

Introduction au Langage C

Marie Pelleau
`marie.pelleau@univ-cotedazur.fr`

Basé sur les transparents de Jean-Charles Régin

Plan du cours

- 6 cours
- Contrôle des connaissances :
 - QCM : 20 %
 - Projet : 30 %
 - Contrôle terminal : 50%

Notes

Notes

Bibliographie

The C Programming Language

Kernighan B.W., Ritchie D.M., *Prentice Hall*, 1978

Le langage C - C ANSI

Kernighan B.W., Ritchie D.M., *Masson - Prentice Hall*, 1994, 2e édition
Traduit par J.-F. Groff et E. Mottier

Langage C - Manuel de référence

Harbison S.P., Steele Jr. G.L., *Masson*, 1990
Traduit en français par J.C. Franchitti

Langage C

- Inventé en 1972 par Dennis Ritchie
- Langage de bas niveau
- Créé pour porter des systèmes d'exploitation (Unix)
- But : un compilateur peut-être écrit en 2 mois
- A permis de réécrire des programmes assembleurs
- Programmation indépendante de la machine
- Portable : présent sur presque toutes les architectures ayant été inventées

Notes





















Notes

Langage C

- Utilisé du micro-contrôleur au super-ordinateur
- Présent dans les systèmes embarqués
- Sont écrits en C
 - Unix
 - Linux
 - Windows
 - Tous les Compilateurs GNU
 - GNOME
 - Les machines virtuelles JAVA
 - Python
- Un code C optimisé permet d'obtenir le code le plus rapide
- Fortran, C, C++ sont équivalents
- Java est un petit peu plus lent (mais pas beaucoup)

Notes

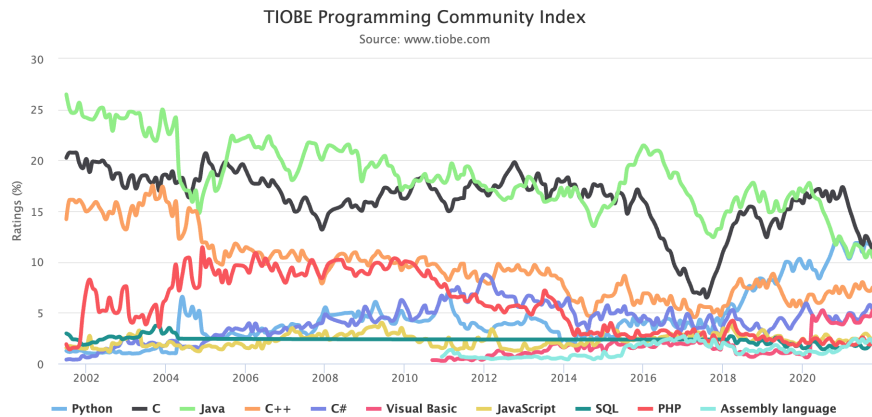
Tiobe : popularité des langages

Oct 2021	Oct 2020	Change	Programming Language	Rankings	Change
1	3	▲	 Python	11.27%	-0.00%
2	1	▼	 C	11.16%	-5.79%
3	2	▼	 Java	10.46%	-2.11%
4	4		 C++	7.50%	+0.57%
5	5		 C#	5.26%	+1.10%
6	6		 Visual Basic	5.24%	+1.27%
7	7		 JavaScript	2.19%	+0.05%
8	10	▲	 SQL	2.17%	+0.61%
9	8	▼	 PHP	2.10%	+0.01%
10	17	▲	 Assembly language	2.06%	+0.99%
11	19	▲	 Classic Visual Basic	1.83%	+1.06%
12	14	▲	 Go	1.28%	+0.13%
13	15	▲	 MATLAB	1.20%	+0.08%
14	9	▼	 R	1.20%	-0.79%
15	12	▼	 Groovy	1.18%	-0.05%
16	13	▼	 Ruby	1.12%	-0.05%
17	16	▼	 Swift	1.11%	+0.02%
18	37	▲	 Fortran	1.08%	+0.70%
19	11	▼	 Perl	0.93%	-0.49%
20	22	▲	 Delphi/Object Pascal	0.93%	+0.22%

TIOBE Programming Community Index
Source: www.tiobe.com

Notes

Tiobe : popularité des langages



Langage C

Très utilisé car

- Bibliothèque logicielle très fournie
- Nombre de concepts restreint
- Permet de gérer des exécutables qui n'ont besoin de rien pour s'exécuter et pour lesquels on peut contrôler parfaitement la mémoire utilisée (noyau de Système d'exploitation, logiciel embarqué)
- Contrôle de bas niveau : très puissant

Notes

Notes

Langage C

Avantages

- Nombreux types de données
- Riche ensemble d'opérateurs et de structures de contrôle
- Bibliothèque d'exécution standard
- Efficacité des programmes
- Transportabilité des programmes (plus facile si on respecte une norme)
- Liberté du programmeur
- Interface privilégiée avec Unix

Langage C

Inconvénients

- Pas d'objets
- Pas de gestion des exceptions
- Peu de contrôles (on peut tout faire : débordement de tableaux, ...)
- Faiblement typé (on peut toujours convertir)
- Peu devenir franchement complexe

Notes

Notes

Langage C

Langages inspirés du C

- C++
- Objective-C
- Java
- PhP

Notes

Langage C

Environnement de développement

- Allez jeter un œil sur la page wikipedia du langage C (en français et en anglais)
- Visual Studio Code est gratuit

Notes

Langage C

- Langage normalisé (C99)
- L'apprentissage du C permet de mieux comprendre le fonctionnement
 - D'un ordinateur (CPU, mémoire, périphériques)
 - D'un OS
- Un informaticien se doit d'avoir fait du C dans sa vie (sera toujours utile)

Test

```
void f (int i) {  
    i = 8;  
}  
  
int main (void) {  
    int i = 5;  
    f(i);  
    k = i;  
}  
Valeur de k ?
```

Notes

Notes

But du cours

- Vous faire comprendre plein de choses sur la programmation et sur comment écrire un programme efficace

Le C et le “snobisme” en programmation

```
void strcpy (char* dest, char* src) {  
    while (*dest++=*src++);  
}
```

Notes

Notes

Langage C : pour débiter

- Un programme C est constitué d'un ou plusieurs fichiers sources suffixés par `.c` et `.h`, dans le(s)quel(s) une unique fonction `main` doit apparaître (ce sera le point d'entrée du programme)
- Seules des fonctions peuvent être définies
 - Pour définir une procédure, il faut déclarer une fonction renvoyant le type spécial `void`
- Pour renforcer le fait que la fonction n'ait pas de paramètres, mettre `void` entre les parenthèses

Quelques règles

Ce n'est pas obligatoire dans le langage mais suivez ces règles :

- On met toujours des `{}`
`if (x > 3) {y = 4;}`
- On évite plusieurs instructions sur la même ligne
`i = i + 1; j = j + 2; /* on sépare sur 2 lignes */`
- On évite plusieurs déclarations sur la même ligne
`int i, j = 2, k = 5; /* à éviter */`

Notes

Notes

Quelques règles

Ce n'est pas obligatoire dans le langage mais suivez ces règles :

- Les variables sont écrites uniquement en minuscule
- Les macros ou constantes définies à l'aide de `#define` sont toutes en majuscules
- Les noms de fonctions commencent par une minuscule
- Les noms de fonctions utilisent l'une des 2 formes
 - Tout en minuscule avec des `_` pour séparer
`fahrenheit_to_celcius`
 - En "collant" tout et mettant des majuscules pour séparer les mots
`fahrenheitToCelcius`

Un premier exemple

```
int main (void) {
    int i;
    int x = 3;
    int y = 4; /* y doit être positif */
    double z = 1.0;
    i = 0;
    while (i < y) {
        z = z * x;
        i = i + 1;
    }
    return 0;
}
```

Notes

Notes

On compile et on exécute

Compilation

- Compilateur (gcc)
- Des options (-Wall)
- Fichier source en entrée (monfichier.c)
- Fichier en sortie (a.out sous Linux, monfichier.exe sous Windows)

```
gcc -Wall -pedantic -ansi monfichier.c
```

Ce programme C calcule x^y , x et y étant donnés (x vaut 3, et y vaut 4).
Il n'affiche cependant rien du tout

Affichage (écriture)

```
int x;  
fprintf(stdout, "%d", x);  
Écrit un entier dans le fichier stdout (sortie standard)  
printf("%d", x);  
Écrit directement sur la sortie standard
```

Notes

Notes

On affiche quelque chose

```
#include <stdio.h>
int main (void) {
    int x = 3;
    int y = 4;
    double z = 1.0;
    fprintf(stdout, "x = %d, y = %d", x, y);
    while (y > 0) {
        z *= x; /* z = z * x; */
        y -= 1; /* y = y - 1; */
    }
    fprintf(stdout, "z = %.2f \n", z);
    return 0;
}
```

Notes

Compilation et exécution

- On compile et on exécute
 - gcc -Wall -pedantic -ansi foo.c
 - ./a.out
x = 3, y = 4, z = 81.00
- Le programme calcule 3^4 et affiche les valeurs de x, y et z
- En C, il n'y a pas d'instructions d'E/S
- En revanche, il existe des fonctions de bibliothèque, dont le fichier de déclarations s'appelle `stdio.h` (standard input-output, `.h` pour "headers")
- Les fonctions de bibliothèque d'E/S font partie de la bibliothèque C : `libc`

Notes

Compilation et exécution

- Le compilateur C utilisé est celui du projet : gcc
- Du fichier source au fichier exécutable, différentes étapes sont effectuées :
 - le **préprocesseur** cpp
 - le **compilateur** C cc traduit le programme source en un programme équivalent en langage d'assemblage
 - l'assembleur a construit un **fichier** appelé **objet** contenant le code machine correspondant
 - l'**éditeur de liens** ld construit le programme exécutable à partir des fichiers objet et des bibliothèques (ensemble de fichiers objets prédéfinis)

Compilation et exécution

- Les fichiers objets sont suffixés par .o sous Unix et .obj sous Windows
- Les bibliothèques sont suffixées par .a .sl .sa sous Unix et par .lib sous Windows
- Les bibliothèques chargées dynamiquement (lors de l'exécution du programme et non pas lors de l'édition de liens) sont suffixées par .so sous Unix et .dll sous Windows

Notes

Notes

Options du compilateur

- `-c` : pour n'obtenir que le fichier objet (donc l'éditeur de liens n'est pas appelé)
- `-E` : pour voir le résultat du passage du préprocesseur
- `-g` : pour le débogueur symbolique (avec les noms des fonctions)
- `-o` : pour renommer la sortie
- `-Wall` : pour obtenir tous les avertissements
- `-lnom_de_bibliothèque` : pour inclure une bibliothèque précise
- `-ansi` : pour obtenir des avertissements à certaines extensions non ansi de gcc
- `-pedantic` : pour obtenir les avertissements requis par le C standard strictement ansi

Calcul d'une puissance

```
#include <stdio.h>
double puissance (int a, int b) {
    /* Rôle : retourne a^b (ou 1.0 si b < 0) */
    double z = 1.0;
    while (b > 0) {
        z *= a; /* z = z * a */
        b -= 1; /* b = b - 1; */
    }
    return z;
}
int main (void) {
    fprintf(stdout, "3^4 = %.2f \n", puissance(3, 4));
    fprintf(stdout, "3^0 = %.2f \n", puissance(3, 0));
    return 0;
}
```

Notes

Notes

Définition de fonctions

- En C, on peut définir des fonctions
- La fonction principale `main` appelle la fonction puissance, afin de calculer 3^4 et affiche le résultat. Elle appelle aussi la fonction puissance avec les valeurs 3 et 0 et affiche le résultat

Remark

Pour compiler, là encore, il n'y a aucun changement

- `gcc -Wall -pedantic -ansi foo.c`
- `./a.out`
 $3^4 = 81.00$
 $3^0 = 1.00$

Déclarations : prototype

```
double puissance (int a, int b) {  
    /* corps de la fonction puissance  
    déclarations  
    instructions */  
}
```

- Si on utilise une fonction avant sa définition alors il faut la déclarer en utilisant ce que l'on appelle un prototype :
`double puissance (int, int);`
- Le compilateur en a besoin pour s'y retrouver
- L'utilisation de prototypes permet une détection des erreurs sur le type et le nombre des paramètres lors de l'appel effectif de la fonction

Notes

Notes

Lecture au clavier

```
int x;
```

`fscanf`(stdin, "%d", &x);
Lit un entier dans le fichier stdin (entrée standard)

```
scanf("%d", &x);
```

Lit directement sur l'entrée standard

Puissance : lecture au clavier

```
#include <stdio.h>
double puissance (int a, int b) {
    /* Rôle : retourne a^b (ou 1.0 si b < 0) */
    double z = 1.0;
    while (b > 0) {
        z *= a; /* z = z * a */
        b -= 1; /* b = b - 1; */
    }
    return z;
}

int main (void) {
    int x;
    int y;
    double p;
    fprintf(stdout, "x = ");
    fscanf(stdin, "%d", &x);
    fprintf(stdout, "y = ");
    fscanf(stdin, "%d", &y);
    p = puissance(x, y);
    fprintf(stdout, "x = %d, y = %d, x^y = %.2f \n", x, y, p);
    return 0;
}
```

Notes

Notes

Lecture au clavier

- Dans les précédentes versions, pour modifier les valeurs de x et de y , il fallait modifier le texte source du programme, le recompiler et l'exécuter
- En C, on peut demander à l'utilisateur des valeurs sur l'entrée standard
 - `gcc -Wall -pedantic -ansi foo.c`
 - `./a.out`
`x = 3`
`y = 4`
`x = 3, y = 4, x^y = 81.00`

Un autre exemple

Écrire sur la sortie standard ce qui est lu sur l'entrée standard (l'entrée et la sortie standard sont ouvertes par défaut)

En pseudo-langage

```
// c un caractère
lire(c)
tant que (non findefichier(entrée)) {
    afficher(c)
    lire(c)
}
```

Notes

Notes

En C

```
#include <stdio.h>
int main (void) {
    char c;
    c = fgetc(stdin);
    while (c != EOF) {
        fputc(c, stdout);
        c = fgetc(stdin);
    }
    return 0;
}
```

En plus court

```
#include <stdio.h>
int main (void) {
    char c;
    while ((c = fgetc(stdin)) != EOF) {
        fputc(c, stdout);
    }
    return 0;
}
```

Notes

Un autre exemple

Compter le nombre de caractères lus sur l'entrée standard et écrire le résultat sur la sortie standard

En pseudo-langage

```
// nb un entier
nb <- 0
tant que (non findefichier(entrée)) {
    nb <- nb + 1
}
afficher(nb)
```

Notes

Une première version

```
#include <stdio.h>

/* Compte le nombre de caractères lus sur l'entrée standard jusqu'à une
   fin de fichier */
long compte (void); /* déclaration de compte */

int main (void) {
    fprintf(stdout, "nb de caractères = %ld\n", compte());
    return 0;
}

long compte (void) {
    long nb;
    nb = 0;
    while (getc(stdin) != EOF) {
        nb += 1;
    }
    return nb;
}
```

Notes

En C

```
#include <stdio.h>

/* Compte le nombre de caractères lus sur l'entrée standard jusqu'à une
   fin de fichier */
extern long compte (void); /* déclaration de compte */

int main (void) {
    fprintf(stdout, "nb de caractères = %ld\n", compte());
    return 0;
}

long compte (void) {
    long nb;
    for (nb = 0; getc(stdin) != EOF; nb++) {
        /* Rien */
    }
    return nb;
}
```

Notes

Compilation séparée

On veut réutiliser le plus possible les codes existants

- On organise le code : on le sépare par thème, par module :
 - Les fonctions de maths
 - Les fonctions d'entrée/sortie (affichage/saisie)
 - ...
- On met un ensemble de code source de fonctions (**définition des fonctions**) dans le même fichier .c
- Pour donner accès aux autres à ces fonctions, on doit donner leur signature (type de retour, nombre de paramètres, type des paramètres) = **déclaration**. On met ces déclarations dans un fichier public le .h

Compilation séparée

fichier `math.h` : fichier de “ déclarations ”

```
/* Retourne a^b (ou 1.0 si b < 0) */
double puissance (int, int);
```

fichier `math.c` : fichier de “ définitions ”

```
#include "math.h"
double puissance (int a, int b) {
    double z = 1.0;
    while (b > 0) {
        z *= a; /* z = z * a */
        b--; /* b = b - 1 */
    }
    return z;
}
```

Notes

Notes

Compilation séparée

Fichier `essai.c` : fichier principal

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

int main (int argc, char *argv[]) {
    int x;
    int y;
    if (argc != 3) {
        fprintf(stderr, "usage: %s x y >= 0 (x^y)\n", argv[0]);
        return 1;
    }
    x = atoi(argv[1]);
    y = atoi(argv[2]);
    if (y < 0) {
        fprintf(stderr, "usage: %s x y >= 0 (x^y)\n", argv[0]);
        return 2;
    }
    printf("x = %d, y = %d, x^y = %.2f\n", x, y, puissance(x, y));
    return 0;
}
```

Notes

Compilation séparée

- Dans cette version, les valeurs de `x` et de `y`, seront données en arguments de la commande
 - `gcc -Wall -pedantic -ansi math.c essai.c`
 - `./a.out 3 4`
`x = 3, y = 4, x^y = 81.00`
 - `./a.out 3`
`usage: ./a.out x y >= 0 (x^y)`
 - `./a.out 3 -4`
`usage: ./a.out x y >= 0 (x^y)`

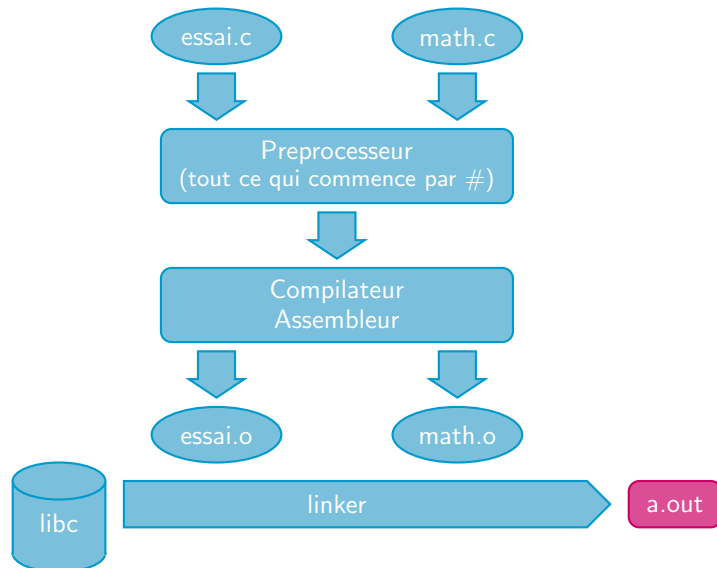
Notes

Déclarations et code

On va s'organiser un peu

- Il faut une déclaration avant utilisation
 - Prototypes mis dans un fichier : les `.h`
 - Code source des définitions : les `.c`
 - Certains fichiers sont déjà compilés (les objets) : les `.o`
 - On a des bibliothèques (comme `libc` ou les maths) : les `.so`
- Il faut arriver à gérer tout cela :
 - On compile les `.c` avec les `.h`,
 - On ne veut pas tout recompiler quand un `.c` est modifié, mais une modification d'un `.h` peut avoir de l'importance
 - On utilise les autres `.o` et les `lib`
- Le gestionnaire : l'utilitaire `make` avec les `makefile`; ou bien votre interface de développement

Compilation



Notes

Notes

Éléments lexicaux

- Commentaires : `/* */`
- Identificateurs : suite de lettres non accentuées, de chiffres ou de souligné, débutant par une lettre ou un souligné
- Mots réservés
- Classes de variables : `auto`, `const`, `extern`, `register`, `static`, `volatile`
- Instructions : `break`, `case`, `continue`, `default`, `do`, `else`, `for`, `goto`, `if`, `return`, `switch`, `while`
- Types : `char`, `double`, `float`, `int`, `long`, `short`, `signed`, `unsigned`, `void`
- Constructeurs de types : `enum`, `struct`, `typedef`, `union`

Séquences d'échappement

- `\a` : Sonnerie
- `\b` : Retour arrière
- `\f` : Saut de page
- `\n` : Fin de ligne
- `\r` : Retour chariot
- `\t` : Tabulation horizontale
- `\v` : Tabulation verticale
- `\\` : Barre à l'envers
- `\?` : Point d'interrogation
- `\'` : Apostrophe
- `\"` : Guillemet
- `\o` `\oo` `\ooo` : Nombre octal
- `\xh` `\xhh` : Nombre hexadécimal

Notes

Notes

Constantes

Type entier en notation décimale, octale ou hexadécimale

int	unsigned int	long	long long ou __int64
123	12u	100L	1234LL
0173	0123u	125L	128LL
0x7b	0xAb3	0x12UL	0xFFFFFFFFFFFFFFFFLL

Type réel

float	double	long double
123f	123e0	123l
12.3F	12.3	12.3L

Notes

Constantes

Type caractère (`char`)

- Un caractère entre apostrophes
 - `'a'`
 - `'\141'`
 - `'\x61'`
 - `'\n'`
 - `'\0'`
 - `'\12'`
- En C, un caractère est considéré comme un entier (conversion unaire)
 - `char` `ca = 'a';`
 - `char` `ca = 97;`
 - `char` `ca = '\141';`
 - `char` `ca = '\x61';`

Notes

Constantes

Type chaîne (char *) : chaîne placée entre guillemets

- ""
- "here we go"
- "une chaîne sur \
deux lignes"
- "et"
- "une autre"

Variable

- Une variable est un nom auquel on associe une valeur que le programme peut modifier pendant son exécution
- Lors de sa déclaration, on indique son type
- **Il faut déclarer toutes les variables avant de les utiliser**
- On peut initialiser une variable lors de sa déclaration
- On peut préfixer toutes les déclarations de variables par **const** (jamais modifiés)

Notes

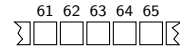
Notes

Variable

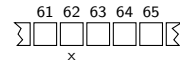
```
int x; // Réserve un emplacement pour un entier en mémoire
x = 10; // Écrit la valeur 10 dans l'emplacement réservé
```

- Une variable est destinée à contenir une valeur du type avec lequel elle est déclarée

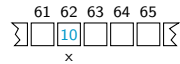
- Physiquement cette valeur se situe en mémoire



- `int x;`



- `x = 10;`



- `&x` : adresse de x en C : ici 62
Adresse = numéro de la case mémoire

Types élémentaires

- Signé ou pas :
 - `unsigned` : non signé pas de négatif si n bits : $0 \dots (2^n - 1)$
 - `signed` : signé, négatifs, si n bits $-2^n - 1 \dots (2^{n-1} - 1)$
- Type entier :
 - `short`, signé par défaut en général sur 16 bits
 - `int`, signé par défaut, sur 32 bits en général
 - `long`, signé par défaut, sur 32 ou 64 bits
 - `long long` sur 64 bits
- Type réel :
 - `float`, signé, sur 32 bits en général
 - `double`, sur 32 ou 64 bits
 - `long double`, souvent sur 64 bits

Notes

Notes

Types élémentaires

- Type spécial : `void`
 - ne peut pas être considéré comme un type “ normal ”
- Type caractère :
 - `char`, signé par défaut : $-128 \dots +128$
 - `unsigned char` : $0 \dots 255$ parfois appelé byte
- **PAS de type booléen** : 0 représente le faux, et une valeur différente de 0 le vrai
- **ATTENTION** nombre de bits du type n'est pas dans le langage

Principe du C

- On écrit des valeurs dans des cases mémoires
- On lit des cases mémoire et on interprète le contenu de ce qu'on a lu
- x est un `int`. J'écris 65 dans x : `int x = 65;`
- Je lis la valeur de x : c'est 65
- Je place 65 dans un `char` : `char c = 65;`
- J'affiche le résultat: j'obtiens la lettre A
- J'ai interprété le résultat, la valeur n'a pas changé
- Pour afficher des caractères on utilise une table de conversion, dite table ASCII. Dans cette table la valeur 65 correspond à A

Notes

Notes

Table ASCII

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[ENG OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

Principe du C

- On écrit des valeurs dans des cases mémoires
- On lit des cases mémoire et on interprète le contenu de ce qu'on a lu
- Ce qui est écrit est toujours écrit en binaire
- Codage des entiers (`int`, `long`, ...)
- Codages des flottants (`float`, `double`, ...)
- Ce n'est pas la même chose !
- Attention à l'interprétation

Notes

[illegible]

Notes

Représentation sur 32 bits (ou 64)

- Sur 32 bits, on peut représenter au plus 2^{32} informations différentes
- Si on représente des entiers on représente donc des nombres de 0 à 4 Milliards
- Comment représenter des nombres plus grands ?
- Comment représenter des nombres à virgule ?
- On va donner un sens différents aux bits

Représentation en base 2

- Système de numération (base 2, 10, 16)
- Représentation des entiers
- Représentation des nombres réels en virgule flottante

Notes

Notes

Bases 2, 10, 16

- \forall base b , un nombre n s'écrit $n = \sum_{i=0}^{\infty} a_i b^i$
- Base 10 :
 - $a_i \in \{0, 1, 2, \dots, 7, 8, 9\}$
 - $n = 1011_{10} = 1 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 1 \times 10^0 = 1011_{10}$
- Base 2 :
 - $a_i \in \{0, 1\}$
 - $n = 1011_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11_{10}$
- Base 16 :
 - $a_i \in \{0, 1, 2, \dots, 9, A, B, C, D, E, F\}$
 - $n = 1011_{16} = 1 \times 16^3 + 0 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 1 \times 16^0 = 4113_{10}$

Bases 2, 10, 16

Taille bornée des entiers stockés

Soit un entier m représenté sur n symboles dans une base b , on a $m \in [0, b^n - 1]$

Exemple

- sur 3 digits en décimal, on peut représenter les entiers $[0, 999]$
- sur 3 bits en binaire, on peut représenter les entiers $[0, 7]$
- sur 3 symboles en hexadécimal, on peut représenter les entiers $[0, 4095]$

Notes

Notes

Conversion vers la base 10

∀ base b , un nombre n s'écrit $n = \sum_{i=0}^{\infty} a_i b^i$

Exemple

- $010100_2 = 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$
 $= 16 + 4 = 20_{10}$
- $1111_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
 $= 8 + 4 + 2 + 1 = 15_{10}$
- $012_{16} = 0 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 2 \times 16^0$
 $= 16 + 2 = 18_{10}$
- $1AE_{16} = 1 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 14 \times 16^0$
 $= 256 + 160 + 14 = 430_{10}$

Notes

Conversion de la base 10 à la base 2

- Comment à partir de n retrouver les a_i ? $n = \sum_{i=0}^{\infty} a_i 2^i$
- Divisions successives
 - Jusqu'à l'obtention d'un quotient nul
 - Lecture du bas vers le haut

$$\begin{array}{l} 6 = 2 \times 3 + 0 \\ 3 = 2 \times 1 + 1 \\ 1 = 2 \times 0 + 1 \end{array} \quad \begin{array}{c} \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \end{array} \quad 6_{10} = 110_2$$

- Tableau de puissance de 2
 - Parcourir le tableau des 2^i de gauche à droite
 - Si $n \geq 2^i$, alors mettre 1 dans la case 2^i et $n = n - 2^i$
 - Sinon mettre 0 dans la case 2^i

2^3	2^2	2^1	2^0
0	1	1	0

$6_{10} = 0110_2$



Notes

Conversion de la base 10 à la base 16

- $n = \sum_{i=0}^{\infty} a_i 16^i$

- Divisions successives

- Jusqu'à l'obtention d'un quotient nul
- Lecture du bas vers le haut

$$687 = 16 \times 42 + 15$$

$$42 = 16 \times 2 + 10$$

$$2 = 16 \times 0 + 2$$

F
A
2

$$687_{10} = 2AF_{16}$$

- Tableau de puissance de 16

- Parcourir le tableau des 16^i de gauche à droite

- Si $n \geq 16^i$, alors mettre $n \div 16^i$ dans la case 16^i , et $n = n \bmod 16^i$
- Sinon mettre 0 dans la case 16^i

16^3	16^2	16^1	16^0
0	2	A	F

$$687_{10} = 02AF_{16}$$

Notes

Conversions base 2, base 16

De la base 2 à la base 16

- Séparer le nombre binaire en quartet (de droite à gauche)
- Convertir chaque quartet en hexadécimal
- Exemple : 11011110001010000_2
- Séparation en quartet : 1 1011 1100 0101 0000
- Conversion : $1\ 1011\ 1100\ 0101\ 0000_2 = 1\ B\ C\ 5\ 0_{16}$

De la base 16 à la base 2

- Conversion de chaque symbole par un quartet
- Exemple : $AF23_{16}$
- En quartet : $A_{16} = 1010_2$, $F_{16} = 1111_2$, $2_{16} = 0010_2$, $3_{16} = 0011_2$
- Conversion : $AF23_{16} = 1010\ 1111\ 0010\ 0011_2$

Notes

Exemples

- $1010_2 =$
- $1101000_2 =$
- $12_{16} =$
- $3A_{16} =$
- $27_{10} =$
- $35_{10} =$

Réels en virgule flottante

- On représente un nombre avec une **mantisse** et un **exposant**, similairement à la notation scientifique :
 $1,234 \times 10^3 (= 1234)$
- La mantisse et l'exposant doivent être représentés sur un **nombre fixe de chiffres**
- Le **biais**, pour avoir des exposants négatifs

Exemple

- Mantisse sur 5 chiffres $(\frac{1}{10^0} + \frac{2}{10^1} + \frac{3}{10^2} + \frac{4}{10^3} + \frac{0}{10^4}) m = 12340$
- Exposant sur 2 chiffres $(3 + 50) e = 53$
- Biais de 50
 $(12340|53)$

Notes

Notes

Réels en virgule flottante

- 0,0005 (5×10^{-4}) serait représenté par $m = 50000, e = 46$ (50000|46)
- Le plus grand nombre représentable est $(99999|99) = 9,9999 \times 10^{99} \times 10^{-50} = 9,9999 \times 10^{49}$
- Le plus petit (strictement positif) est $(00001|00) = 1.10^{-4} \times 10^{-50} = 10^{-54}$
- On ne peut pas représenter **exactement** 1,23456 sur cet exemple, puisque la mantisse ne peut avoir que 5 chiffres

Réels binaires en virgule flottante

- La représentation binaire en virgule flottante est analogue
- Par exemple une mantisse sur 5 bits, un exposant sur 3 bits et un biais d valant 3
 $(10110|110) = (1 + \frac{0}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{0}{2^4}) \times 2^{6-3} = 11$
 $1011_2 = 11_{10}, 1,0110_2 = 11_{10} \times 2^{-3}, (11 \times 2^{-3}) \times 2^3$
- La mantisse $b_0 b_1 b_2 \dots b_m$ représente le nombre **rationnel**
 $m = b_0 + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2^2} + \dots + \frac{b_m}{2^m}$
 (en forme normalisée, on a toujours $b_0 = 1$)
- L'exposant $x_n x_{n-1} \dots x_1 x_0$, représente l'**entier**
 $e = x_n \times 2^n + \dots + x_1 \times 2 + x_0$,
- La valeur représentée par le couple (m, e) est $m.2^{e-d}$

Notes

Notes

Réels binaires en virgule flottante

- La conversion de 0,xxxxx en binaire se fait en procédant par **multiplications successives**
- $0,375 = \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$
 $0,375 \times 2 = 0,75$
 $0,75 \times 2 = 1,5$
 $0,5 \times 2 = 1$
 $0,375_{10} = 0,011_2$

Réels binaires en virgule flottante

- La norme IEEE 754 définit 2 formats (un peu plus compliqués que le modèle précédant)
 - Simple précision : mantisse sur 23 bits, exposant sur 8, $d = 127$
 - Double précision : mantisse sur 52 bits, exposant sur 11, $d = 1023$
- Les calculs se font en précision étendue : mantisse sur au moins 64 bits, exposant sur au moins 15

Notes

Notes

Réels binaires en virgule flottante

- Sur 32 bits, la représentation entière jusqu'à l'ordre de grandeur 4×10^9 , la représentation flottante représente les nombres entre les ordres de grandeur 10^{-37} et 10^{37}
- Sur 64 bits, avec les entiers 1×10^{19} , avec les flottants 10^{-308} et 10^{308}
- Mais cette faculté d'exprimer de très petits ou de très grands nombres se paye par une approximation puisque seuls peuvent être **représentés exactement les nombres de la forme**

$$(b_0 + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2^2} + \dots + \frac{b_m}{2^m}) \times 2^{e-d}$$
- Sur n bits, on représente moins de nombres réels flottants différents que de nombres entiers !

Réels binaires en virgule flottante

- On a donc des erreurs d'arrondi : par exemple sur 32 bits,
 $1000 \times (\frac{1}{3000} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{3000}) \neq 1$
- $0,3_{10}$ n'est pas exactement représentable en binaire !
 $0,3 \times 2 = 0,6$
 $0,6 \times 2 = 1,2$
 $0,2 \times 2 = 0,4$
 $0,4 \times 2 = 0,8$
 $0,8 \times 2 = 1,6$
 $0,6 \times 2$: on boucle
 $0,3_{10} = 0,0100110011001\dots_2$
- 0,3 a une représentation finie en base 10 mais pas en base 2
- **Tous les nombres à virgule ne sont pas représentables**

Notes

Notes

Norme IEEE 754

- Le standard IEEE en format simple précision utilise 32 bits pour représenter un nombre réel x :
- $x = (-1)^s \times 2^{e-127} \times 1, m$
 - s est le bit de signe (1 bit)
 - e l'exposant (8 bits)
 - m la mantisse (23 bits)
- Pour la double et quadruple précision, le nombre de bits de la mantisse et de l'exposant, et donc le biais diffèrent

Notes

Notes
