* implementation function */
    int ml_flags;             /* flags */
    const char *ml_doc;       /* docstring */
} PyMethodDef;
```

One entry should be defined for each method provided by the type ; no entries are needed for methods inherited from a base type. One additional entry is needed at the end ; it is a sentinel that marks the end of the array. The `ml_name` field of the sentinel must be NULL.

Le deuxième tableau est utilisé pour définir les attributs qui correspondent directement aux données stockées dans l'instance. Divers types C natifs sont pris en charge et l'accès peut être en lecture seule ou en lecture-écriture. Les structures du tableau sont définies comme suit :

```
typedef struct PyMemberDef {
    const char *name;
    int type;
    int offset;
    int flags;
    const char *doc;
} PyMemberDef;
```

For each entry in the table, a *descriptor* will be constructed and added to the type which will be able to extract a value from the instance structure. The `type` field should contain a type code like `Py_T_INT` or `Py_T_DOUBLE`; the value will be used to determine how to convert Python values to and from C values. The `flags` field is used to store flags which control how the attribute can be accessed : you can set it to `Py_READONLY` to prevent Python code from setting it.

An interesting advantage of using the `tp_members` table to build descriptors that are used at runtime is that any attribute defined this way can have an associated doc string simply by providing the text in the table. An application can use the introspection API to retrieve the descriptor from the class object, and get the doc string using its `__doc__` attribute.

As with the `tp_methods` table, a sentinel entry with a `ml_name` value of `NULL` is required.

Gestion des attributs de type spécifiques

Pour plus de simplicité, seule la version `char*` est montrée ici ; le type du paramètre *name* est la seule différence entre les variations `char*` et `PyObject*` de l'interface. Cet exemple fait effectivement la même chose que l'exemple générique ci-dessus, mais n'utilise pas le support générique ajouté dans Python 2.2. Il explique comment les fonctions de gestionnaire sont appelées, de sorte que si vous avez besoin d'étendre leurs fonctionnalités, vous comprendrez ce qui doit être fait.

The `tp_getattr` handler is called when the object requires an attribute look-up. It is called in the same situations where the `__getattr__()` method of a class would be called.

Voici un exemple :

```
static PyObject *
newdatatype_getattr(newdatatypeobject *obj, char *name)
{
    if (strcmp(name, "data") == 0)
    {
        return PyLong_FromLong(obj->data);
    }

    PyErr_Format(PyExc_AttributeError,
        "%.100s' object has no attribute '%.400s'",
        Py_TYPE(obj)->tp_name, name);
    return NULL;
}
```

The `tp_setattr` handler is called when the `__setattr__()` or `__delattr__()` method of a class instance would be called. When an attribute should be deleted, the third parameter will be `NULL`. Here is an example that simply raises an exception ; if this were really all you wanted, the `tp_setattr` handler should be set to `NULL`.

```
static int
newdatatype_setattr(newdatatypeobject *obj, char *name, PyObject *v)
{
    PyErr_Format(PyExc_RuntimeError, "Read-only attribute: %s", name);
    return -1;
}
```


2.3.4 Comparaison des objets

```
richcmpfunc tp_richcompare;
```

The `tp_richcompare` handler is called when comparisons are needed. It is analogous to the rich comparison methods, like `__lt__()`, and also called by `PyObject_RichCompare()` and `PyObject_RichCompareBool()`.

Cette fonction est appelée avec deux objets Python et l'opérateur comme arguments, où l'opérateur est `Py_EQ`, `Py_NE`, `Py_LE`, `Py_GE`, `Py_LT` ou `Py_GT`. Elle doit comparer les deux objets conformément à l'opérateur spécifié et renvoyer `Py_True` ou `Py_False` si la comparaison a réussi, `Py_NotImplemented` pour indiquer que la comparaison n'est pas implémentée et que la méthode de comparaison de l'autre objet doit être essayée, ou `NULL` si une exception doit être levée.

Voici un exemple d'implémentation, pour un type de données où l'égalité signifie que la taille d'un pointeur interne est égale :

```
static PyObject *
newdatatype_richcmp(newdatatypeobject *obj1, newdatatypeobject *obj2, int op)
{
    PyObject *result;
    int c, size1, size2;

    /* code to make sure that both arguments are of type
       newdatatype omitted */

    size1 = obj1->obj_UnderlyingDatatypePtr->size;
    size2 = obj2->obj_UnderlyingDatatypePtr->size;

    switch (op) {
        case Py_LT: c = size1 < size2; break;
        case Py_LE: c = size1 <= size2; break;
        case Py_EQ: c = size1 == size2; break;
        case Py_NE: c = size1 != size2; break;
        case Py_GT: c = size1 > size2; break;
        case Py_GE: c = size1 >= size2; break;
    }
    result = c ? Py_True : Py_False;
    Py_INCREF(result);
    return result;
}
```

2.3.5 Gestion de protocoles abstraits

Python prend en charge divers « protocoles » *abstrait*s ; les interfaces spécifiques fournies pour utiliser ces interfaces sont documentées dans `abstract`.

Un certain nombre de ces interfaces abstraites ont été définies au début du développement de l'implémentation Python. En particulier, les protocoles de nombre, de correspondance et de séquence font partie de Python depuis le début. D'autres protocoles ont été ajoutés au fil du temps. Pour les protocoles qui dépendent de plusieurs routines de gestionnaire de l'implémentation du type, les anciens protocoles ont été définis comme des blocs facultatifs de gestionnaires référencés par l'objet type. Pour les protocoles plus récents, il existe des emplacements supplémentaires dans l'objet de type principal, avec un bit d'indicateur défini pour indiquer que les emplacements sont présents et doivent être vérifiés par l'interpréteur (le bit d'indicateur n'indique pas que les valeurs d'emplacement ne sont pas `NULL` ; il peut être défini pour indiquer la présence d'un emplacement, mais un emplacement peut toujours être vide). :

```
PyNumberMethods    *tp_as_number;
PySequenceMethods  *tp_as_sequence;
PyMappingMethods    *tp_as_mapping;
```

Si vous souhaitez que votre objet puisse agir comme un nombre, une séquence ou un tableau de correspondances, placez l'adresse d'une structure qui implémente le type C `PyNumberMethods`, `PySequenceMethods` ou `PyMappingMethods`, respectivement. C'est à vous de remplir cette structure avec les valeurs appropriées. Vous pouvez trouver des exemples d'utilisation de chacun d'entre eux dans le répertoire `Objects` de la distribution source de Python. :

```
hashfunc tp_hash;
```

Cette fonction, si vous la fournissez, doit renvoyer un condensat pour une instance de votre type de données. Voici un exemple simple :

```
static Py_hash_t
newdatatype_hash(newdatatypeobject *obj)
{
    Py_hash_t result;
    result = obj->some_size + 32767 * obj->some_number;
    if (result == -1)
        result = -2;
    return result;
}
```

`Py_hash_t` is a signed integer type with a platform-varying width. Returning `-1` from `tp_hash` indicates an error, which is why you should be careful to avoid returning it when hash computation is successful, as seen above.

```
ternaryfunc tp_call;
```

Cette fonction est appelée lorsqu'une instance de votre type de données est « appelée », par exemple, si `obj1` est une instance de votre type de données et que le script Python contient `obj1('hello')`, le gestionnaire `tp_call` est appelé.

Cette fonction prend trois arguments :

1. *self* est l'instance du type de données qui fait l'objet de l'appel. Si l'appel est `obj1('hello')`, alors *self* est `obj1`.
2. *args* est un *n*-uplet contenant les arguments de l'appel. Vous pouvez utiliser `PyArg_ParseTuple()` pour extraire les arguments.
3. *kwds* est le dictionnaire d'arguments nommés qui ont été passés. Si ce n'est pas `NULL` et que vous gérez les arguments nommés, utilisez `PyArg_ParseTupleAndKeywords()` pour extraire les arguments. Si vous ne souhaitez pas prendre en charge les arguments nommés et qu'il n'est pas `NULL`, levez une `TypeError` avec un message indiquant que les arguments nommés ne sont pas pris en charge.

Ceci est une implémentation `tp_call` très simple :

```
static PyObject *
newdatatype_call(newdatatypeobject *obj, PyObject *args, PyObject *kwds)
{
    PyObject *result;
    const char *arg1;
    const char *arg2;
    const char *arg3;

    if (!PyArg_ParseTuple(args, "sss:call", &arg1, &arg2, &arg3)) {
        return NULL;
    }
    result = PyUnicode_FromFormat(
        "Returning -- value: [%d] arg1: [%s] arg2: [%s] arg3: [%s]\n",
        obj->obj_UnderlyingDatatypePtr->size,
        arg1, arg2, arg3);
    return result;
}
```

```
/* Iterators */
getiterfunc tp_iter;
iternextfunc tp_iternext;
```

These functions provide support for the iterator protocol. Both handlers take exactly one parameter, the instance for which they are being called, and return a new reference. In the case of an error, they should set an exception and return NULL. `tp_iter` corresponds to the Python `__iter__()` method, while `tp_iternext` corresponds to the Python `__next__()` method.

Tout objet *iterable* doit implémenter le gestionnaire `tp_iter`, qui doit renvoyer un objet de type *iterator*. Ici, les mêmes directives s'appliquent de la même façon que pour les classes *Python* :

- Pour les collections (telles que les listes et les n-uplets) qui peuvent implémenter plusieurs itérateurs indépendants, un nouvel itérateur doit être créé et renvoyé par chaque appel de type `tp_iter`.
- Les objets qui ne peuvent être itérés qu'une seule fois (généralement en raison d'effets de bord de l'itération, tels que les objets fichiers) peuvent implémenter `tp_iter` en renvoyant une nouvelle référence à eux-mêmes – et doivent donc également implémenter le gestionnaire `tp_iternext`.

Tout objet *itérateur* doit implémenter à la fois `tp_iter` et `tp_iternext`. Le gestionnaire `tp_iter` d'un itérateur doit renvoyer une nouvelle référence de l'itérateur. Son gestionnaire `tp_iternext` doit renvoyer une nouvelle référence à l'objet suivant dans l'itération, s'il y en a un. Si l'itération a atteint la fin, `tp_iternext` peut renvoyer NULL sans définir d'exception, ou il peut définir `StopIteration` *en plus* de renvoyer NULL ; éviter de lever une exception peut donner des performances légèrement meilleures. Si une erreur réelle se produit, `tp_iternext` doit toujours définir une exception et renvoyer NULL.

2.3.6 Prise en charge de la référence faible

L'un des objectifs de l'implémentation de la référence faible de *Python* est de permettre à tout type d'objet de participer au mécanisme de référence faible sans avoir à supporter le surcoût de la performance critique des certains objets, tels que les nombres.

Voir aussi

documentation pour le module `weakref`.

For an object to be weakly referenceable, the extension type must set the `Py_TPFLAGS_MANAGED_WEAKREF` bit of the `tp_flags` field. The legacy `tp_weaklistoffset` field should be left as zero.

Concretely, here is how the statically declared type object would look :

```
static PyObject TrivialType = {
    PyVarObject_HEAD_INIT(NULL, 0)
    /* ... other members omitted for brevity ... */
    .tp_flags = Py_TPFLAGS_MANAGED_WEAKREF | ...,
};
```

The only further addition is that `tp_dealloc` needs to clear any weak references (by calling `PyObject_ClearWeakRefs()`):

```
static void
Trivial_dealloc(TrivialObject *self)
{
    /* Clear weakrefs first before calling any destructors */
    PyObject_ClearWeakRefs((PyObject *) self);
    /* ... remainder of destruction code omitted for brevity ... */
    Py_TYPE(self)->tp_free((PyObject *) self);
}
```

2.3.7 Plus de suggestions

Pour savoir comment mettre en œuvre une méthode spécifique pour votre nouveau type de données, téléchargez le code source *CPython*. Allez dans le répertoire `Objects`, puis cherchez dans les fichiers sources *C* la fonction `tp_` plus la fonction que vous voulez (par exemple, `tp_richcompare`). Vous trouverez des exemples de la fonction que vous voulez implémenter.

Lorsque vous avez besoin de vérifier qu'un objet est une instance concrète du type que vous implémentez, utilisez la fonction `PyObject_TypeCheck()`. Voici un exemple de son utilisation :

```
if (!PyObject_TypeCheck(some_object, &MyType)) {
    PyErr_SetString(PyExc_TypeError, "arg #1 not a mything");
    return NULL;
}
```

Voir aussi

Télécharger les versions sources de *CPython*.

<https://www.python.org/downloads/source/>

Le projet *CPython* sur *GitHub*, où se trouve le code source *CPython*.

<https://github.com/python/cpython>

2.4 Construire des extensions C et C++

Une extension C pour CPython est une bibliothèque partagée (Un `.so` sur Linux, un `.pyd` sur Windows), qui expose une *fonction d'initialisation*.

To be importable, the shared library must be available on `PYTHONPATH`, and must be named after the module name, with an appropriate extension. When using `setuptools`, the correct filename is generated automatically.

La fonction d'initialisation doit avoir le prototype :

`PyObject *PyInit_modulename (void)`

Elle doit donner soit un module entièrement initialisé, soit une instance de `PyModuleDef`. Voir `initializing-modules` pour plus de détails.

Pour les modules dont les noms sont entièrement en ASCII, la fonction doit être nommée `PyInit_<modulename>`, dont `<modulename>` est remplacé par le nom du module. En utilisant multi-phase-initialization, il est possible d'utiliser des noms de modules comptant des caractères non ASCII. Dans ce cas, le nom de la fonction d'initialisation est `PyInitU_<modulename>`, où `modulename` est encodé avec l'encodage `punyencode` de Python, dont les tirets sont remplacés par des tirets-bas. En Python ça donne :

```
def initfunc_name(name):
    try:
        suffix = b'_' + name.encode('ascii')
    except UnicodeEncodeError:
        suffix = b'U_' + name.encode('punycode').replace(b'-', b'_')
    return b'PyInit' + suffix
```

Il est possible d'exporter plusieurs modules depuis une seule bibliothèque partagée en définissant plusieurs fonctions d'initialisation. Cependant pour les importer, un lien symbolique doit être créé pour chacun, ou un *importer* personnalisé, puisque par défaut seule la fonction correspondant au nom du fichier est cherchée. Voir le chapitre *"Multiple modules in one library"* dans la **PEP 489** pour plus d'informations.

2.4.1 Building C and C++ Extensions with setuptools

Python 3.12 and newer no longer come with `distutils`. Please refer to the `setuptools` documentation at <https://setuptools.readthedocs.io/en/latest/setuptools.html> to learn more about how build and distribute C/C++ extensions with `setuptools`.

2.5 Construire des extensions C et C++ sur Windows

Cette page explique rapidement comment créer un module d'extension Windows pour Python en utilisant Microsoft Visual C++, et donne plus d'informations contextuelles sur son fonctionnement. Le texte explicatif est utile tant pour le développeur Windows qui apprend à construire des extensions Python que pour le développeur Unix souhaitant produire des logiciels pouvant être construits sur Unix et Windows.

Les auteurs de modules sont invités à utiliser l'approche *distutils* pour construire des modules d'extension, au lieu de celle décrite dans cette section. Vous aurez toujours besoin du compilateur C utilisé pour construire Python ; typiquement Microsoft Visual C++.

Note

Cette page mentionne plusieurs noms de fichiers comprenant un numéro de version Python encodé. Ces noms de fichiers sont construits sous le format de version `XY` ; en pratique, 'X' représente le numéro de version majeure et 'Y' représente le numéro de version mineure de la version Python avec laquelle vous travaillez. Par exemple, si vous utilisez Python 2.2.1, `XY` correspond à 22.

2.5.1 Une approche "recette de cuisine"

There are two approaches to building extension modules on Windows, just as there are on Unix : use the `setuptools` package to control the build process, or do things manually. The `setuptools` approach works well for most extensions ; documentation on using `setuptools` to build and package extension modules is available in *Building C and C++ Extensions with setuptools*. If you find you really need to do things manually, it may be instructive to study the project file for the `winsound` standard library module.

2.5.2 Différences entre Unix et Windows

Unix et Windows utilisent des paradigmes complètement différents pour le chargement du code pendant l'exécution. Avant d'essayer de construire un module qui puisse être chargé dynamiquement, soyez conscient du mode de fonctionnement du système.

Sur Unix, un fichier objet partagé (`.so`) contient du code servant au programme, ainsi que les noms des fonctions et les données que l'on s'attend à trouver dans le programme. Quand le fichier est attaché au programme, toutes les références à ces fonctions et données dans le code du fichier sont modifiées pour pointer vers les localisations actuelles dans le programme où sont désormais placées les fonctions et données dans la mémoire. C'est tout simplement une opération de liaison.

Sur Windows, un fichier bibliothèque de liens dynamiques (`.dll`) n'a pas de références paresseuses. À la place, un accès aux fonctions ou données passe par une table de conversion. Cela est fait pour que le code DLL ne doive pas être réarrangé à l'exécution pour renvoyer à la mémoire du programme ; à la place, le code utilise déjà la table de conversion DLL, et cette table est modifiée à l'exécution pour pointer vers les fonctions et données.

Sur Unix, il n'y a qu'un type de bibliothèque de fichier (`.a`) qui contient du code venant de plusieurs fichiers objets (`.o`). Durant l'étape de liaison pour créer un fichier objet partagé (`.so`), le lieur peut informer qu'il ne sait pas où un identificateur est défini. Le lieur le cherchera dans les fichiers objet dans les bibliothèques ; s'il le trouve, il inclura tout le code provenant de ce fichier objet.

Sur Windows, il y a deux types de bibliothèques, une bibliothèque statique et une bibliothèque d'importation (toutes deux appelées `.lib`). Une bibliothèque statique est comme un fichier Unix `.a` ; elle contient du code pouvant être

inclus si nécessaire. Une bibliothèque d'importation est uniquement utilisée pour rassurer le lieu qu'un certain identificateur est légal, et sera présent dans le programme quand la DLL est chargée. Comme ça le lieu utilise les informations provenant de la bibliothèque d'importation pour construire la table de conversion pour utiliser les identificateurs qui ne sont pas inclus dans la DLL. Quand une application ou une DLL est liée, une bibliothèque d'importation peut être générée, qui devra être utilisée pour toutes les futures DLL dépendantes aux symboles provenant de l'application ou de la DLL.

Supposons que vous construisez deux modules de chargement dynamiques, B et C, qui ne devraient pas partager un autre bloc de code avec A. Sur Unix, vous ne transmettez pas `A.a` au lieu pour `B.so` et `C.so`; cela le ferait être inclus deux fois, pour que B et C aient chacun leur propre copie. Sur Windows, construire `A.dll` construira aussi `A.lib`. Vous transmettez `A.lib` au lieu pour B et C. `A.lib` ne contient pas de code; il contient uniquement des informations qui seront utilisées lors de l'exécution pour accéder au code de A.

Sur Windows, utiliser une bibliothèque d'importation est comme utiliser `import spam`; cela vous donne accès aux noms des spams, mais ne crée pas de copie séparée. Sur Unix, se lier à une bibliothèque est plus comme `from spam import *`; cela crée une copie séparée.

2.5.3 Utiliser les DLL en pratique

Le Python de Windows est construit en Microsoft Visual C++; utiliser d'autres compilateurs pourrait fonctionner, ou pas. Le reste de cette section est spécifique à MSVC++.

Lorsque vous créez des DLL sur Windows, vous devez transmettre `pythonXY.lib` au lieu. Pour construire deux DLL, `spam` et `ni` (qui utilisent des fonctions C trouvées dans `spam`), vous pouvez utiliser ces commandes :

```
cl /LD /I/python/include spam.c ../libs/pythonXY.lib
cl /LD /I/python/include ni.c spam.lib ../libs/pythonXY.lib
```

La première commande a créé trois fichiers : `spam.obj`, `spam.dll` et `spam.lib`. `Spam.dll` ne contient pas de fonctions Python (telles que `PyArg_ParseTuple()`), mais il sait comment trouver le code Python grâce à `pythonXY.lib`.

La seconde commande a créé `ni.dll` (et `.obj` et `.lib`), qui sait comment trouver les fonctions nécessaires dans `spam`, ainsi qu'à partir de l'exécutable Python.

Chaque identificateur n'est pas exporté vers la table de conversion. Si vous voulez que tout autre module (y compris Python) soit capable de voir vos identificateurs, vous devez préciser `_declspec(dllexport)`, comme dans `void _declspec(dllexport) initspam(void)` ou `PyObject _declspec(dllexport) *NiGetSpamData(void)`.

Developer Studio will throw in a lot of import libraries that you do not really need, adding about 100K to your executable. To get rid of them, use the Project Settings dialog, Link tab, to specify *ignore default libraries*. Add the correct `msvcrtxx.lib` to the list of libraries.

Intégrer l'interpréteur CPython dans une plus grande application

Parfois, plutôt que de créer une extension qui s'exécute dans l'interpréteur Python comme application principale, il est préférable d'intégrer l'interpréteur Python dans une application plus large. Cette section donne quelques informations nécessaires au succès de cette opération.

3.1 Intégrer Python dans une autre application

Les chapitres précédents couvraient l'extension de Python, c'est-à-dire, comment enrichir une fonctionnalité de Python en y attachant une bibliothèque de fonctions C. C'est aussi possible dans l'autre sens : enrichir vos applications C/C++ en y intégrant Python. Intégrer Python vous permet d'implémenter certaines fonctionnalités de vos applications en Python plutôt qu'en C ou C++. C'est utile dans de nombreux cas, un exemple serait de permettre aux utilisateurs d'adapter une application à leurs besoins en y écrivant des scripts Python. Vous pouvez aussi l'utiliser vous même si certaines fonctionnalités peuvent être rédigées plus facilement en Python.

Intégrer et étendre Python sont des tâches presque identiques. La différence est qu'en étendant Python, le programme principal reste l'interpréteur Python, alors qu'en intégrant Python le programme principal peut ne rien à voir avec Python. C'est simplement quelques parties du programme qui appellent l'interpréteur Python pour exécuter un peu de code Python.

En intégrant Python, vous fournissez le programme principal. L'une de ses tâches sera d'initialiser l'interpréteur. Au minimum vous devrez appeler `Py_Initialize()`. Il est possible, avec quelques appels supplémentaires, de passer des options à Python. Ensuite vous pourrez appeler l'interpréteur depuis n'importe quelle partie de votre programme.

Il existe différents moyens d'appeler l'interpréteur : vous pouvez donner une chaîne contenant des instructions Python à `PyRun_SimpleString()`, ou vous pouvez donner un pointeur de fichier *stdio* et un nom de fichier (juste pour nommer les messages d'erreur) à `PyRunSimpleFile()`. Vous pouvez aussi appeler les API de bas niveau décrites dans les chapitres précédents pour construire et utiliser des objets Python.

Voir aussi

c-api-index

Les détails sur l'interface entre Python et le C sont donnés dans ce manuel. Pléthore d'informations s'y trouvent.

3.1.1 Intégration de très haut niveau

La manière la plus simple d'intégrer Python est d'utiliser une interface de très haut niveau. Cette interface a pour but d'exécuter un script Python sans avoir à interagir avec directement. C'est utile, par exemple, pour effectuer une opération sur un fichier.

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

int
main(int argc, char *argv[])
{
    wchar_t *program = Py_DecodeLocale(argv[0], NULL);
    if (program == NULL) {
        fprintf(stderr, "Fatal error: cannot decode argv[0]\n");
        exit(1);
    }
    Py_SetProgramName(program); /* optional but recommended */
    Py_Initialize();
    PyRun_SimpleString("from time import time,ctime\n"
                      "print('Today is', ctime(time()))\n");
    if (Py_FinalizeEx() < 0) {
        exit(120);
    }
    PyMem_RawFree(program);
    return 0;
}
```

C'est la fonction `Py_SetProgramName()` qui devrait être appelée en premier, avant `Py_Initialize()`, afin d'informer l'interpréteur des chemins vers ses bibliothèques. Ensuite l'interpréteur est initialisé par `Py_Initialize()`, suivi de l'exécution de Python codé en dur affichant la date et l'heure, puis, l'appel à `Py_FinalizeEx()` éteint l'interpréteur, engendrant ainsi la fin du programme. Dans un vrai programme, vous pourriez vouloir lire le script Python depuis une autre source, peut être depuis un éditeur de texte, un fichier, ou une base de donnée. Récupérer du code Python depuis un fichier se fait via `PyRun_SimpleFile()`, qui vous économise le travail d'allouer de la mémoire et de charger le contenu du fichier.

3.1.2 Au-delà de l'intégration de haut niveau : survol

L'interface de haut niveau vous permet d'exécuter n'importe quel morceau de code Python depuis votre application, mais échanger des données est quelque peu alambiqué. Si c'est ce dont vous avez besoin, vous devez utiliser des appels de niveau plus bas. Il vous en coûtera plus de lignes de C à écrire, mais vous pourrez presque tout faire.

Il est à souligner qu'étendre ou intégrer Python revient à la louche au même, en dépit de la différence d'intention. La plupart des sujets parcourus dans les chapitres précédents sont toujours valides. Pour le prouver, regardez ce qu'un code d'extension de Python vers C fait réellement :

1. Convertir des valeurs de Python vers le C,
2. Appeler une fonction C en utilisant les valeurs converties, et
3. Convertir les résultats de l'appel à la fonction C pour Python.

Lors de l'intégration de Python, le code de l'interface fait :

1. Convertir les valeurs depuis le C vers Python,
2. Effectuer un appel de fonction de l'interface Python en utilisant les valeurs converties, et
3. Convertir les valeurs de l'appel Python pour le C.

Tel que vous le voyez, les conversions sont simplement inversées pour s'adapter aux différentes directions de transfert inter-langage. La seule différence est la fonction que vous appelez entre les deux conversions de données. Lors de l'extension, vous appelez une fonction C, lors de l'intégration vous appelez une fonction Python.

Ce chapitre ne couvrira pas la conversion des données de Python vers le C ni l'inverse. Aussi, un usage correct des références, ainsi que savoir gérer les erreurs sont considérés acquis. Ces aspects étant identiques à l'extension de l'interpréteur, vous pouvez vous référer aux chapitres précédents.

3.1.3 Intégration pure

L'objectif du premier programme est d'exécuter une fonction dans un script Python. Comme dans la section à propos des interfaces de haut niveau, l'interpréteur n'interagit pas directement avec l'application (mais le fera dans la section suivante).

Le code pour appeler une fonction définie dans un script Python est :

```
#define PY_SSIZE_T_CLEAN
#include <Python.h>

int
main(int argc, char *argv[])
{
    PyObject *pName, *pModule, *pFunc;
    PyObject *pArgs, *pValue;
    int i;

    if (argc < 3) {
        fprintf(stderr, "Usage: call pythonfile funcname [args]\n");
        return 1;
    }

    Py_Initialize();
    pName = PyUnicode_DecodeFSDefault(argv[1]);
    /* Error checking of pName left out */

    pModule = PyImport_Import(pName);
    Py_DECREF(pName);

    if (pModule != NULL) {
        pFunc = PyObject_GetAttrString(pModule, argv[2]);
        /* pFunc is a new reference */

        if (pFunc && PyCallable_Check(pFunc)) {
            pArgs = PyTuple_New(argc - 3);
            for (i = 0; i < argc - 3; ++i) {
                pValue = PyLong_FromLong(atoi(argv[i + 3]));
                if (!pValue) {
                    Py_DECREF(pArgs);
                    Py_DECREF(pModule);
                    fprintf(stderr, "Cannot convert argument\n");
                    return 1;
                }
                /* pValue reference stolen here: */
                PyTuple_SetItem(pArgs, i, pValue);
            }
            pValue = PyObject_CallObject(pFunc, pArgs);
            Py_DECREF(pArgs);
            if (pValue != NULL) {
                printf("Result of call: %ld\n", PyLong_AsLong(pValue));
                Py_DECREF(pValue);
            }
            else {
                Py_DECREF(pFunc);
                Py_DECREF(pModule);
                PyErr_Print();
                fprintf(stderr, "Call failed\n");
                return 1;
            }
        }
        else {
            if (PyErr_Occurred())
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```

        PyErr_Print();
        fprintf(stderr, "Cannot find function \"%s\"\n", argv[2]);
    }
    Py_XDECREF(pFunc);
    Py_DECREF(pModule);
}
else {
    PyErr_Print();
    fprintf(stderr, "Failed to load \"%s\"\n", argv[1]);
    return 1;
}
if (Py_FinalizeEx() < 0) {
    return 120;
}
return 0;
}

```

Ce code charge un script Python en utilisant `argv[1]`, et appelle une fonction dont le nom est dans `argv[2]`. Ses arguments entiers sont les autres valeurs de `argv`. Si vous *compilez et liez* ce programme (appelons l'exécutable **call**), et l'appeliez pour exécuter un script Python, tel que :

```

def multiply(a,b):
    print("Will compute", a, "times", b)
    c = 0
    for i in range(0, a):
        c = c + b
    return c

```

alors, le résultat sera :

```

$ call multiply multiply 3 2
Will compute 3 times 2
Result of call: 6

```

Bien que le programme soit plutôt gros pour ses fonctionnalités, la plupart du code n'est que conversion de données entre Python et C, aussi que pour rapporter les erreurs. La partie intéressante, qui concerne l'intégration de Python débute par :

```

Py_Initialize();
pName = PyUnicode_DecodeFSDefault(argv[1]);
/* Error checking of pName left out */
pModule = PyImport_Import(pName);

```

Après avoir initialisé l'interpréteur, le script est chargé en utilisant `PyImport_Import()`. Cette fonction prend une chaîne Python pour argument, elle-même construite en utilisant la fonction de conversion `PyUnicode_FromString()`.

```

pFunc = PyObject_GetAttrString(pModule, argv[2]);
/* pFunc is a new reference */

if (pFunc && PyCallable_Check(pFunc)) {
    ...
}
Py_XDECREF(pFunc);

```

Une fois le script chargé, le nom recherché est obtenu en utilisant `PyObject_GetAttrString()`. Si le nom existe, et que l'objet récupéré peut être appelé, vous pouvez présumer sans risque que c'est une fonction. Le programme continue, classiquement, par la construction de *n*-uplet d'arguments. L'appel à la fonction Python est alors effectué avec :

```
pValue = PyObject_CallObject(pFunc, pArgs);
```

Après l'exécution de la fonction, `pValue` est soit `NULL`, soit une référence sur la valeur donnée par la fonction. Assurez-vous de libérer la référence après avoir utilisé la valeur.

3.1.4 Étendre un Python intégré

Jusqu'à présent, l'interpréteur Python intégré n'avait pas accès aux fonctionnalités de l'application elle-même. L'API Python le permet en étendant l'interpréteur intégré. Autrement dit, l'interpréteur intégré est étendu avec des fonctions fournies par l'application. Bien que cela puisse sembler complexe, ce n'est pas si dur. Il suffit d'oublier que l'application démarre l'interpréteur Python, au lieu de cela, voyez l'application comme un ensemble de fonctions, et rédigez un peu de code pour exposer ces fonctions à Python, tout comme vous écririez une extension Python normale. Par exemple :

```
static int numargs=0;

/* Return the number of arguments of the application command line */
static PyObject*
emb_numargs(PyObject *self, PyObject *args)
{
    if(!PyArg_ParseTuple(args, ":numargs"))
        return NULL;
    return PyLong_FromLong(numargs);
}

static PyMethodDef EmbMethods[] = {
    {"numargs", emb_numargs, METH_VARARGS,
     "Return the number of arguments received by the process."},
    {NULL, NULL, 0, NULL}
};

static PyModuleDef EmbModule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT, "emb", NULL, -1, EmbMethods,
    NULL, NULL, NULL, NULL
};

static PyObject*
PyInit_emb(void)
{
    return PyModule_Create(&EmbModule);
}
```

Insérez le code ci-dessus juste avant la fonction `main()`. Ajoutez aussi les deux instructions suivantes avant l'appel à `Py_Initialize()` :

```
numargs = argc;
PyImport_AppendInittab("emb", &PyInit_emb);
```

These two lines initialize the `numargs` variable, and make the `emb.numargs()` function accessible to the embedded Python interpreter. With these extensions, the Python script can do things like

```
import emb
print("Number of arguments", emb.numargs())
```

Dans un cas réel, les méthodes exposeraient une API de l'application à Python.

3.1.5 Intégrer Python dans du C++

Il est aussi possible d'intégrer Python dans un programme en C++, la manière exacte dont cela se fait dépend de détails du système C++ utilisé. En général vous écrirez le programme principal en C++, utiliserez un compilateur C++ pour compiler et lier votre programme. Il n'y a pas besoin de recompiler Python en utilisant C++.

3.1.6 Compiler et Lier en environnement Unix ou similaire

Ce n'est pas évident de trouver les bonnes options à passer au compilateur (et *linker*) pour intégrer l'interpréteur Python dans une application, Python ayant besoin de charger des extensions sous forme de bibliothèques dynamiques en C (des `.so`) pour se lier avec.

Pour trouver les bonnes options de compilateur et *linker*, vous pouvez exécuter le script `pythonX.Y-config` généré durant l'installation (un script `python3-config` peut aussi être disponible). Ce script a quelques options, celles-ci vous seront utiles :

- `pythonX.Y-config --cflags` vous donnera les options recommandées pour compiler :

```
$ /opt/bin/python3.11-config --cflags
-I/opt/include/python3.11 -I/opt/include/python3.11 -Wsign-compare -DNDEBUG -
-g -fwrapv -O3 -Wall
```

- `pythonX.Y-config --ldflags --embed` vous donnera les drapeaux recommandés lors de l'édition de lien :

```
$ /opt/bin/python3.11-config --ldflags --embed
-L/opt/lib/python3.11/config-3.11-x86_64-linux-gnu -L/opt/lib -lpthread -lm
```

Note

Pour éviter la confusion entre différentes installations de Python, (et plus spécialement entre celle de votre système et votre version compilée), il est recommandé d'utiliser un chemin absolu vers `pythonX.Y-config`, comme dans l'exemple précédent.

Si cette procédure ne fonctionne pas pour vous (il n'est pas garanti qu'elle fonctionne pour toutes les plateformes Unix, mais nous traiteront volontiers les rapports de bugs), vous devrez lire la documentation de votre système sur la liaison dynamique (*dynamic linking*) et / ou examiner le `Makefile` de Python (utilisez `sysconfig.get_makefile_filename()` pour trouver son emplacement) et les options de compilation. Dans ce cas, le module `sysconfig` est un outil utile pour extraire automatiquement les valeurs de configuration que vous voudrez combiner ensemble. Par exemple :

```
>>> import sysconfig
>>> sysconfig.get_config_var('LIBS')
'-lpthread -ldl -lutil'
>>> sysconfig.get_config_var('LINKFORSHARED')
'-Xlinker -export-dynamic'
```

>>>

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 mère abstraite

Les classes mères 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 *annotation de variable*, *annotation de fonction*, les **PEP 484** et **PEP 526**, qui décrivent cette fonctionnalité. Voir aussi `annotations-howto` sur les bonnes pratiques concernant les annotations.

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 *paramètre* 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 `async with` en définissant les méthodes `__aenter__()` et `__aexit__()`. A été Introduit par la [PEP 492](#).

générateur asynchrone

Fonction qui renvoie un *itérateur de générateur asynchrone*. 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 un *générateur asynchrone*.

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'emplacement 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 les [PEP 492](#) et [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 habituellement désignée par son nom *via* une notation utilisant des points. Par exemple, si un objet `o` possède un attribut `a`, cet attribut est référencé par `o.a`.

Il est possible de donner à un objet un attribut dont le nom n'est pas un identifiant tel que défini pour les identifiants, par exemple en utilisant `setattr()`, si l'objet le permet. Un tel attribut ne sera pas accessible à l'aide d'une expression pointée et on devra y accéder avec `getattr()`.

attendable (*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

A *file object* able to read and write *bytes-like objects*. Examples of binary files are files opened in binary mode ('rb', 'wb' or 'rb+'), `sys.stdin.buffer`, `sys.stdout.buffer`, and instances of `io.BytesIO` and `gzip.GzipFile`.

Consultez *fichier texte*, un objet fichier capable de lire et d'écrire des objets `str`.

référence empruntée

In Python's C API, a borrowed reference is a reference to an object, where the code using the object does not own the reference. It becomes a dangling pointer if the object is destroyed. For example, a garbage collection can remove the last *strong reference* to the object and so destroy it.

Il est recommandé d'appeler `Py_INCREF()` sur la *référence empruntée*, ce qui la transforme *in situ* en une *référence forte*. Vous pouvez faire une exception si vous êtes certain que l'objet ne peut pas être supprimé avant la dernière utilisation de la référence empruntée. Voir aussi la fonction `Py_NewRef()`, qui crée une nouvelle *référence forte*.

objet octet-compatible

Un objet gérant le protocole tampon et pouvant exporter un tampon (*buffer* en anglais) *C-contigu*. Cela inclut les objets `bytes`, `bytearray` et `array.array`, ainsi que beaucoup d'objets `memoryview`. Les objets octets-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 (« *objets octets-compatibles en lecture seule* »), par exemple des `bytes` ou des `memoryview` d'un objet `bytes`.

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.

appelable (callable)

Un callable est un objet qui peut être appelé, éventuellement avec un ensemble d'arguments (voir *argument*), avec la syntaxe suivante :

```
callable(argument1, argument2, argumentN)
```

Une *fonction*, et par extension une *méthode*, est un callable. Une instance d'une classe qui implémente la méthode `__call__()` est également un callable.

fonction de rappel (callback)

Une fonction (classique, par opposition à une coroutine) 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).

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

An object which controls the environment seen in a `with` statement by defining `__enter__()` and `__exit__()` methods. See [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. 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

Any object which defines the methods `__get__()`, `__set__()`, or `__delete__()`. When a class attribute is a descriptor, its special binding behavior is triggered upon attribute lookup. Normally, using `a.b` to get, set or delete an attribute looks up the object named `b` in the class dictionary for `a`, but if `b` is a descriptor, the respective descriptor method gets called. Understanding descriptors is a key to a deep understanding of Python because they are the basis for many features including functions, methods, properties, class methods, static methods, and reference to super classes.

Pour plus d'informations sur les méthodes des descripteurs, consultez `descriptors` ou le guide pour l'utilisation des descripteurs.

dictionnaire

An associative array, where arbitrary keys are mapped to values. The keys can be any object with `__hash__()` and `__eq__()` methods. Called a hash in Perl.

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` liées à leurs valeurs `n ** 2`. Voir [compréhensions](#).

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](#).

chaîne de documentation (*docstring*)

A string literal which appears as the first expression in a class, function or module. While ignored when the suite is executed, it is recognized by the compiler and put into the `__doc__` attribute of the enclosing class, function or module. Since it is available via introspection, it is the canonical place for documentation of the object.

typage canard (*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 mère 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

An object exposing a file-oriented API (with methods such as `read()` or `write()`) to an underlying resource. Depending on the way it was created, a file object can mediate access to a real on-disk file or to another type of storage or communication device (for example standard input/output, in-memory buffers, sockets, pipes, etc.). File objects are also called *file-like objects* or *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*.

encodage du système de fichiers et gestionnaire d'erreurs associé

Encodage et gestionnaire d'erreurs utilisés par Python pour décoder les octets fournis par le système d'exploitation et encoder les chaînes de caractères Unicode afin de les passer au système.

L'encodage du système de fichiers doit impérativement pouvoir décoder tous les octets jusqu'à 128. Si ce n'est pas le cas, certaines fonctions de l'API lèvent `UnicodeError`.

Cet encodage et son gestionnaire d'erreur peuvent être obtenus à l'aide des fonctions `sys.getfilesystemencoding()` et `sys.getfilesystemencodeerrors()`.

L'encodage du système de fichiers et gestionnaire d'erreurs associé sont configurés au démarrage de Python par la fonction `PyConfig_Read()` : regardez `filesystem_encoding` et `filesystem_errors` dans les membres de `PyConfig`.

Voir aussi *encodage régional*.

chercheur

Objet qui essaie de trouver un *chargeur* pour le module en cours d'importation.

There are two types of finder : *meta path finders* for use with `sys.meta_path`, and *path entry finders* for use with `sys.path_hooks`.

See `importsystem` and `importlib` for much more detail.

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 *annotation de variable* et la [PEP 484](#), qui décrivent cette fonctionnalité. Voir aussi *annotations-howto* sur les bonnes pratiques concernant les annotations.

__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 génératrice 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

An object is *hashable* if it has a hash value which never changes during its lifetime (it needs a `__hash__()` method), and can be compared to other objects (it needs an `__eq__()` method). Hashable objects which compare equal must have the same hash value.

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 mutables (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 d'apprentissage et 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.

importation

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

An object capable of returning its members one at a time. Examples of iterables include all sequence types (such as `list`, `str`, and `tuple`) and some non-sequence types like `dict`, *file objects*, and objects of any classes you define with an `__iter__()` method or with a `__getitem__()` method that implements *sequence* semantics.

Iterables can be used in a `for` loop and in many other places where a sequence is needed (`zip()`, `map()`, ...). When an iterable object is passed as an argument to the built-in function `iter()`, it returns an iterator for the object. This iterator is good for one pass over the set of values. When using iterables, it is usually not necessary to call `iter()` or deal with iterator objects yourself. The `for` statement does that automatically for you, creating a temporary unnamed variable to hold the iterator for the duration of the loop. See also *iterator*, *sequence*, and *generator*.

itérateur

An object representing a stream of data. Repeated calls to the iterator's `__next__()` method (or passing it to the built-in function `next()`) return successive items in the stream. When no more data are available a `StopIteration` exception is raised instead. At this point, the iterator object is exhausted and any further calls to its `__next__()` method just raise `StopIteration` again. Iterators are required to have an `__iter__()` method that returns the iterator object itself so every iterator is also iterable and may be used in most places where other iterables are accepted. One notable exception is code which attempts multiple iteration passes. A container object (such as a `list`) produces a fresh new iterator each time you pass it to the `iter()` function or use it in a `for` loop. Attempting this with an iterator will just return the same exhausted iterator object used in the previous iteration pass, making it appear like an empty container.

Vous trouverez davantage d'informations dans *typeiter*.

Particularité de l'implémentation CPython : CPython does not consistently apply the requirement that an iterator define `__iter__()`.

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 `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 fonction 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])`. Par ailleurs `attrgetter()`, `itemgetter()` et `methodcaller()` permettent de créer des fonctions clés. Voir le guide pour le tri 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 "regarde" 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*.

liste

A built-in Python [sequence](#). Despite its name it is more akin to an array in other languages than to a linked list since access to elements is $O(1)$.

liste en compréhension (ou liste en intension)

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 mère abstraite](#).

encodage régional

Sous Unix, il est défini par la variable régionale `LC_CTYPE`. Il peut être modifié par `locale.setlocale(locale.LC_CTYPE, new_locale)`.

Sous Windows, c'est un encodage ANSI (par ex. : `"cp1252"`).

Sous Android et VxWorks, Python utilise `"utf-8"` comme encodage régional.

`locale.getencoding()` can be used to get the locale encoding.

Voir aussi l'[encodage du systèmes de fichiers et gestionnaire d'erreurs associé](#).

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 mères abstraites des tableaux de correspondances (immuables) ou tableaux de correspondances mutables (voir les classes mères abstraites). 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

Method Resolution Order is the order in which base classes are searched for a member during lookup. See [python_2.3_mro](#) for details of the algorithm used by the Python interpreter since the 2.3 release.

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](#).

mutable

Un objet mutable peut changer de valeur tout en gardant le même `id()`. Voir aussi [immutable](#).

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
```

Some named tuples are built-in types (such as the above examples). Alternatively, a named tuple can be created from a regular class definition that inherits from `tuple` and that defines named fields. Such a class can be written by hand, or it can be created by inheriting `typing.NamedTuple`, or with the factory function `collections.namedtuple()`. The latter techniques also add some extra methods that may not be found in hand-written or built-in named tuples.

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

Old name for the flavor of classes now used for all class objects. In earlier Python versions, only new-style classes could use Python's newer, versatile features like `__slots__`, descriptors, properties, `__getattr__()`, class methods, and static methods.

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*

A callable on the `sys.path_hooks` list which returns a *path entry finder* if it knows how to find modules on a specific *path entry*.

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 de Python). Une 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 PEP sont censées 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 la [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

The number of references to an object. When the reference count of an object drops to zero, it is deallocated. Some objects are "immortal" and have reference counts that are never modified, and therefore the objects are never deallocated. Reference counting is generally not visible to Python code, but it is a key element of the *CPython* implementation. Programmers can call the `sys.getrefcount()` function to return the reference count for a particular object.

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

An *iterable* which supports efficient element access using integer indices via the `__getitem__()` special method and defines a `__len__()` method that returns the length of the sequence. Some built-in sequence types are `list`, `str`, `tuple`, and `bytes`. Note that `dict` also supports `__getitem__()` and `__len__()`, but is considered a mapping rather than a sequence because the lookups use arbitrary *immutable* keys rather than integers.

The `collections.abc.Sequence` abstract base class defines a much richer interface that goes beyond just `__getitem__()` and `__len__()`, adding `count()`, `index()`, `__contains__()`, and `__reversed__()`. Types that implement this expanded interface can be registered explicitly using `register()`. For more documentation on sequence methods generally, see *Common Sequence Operations*.

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 *comprehensions*.

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`.

static type checker

An external tool that reads Python code and analyzes it, looking for issues such as incorrect types. See also *type hints* and the `typing` module.

référence forte

In Python's C API, a strong reference is a reference to an object which is owned by the code holding the reference. The strong reference is taken by calling `Py_INCREF()` when the reference is created and released with `Py_DECREF()` when the reference is deleted.

Une référence forte est créée à l'aide de la fonction `Py_NewRef()`. Il faut normalement appeler `Py_DECREF()` dessus avant de sortir de sa portée lexicale, sans quoi il y a une fuite de référence.

Voir aussi *référence empruntée*.

encodages 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

Objet fichier 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'*encodage de texte* 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 *fichier binaire* pour un objet fichier capable de lire et d'écrire des *objets octets-compatibles*.

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 la [PEP 484](#), qui décrivent cette fonctionnalité.

indication de type

L'*annotation* qui spécifie le type attendu pour une variable, un attribut de classe, un paramètre de fonction ou une valeur de retour.

Type hints are optional and are not enforced by Python but they are useful to *static type checkers*. They can also aid IDEs with code completion and refactoring.

Les indications de type de variables globales, d'attributs de classe et de fonctions, mais pas de variables locales, peuvent être consultées en utilisant `typing.get_type_hints()`.

Voir `typing` et la [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 variable est expliquée dans la section [annassign](#).

Reportez-vous à [annotation de fonction](#), à la [PEP 484](#) et à la [PEP 526](#) qui décrivent cette fonctionnalité. Voir aussi [annotations-howto](#) sur les bonnes pratiques concernant les annotations.

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 *code intermédiaire* 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/>) aux 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 3.12.4

1. This LICENSE AGREEMENT is between the Python Software Foundation,
→ ("PSF"), and
the Individual or Organization ("Licensee") accessing and otherwise,
→ using Python
3.12.4 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 3.12.4 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 3.12.4 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 3.12.4 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
3.12.4.
4. PSF is making Python 3.12.4 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 3.12.4 WILL NOT INFRINGE ANY THIRD PARTY RIGHTS.

5. PSF SHALL NOT BE LIABLE TO LICENSEE OR ANY OTHER USERS OF PYTHON 3.12.4
 FOR ANY INCIDENTAL, SPECIAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR LOSS AS A
 → RESULT OF
 MODIFYING, DISTRIBUTING, OR OTHERWISE USING PYTHON 3.12.4, 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 3.12.4, 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 its terms and conditions.
6. This License Agreement shall be governed by and interpreted in all respects

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

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.
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

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

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 3.12.4

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, 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

The `_random` C extension underlying the `random` module includes code based on a download from <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/MT2002/emt19937ar.html>. The following are the verbatim comments from the original code :

```
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.

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)

The `socket` module uses the functions, `getaddrinfo()`, and `getnameinfo()`, which are coded in separate source files from the WIDE Project, <https://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

The `test.support.asyncchat` and `test.support.asyncore` modules contain the following notice :

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.

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

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:

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 MERCHANT-
ABILITY 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

The `test.test_epoll` module contains the following notice :

```
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:
```

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*

The file `Python/dtoa.c`, which supplies C functions `dtoa` and `strtod` for conversion of C doubles to and from strings, is derived from the file of the same name by David M. Gay, currently available from <https://web.archive.org/web/20220517033456/http://www.netlib.org/fp/dtoa.c>. The original file, as retrieved on March 16, 2009, contains the following copyright and licensing notice :

```
/*****
 *
 * 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

The modules `hashlib`, `posix`, `ssl`, `crypt` use the OpenSSL library for added performance if made available by the operating system. Additionally, the Windows and macOS installers for Python may include a copy of the OpenSSL libraries, so we include a copy of the OpenSSL license here. For the OpenSSL 3.0 release, and later releases derived from that, the Apache License v2 applies :

Apache License
Version 2.0, January 2004
<https://www.apache.org/licenses/>

TERMS AND CONDITIONS FOR USE, REPRODUCTION, AND DISTRIBUTION

1. Definitions.

"License" shall mean the terms and conditions for use, reproduction, and distribution as defined by Sections 1 through 9 of this document.

"Licensor" shall mean the copyright owner or entity authorized by the copyright owner that is granting the License.

"Legal Entity" shall mean the union of the acting entity and all other entities that control, are controlled by, or are under common control with that entity. For the purposes of this definition, "control" means (i) the power, direct or indirect, to cause the direction or management of such entity, whether by contract or otherwise, or (ii) ownership of fifty percent (50%) or more of the outstanding shares, or (iii) beneficial ownership of such entity.

"You" (or "Your") shall mean an individual or Legal Entity exercising permissions granted by this License.

"Source" form shall mean the preferred form for making modifications, including but not limited to software source code, documentation source, and configuration files.

"Object" form shall mean any form resulting from mechanical transformation or translation of a Source form, including but not limited to compiled object code, generated documentation, and conversions to other media types.

"Work" shall mean the work of authorship, whether in Source or Object form, made available under the License, as indicated by a copyright notice that is included in or attached to the work (an example is provided in the Appendix below).

"Derivative Works" shall mean any work, whether in Source or Object form, that is based on (or derived from) the Work and for which the editorial revisions, annotations, elaborations, or other modifications represent, as a whole, an original work of authorship. For the purposes of this License, Derivative Works shall not include works that remain separable from, or merely link (or bind by name) to the interfaces of, the Work and Derivative Works thereof.

"Contribution" shall mean any work of authorship, including the original version of the Work and any modifications or additions to that Work or Derivative Works thereof, that is intentionally submitted to Licensor for inclusion in the Work by the copyright owner or by an individual or Legal Entity authorized to submit on behalf of the copyright owner. For the purposes of this definition, "submitted" means any form of electronic, verbal, or written communication sent to the Licensor or its representatives, including but not limited to

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

communication on electronic mailing lists, source code control systems, and issue tracking systems that are managed by, or on behalf of, the Licensor for the purpose of discussing and improving the Work, but excluding communication that is conspicuously marked or otherwise designated in writing by the copyright owner as "Not a Contribution."

"Contributor" shall mean Licensor and any individual or Legal Entity on behalf of whom a Contribution has been received by Licensor and subsequently incorporated within the Work.

2. Grant of Copyright License. Subject to the terms and conditions of this License, each Contributor hereby grants to You a perpetual, worldwide, non-exclusive, no-charge, royalty-free, irrevocable copyright license to reproduce, prepare Derivative Works of, publicly display, publicly perform, sublicense, and distribute the Work and such Derivative Works in Source or Object form.
3. Grant of Patent License. Subject to the terms and conditions of this License, each Contributor hereby grants to You a perpetual, worldwide, non-exclusive, no-charge, royalty-free, irrevocable (except as stated in this section) patent license to make, have made, use, offer to sell, sell, import, and otherwise transfer the Work, where such license applies only to those patent claims licensable by such Contributor that are necessarily infringed by their Contribution(s) alone or by combination of their Contribution(s) with the Work to which such Contribution(s) was submitted. If You institute patent litigation against any entity (including a cross-claim or counterclaim in a lawsuit) alleging that the Work or a Contribution incorporated within the Work constitutes direct or contributory patent infringement, then any patent licenses granted to You under this License for that Work shall terminate as of the date such litigation is filed.
4. Redistribution. You may reproduce and distribute copies of the Work or Derivative Works thereof in any medium, with or without modifications, and in Source or Object form, provided that You meet the following conditions:
 - (a) You must give any other recipients of the Work or Derivative Works a copy of this License; and
 - (b) You must cause any modified files to carry prominent notices stating that You changed the files; and
 - (c) You must retain, in the Source form of any Derivative Works that You distribute, all copyright, patent, trademark, and attribution notices from the Source form of the Work, excluding those notices that do not pertain to any part of the Derivative Works; and
 - (d) If the Work includes a "NOTICE" text file as part of its distribution, then any Derivative Works that You distribute must include a readable copy of the attribution notices contained within such NOTICE file, excluding those notices that do not pertain to any part of the Derivative Works, in at least one of the following places: within a NOTICE text file distributed as part of the Derivative Works; within the Source form or documentation, if provided along with the Derivative Works; or, within a display generated by the Derivative Works, if and wherever such third-party notices normally appear. The contents of the NOTICE file are for informational purposes only and

(suite sur la page suivante)

do not modify the License. You may add Your own attribution notices within Derivative Works that You distribute, alongside or as an addendum to the NOTICE text from the Work, provided that such additional attribution notices cannot be construed as modifying the License.

You may add Your own copyright statement to Your modifications and may provide additional or different license terms and conditions for use, reproduction, or distribution of Your modifications, or for any such Derivative Works as a whole, provided Your use, reproduction, and distribution of the Work otherwise complies with the conditions stated in this License.

5. Submission of Contributions. Unless You explicitly state otherwise, any Contribution intentionally submitted for inclusion in the Work by You to the Licensor shall be under the terms and conditions of this License, without any additional terms or conditions. Notwithstanding the above, nothing herein shall supersede or modify the terms of any separate license agreement you may have executed with Licensor regarding such Contributions.
6. Trademarks. This License does not grant permission to use the trade names, trademarks, service marks, or product names of the Licensor, except as required for reasonable and customary use in describing the origin of the Work and reproducing the content of the NOTICE file.
7. Disclaimer of Warranty. Unless required by applicable law or agreed to in writing, Licensor provides the Work (and each Contributor provides its Contributions) on an "AS IS" BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied, including, without limitation, any warranties or conditions of TITLE, NON-INFRINGEMENT, MERCHANTABILITY, or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. You are solely responsible for determining the appropriateness of using or redistributing the Work and assume any risks associated with Your exercise of permissions under this License.
8. Limitation of Liability. In no event and under no legal theory, whether in tort (including negligence), contract, or otherwise, unless required by applicable law (such as deliberate and grossly negligent acts) or agreed to in writing, shall any Contributor be liable to You for damages, including any direct, indirect, special, incidental, or consequential damages of any character arising as a result of this License or out of the use or inability to use the Work (including but not limited to damages for loss of goodwill, work stoppage, computer failure or malfunction, or any and all other commercial damages or losses), even if such Contributor has been advised of the possibility of such damages.
9. Accepting Warranty or Additional Liability. While redistributing the Work or Derivative Works thereof, You may choose to offer, and charge a fee for, acceptance of support, warranty, indemnity, or other liability obligations and/or rights consistent with this License. However, in accepting such obligations, You may act only on Your own behalf and on Your sole responsibility, not on behalf of any other Contributor, and only if You agree to indemnify, defend, and hold each Contributor harmless for any liability incurred by, or claims asserted against, such Contributor by reason of your accepting any such warranty or additional liability.

END OF TERMS AND CONDITIONS

C.3.13 expat

The `pyexpat` extension is built using an included copy of the `expat` sources unless the build is configured `--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
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

The `_ctypes` C extension underlying the `ctypes` module is built using an included copy of the `libffi` sources unless the build is configured `--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.
```

```
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
```

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
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

The `_decimal` C extension underlying the `decimal` module is built using an included copy of the `libmpdec` library unless the build is configured `--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

Les tests de C14N version 2.0 du module `test` (`Lib/test/xmltestdata/c14n-20/`) proviennent du site du W3C à l'adresse <https://www.w3.org/TR/xml-c14n2-testcases/> et sont distribués sous licence BSD modifiée :

```
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.

(suite sur la page suivante)

(suite de la page précédente)

```
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.3.19 Audioop

The audioop module uses the code base in g771.c file of the SoX project. <https://sourceforge.net/projects/sox/files/sox/12.17.7/sox-12.17.7.tar.gz>

This source code is a product of Sun Microsystems, Inc. and is provided for unrestricted use. Users may copy or modify this source code without charge.

SUN SOURCE CODE IS PROVIDED AS IS WITH NO WARRANTIES OF ANY KIND INCLUDING THE WARRANTIES OF DESIGN, MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR ARISING FROM A COURSE OF DEALING, USAGE OR TRADE PRACTICE.

Sun source code is provided with no support and without any obligation on the part of Sun Microsystems, Inc. to assist in its use, correction, modification or enhancement.

SUN MICROSYSTEMS, INC. SHALL HAVE NO LIABILITY WITH RESPECT TO THE INFRINGEMENT OF COPYRIGHTS, TRADE SECRETS OR ANY PATENTS BY THIS SOFTWARE OR ANY PART THEREOF.

In no event will Sun Microsystems, Inc. be liable for any lost revenue or profits or other special, indirect and consequential damages, even if Sun has been advised of the possibility of such damages.

Sun Microsystems, Inc. 2550 Garcia Avenue Mountain View, California 94043

C.3.20 asyncio

Parts of the `asyncio` module are incorporated from `uvloop 0.16`, which is distributed under the MIT license :

```
Copyright (c) 2015-2021 MagicStack Inc. http://magic.io
```

```
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.
```


ANNEXE D

Copyright

Python et cette documentation sont :

Copyright © 2001-2023 Python Software Foundation. Tous droits réservés.

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

..., [65](#)
 2to3, [65](#)
 >>>, [65](#)
 __future__, [70](#)
 __slots__, [77](#)

A

alias de type, [78](#)
 annotation, [65](#)
 annotation de fonction, [70](#)
 annotation de variable, [79](#)
 API provisoire, [76](#)
 appellable (*callable*), [67](#)
 argument, [65](#)
 argument nommé, [73](#)
 argument positionnel, [76](#)
 arrêt de l'interpréteur, [72](#)
 attendable (*awaitable*), [66](#)
 attribut, [66](#)

B

BDFL, [67](#)

C

C-contiguous, [68](#)
 chaîne
 Représentation de l'objet, [50](#)
 chaîne de documentation (*docstring*), [69](#)
 chaîne entre triple guillemets, [78](#)
 chargeur, [73](#)
 chemin des importations, [72](#)
 chercheur, [70](#)
 chercheur basé sur les chemins, [76](#)
 chercheur dans les méta-chemins, [73](#)
 chercheur de chemins, [75](#)
 classe, [67](#)
 classe mère abstraite, [65](#)
 code intermédiaire (*bytecode*), [67](#)
 contigu, [68](#)
 coroutine, [68](#)
 CPython, [68](#)

D

décorateur, [68](#)
 descripteur, [68](#)
 dictionnaire, [69](#)
 dictionnaire en compréhension (*ou dictionnaire en intension*), [69](#)
 distribution simple, [77](#)
 division entière, [70](#)

E

EAFP, [69](#)
 encodage du système de fichiers
 et gestionnaire d'erreurs
 associé, [69](#)
 encodage régional, [73](#)
 encodages de texte, [78](#)
 ensemble en compréhension (*ou ensemble en intension*), [77](#)
 entrée de chemin, [75](#)
 environnement virtuel, [79](#)
 espace de nommage, [74](#)
 expression, [69](#)
 expression génératrice, [71](#)

F

f-string, [69](#)
 fichier binaire, [67](#)
 fichier texte, [78](#)
 finalisation, d'objets, [49](#)
 fonction, [70](#)
 fonction clé, [72](#)
 fonction coroutine, [68](#)
 fonction de rappel (*callback*), [67](#)
 fonction générique, [71](#)
 fonction native
 repr, [50](#)
 Fortran contiguous, [68](#)

G

générateur, [70](#)
 générateur asynchrone, [66](#)
 gestionnaire de contexte, [68](#)
 gestionnaire de contexte asynchrone,
 [66](#)

GIL, [71](#)

H

hachable, [71](#)

I

IDLE, [71](#)

immuable, [71](#)

importateur, [72](#)

importation, [72](#)

indication de type, [79](#)

instruction, [78](#)

interactif, [72](#)

interprété, [72](#)

itérable, [72](#)

itérable asynchrone, [66](#)

itérateur, [72](#)

itérateur asynchrone, [66](#)

itérateur de générateur, [70](#)

itérateur de générateur asynchrone, [66](#)

L

lambda, [73](#)

LBYL, [73](#)

Le zen de Python, [79](#)

libération de mémoire, objet, [49](#)

liste, [73](#)

liste en compréhension (*ou liste en intension*),
[73](#)

M

machine virtuelle, [79](#)

magic

 méthode, [73](#)

métaclasse, [74](#)

méthode, [74](#)

 magic, [73](#)

 special, [78](#)

méthode magique, [73](#)

méthode spéciale, [78](#)

module, [74](#)

module d'extension, [69](#)

MRO, [74](#)

mutable, [74](#)

N

n-uplet nommé, [74](#)

nom qualifié, [77](#)

nombre complexe, [67](#)

nombre de références, [77](#)

nouvelle classe, [75](#)

O

objet, [75](#)

 finalisation, [49](#)

 libération de mémoire, [49](#)

objet fichier, [69](#)

objet fichier-compatible, [69](#)

objet octet-compatible, [67](#)

objet simili-chemin, [76](#)

ordre de résolution des méthodes, [74](#)

P

paquet, [75](#)

paquet classique, [77](#)

paquet provisoire, [76](#)

paquet-espace de nommage, [74](#)

paramètre, [75](#)

PEP, [76](#)

Philbrick, Geoff, [15](#)

point d'entrée pour la recherche
 dans path, [76](#)

portée imbriquée, [75](#)

portion, [76](#)

PyArg_ParseTuple (*C function*), [14](#)

PyArg_ParseTupleAndKeywords (*C function*),
[15](#)

pyc utilisant le hachage, [71](#)

PyErr_Fetch (*C function*), [49](#)

PyErr_Restore (*C function*), [49](#)

PyInit_modulename (*C function*), [56](#)

PyObject_CallObject (*C function*), [12](#)

Python 3000, [76](#)

Python Enhancement Proposals

 PEP 1, [76](#)

 PEP 278, [79](#)

 PEP 302, [73](#)

 PEP 328, [70](#)

 PEP 343, [68](#)

 PEP 362, [66](#), [75](#)

 PEP 411, [76](#)

 PEP 420, [76](#)

 PEP 421, [74](#)

 PEP 442, [50](#)

 PEP 443, [71](#)

 PEP 483, [71](#)

 PEP 484, [65](#), [70](#), [71](#), [79](#)

 PEP 489, [11](#), [56](#)

 PEP 492, [66](#), [68](#)

 PEP 498, [69](#)

 PEP 519, [76](#)

 PEP 525, [66](#)

 PEP 526, [65](#), [79](#)

 PEP 585, [71](#)

 PEP 3116, [79](#)

 PEP 3155, [77](#)

Pythonique, [76](#)

PYTHONPATH, [56](#)

R

ramasse-miettes, [70](#)

référence empruntée, [67](#)

référence forte, [78](#)

repr

 fonction native, [50](#)

retours à la ligne universels, [79](#)

S

- séquence, [77](#)
- special
 - méthode, [78](#)
- spécificateur de module, [74](#)
- static type checker, [78](#)

T

- tableau de correspondances (*mapping en anglais*), [73](#)
- tranche, [78](#)
- typage canard (*duck-typing*), [69](#)
- type, [78](#)
- type générique, [71](#)

V

- variable de classe, [67](#)
- variable de contexte, [68](#)
- variable d'environnement
 - PYTHONPATH, [56](#)
- verrou global de l'interpréteur, [71](#)
- vue de dictionnaire, [69](#)