

Chapitre 2

Types et variables

Plan

- 1. Codage binaire**
2. Mémoire
3. Définition d'une variable
4. Nommer une variable
5. Typer une variable
6. Les types de base
7. Déclaration et affectation d'une variable
8. Codage des types élémentaires

2.1 Codage en binaire

Manière de représenter les nombres en mémoire

Toute information est codée avec un système de numérotation binaire, donc en **base 2**
Chaque symbole correspond physiquement à une tension électrique

Pour une base B , il y a B symboles différents

Décimal, **base 10** : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Binaire, **base 2** : 0, 1 un chiffre = un **bit** – *binary digit*

Octal, **base 8** : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

En C : 0, 01, 02, 03, 07, 010, 011, ... → précédé d'un « 0 »

Hexadécimal, **base 16** : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

En C : 0x0, 0x1, ..., 0xF, 0x10, ... → précédé de « 0x »

$$A_{16}=10_{10}, B_{16}=11_{10}, C_{16}=12_{10}, D_{16}=13_{10}, E_{16}=14_{10}, F_{16}=15_{10}$$

2.1 Nombre en base B vers nombre décimal

Valeur en *base 10* d'un nombre $(a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_B$ codé dans une base B :

$$nb_{10} = a_n \cdot B^n + a_{n-1} \cdot B^{n-1} + \dots + a_1 \cdot B^1 + a_0 \cdot B^0$$

Exemples

$$(1234)_{10} = 1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0 = 1234_{10}$$

$$\begin{aligned} (11001)_2 &= 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \\ &= 16 + 8 + 0 + 0 + 1 = 25_{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1C04)_{16} &= 1 \cdot 16^3 + 12 \cdot 16^2 + 0 \cdot 16^1 + 4 \cdot 16^0 \\ &= 4096 + 12 \cdot 256 + 0 + 4 = 7172_{10} \end{aligned}$$

avec $A=10, B=11, C=12, D=13, E=14, F=15$

Plan

1. Codage binaire
- 2. Mémoire**
3. Définition d'une variable
4. Nommer une variable
5. Typer une variable
6. Les types de base
7. Déclaration et affectation d'une variable
8. Codage des types élémentaires

2.2 Qu'est-ce que la mémoire ?

La mémoire peut être vue comme un grand tableau dont les **cases** sont numérotées et dans lesquelles on peut mémoriser des informations

Le numéro des cases est **l'adresse "Adr"**

Les **valeurs** sont stockées dans les cases qui ont une taille de n bytes (1,2,4,8,...)

Certaines valeurs peuvent tenir sur :

une case, comme **27** mémorisée ici à l'adresse **0x2**

plusieurs cases, comme **"Hello"** aux adresses **0x4 . . . 0x9**

Adr	Value	
0x0		
0x1		
0x2	0x1B	=27
0x3		
0x4	0x48	'H' 72 ?
0x5	0x65	'e'
0x6	0x6C	'l'
0x7	0x6C	'l'
0x8	0x6F	'o'
0x9	0x00	'\0'
0xA		
0xB		
0xC	01001001	

Plan

1. Codage binaire
2. Mémoire
- 3. Définition d'une variable**
4. Nommer une variable
5. Typer une variable
6. Les types de base
7. Déclaration et affectation d'une variable
8. Codage des types élémentaires

2.3 Qu'est-ce qu'une variable ?

Une **variable** **nomme un endroit de la mémoire** où on mémorise une **valeur** d'un certain **type**

D'abord **déclarer** une variable en donnant un nom et un type, et optionnellement une valeur : **initialisation**

```
int x;  
int y = 27;
```

Valeur initiale

Nom de la variable

Type pour un simple entier (**int**)

Le compilateur décide quelles places mémoire il utilise.

Nom de variable	Adr	Valeur
	0	
	...	
x	4	??
	5	??
	6	??
	7	??
y	8	27
	9	00
	A	00
	B	00
	C	

2.3 Variables "multi-byte"

Les différents types prennent plus ou moins de place mémoire. La plupart des ordinateurs mémorisent les valeurs sur des multiples de la taille d'un mot de base 8, 16, 32, 64 bits. Il peut y avoir du remplissage (*padding en anglais*)

```
char x;  
int z = 0x01020304;
```



0x signifie que le
nombre est en
hexadécimal

Un "char"
utilise 1 byte

Remplissage

Un "int"
utilise
4 bytes

Nom de variable	Adr	Valeur
	0	
	...	
x	4	??
	5	
	6	
	7	
z	8	04
	9	03
	A	02
	B	01
	C	

2.3 Caractéristiques d'une variable

1. Son **identificateur** : le nom par lequel la donnée est désignée
2. Son **type** : la nature de la donnée associée à la variable et les opérations permises pour cette variable. Son type va également déterminer la façon dont la variable est stockée en mémoire et son domaine d'utilisation
3. Sa **valeur** à un instant donné. Elle peut varier au cours de l'exécution du programme

fixe

fixe

variable

2.3 Cycle de vie des variables

On distingue **4 opérations** sur les variables

La **déclaration** : déclarer un **nom** de variable en lui associant un **type**

L' **affectation** : **attribuer** une **valeur** à une **variable**

La **lecture** : **utiliser** la **valeur** associée à la variable

La **destruction** : **libérer** la **mémoire** utilisée

Plan

1. Codage binaire
2. Mémoire
3. Définition d'une variable
- 4. Nommer une variable**
5. Typage d'une variable
6. Les types de base
7. Déclaration et affectation d'une variable
8. Codage des types élémentaires

2.4 Noms de variables

Caractères autorisés par la norme

1. les **lettres** majuscules et minuscules (*case sensitive*)
2. les **chiffres** 0..9*
3. le caractère '_'

 **Les noms ne peuvent pas commencer par un chiffre !**

Il est interdit d'utiliser un des **44 mots réservés** (*keywords*) du C (norme C11) pour les noms de variables.

Mots réservés du langage C

Le langage, dans la norme C11, possède 44 mots-clés réservés **qui ne peuvent pas être utilisés comme identificateurs**

<code>_Alignas</code> ^(C11)	<code>_Alignof</code> ^(C11)	<code>_Atomic</code> ^(C11)	<code>_Bool</code> ^(C99)	<code>_Complex</code> ^(C99)
<code>_Generic</code> ^(C11)	<code>_Imaginary</code> ^(C99)	<code>_Noreturn</code> ^(C11)	<code>_Static_assert</code> ^(C11)	<code>_Thread_local</code> ^(C11)
<code>auto</code>	<code>break</code>	<code>case</code>	<code>char</code>	<code>const</code>
<code>continue</code>	<code>default</code>	<code>do</code>	<code>double</code>	<code>else</code>
<code>enum</code>	<code>extern</code>	<code>float</code>	<code>for</code>	<code>goto</code>
<code>if</code>	<code>inline</code> ^(C99)	<code>int</code>	<code>long</code>	<code>register</code>
<code>restrict</code> ^(C99)	<code>return</code>	<code>short</code>	<code>signed</code>	<code>sizeof</code>
<code>static</code>	<code>struct</code>	<code>switch</code>	<code>typedef</code>	<code>union</code>
<code>unsigned</code>	<code>void</code>	<code>volatile</code>	<code>while</code>	

Référence: <http://en.cppreference.com/w/c/keyword>

2.4 Noms de variables

Les **noms** de variables doivent être **explicites**

`quantity, unitPrice, xAxisSpeed, ...`

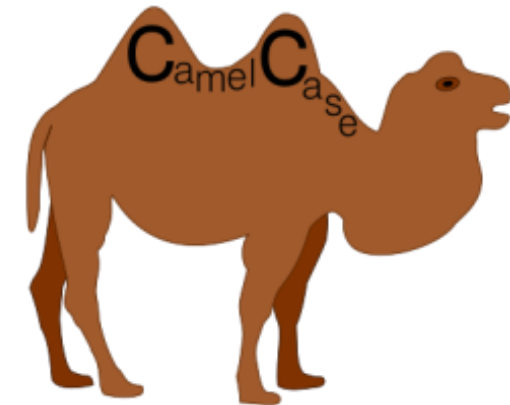
Il y a 2 manières usuelles d'écrire des noms de variables :

camelCase (lowerCamelCase)

Exemple : exchangeRate

PascalCase (UpperCamelCase)

Exemple : ExchangeRate



Il existe des conventions de codage (par exemple commentaires en anglais)

Plan

1. Codage binaire
2. Mémoire
3. Définition d'une variable
4. Nommer une variable
- 5. Typer une variable**
6. Les types de base
7. Déclaration et affectation d'une variable
8. Codage des types élémentaires

2.5 Typer une variable

Un programme doit gérer des informations stockées dans des variables.
En C, il faut "spécifier" la nature de chaque donnée en donnant son type.

Pour **chacun des types** sont associées les notions :

1. **taille de l'occupation de la mémoire**

→ Définit un intervalle de valeurs possibles pour la variable

2. **ensemble d'opérations réalisables**

2.5 Typer une variable

Le C est un langage à typage faible, explicite et statique

Typage faible

La force du typage indique que les types de données correspondent aux données manipulées. Un langage est fortement typé si :

1. Les conversions implicites de types sont formellement interdites
2. Les erreurs de types sont détectées

Typage explicite

Le programmeur doit indiquer les types qu'il utilise

Typage statique

La vérification de type se fait **lors de la compilation**, et non lors de l'exécution comme pour le typage dynamique

Plan

1. Codage binaire
2. Mémoire
3. Définition d'une variable
4. Nommer une variable
5. Typer une variable
- 6. Les types de base**
7. Déclaration et affectation d'une variable
8. Codage des types élémentaires

2.6 Types de base en C

Le C propose une vaste variété de types permettant de manipuler des valeurs :

Types de base

Nombres entiers

Nombres à virgule flottante

Valeur booléenne

Types dérivés

Tableaux

Structures

Pointeurs

Fonctions

2.6 Types de base en C

Nombres entiers **signés**

Petite taille

Taille moyenne

Grande taille

Ultra grande taille

(anonymes)

signed char

[signed] short

[signed] int

[signed] long

(nommés)

enum

Nombres entiers **non-signés**

Petite taille

Taille moyenne

Grande taille

Ultra grande taille

(anonymes)

unsigned char

unsigned short

unsigned int

unsigned long

2.6 Types de base en C

Nombres à virgule flottante

Simple : `float`

Grande précision : `double`

Ultra grande précision : `long double`

Valeur booléenne

Dépend de la révision, voir slide "Type logique"

2.6 **Types** des nombres entiers non signés

Type	Taille [bits]	Domaine de valeurs
<code>unsigned char</code>	8	0 à 255
<code>unsigned short</code>	16	0 à 65'535
<code>unsigned int</code>	32	0 à 4'294'967'295
<code>unsigned long</code>	32	0 à 4'294'967'295

Remarque : la taille des types `int` et `long` dépend de la plateforme

2.6 **Types** des nombres entiers signés

Type	Taille [bits]	Domaine de valeurs
char	8	-128 à +127
short	16	-32'768 à +32'767
int	32	-2'147'483'648 à +2'147'483'647
long	32	-2'147'483'648 à +2'147'483'647

2.6 **Types** des nombres à virgule flottante (réels)

Type	Taille [bits]	Domaine de valeurs
float	32	$3.4 \cdot 10^{-38}$ à $3.4 \cdot 10^{38}$
double	64	$1.7 \cdot 10^{-308}$ à $1.7 \cdot 10^{308}$

2.6 Type caractères

Type	Taille [bits]	Domaine de valeurs
char	8	-128 à +127
unsigned char	8	0 à 255

Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
70	46	106	F	F	102	66	146	f	f

2.6 Type logique

Type	Taille [bits]	vrai	faux	version
<code>int</code>	32	≠0	=0	<C99
<code>_Bool</code>	8	≠0	=0	C99
<code>bool</code>	8	true	false	C99 <code>#include <stdbool.h></code>

Plan

1. Codage binaire
2. Mémoire
3. Définition d'une variable
4. Nommer une variable
5. Typer une variable
6. Les types de base
- 7. Déclaration et affectation d'une variable**
8. Codage des types élémentaires

2.7 Déclarer une variable

Déclarer une variable avant de l'utiliser (typage explicite) :

```
type nomDeLaVariable;  
type nomDeLaVariable1, nomDeLaVariable2;
```

où $\text{type} \in \{\text{char}, \text{short}, \text{int}, \text{long}, \text{float}, \text{double}, \dots, \text{struct } \text{xx}, \dots\}$

Exemples

```
char    choice, tmp;  
double  fuelPrice, total;  
long    barCode;  
unsigned int test, i ,j, k;
```

2.7 Rôle et mécanisme de l'affectation

L'affectation est le mécanisme qui permet de placer une valeur dans un emplacement mémoire. Elle a pour forme :



```
variable = expression;
```

L'expression est soit

une valeur littérale, par exemple 10 ou 'a'

le résultat d'une instruction, par exemple `cos(5)` ou `a+10/c`

Le symbole = signifie que la variable de gauche prend la valeur de l'expression de droite. Le sens est "←"

2.7 Exemples d'affectation

Exemples pour des variables `n` et `p` déclarées de type entier :

```
n = 4; // n prend la valeur 4
```

```
p = 5 * n + 1; /* évalue l'expression mathématique et  
                mémorise le résultat (21) dans p */
```

Attention à la signification du symbole `=`

`a = a + 1;` `a` du **sens en informatique**, pas en mathématiques

~~`a + 5 = 3;`~~ `a` du **sens en mathématiques**, pas en informatique

`a = b ;` **en informatique** est différent de $b=a$;

2.7 Initialisation

Toute variable d'un programme **doit être déclarée**

type nomDeVariable;

et peut recevoir une valeur par **affectation**

nomDeVariable = valeur;



Bonne habitude : initialiser les variables à leur déclaration

Exemple

```
float   fuelPrice =1.63f, total=0.0f;  
double x = 1.63;  
long    barCode = 123456789 ;  
int     test, i=0 ,j=0, k=0 ;  
char    choice='Y', tmp='\0' ;
```


2.7 Tableaux

Déclaration

```
float tab[3];  
int numbers[100];
```

Initialisation

```
float tab[3] = {1.2f, 3.4f, 5.6f};  
int numbers[] = {5,6,7};
```

Affectation

```
tab[0] = 3.5f;  
tab[5] = 6.2f;
```

2.7 Portée des variables

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int a, b, z=0;           // variables globales

int main(void)
{
    double x, y, z=1;    // variables locales
    {
        int u, v, z=2;   // variables locales
    }
    return 0;
}
```

Notions de **visibilité** (scope), **durée de vie**, masquage

2.7 Échanger 2 variables

Soit **a** et **b** deux variables de même type
On souhaite échanger les valeurs de **a** et **b**

```
int a = 5;
int b = 7;

a = b;
b = a;
```

Que se passe-t-il ?

Comment faire ?

Nom de variable	Adr	Valeur
	0	
	...	
a	4	05
	5	00
	6	00
	7	00
b	8	07
	9	00
	A	00
	B	00
	C	

2.7 Déclaration de constantes symboliques

- 1) Le **mot réservé** `const` interdit toute modification de la valeur d'une variable après sa déclaration

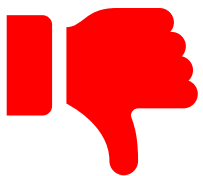
Exemple

```
const float PI = 3.1416;  
PI = 3.14;           // erreur de compilation
```

→ toute constante doit être initialisée lors de sa déclaration

- 2) Par la **directive de précompilation** `#define`

```
#define PI 3.1416
```



Attention : éviter les constantes littérales, appelés "*magic numbers*"

Plan

1. Codage binaire
2. Mémoire
3. Définition d'une variable
4. Nommer une variable
5. Typer une variable
6. Les types de base
7. Déclaration et affectation d'une variable
- 8. Codage des types élémentaires**

2.8 Codage des types élémentaires

Caractères

`char`

`'A', 'n'`

Entiers

`int -> short, int, long`

`10, -100`

Réels

`double -> float, double, long double`

`-1.0007, 887.82E-003`

2.8 Code ASCII pour les caractères

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	 	Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	\$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	((72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051))	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	:	91	5B	133	[[123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174	|	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135]]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177		DEL

2.8 Table ASCII pour les caractères

DECIMAL VALUE		0	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240
	HEXA DECIMAL VALUE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	0	BLANK (NULL)	►	SP	0	@	P	'	p	Ç	É	á	⋮	⌌		∞	≡
1	1	☺	◄	!	1	A	Q	a	q	ü	æ	í	⋮	⌌		β	±
2	2	☹	↑	"	2	B	R	b	r	é	Æ	ó	⋮	⌌		Γ	≥
3	3	♥	!!	#	3	C	S	c	s	â	ô	ú	⋮	⌌		π	≤
4	4	♦	¶	\$	4	D	T	d	t	ä	ö	ñ	⋮	⌌		Σ	∫
5	5	♣	§	%	5	E	U	e	u	à	ò	Ñ	⋮	⌌		σ	∫
6	6	♠	■	&	6	F	V	f	v	å	û	ä	⋮	⌌		μ	÷
7	7	BEL	↓	'	7	G	W	g	w	ç	ù	o	⋮	⌌		τ	≈
8	8	BS	↑	(8	H	X	h	x	ê	ÿ	ï	⋮	⌌		ø	°
9	9	HT	↓)	9	I	Y	i	y	ë	Ö	Γ	⋮	⌌		θ	•
10	A	LF	→	*	:	J	Z	j	z	è	Ü	⌌	⋮	⌌		Ω	•
11	B	VT	←	+	;	K	I	k	{	ï	ç	½	⋮	⌌		δ	√
12	C	FF	FS	,	<	L	\	l	;	î	ℒ	¼	⋮	⌌		∞	n
13	D	CR	GS	—	=	M	I	m	}	ì	¥	ì	⋮	⌌		φ	²
14	E	♪	RS	.	>	N	^	n	~	Ä	R	«	⋮	⌌		∈	■
15	F	☼	US	/	?	O	_	o	Δ	Å	ƒ	»	⋮	⌌		∩	⋮

2.8 Nombres entiers non signés

Un byte (1 octet) = ensemble de 8 bits

Un byte peut prendre $2^8 = 256$ valeurs différentes,
entre 0 (00000000) et 255 (11111111)

Exemple de byte non-signé :

$$11000100 = 128 + 64 + 4 = 196$$

2.8 Nombres entiers signés

Byte signé de -128 jusqu'à 127

Valeurs négatives : $11111111 = -1$ à $10000000 = -128$

Valeurs positives : $00000000 = 0$ à $01111111 = 127$

Passer de valeurs positives à négatives et réciproquement :

- Inverser tous les bits
 - Ajouter 1
- } Complément à 2^n

Exemple : passer de 65 à -65 et réciproquement

- a) 65 01000001
Inverser tous les bits 10111110
Ajouter 1 10111111 = -65
- b) -65 10111111
Inverser tous les bits 01000000
Ajouter 1 01000001 = 65

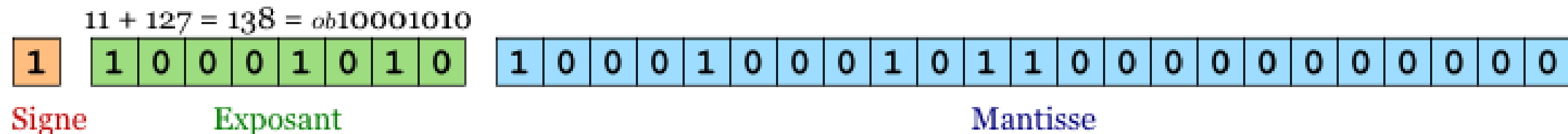
<C:\Windows\System32\calc.exe>

2.8 Nombres à virgule flottante

Exemple : $-3141.5 = -1.5339 \times 2^{11}$

$-3141,5$ alias *ob* $-1,100010001011 \times 2^{11}$

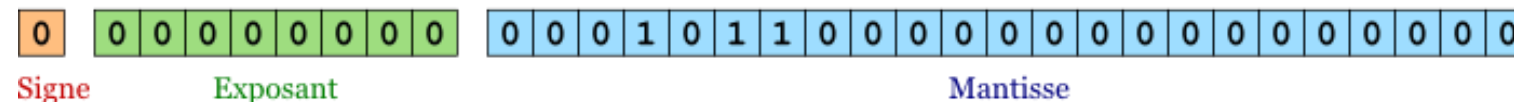
Bit implicite **1** ← (nombre normalisé)



Exemple : $1.0101905 \times 10^{-39} = 0.0859375 \times 2^{-126}$

$\approx 1,0101905 \times 10^{-39}$ alias *ob* $+0,0001011 \times 2^{-126}$

Bit implicite **0** ← (nombre dénormalisé)

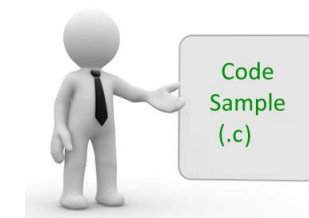


Différents codages des valeurs 1 et -1

```
char    c=1; 00000001
int     i=1; 00000000 00000000 00000000 00000001
float   f=1.f; 00111111 10000000 00000000 00000000
double  d=1.; 00111111 11110000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000

char    c=-1; 11111111
int     i=-1; 11111111 11111111 11111111 11111111
float   f=-1.f; 10111111 10000000 00000000 00000000
double  d=-1.; 10111111 11110000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000

char c = '1'; 00110001
```



Exercices



Exercices du chapitre 02