Chapitre :
Types et valeurs

I. Entiers naturels

1. Codage binaire

Une machine électrique fonctionne si elle a du courant, ne fonctionne pas si elle n'en a pas. Ainsi fait l'ampoule : elle s'allume avec du courant et reste éteinte sans (suffisamment de) courant. Ces deux états « courant » et « pas de courant » peuvent être notés respectivement 1 et 0. On obtient ce que l'on appelle un codage binaire. C'est sur ce codage que fonctionnent les ordinateurs, qui sont capables de manipuler des informations sous cette forme. Manipuler signifie entre autres recevoir les informations et en envoyer.
L'alphabet de l'ordinateur n'est donc composé que de deux lettres : 0 et 1.
Une telle lettre est appelée **bit**, mot qui est la contraction de **bi**nary digi**t** (chiffre binaire).
La machine ne traite généralement pas qu'un bit à la fois, mais des paquets de bits.
Un paquet de huit bits est appelé un **octet**.

Exemple Voici un octet (dans le langage binaire) : 10011101.

On peut voir un octet comme un nombre, mais attention ! L'écriture est trompeuse. Ce sont des nombres écrits en **binaire**, en mathématiques on dit en **base 2**. Pour éviter l'ambiguïté on écrit $(10011101)_2$.
Notre notation habituelle des nombres est un codage en base 10 : nous utilisons dix symboles de chiffres pour écrire les nombres : $0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$.
Pour coder en base 2 nous n'allons utiliser que deux symboles : 0 et 1. Pour compter, le principe est le même qu'en base 10, sauf qu'il ne faut pas oublier que l'on ne dépasse pas le chiffre 1.
Comptons en binaire : 0, 1, 10, 11, 100, 101,...
Rappelons que tout nombre (en base 10) peut être décomposé à l'aide de puissances de 10 :

Exemple $(562)_{10} = 5 \times 100 + 6 \times 10 + 2 \times 1 = 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 2 \times 10^0$.

Remarque On peut observer que :
- la puissance la plus petite (qui se trouve pour le chiffre le plus à droite) est 0 ;
- pour un nombre de 3 (resp. n) chiffres, la puissance (de dix) la plus grande est 2 (resp. $n-1$).

Il y a donc une sorte de décalage auquel il faut faire attention.

Un nombre en base 2 est, lui, décomposé (en base 10 !) à l'aide de puissances de 2 sur le même principe :

Exemple $(101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$.
En calculant le nombre de droite (écrit en base 10 rappelons-le), on obtient : $4 + 1 = 5$.
On a donc bien : $(101)_2 = (5)_{10}$.

On vient de voir dans cet exemple comment traduire (ou coder) un nombre écrit en base 2 en nombre en base dix.

Réciproquement, comment coder un nombre écrit en base 10 en un nombre écrit en base 2 ?
On peut imaginer au moins deux méthodes, nous en proposons une seule ici.
Soit a un nombre entier écrit en base 10.
Soit b son code binaire, que nous supposerons composé de n bits :
$b = (b_{n-1} \dots b_2 b_1 b_0)_2$, avec les b_i valant 0 ou 1.
On appelle b_0 le **bit de poids faible** et b_{n-1} le **bit de poids fort**.
Alors a se décompose sous la forme suivante en base 10 :

$$a = b_{n-1}2^{n-1} + \cdots + b_2 2^2 + b_1 2 + b_0 \qquad (E)$$

On remarque que l'on peut factoriser une partie de l'écriture dans (E) par 2 :

$$a = 2\left(b_{n-1}2^{n-2} + \cdots + b_2 2 + b_1\right) + b_0$$

Par conséquent, le bit de poids faible b_0, qui est strictement inférieur à 2, est le reste de la division entière de a par 2. Le nombre $b_{n-1}2^{n-2} + \cdots + b_2 2 + b_1$, quotient de cette division, est un nombre dont le code binaire est composé de $n-1$ bits et dont le bit de poids faible est b_1. On lui applique la même opération que précédemment, et on continue ainsi jusqu'à obtenir le bit de poids fort de b (obtenu au premier quotient valant 0).

Exemple Soit $a = 25$.

$$\begin{array}{rcrl} 25 & = & 12 \times 2 + 1 & \to b_0 = 1 \\ 12 & = & 6 \times 2 + 0 & \to b_1 = 0 \\ 6 & = & 3 \times 2 + 0 & \to b_2 = 0 \\ 3 & = & 1 \times 2 + 1 & \to b_3 = 1 \\ 1 & = & 0 \times 2 + 1 & \to b_4 = 1 \end{array} \Bigg\uparrow$$

Le dernier quotient étant nul, on en déduit que $(25)_{10} = (11001)_2$.
On peut remarquer la lecture « à rebours » du nombre (voir la flèche ci-dessus).

Dans la machine, on pose généralement une limite à la taille des nombres que l'on utilise, souvent en multiple d'octets.
Ainsi, si on se limite à 8 bits, on ne peut manipuler les entiers qu'entre 0 $(00000000)_2$ et 255 $(11111111)_2$.
En général on utilise plutôt 4 octets (32 bits) ou 8 octets (64 bits).

2. Opérations sur les entiers

Les méthodes de calculs sont les mêmes qu'en base 10 lorsque l'on pose les opérations, avec les retenues. Mais il faut se rappeler que l'on ne dépasse pas le chiffre 1.

Exemple La somme de $(1101)_2$ et $(1001)_2$ donne $(10110)_2$.

Remarque Si la machine limite à 4 bits l'écriture des entiers, tout ce qui « dépasse » est coupé, autrement dit le résultat précédent devient faux (on aurait alors $13 + 9 = 6$!).

▶ **Exercices :** fiche sur les nombres

3. Autres bases, hexadécimal

a. Base quelconque

Pour une base b (entier naturel non nul) quelconque, et de manière similaire à la section précédente, tout nombre n (dont l'écriture est en base 10) peut s'écrire sous la forme :

$$n = a_{n-1}b^{n-1} + \cdots + a_2 b^2 + a_1 b + a_0$$

L'écriture en base b du nombre n est alors $(a_{n-1}...a_1a_0)_b$
Ainsi :

- Si l'on connaît l'écriture en base b, c'est à dire $(a_{n-1}...a_1a_0)_b$, on obtient la valeur de n en base 10 en utilisant la formule $n = a_{n-1}b^{n-1} + \cdots + a_2b^2 + a_1b + a_0$;
- Si l'on connaît l'écriture en base 10 de n, pour obtenir son écriture $(a_{n-1}...a_1a_0)_b$ en base b, on effectue des divisions euclidiennes successives par b pour trouver les bits de poids faibles successifs.

Exemples

- Soit $(21)_3$, alors $(21)_3 = 2 \times 3^1 + 1 \times 3^0 = 2 \times 3 + 1 \times 1 = 6 + 1 = 7$.
- Soit le nombre 11 (en base 10) à écrire en base 3 :

$$\begin{array}{rcll} 11 & = & 3 \times 3 + 2 & \to 2 \uparrow \\ 3 & = & 1 \times 3 + 0 & \to 0 \mid \\ 1 & = & 0 \times 3 + 1 & \to 1 \mid \end{array}$$

  Alors $(11)_{10} = (102)_3$.

b. Hexadécimal

Une base particulière utilisée en informatique est la base 16, autrement dit le codage **hexadécimal**. Pour celle-ci, on a besoin de 16 caractères, donc on ajoute des lettres :

$$0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F$$

Dans les conversions, il faut tenir compte du fait que l'on a les correspondances suivantes :

$$A \leftrightarrow 10,\ B \leftrightarrow 11,\ C \leftrightarrow 12,\ D \leftrightarrow 13,\ E \leftrightarrow 14,\ F \leftrightarrow 15$$

Exemples

- On veut écrire $(D3)_{16}$ en base 10.
  Alors $(D3)_{16} = 13 \times 16^1 + 3 \times 16^0 = 13 \times 16 + 3 \times 1 = 208 + 3 = 211$
- On cherche le codage en hexadécimal du nombre 30 (donné en base 10). On a :

$$\begin{array}{rcll} 30 & = & 1 \times 16 + 14 & \to E \uparrow \\ 1 & = & 0 \times 16 + \ 1 & \to 1 \mid \end{array}$$

  Ainsi, $(30)_{10} = (1E)_{16}$.

La base 16 est particulièrement intéressante car 16 est une puissance de 2, et pas n'importe laquelle : $16 = 2^4$. Cela a pour conséquence qu'un octet peut s'écrire à l'aide de deux chiffres en hexadécimal (c'est à dire en base 16). Autrement dit, au lieu d'écrire une suite de huit caractères (0 ou 1), on écrit seulement deux caractères.
À titre d'exemple, voici une manière de convertir du binaire vers l'hexadécimal (en passant, vous le remarquerez, par le décimal) :

Exemple Le nombre $(11010101)_2$ s'écrit $(D5)_{16}$.
En effet, en partageant en deux bloc de quatre bits, on a :

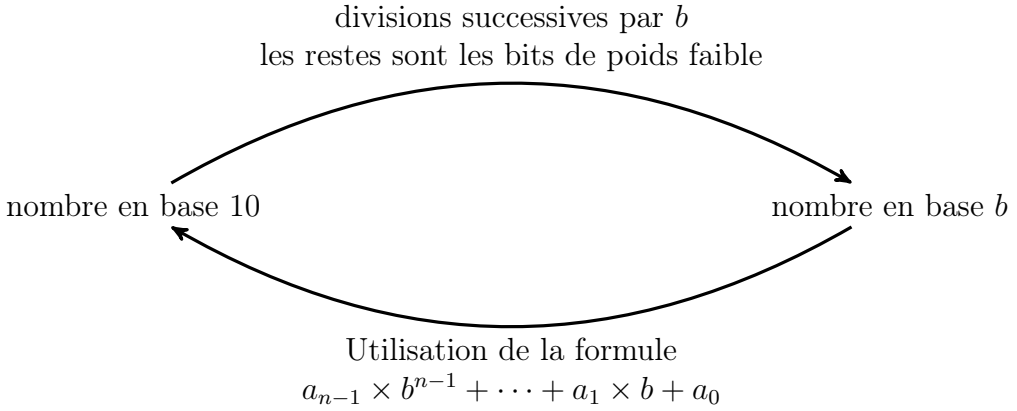
- 1101 qui vaut $2^3 + 2^2 + 1 = 13$ et est donc codé par D
- 0101 qui vaut $2^2 + 1 = 5$ et est codé par 5.

D'autre part on peut savoir que $10000_2 = 2^4 = 16 = 1 \times 16^1 = 10_{16}$.
Alors $11010101_2 = 1101_2 \times 10000_2 + 0101_2 = D_{16} \times 10_{16} + 5_{16} = D0_{16} + 5_{16} = D5_{16}$.

L'autre sens se fait de manière similaire.

4. Schéma général

Pour résumer, voici le schéma de conversion à retenir :



Dans le cas où l'on souhaite passer d'une base b_1 à une base b_2 (les deux différentes de la base 10), on passe par l'étape intermédiaire de la base 10 :

$$\text{nombre en base } b_1 \longrightarrow \text{nombre en base 10} \longrightarrow \text{nombre en base } b_2$$

▶ **Exercices :** fiche sur les nombres (suite)

II. Entiers relatifs (int)

⊛ **Activité :** sur le codage des entiers relatifs

Pour représenter les entiers relatifs, il existe plusieurs idées. La première, naïve, consiste à utiliser le premier bit (de poids fort) comme un signe, en codant par 0 un nombre positif et par 1 un nombre négatif.

C'est un choix arbitraire mais qui a le mérite de ne pas transformer les nombres positifs, qui conservent comme code leur écriture binaire.

Cependant cette méthode rend l'opération de somme complexe, car la propriété suivante :

La somme (en binaire) des codes de deux nombres est le code de la somme des deux nombres

qui est intéressante à avoir pour simplifier les opérations, est fausse avec ce codage.

Il existe cependant un codage permettant d'avoir cette propriété. Il se base sur l'idée de fixer un nombre limite n de bits pour le codage (ce qui limite donc le nombre d'entiers que l'on peut coder). À partir de cette limite, tout nombre possède alors un opposé obtenu par une opération appelée complément à 2^n ou, par abus de langage, **complément à 2**.

Pour faire le complément à 2, il y a deux étapes :

- Faire le complément à 1 (c'est à dire permuter tous les 0 et les 1)
- Ajouter 1 au résultat obtenu à la première étape, en faisant attention aux éventuelles retenues à propager

Cette procédure a l'avantage d'être réversible facilement : pour retrouver le nombre de départ, il suffit d'en faire le complément à 2. C'est à dire que le complément à 2 du complément à 2 est le nombre de départ.

Lorsque l'on fait la somme d'un nombre et de son complément à 2, on obtient $10\ldots0$ écrit sur $(n+1)$ bits. La limite des n bits fait que l'on obtient donc en fait $0\ldots0$, autrement dit simplement 0, car

on « coupe » ce qui dépasse du côté des bits de poids fort. Cela permet de considérer que sur n bits, un nombre et son complément à 2 sont opposés l'un de l'autre.
On utilise alors ces propriétés pour coder les nombres entiers relatifs, avec une méthode appelée « méthode du complément à 2 ».
Voici la **règle de codage par la méthode du complément à 2** :
Une fois fixée la limite n du nombre de bits du codage, soit a un nombre entier relatif.

- Si a est positif, alors le codage est simplement l'écriture en binaire de a, où l'on ajoute autant de 0 que nécessaire en tête pour avoir n bits.
- Si a est négatif, alors le codage de a est le complément à 2 de l'écriture binaire de sa valeur absolue sur n bits.

Exemple Sur 6 bits, avec la méthode du complément à 2 :

- Pour obtenir le codage de -12, qui est négatif :
  - on prend le codage de 12 : 001100 (pour cela, faire les divisions successives par 2) ;
  - on prend le complément à 1 (on inverse les bits) : 110011 ;
  - on ajoute 1 : 110100.

  Le codage de -12 par la méthode du complément à 2 sur 6 bits est donc 110100.
- Le codage de 12 est tout simplement 001100, autrement dit l'écriture binaire de 12, puisque ce nombre est positif.

Pour décoder, on applique la méthode suivante :

- Si le code commence par un 0, alors c'est le code d'un nombre positif. Ce code est simplement l'écriture en binaire du nombre cherché. Il suffit donc de traduire cette écriture binaire en une écriture en base 10 à l'aide de la formule déjà connue.
- Si le code commence par un 1, alors c'est le code d'un nombre négatif. On applique le complément à 2 sur le code. L'écriture obtenue est alors l'écriture en binaire de l'opposé (positif) du nombre cherché. Il suffit donc de traduire cette écriture binaire en une écriture en base 10 à l'aide de la formule déjà connue.

Exemple Sur 6 bits, on veut décoder :

- 110100 : le code commence par 1, c'est donc celui d'un nombre négatif.
  On fait le complément à 2 :
  - 001011 (complément à 1)
  - 001100 (ajout de 1)

  L'écriture 001100 est celle en binaire de l'opposé du nombre cherché.
  Or $(001100)_2 = 2^3 + 2^2 = (12)_{10}$, donc le nombre codé par 110100 est le nombre -12.
- 001100 : le code commence par 0, c'est donc celui d'un nombre positif. C'est donc l'écriture en base 2 du nombre recherché. Or $(001100)_2 = (12)_{10}$, donc le nombre codé par 001100 est le nombre 12.

On a les propriétés suivantes :

- Sur n bits, on peut représenter les nombres compris entre -2^{n-1} et $2^{n-1} - 1$
- Les nombres négatifs ont tous le bit de poids fort égal à 1,
- les écritures des nombres de 0 à $2^{n-1} - 1$ représentent les nombres positifs correspondants.
- Avec ce codage, la somme devient « naturelle », car on a la propriété suivante :
  La somme (en binaire) des codes de deux nombres est le code de la somme des deux nombres

► **Exercices :** fiche sur les nombres (suite)

III. Booléens (bool)

Une variable de type `bool` ne peut prendre que deux valeurs : `True` (vrai) et `False` (faux).
Une **expression booléenne** est composée de booléens et d'opérateurs. Nous utiliserons les opérateurs logiques AND, OR et NOT, c'est à dire ET, OU et NON.
Pour chaque opérateur, on peut donner une table de vérité.

Exemple Table de vérité du AND, qui ne vaut `True` que si les deux opérandes valent `True` :

A \ B	True	False
True	True	False
False	False	False

Tableau à double entrée

A	B	A and B
True	True	True
True	False	False
False	True	False
False	False	False

Tableau simple

Exemple Table de vérité du OR, qui vaut `True` si au moins l'une des deux opérandes vaut `True`.

A or B	True	False
True	True	True
False	True	False

Exemple Le NOT se contente d'échanger `True` en `False` et inversement.

A	not A
True	False
False	True

Les conditions que l'on met dans une structure algorithmique conditionnelle (Si, ou Tant que) sont des booléens.
Autrement dit, une expression comme $5 > 3$ est un booléen, dont la valeur est `True`.

L'évaluation d'une expression booléenne se fait de gauche à droite. C'est à dire que par exemple pour évaluer l'expression a OR b, si a est évaluée à `True`, le résultat est `True`, sinon le résultat est celui de l'évaluation de b.
On parle de **séquentialité** des opérateurs AND et OR.

▶ **Exercices :** fiche sur les booléens

IV. Nombres flottants (float)

Nous avons vu que l'on pouvait représenter les nombres entiers en machine, si ces nombres sont compris entre deux bornes qui dépendent du nombre d'octets utilisés. Pour les nombres réels, la difficulté est plus grande : il en existe de toute forme (décimaux comme $-2{,}56$, rationnels comme $\frac{1}{3}$, ou même irrationnels comme $\sqrt{2}$) et surtout, il existe toujours une infinité de nombres entre deux nombres réels quelconques.
Il est donc impossible de représenter tous les nombres réels, y compris entre deux bornes données. Nous ne pouvons d'ailleurs stocker qu'une partie finie des décimales d'un nombre réel donné (autrement dit, pas de valeur exacte pour $\frac{1}{3}$ ou π). Certains nombres seront alors représentés de manière exacte, et d'autres de manière approchée.
On rappelle dans un premier temps qu'un nombre décimal est un nombre qui peut s'écrire sous la forme $\frac{z}{10^n}$ avec z entier et n entier naturel.

Exemple $2{,}15 = \frac{215}{100} = \frac{215}{10^2}$.

De manière similaire, un **nombre dyadique** est un nombre qui peut s'écrire sous la forme $\frac{z}{2^n}$ avec z entier et n entier naturel.

Exemple $\frac{13}{4} = \frac{13}{2^2}$.

Pour obtenir le développement dyadique, c'est à dire l'écriture binaire, d'un nombre dyadique $\frac{z}{2^n}$, on prend le binaire correspondant à z et on insère la virgule avant le n-ième bit en partant de la droite.

Exemple $13 = (1101)_2$, donc $\frac{13}{2^2} = (11{,}01)_2$.
Cela signifie que $\frac{13}{4} = 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 2 + 1 + 0 + 0{,}25 = 3{,}25$

Rappel $2^{-n} = \frac{1}{2^n}$

Une autre méthode, qui fonctionne avec n'importe quel nombre écrit sous forme décimale, consiste à prendre l'écriture binaire de la partie entière, puis de chercher l'écriture binaire de la partie décimale. Pour cela, on multiplie successivement par 2 la partie décimale et on prend le chiffre des unités du résultat comme bit, puis on refait la même chose en prenant la partie décimale si elle est non nulle :

Exemple Pour 3,25, on a déjà $3 = (11)_2$.
Ensuite,
$0{,}25 \times 2 = 0{,}5 \to 0$
$0{,}5 \times 2 = 1 \to 1$
Ainsi, on retrouve bien que $3{,}25 = (11{,}01)_2$

De même que tous les nombres ne sont pas décimaux, tous les nombres ne sont pas dyadiques, y compris certains nombres décimaux.

Exemple Considérons le nombre décimal 0,1 (en base 10), et appliquons la méthode :
$0{,}1 \times 2 = 0{,}2 \to 0$

$0{,}2 \times 2 = 0{,}4 \to 0$
$0{,}4 \times 2 = 0{,}8 \to 0$
$0{,}8 \times 2 = 1{,}6 \to 1$
$0{,}6 \times 2 = 1{,}2 \to 1$
et on retombe sur 0,2, donc on va avoir une répétition de 0011.
Ainsi, $(0{,}1)_{10} = (0{,}0001100110011001100110011...)_2$.
On peut noter cela ainsi : $(0{,}1)_{10} = (0{,}0\underline{0011})_2$ (on souligne la partie qui se répète à l'infini).

Par conséquent, la représentation (en binaire !) de $(0{,}1)_{10}$ dans la machine sera forcément tronquée. Cela explique que, lorsque l'on tape $0.1 + 0.2$ dans Python, le résultat n'est pas celui attendu (on obtient 0.30000000000000004).

⚠ À cause de cela, faire des tests d'égalité entre nombres réels est généralement à éviter, puisque par exemple $0.1 + 0.2 == 0.3$ est évalué à `False`.
La représentation des nombres dits flottants (float) est régit par la norme IEEE 754, dont nous donnerons ici une version fausse mais similaire, que nous appellerons pseudo-IEEE 754.
On peut retenir que tout nombre dyadique non nul peut s'écrire sous la forme :
$(1{,}b_1b_2\dots b_k)_2 \times 2^n$ avec n entier relatif.
La suite de bits $(b_1b_2\dots b_k)$ est appelée la **mantisse**, et le nombre n est appelé **exposant**.
On utilisera alors le code suivant, pseudo-IEEE 754, sur 64 bits :

- Le bit de poids fort (à gauche) représente le signe (0 pour +, 1 pour −) ;
- les 11 bits suivants forment le codage de l'exposant (méthode du complément à 2 sur 11 bits) ; (en vrai, le codage de l'exposant est fait autrement, avec un biais)
- les 52 autres bits forment la mantisse (si nécessaire on termine par des 0).

▶ **Exercices :** fiche sur les nombres (suite et fin)

V. Types construits

Lorsque l'on a un nombre important de données de même nature, il peut être intéressant de pouvoir les regrouper dans un même objet. C'est l'intérêt des types construits.
Les types et les syntaxes dont il sera question dans cette section seront ceux du langage Python.
Il y a plusieurs possibilités.

- La première est de considérer que les données sont ordonnées, avec chacune un indice, et qu'il est impossible de modifier par affectation l'une des valeurs. C'est le cas pour le type `tuple`.
- La seconde est d'autoriser la modification d'une valeur par affectation, en gardant un ordre sur les données, donné par un indice. Cela correspond au type `list`.
- Une troisième possibilité est d'associer les éléments non pas à un indice, mais à une clé. On obtient alors le type `dict`.

1. N-uplets

Un n-uplet est un objet de type `tuple`. C'est une suite ordonnée d'éléments qui peuvent être de n'importe quel type.
Pour définir un n-uplet, il suffit d'écrire n valeurs séparées par des virgules.

```
t1=1,"abc",3.5
t2=4,(2,5),6
```

Les deux n-uplets contiennent chacun trois éléments. Le deuxième élément du n-uplet `t2` est lui-même un n-uplet, délimité par les parenthèses. L'affichage d'un tuple contient toujours les parenthèses
Pour définir un 1-uplet, il faut au choix écrire quelque chose comme :

```
t=1,
t=(1,)
```

Pour le tuple vide :

```
t=()
```

Pour accéder à un élément d'un tuple, il suffit de donner son indice (dont le plus petit est 0) entre crochets. On peut aussi accéder à une partie du tuple (noter que comme dans `range`, le dernier élément est celui de l'indice précédent celui qui est donné en deuxième). On peut également utiliser des indices négatifs pour partir de la fin. Enfin, si un élément d'un tuple est un tuple, on peut évidemment accéder à ses éléments.

```
>>> t1[1]
"abc"
>>> t2[0:2]
(4,(2,5))
>>> t1[-1]
3.5
>>> t2[1][0]
2
```

La fonction `len` donne la longueur d'un tuple

```
>>> len(t1)
3
```

les éléments d'un tuple ne sont pas modifiables. On dit que les tuples sont **non mutables**. On ne peut donc pas écrire `t1[2]=4` pour modifier le troisième élément de `t1`.
On peut utiliser les tuples comme retour de fonctions pour renvoyer plusieurs valeurs, et utiliser l'affectation multiple pour récupérer chacune des valeurs.

```
>>> def division(a,b):
...     r=a
...     q=0
...     while r>= b:
...         r=r-b
...         q=q+1
...     return q,r
...
>>> x,y=division(25,7)
>>> x
3
>>> y
4
```

Il est possible de concaténer (c'est à dire mettre bout à bout) deux tuples avec l'opération `+`.
Par exemple, `t1+t2` est le tuple `(1,"abc",3.5,4,(2,5),6)`.
taper `2*t1` revient à faire `t1+t1`. On peut alors aller au delà et faire par exemple `5*t1`.
On peut tester l'appartenance d'une valeur à un tuple avec l'opérateur `in` :

```
>>> 4 in t2
True
>>> 2 in t2
False
```

2. Listes

Les listes (de type `list`) se manipulent un peu comme les tuples, sauf qu'elles permettent en plus l'affectation (on dit que les listes sont mutables).

a. Définition

Pour définir une liste, il faut utiliser des crochets :

```
l1=[1,2,3,4]
singleton=['a']
l=[] # liste vide
```

Il existe plusieurs moyens de créer des listes.

- la fonction `list` permet de transformer tout itérable en liste. On peut par exemple l'utiliser avec la fonction `range` :

```
>>> l=list(range(4))
>>> l
[0,1,2,3]
```

- On peut aussi ajouter des éléments un par un avec la méthode `append` :

```
l=[]
for n in range(5):
  l.append(3*n)
```

La méthode `append` ajoute les éléments à la fin de la liste.
Après l'exécution du code précédent, la liste `l` est la liste `[0,3,6,9,12]`.
Note : On dit que `append` est une méthode pour les éléments de type `list`. Une méthode est une fonction associée à un élément d'un certain type. La syntaxe pour utiliser une méthode est la suivante : `element.methode(arguments)`.

- On peut aussi faire des listes **par compréhension**. La syntaxe est la suivante :

```
l=[expression(i) for i in objet]
```

où `expression(i)` est une expression dépendant de `i` et `objet` est un objet itérable (comme une liste, un tuple, un range etc.).

```
impairs=[2*i+1 for i in range(5)]
```

L'expression peut être donnée par exemple par une fonction définie au préalable :

```
def f(x):
  return x**2-1
l=[f(i) for i in range(2,4)]
```

À la fin de l'exécution, la liste `l` est la liste `[3,8]`.
Il est possible de définir ainsi des listes de listes :

```
>>> l=[[x,y] for x in range(2) for y in range(2)]
>>> l
[[0,0],[0,1],[1,0],[1,1]]
```

Si les sous-listes sont de même longueur, on parle souvent de matrice.
On peut aussi ajouter des conditions :

```
>>> l=[x//2 for x in range(7) if x%2==0]
>>> l
[0, 1, 2, 3]
```

b. Accès aux éléments

Quelques utilisations des listes pour accéder aux éléments ou en ajouter :

- L'instruction `L[i]` donne l'élément d'indice `i` de `L`, sachant que les indices commencent à `0`.
On peut également utiliser des indices négatifs.
Par exemple, `L[-1]` donne le dernier élément de la liste, etc.

```
>>> L = ["a","b","c","d"]
>>> L[1]
'b'
>>> L[-2]
'c'
```

- On peut obtenir une tranche (slice) d'une liste.
La syntaxe est la suivante (en gros 7 possibilités) :

  * `liste[debut:fin:pas]`
  * `liste[debut:fin]`
  * `liste[debut:]`
  * `liste[:fin]`
  * `liste[::pas]`
  * `liste[debut::pas]`
  * `liste[:fin:pas]`

où :

`debut :` indice du premier élément à sélectionner
(si vide : à partir du premier élément de la liste)

`fin :` indice du dernier élément **exclu** à sélectionner
(si vide : jusqu'au dernier de la liste inclus)

`pas :` 1 par défaut

Quelques exemples :

```
>>> L = [1, 'deux', 3, 'quatre', 5.0, 6]
>>> L[1:3]
['deux', 3]
>>> L[:2]
[1, 'deux']
>>> L[-3:-1]
['quatre', 5.0]
>>> L[-1:-3:-1]
[6, 5.0]
>>> L[::-1] # Permet d'obtenir la liste renversée
[6, 5.0, 'quatre', 3, 'deux', 1]
```

c. Modification d'éléments

À la différence des tuples, les listes sont **mutables**, c'est à dire que l'on peut en modifier les listes, en particulier les valeurs de ses éléments avec une instruction d'affectation.
Exemple :

```
>>> l1=[1,2,3]
>>> l1[1]=4
>>> l1
[1,4,3]
```

On a affecté à l'élément d'indice 1, donc le deuxième de la liste, la valeur 4.

le fait que les éléments d'une liste soient modifiables demande d'être vigilant. En effet :

```
>>> l1=[1,2,3]
>>> l2=l1
>>> l2[1]=4
>>> l2
[1,4,3]
>>> l1
[1,4,3]
```

En fait, `l1` et `l2` partagent les mêmes **références** (ce sont des listes de références vers des objets), plus que les mêmes valeurs. Ainsi, en modifiant la valeur, on ne modifie pas les références, mais les objets qui sont pointés par ces références, ce qui fait que la liste `l1` est impactée par une modification d'une valeur dans la liste `l2`.
Pour éviter ces problèmes, pour une liste simple on peut simplement utiliser la fonction `list` :

```
>>> l1=[1,2,3]
>>> l2=list(l1)
>>> l2[1]=4
>>> l2
[1,4,3]
>>> l1
[1,2,3]
```

L'instruction `l2 = l1[:]` fait également une copie de la liste `l1`.
Pour des listes plus complexes (listes de listes, etc.) on peut utiliser la fonction `deepcopy` du module `copy`, ce qui permet de créer de nouvelles références et ainsi séparer en mémoire les deux listes.

```
from copy import deepcopy
l1=[[x,y] for x in range(2) for y in range(2)]
l2=deepcopy(l1)
```

Il peut être utile de le faire quand on donne à une fonction en argument une liste que la fonction peut modifier de manière interne mais qui ne doit pas l'être de manière globale.

d. Parcours

Lorsque l'on utilise les listes, on va généralement devoir les parcourir, c'est à dire regarder les éléments de la liste un par un. Pour cela on utilise généralement une boucle `for`, mais il y a trois manières différentes à disposition avec Python selon les besoins :

- La manière la plus courante est celle qui consiste simplement à utiliser une variable qui va prendre successivement, à chaque itération de la boucle, la valeur suivante dans la liste :

  ```
  maliste=[1,3,6,7]
  for x in maliste:
    print(x)
  ```

  Lors de l'exécution, la variable `x` va prendre successivement les valeurs `1`, `3`, `6` et `7` qui seront affichées.

  Dans ce cas, on dira que l'on parcourt la liste sur les valeurs.
- Une autre manière consiste à faire une boucle dont la variable ne prendra pas pour valeur celles de la liste, mais les indices de la liste, ce qui permet éventuellement de récupérer des éléments voisins dans la liste.

  Par exemple :

  ```
  maliste=[1,3,6,7]
  for i in range(len(maliste)):
    print(maliste[i])
    if i>=1:
      maliste[i-1]=0
  ```

  La variable `i` commence à `0`, le premier indice de toute liste, et va jusqu'à `len(maliste)-1`, qui est le dernier indice dans la liste `maliste`. Le code affiche la valeur de l'élément d'indice `i` de la liste, puis, lorsque l'indice `i` est supérieur ou égal à 1, affecte la valeur `0` au terme d'indice `i-1` de la liste. À la sortie de la boucle, `maliste` est donc `[0, 0, 0, 7]`.

  Dans ce cas, on dira que l'on parcourt la liste sur les indices.
- Parfois, on peut vouloir à la fois la valeur de l'indice de la liste que l'on parcourt et la valeur dans la liste à cet indice, autrement dit avoir les deux méthodes précédentes en une seule. C'est possible avec Python en utilisant la fonction `enumerate` qui prend en argument une liste et permet d'obtenir un itérateur (à utiliser avec une boucle `for`) donnant des couples `(indice,valeur)`.

  Ainsi par exemple :

  ```
  maliste=[1,3,6,7]
  for i,x in enumerate(maliste):
    print("L'élément d'indice",i,"est",x)
  ```

  Va afficher :

  ```
  L'élément d'indice 0 est 1
  L'élément d'indice 1 est 3
  L'élément d'indice 2 est 6
  L'élément d'indice 3 est 7
  ```

  Dans ce cas, on parcourt donc la liste avec le couple (indice,valeur).

e. Autres fonctions et méthodes

Beaucoup d'éléments qui s'appliquent aux tuples s'appliquent aussi aux listes.

Par exemple, `len(L)` donne la longueur de la liste `L` et la « somme » de deux listes `l1+l2` est la **concaténation** des listes, c'est à dire la liste contenant les éléments de `l1` suivis de ceux de `l2`.
Il existe bien d'autres fonctions et méthodes sur les listes, comme `insert`, `remove`, `count`, etc.
Voir la librairie de Python pour plus de détails.

3. Dictionnaires

Un dictionnaire (type `dict`) est une liste d'objets indexés non pas nécessairement par des entiers de 0 à (n-1), mais par des « clés », à la manière d'un dictionnaire.

```
dico1={"vrai":"true", "faux":"false"}
dico2={"a":"alpha", "b":"bravo", "c":"charlie"}
dico3={1:3,3:5,5:7}
```

Les éléments sont donnés sous la forme clé :valeur, le tout étant délimité par des accolades.
On peut là aussi utiliser une construction par compréhension.

```
>>> d={x:x**2 for x in range(1,5)}
>>> d
{1: 1, 2: 4, 3: 9, 4: 16}
```

On peut parcourir les dictionnaires de trois manières différentes :

- Par clé :

```
>>> for k in dico1.keys():
...     print(k)
...
vrai
faux
```

  En fait, le parcours d'un dictionnaire se fait sur les clés, donc on a plus simplement :

```
>>> for k in dico1:
...     print(k)
...
vrai
faux
```

- Par valeurs :

```
>>> for v in dico1.values():
...     print(v)
...
true
false
```

- Par couple (clé,valeur) :

```
>>> for cle,val in dico2.items():
...     print(cle,"donne",val)
...
a donne alpha
b donne bravo
c donne charlie
```

Pour obtenir la valeur associée à une clé, on donne la clé entre crochets :

```
>>> dico2["a"]
'alpha'
>>> dico3[3]
5
```

Si on demande la valeur d'une clé inexistante, on obtient un message d'erreur :

```
>>> dico1["a"]
Traceback (most recent call last):
  File "<pyshell#9>", line 1, in <module>
    dico1["a"]
KeyError: 'a'
```

Il y a cependant deux manières de gérer cette difficulté :

- L'opérateur `in` teste l'appartenance d'une clé (et non d'une valeur !) dans un dictionnaire. Ainsi :

```
>>> clés = ["b","d"]
>>> for k in clés:
...     if k in dico2:
...         print(dico2[k])
...
bravo
```

- La méthode `get` permet d'obtenir la valeur associée à une clé, ou `None` si la clé n'est pas présente, ce qui évite les erreurs. Ainsi :

```
>>> v = dico2.get("c")
>>> v
'charlie'
>>> v = dico2.get("e")
>>> v
None
```

On peut aussi donner un second argument à la méthode `get`, qui sera ce qui sera retournée (à la place de `None`) dans le cas où la clé donnée n'est pas présente dans le dictionnaire.

```
>>> dico2.get("c",-1)
'charlie'
>>> dico2.get("e",-1)
-1
```

La fonction `len` donne là encore la longueur du dictionnaire (le nombre d'entrées, autrement dit d'éléments).
Pour un dictionnaire, il est facile d'ajouter un élément. La syntaxe est celle de l'affectation, en donnant le nom de la nouvelle clé :

```
dico2["d"]="delta"
```

Si la clé existe déjà, cela remplace la valeur définie précédemment.
Pour supprimer un élément, on utilise la fonction `del` :

```
del(dico3[3])
```

Pour les copies, on retrouve les mêmes comportements qu'avec les listes.

Pour plus de détails sur l'utilisation des dictionnaires, voir la librairie Python.

4. Chaînes de caractère (str)

Les chaînes de caractère sont du texte, écrit entre guillemets ou apostrophes. Ce cours ne détaille pas leur fonctionnement ni leur utilisation.
Ils sont l'objet d'exposés et seront utilisés parfois lors des exercices.
Certaines manipulations se font comme avec les tuples, mais il y a des fonctions et méthodes qui leurs sont spécifiques, disponibles bien sûr dans librairie de Python.