

# Représentation des nombres entiers

INFORMATIQUE COMMUNE - TP n° 2.5 - Olivier Reynet

## À la fin de ce chapitre, je sais :

- ✎ convertir un entier dans une base quelconque
- ✎ manipuler les bases 10, 2 et 16
- ✎ expliquer comment fonctionne un circuit qui additionne deux entiers
- ✎ utiliser des entiers signés
- ✎ gérer des dépassements de capacité

## A Manipulations

A1. Convertir le nombre  $42_{10}$  en binaire.

**Solution :**  $0b101010$  c'est-à-dire  $32 + 8 + 2$

A2. Convertir le nombre  $10101010_2$  en base 10.

**Solution :**  $2^7 + 2^5 + 2^3 + 2^1 = 128 + 32 + 8 + 2 = 170$

A3. Convertir le nombre  $333_{10}$  en hexadécimal.

**Solution :**  $333_{10} = 1 \times 256 + 4 \times 16 + 13 = 14D_{16}$

A4. Une adresse MAC est associée à la carte réseaux de votre ordinateur. Celle-ci peut ressembler à la chaîne de caractères suivante :  $BE:50:73:2A:55:2F$ .

(a) À votre avis, en quelle base ces nombres sont-ils codés?

**Solution :** Hexadécimal (de 0 à F)

(b) Quelle est la taille d'une adresse MAC en octets?

**Solution :** Un chiffre hexadécimal représente 4 bits. Donc 6 octets.

(c) Quelle est la taille d'une adresse MAC en bits?

**Solution :** 48 bits

- (d) Convertir cette adresse en binaire.

**Solution :** Il y a une correspondance en base 16 entre 1 chiffre et 4 bits, donc c'est direct, pas besoin de calculs.

1011 1110 0101 0000 0111 0011 0010 1010 0101 0101 0010 1111

- A5. Une image en niveau de gris est représentée par un tableau numpy dont les éléments sont des `uint8`, c'est-à-dire 8 bits unsigned integers.

- (a) De combien de niveaux de gris (de blanc à noir) dispose-t-on pour décrire l'intensité de de chaque pixel?

**Solution :** Un entier non signé sur 8 bits peut encoder 256 valeurs différentes, de 0 à 255. On dispose donc de 256 niveaux d'intensité de gris.

- (b) Vous souhaitez moyenner chaque pixel d'une image définie comme précédemment. Vous écrivez ce code qui moyenne les 8 cases voisines et le pixel :

```
import numpy as np

def moyenne(a):
    acc = np.uint8(0)
    for i in range(3):
        for j in range(3):
            acc += a[i,j]
    return acc/9

a = np.array([[50,51,52],[51,53,55],[55,57,59]], dtype=np.uint8)
print(moyenne(a))
```

Le résultat est-il juste? Pourquoi?

**Solution :** L'accumulateur est déclaré de type `uint8`. Par conséquent, l'accumulation des additions engendre un dépassement de capacité. Le résultat est faux.

- (c) Proposer une version correcte de la fonction `moyenne`. Quel est le type de valeur retournée par cette fonction?

**Solution :** Le type retourné est un `numpy.float64`.

```
def moyenne(a):
    acc = 0
    for i in range(3):
        for j in range(3):
            acc += a[i,j]
    return acc/9
```

- (d) Écrire l'instruction qui permet de remplacer la valeur du pixel central par sa moyenne dans le tableau `a`. Vérifier le type de donnée de la case `a[1,1]`. Que s'est-il passé?

**Solution :** Le type de `a[1,1]` est `uint8`. Python a donc transtypé la valeur retour de la fonction `moyenne` (`float64`) en `uint8`, sans nous le dire;-)

```
a[1,1] = moyenne(a)    # transtypage implicite : a[1,1] = np.uint8(
    moyenne(a))
print(type(a[1,1]))    # <class 'numpy.uint8'>
```

(e) Proposer une version de la fonction `moyenne` sans boucles `for`!

**Solution :**

```
def moyenne(a):
    return np.mean(a)
```

## B Convertir dans une base quelconque

B1. Écrire une fonction de signature `to_binary(a :int)-> str` qui renvoie la représentation binaire d'un nombre sous la forme d'une chaîne de caractères. Par exemple, `(to_binary(35))` renvoie `"100011"`.

**Solution :**

```
def to_binary(a :int)-> str:
    s = ""
    while a > 0:
        m = a % 2
        s = str(m) + s
        a = a // 2
    return s
```

B2. En déduire une fonction de signature `to_base(a :int, b: int)-> str` qui renvoie la représentation d'un nombre selon la base `b` sous la forme d'une chaîne de caractères. Par exemple, `to_base(61, 3)` renvoie `"2021"` et `to_base(333, 16)` renvoie `"14D"`.

**Solution :**

```
def to_base(a :int, b: int)-> str:
    assert b <= 16
    s = ""
    c = "0123456789ABCDEF"
    while a > 0:
        m = a % b
        s = str(c[m]) + s
        a = a // b
    return s
```

## C Half-adder et full-adder

On cherche à simuler les circuits électroniques qui réalisent l'opération d'addition sur des entiers sur  $n$  bits. On choisit de travailler sur des entiers non signés. On définit les circuits suivants :

- Le Half Adder réalise l'addition de deux bits. Ils prend deux bits  $A$  et  $B$  en entrée et possède deux sorties :  $S$  qui vaut  $A \oplus B$  et  $C$  qui vaut  $A.B$ , la retenue.
- Le Full Adder réalise l'addition de deux bits avec retenue éventuelle à l'entrée. Il prend trois bits  $A$ ,  $B$  et  $R$  en entrée et possède deux sorties :  $S$  qui vaut  $A \oplus B \oplus R$  et  $C$  qui vaut  $(A.B)|(R.(A \oplus B))$ , la retenue.

$\oplus$  désigne le OU Exclusif bits à bits,  $.$  le ET bit à bits et  $|$  le OU bits à bits.

En Python, on a les opérateurs suivants :

- $\&$  ET bits à bits,
- $|$  OU bits à bits,
- $\wedge$  OU exclusif bits à bits.

- C1. Écrire une fonction de signature `to_binary_nbits(a: int, n: int) -> list`. Il s'agit d'une variation de la fonction `to_binary` précédente, mais qui renvoie une liste d'entier plutôt qu'une chaîne de caractères. Par exemple, `to_binary_nbits(42, 8)` renvoie `[0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0]`. La liste résultat possède  $n$  éléments, même si les premiers sont nuls.

### Solution :

```
def to_binary_nbits(a: int, n: int) -> list:
    L = []
    while a > 0:
        m = a % 2
        L.append(m)
        a = a // 2
    if len(L) < n:
        while len(L) < n:
            L.append(0)
    L.reverse() # à savoir faire sans la fonction de l'API List ....
    return L
```

- C2. Écrire une fonction de signature `nbits_to_int(u: list) -> int` qui transforme la liste résultat de la fonction `to_binary_nbits` en entier correspondant. Par exemple, `nbits_to_int([0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0])` renvoie 42.

### Solution :

```
def nbits_to_int(u: list) -> int:
    n = len(u)
    a = 0
    for k in range(n - 1, -1, -1):
        a += u[k] << (n - k - 1)
    return a
```

- C3. Écrire une fonction de signature `half_adder(a: int, b: int) -> (int, int)` qui implémente le circuit Half adder.

**Solution :**

```
def half_adder(a: int, b: int) -> (int, int):
    assert ((a & 0x1) == a) and ((b & 0x1) == b)
    return a ^ b, a & b
```

- C4. Écrire une fonction de signature `full_adder(a: int, b: int, r: int) -> (int, int)` qui implémente le circuit Full adder.

**Solution :**

```
def full_adder(a: int, b: int, r: int) -> (int, int):
    assert ((a & 0x1) == a) and ((b & 0x1) == b) and ((r & 0x1) == r)
    return a ^ b ^ r, (a & b) | (r & (a ^ b))
```

- C5. Écrire une fonction de signature `add_words(u: list, v: list) -> list` qui fait l'addition de deux listes représentant des entiers en binaire à l'aide de la fonction `full_adder` en propageant la retenue. Par exemple, `add_words([0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0], [0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0])` renvoie `[0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0]`.

**Solution :**

```
def add_words(u: list, v: list) -> list:
    assert len(u) == len(v)
    n = len(u)
    r = 0
    result = []
    for i in range(n - 1, -1, -1):
        (s, r) = full_adder(u[i], v[i], r)
        result.append(s)
    if r == 1:
        result.append(1)
    if len(result) < n:
        while len(result) < n:
            result.append(0)
    result.reverse()
    return result
```

## D Connaître la valeur signée d'entiers

Dans les questions qui suivent, on n'hésitera pas à utiliser les fonctions de calcul bits à bits :

- `<<` décalage binaire à gauche. Par exemple, `1 << 3` vaut `23`.
- `>>` décalage binaire à droite. Par exemple, `60 >> 2` vaut `15`.

- `&` calcule le et bits à bits. Par exemple, `260 & 0xFF` vaut 4.
  - `~a` calcule le complément à 1 de `a`. Par exemple, `~(0b00100011) & 0xFF` vaut 220.
- D1. Écrire une fonction de signature `is_neg_signed(a: int, n: int) -> bool` qui teste si un entier positif `a` sur `n` bits possède une valeur négative dans le cas où il est signé. Par exemple, `is_neg_signed(214, 8)` renvoie `True`. Mais `is_neg_signed(33, 8)` renvoie `False`. Au début de la fonction, on s'assurera par une assertion que  $a < 2^n$ .

**Solution :**

```
def is_neg_signed(a: int, n: int) -> bool:
    assert a < (1<<n)
    return (a >> (n - 1)) == 1
```

---

- D2. Écrire une fonction de signature `signed_nbits_to_int(a: int, n: int) -> int` qui renvoie la valeur de `a` sur `n` bits, dans le cas où `a` est signé. Par exemple, `signed_nbits_to_int(214, 8)` renvoie -42 et `signed_nbits_to_int(33, 8)` renvoie 33. ã

**Solution :**

```
def signed_nbits_to_int(a: int, n: int) -> int:
    assert a < (1 << n)
    if is_neg_signed(a, n):
        #return ~(~(a - 1) & ((1 << n) - 1))
        return -(1<<n) + a
    else:
        return a
```

---