1.1

Introduction Langage C

Jean-Charles Régin

Licence Informatique 2ème année

Remerciements

1.2

- Carine Fédèle

Plan du cours

- 8 cours
- Contrôle des connaissances :
  - Ecrit : 30%,
  - TP : 30%
  - controle terminal 40%
- Le cours et les TP
  - http://deptinfo.unice.fr/~regin/cours/cours/LangageC/introC.htm

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

Langage C

- Utilisé du micro-controleur au super-ordinateur
- Présent dans les systèmes embarqués
- Sont écrits en C
  - Unix
  - Linux
  - Windows
  - Tous les Compilateurs GNU
  - GNOME
  - Les machines virtuelles JAVA ☺

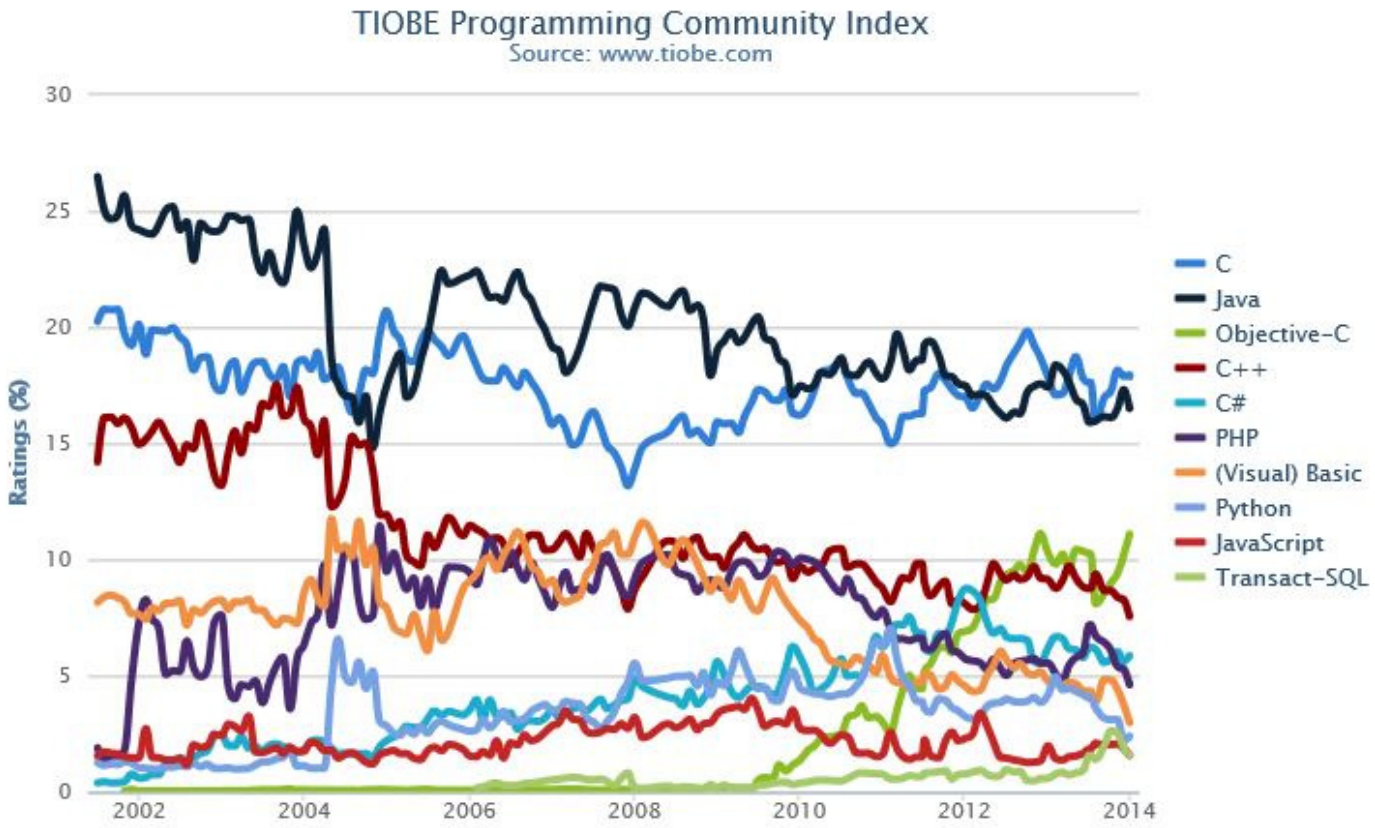
Langage C

- Un code C optimisé permet d'obtenir le code le plus rapide
- Fortran, C, C++ sont équivalents
- Java est plus lent

Tiobe : popularité des langages

Jan 2014	Jan 2013	Change	Programming Language	Ratings	Change
1	1		C	17.871%	+0.02%
2	2		Java	16.499%	-0.92%
3	3		Objective-C	11.098%	+0.82%
4	4		C++	7.548%	-1.59%
5	5		C#	5.855%	-0.34%
6	6		PHP	4.627%	-0.92%
7	7		(Visual) Basic	2.989%	-1.76%
8	8		Python	2.400%	-1.77%
9	10	^	JavaScript	1.569%	-0.41%
10	22	^^	Transact-SQL	1.559%	+0.98%
11	12	^	Visual Basic .NET	1.558%	+0.52%
12	11	v	Ruby	1.082%	-0.69%
13	9	vv	Perl	0.917%	-1.35%
14	14		Pascal	0.780%	-0.15%
15	17	^	MATLAB	0.776%	+0.14%
16	45	^^	F#	0.720%	+0.53%
17	21	^^	PL/SQL	0.634%	+0.05%
18	35	^^	D	0.627%	+0.33%
19	13	vv	Lisp	0.604%	-0.35%
20	15	vv	Delphi/Object Pascal	0.595%	-0.32%

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 Syst. Exploit. Logiciel Embarqué)
  - Contrôle de bas niveau : très puissant

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
  - Vieux langage

Langage C

- De très nombreux langages sont inspirés du C
  - C++ (C avec objets (encapsulation, héritage, généricité))
  - Java
  - PhP

Langage C

- Environnement de développement
  - Allez jeter un œil sur la page wikipedia du langage C (en français et en anglais)
  - Visual Studio express C++ est gratuit!
  - Avec DreamSpark (anciennement MSDNAA) vous avez le droit d'avoir plein de choses gratuitement : Windows, Visual Studio …
    - Mail à Fabrice Huet (Fabrice.Huet@sophia.inria.fr)

Langage C

- Langage normalisé (C99)

Langage C : pour débuter

- 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'a pas de paramètres, mettre `void` entre les parenthèses.

Compilateur gcc

- Portage compilateur gcc pour windows et linux
- minGw ou minGw64
- http://mingw.org/
- http://mingw-w64.sourceforge.net/

- Editeur : notepad++
- http://www.clubic.com/telecharger-fiche9567-notepad.html

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;
}
```

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; // a éviter

Quelques 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

On compile et on exécute

- On compile et on exécute.
- Compilation :
  - Avec un compilateur (gcc)
  - On prend le fichier source en entrée (monfichier.c)
  - En sortie cela crée un fichier a.out (sous Linux, monfichier.exe sous windows)
- gcc -Wall -pedantic -ansi foo.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);`
  - Ecrit un entier dans le fichier stdout (sortie standard)
- `printf("%d ",x);`
  - Ecrit directement sur la sortie standard

On affiche quelque chose

1.23

```
#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;
        y -= 1;
    }
    fprintf(stdout, " , z = %.2f \ n", z);
    return 0;
}
```

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

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 as 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 librairies sont suffixées par .a .sl .sa sous Unix et par .lib sous Windows
- Les librairies chargées dynamiquement (lors de l'exécution du programme et non aps lors de l'édition de liens) sont suffixées par .so sous Unix et .dll sous Windows.

Options du compilateur

- Quelques 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; 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;
}
```

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.
- Remarque : 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.

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

1.32

```
#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;
                b -= 1;
        }
        return z;
}
int main (void) {
        int x;
        int y;
        fprintf(stdout, " x = ");
        fscanf(stdin, "%d ", &x);
        fprintf(stdout, " y = ");
        fscanf(stdin, "%d ", &y);
        fprintf(stdout," x = %d, y = %d, x^y = %.2f \ n ",x, y,puissance(x, y));
        return 0;
}
```

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 :

```
variable c : caractère
début
        lire(c)
        tantque non findefichier(entrée) faire
                écrire(c)
                lire(c)
        fintantque
fin
```

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 C : (en plus court)


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

Un autre exemple

- Compter le nombre de caractères lus sur l'entrée standard et écrire le résultat sur la sortie standard.
- En pseudo-langage :

```
variable nb : entier
début
        nb := 0
        tantque non fdf(entrée) faire
                nb := nb + 1
        fintantque
        afficher(nb)
fin
```

Une première version

- Une première version (les fonctions non déclarées avant leur utilisation sont considérées comme renvoyant un entier) :
- ```
  #include <stdio.h>
  long compte (void); /* déclaration de compte */
  /* Rôle : compte le nombre de caractères lus sur l'entrée
  standard jusqu'à une fin de fichier */
  int main (void) {
       fprintf(stdout, "nb de caractères = %ld \ n", compte());
       return 0;
  }
  ```
- ```
  long compte (void) { /* définition de compte */
       long nb;
       nb = 0;
       while (fgetc(stdin) != EOF){
              nb += 1;
       }
       return nb;
  }
  ```

En C :


```
#include <stdio.h>
extern long compte (void);
/* Rôle : compte le nombre de caractères lus sur l'entrée
standard jusqu'à une fin de fichier */
int main (void) {
    fprintf(stdout, "nb de caractères = %ld \ n", compte());
    return 0;
}
```

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

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 publique le .h

Compilation séparée

- fichier math.h : fichier de « **déclarations** »

- **double puissance (int , int);**

/* Rôle : retourne a^b (ou 1.0 si b < 0) */

Compilation séparée

- fichier math.c : fichier de « **définitions** »

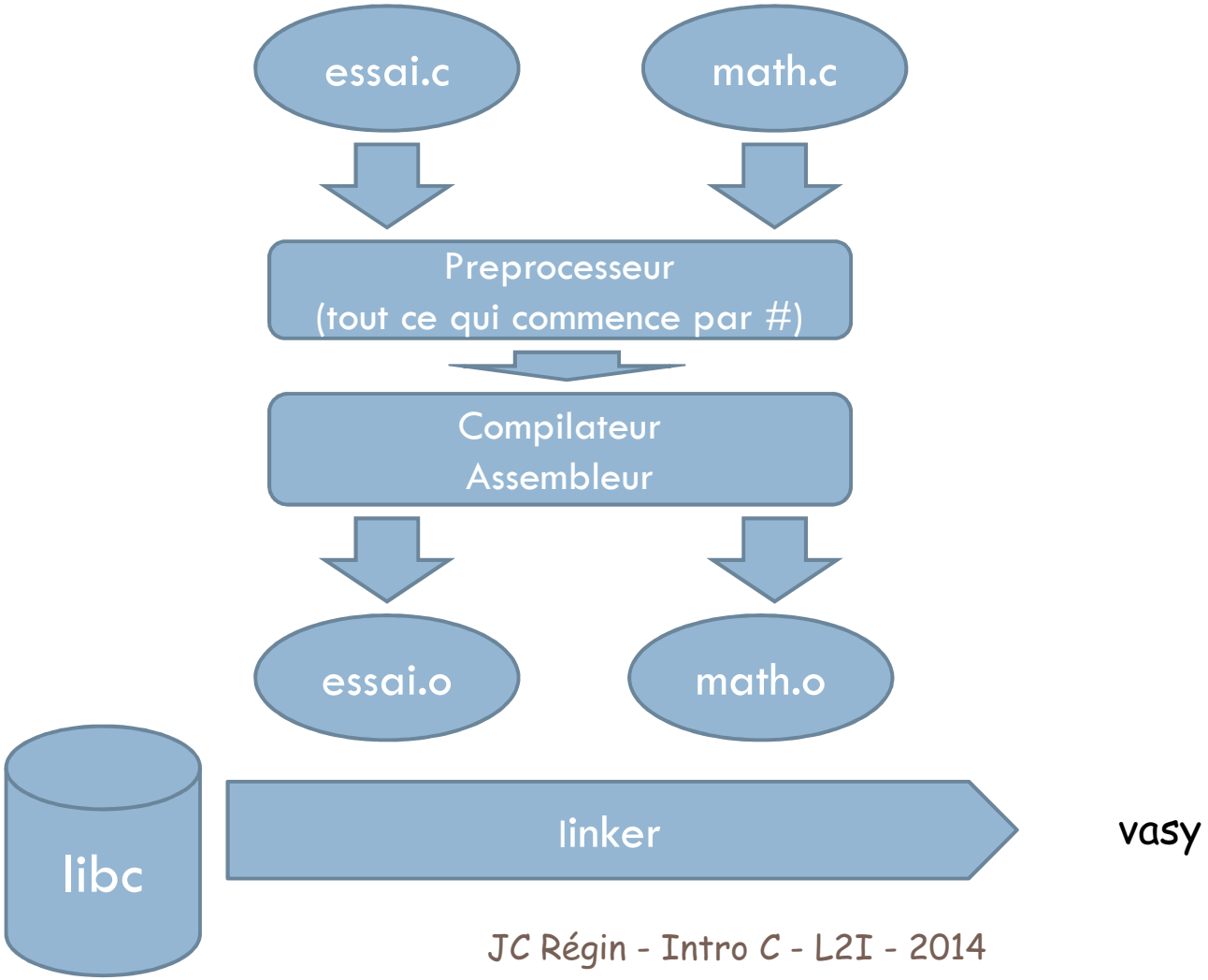
- ```
  #include "math.h"
  double puissance (int a, int b) {
        double z = 1.0;
        while (b > 0) {
              z *= a;
              b--;
        }
        return z;
  }
  ```
  ```

- Fichier essai.c : fichier principal
-
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "math.h"
int main (int argc, char *argv[]) {
        if (argc != 3) {
                fprintf(stderr, " usage: %s x y>=0 (x^y ) \ n", argv[0]);
                return 1;
        }
        int x = atoi(argv[1]);
        int 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, z = %.2f \n" ,x, y, puissance(x, y));
return 0;
}
```

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 librairies (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 modif 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



vasy

Eléments 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

Constantes

- Constantes de 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

- Constantes de type réel

float	double	long double
123e0	123.456e+78	
12.3f 12.3L 12.3 12F		

Constantes

- Constantes de 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'; /* tout est équivalent */
  - char ca = 97;
  - char ca = '\141';
  - char ca = '\x61';

Constantes

- Constantes de type chaîne (char *) : chaîne placée entre guillemets
  - ""
  - "here we go"
  - "une chaîne sur \
    deux lignes"
  - "et"
  - "une autre"

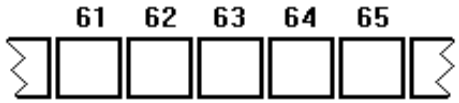
Variables

- 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).

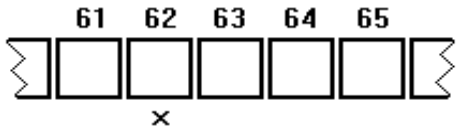
Variable

- `int x; // Réserve un emplacement pour un entier en mémoire.`
- `x = 10; // Ecrit 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.



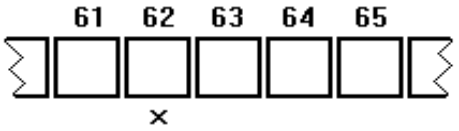
- int x;



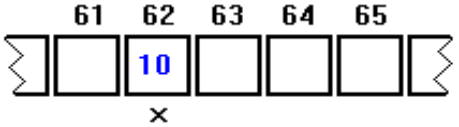
Variable

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

- 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 .. (2^n – 1)
  - signed : signé, négatifs, si n bits -2^{n-1} .. (2^{n-1} – 1)
- Type spécial : void
  - ne peut pas être considéré comme un type « normal »
- Type caractère :
  - char , signé par défaut : -128..+128
  - unsigned char : 0..255 parfois appelé byte
- Type entier :
  - short, signé par défaut en général sur 16 bits
  - int, signé par défaut, sinon unsigned int peut s'écrire unsigned : 32 bits en général
  - long, signé par défaut . Attention 32 ou 64 bits
  - long long sur 64 bits

Types élémentaires

- Type réel :
  - float, signé, en général 32 bits
  - double, 32 ou 64 bits
  - long double, souvent 64 bits
- **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

Table ASCII

ASCII TABLE

Decimal	Hexadecimal	Binary	Octal	Char
0	0	0	0	[NULL]
1	1	1	1	[START OF HEADING]
2	2	10	2	[START OF TEXT]
3	3	11	3	[END OF TEXT]
4	4	100	4	[END OF TRANSMISSION]
5	5	101	5	[ENQUIRY]
6	6	110	6	[ACKNOWLEDGE]
7	7	111	7	[BELL]
8	8	1000	10	[BACKSPACE]
9	9	1001	11	[HORIZONTAL TAB]
10	A	1010	12	[LINE FEED]
11	B	1011	13	[VERTICAL TAB]
12	C	1100	14	[FORM FEED]
13	D	1101	15	[CARRIAGE RETURN]
14	E	1110	16	[SHIFT OUT]
15	F	1111	17	[SHIFT IN]
16	10	10000	20	[DATA LINK ESCAPE]
17	11	10001	21	[DEVICE CONTROL 1]
18	12	10010	22	[DEVICE CONTROL 2]
19	13	10011	23	[DEVICE CONTROL 3]
20	14	10100	24	[DEVICE CONTROL 4]
21	15	10101	25	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]
22	16	10110	26	[SYNCHRONOUS IDLE]
23	17	10111	27	[ENG OF TRANS. BLOCK]
24	18	11000	30	[CANCEL]
25	19	11001	31	[END OF MEDIUM]
26	1A	11010	32	[SUBSTITUTE]
27	1B	11011	33	[ESCAPE]
28	1C	11100	34	[FILE SEPARATOR]
29	1D	11101	35	[GROUP SEPARATOR]
30	1E	11110	36	[RECORD SEPARATOR]
31	1F	11111	37	[UNIT SEPARATOR]
32	20	100000	40	[SPACE]
33	21	100001	41	!
34	22	100010	42	"
35	23	100011	43	#
36	24	100100	44	$
37	25	100101	45	%
38	26	100110	46	&
39	27	100111	47	'
40	28	101000	50	(
41	29	101001	51	)
42	2A	101010	52	*
43	2B	101011	53	+
44	2C	101100	54	,
45	2D	101101	55	-
46	2E	101110	56	.
47	2F	101111	57	/
48	30	110000	60	0
49	31	110001	61	1
50	32	110010	62	2
51	33	110011	63	3
52	34	110100	64	4
53	35	110101	65	5
54	36	110110	66	6
55	37	110111	67	7
56	38	111000	70	8
57	39	111001	71	9
58	3A	111010	72	:
59	3B	111011	73	;
60	3C	111100	74	<
61	3D	111101	75	=
62	3E	111110	76	>
63	3F	111111	77	?
64	40	1000000	100	@
65	41	1000001	101	A
66	42	1000010	102	B
67	43	1000011	103	C
68	44	1000100	104	D
69	45	1000101	105	E
70	46	1000110	106	F
71	47	1000111	107	G
72	48	1001000	110	H
73	49	1001001	111	I
74	4A	1001010	112	J
75	4B	1001011	113	K
76	4C	1001100	114	L
77	4D	1001101	115	M
78	4E	1001110	116	N
79	4F	1001111	117	O
80	50	1010000	120	P
81	51	1010001	121	Q
82	52	1010010	122	R
83	53	1010011	123	S
84	54	1010100	124	T
85	55	1010101	125	U
86	56	1010110	126	V
87	57	1010111	127	W
88	58	1011000	130	X
89	59	1011001	131	Y
90	5A	1011010	132	Z
91	5B	1011011	133	[
92	5C	1011100	134	\
93	5D	1011101	135	]
94	5E	1011110	136	^
95	5F	1011111	137	_
96	60	1100000	140	`
97	61	1100001	141	a
98	62	1100010	142	b
99	63	1100011	143	c
100	64	1100100	144	d
101	65	1100101	145	e
102	66	1100110	146	f
103	67	1100111	147	g
104	68	1101000	150	h
105	69	1101001	151	i
106	6A	1101010	152	j
107	6B	1101011	153	k
108	6C	1101100	154	l
109	6D	1101101	155	m
110	6E	1101110	156	n
111	6F	1101111	157	o
112	70	1110000	160	p
113	71	1110001	161	q
114	72	1110010	162	r
115	73	1110011	163	s
116	74	1110100	164	t
117	75	1110101	165	u
118	76	1110110	166	v
119	77	1110111	167	w
120	78	1111000	170	x
121	79	1111001	171	y
122	7A	1111010	172	z
123	7B	1111011	173	{
124	7C	1111100	174	|
125	7D	1111101	175	}
126	7E	1111110	176	~
127	7F	1111111	177	[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

Représentation en base 2

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

Bases 2, 10, 16

- $\forall$ la base *B*, un nombre *N* s'écrit $N = \sum_{i=0}^{\infty} a_i b^i$
- Base 10 :
  - valeurs possibles de a_i 0, 1, 2, …, 7, 8, 9
  - $N = 1011_{10} = 1*10^3+0*10^2+1*10^1+1*10^0 = 1011_{10}$
- Base 2 :
  - valeurs possibles de a_i 0, 1
  - $N = 1011_2 = 1*2^3+0*2^2+1*2^1+1*2^0 = 11_{10}$
- Base 16 :
  - valeurs possibles de a_i 0, 1, 2, …, 9, A, B, C, D, E, F
  - $N = 1011_{16} = 1*16^3+0*16^2+1*16^1+1*16^0 = 4113_{10}$

Bases 2, 10, 16

- Taille bornée des entiers stockés
  - Soit un entier M représenté sur n symboles dans une base *b*, on a $M \in [0, b^n-1]$
  - Exemples :
    - sur 3 digits en décimal, on peut représenter les entiers $\in [0, 999]$
    - sur 3 bits en binaire, on peut représenter les entiers $\in [0, 7]$
    - sur 3 symboles en hexadécimal, on peut représenter les entiers $\in [0, 4095]$

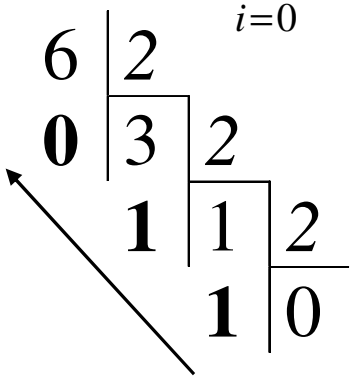
Conversion 2->10, 16->10

- $\forall$ la base *b*, un nombre *N* s'écrit $N = \sum_{i=0}^{\infty} a_i b^i$
- Exemples :
  - $010100_2 = 0*2^0+0*2^1+1*2^2+0*2^3+1*2^4+0*2^5 = 4 + 16 = 20_{10}$
  - $1111_2 = 1*2^0+1*2^1+1*2^2+1*2^3 = 1+2+4+8 = 15_{10}$
  - $012_{16} = 2*16^0+1*16^1+0*16^2 = 2+16 = 18_{10}$
  - $1AE_{16} = 14*16^0+10*16^1+1*16^2 = 14+160+256=430_{10}$

Conversion 10->2

- Comment à partir de N retrouver les a_i ?
- Divisions successives
  - Jusqu'à l'obtention d'un quotient nul
  - Attention : lecture du bas vers le haut

$$N = \sum_{i=0}^{\infty} a_i 2^i$$



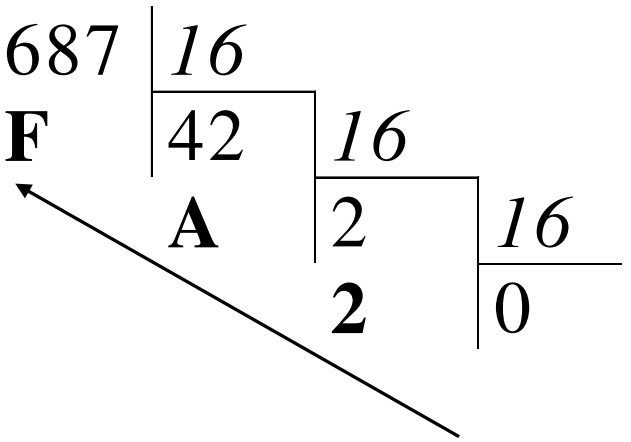
- Tableau de puissance de 2
  - Parcourir le tableau des 2^i de gauche à droite
    - Si $N \geq 2^i$, alors mettre 1 dans case 2^i et $N=N-2^i$
    - Sinon mettre 0 dans case 2^i
  - Continuer jusqu'à 2^0
- Exemple = $6_{10}=110_2$

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

Conversion 10->16

- Idem base 2
- Divisions successives
  - Jusqu'à l'obtention d'un quotient nul
  - Attention : lecture du bas vers le haut

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



- Tableau de puissance de 16
  - Parcourir le tableau des 16^i de gauche à droite
    - Si $N \geq 16^i$, alors mettre 1 dans case 16^i et $N=N-16^i$
    - Sinon mettre 0 dans case 16^i
  - Continuer jusqu'à 16^0
- Exemple = $687_{10}=2AF_{16}$

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

Conversion 2->16, 16->2

- 2->16 :
  - Séparer le nombre binaire en **quartet** (de droite à gauche)
  - Convertir chaque quartet en hexadécimal
- Exemple : 1101111100010100000_2
  - Séparation en quartet : 1 1011 1100 0101 0000
  - Conversion : $1\ 1011\ 1100\ 0101\ 0000_2 = 1\ B\ C\ 5\ 0_{16}$
- 16->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 : $AF23_{16} = 1010\ 1111\ 0010\ 0011_2$

Exemples

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

Réels en virgule flottantes

- On représente un nombre avec une *mantisse et un exposant : vous connaissez la notation scientifique :*
  - $1{,}234 \times 10^3$ (=1234)
- Imaginez que la mantisse et l'exposant doivent être représentés sur un **nombre fixe de chiffres** (respectivement 5 et 2 par exemple), et qu'il faille ôter 50 de l'exposant (le *biais, pour avoir* des exposants négatifs) pour 1234^{53}, on aurait alors
  - Mantisse = 12340
  - Exposant = 53-50 =3
  - soit $(1+2/10+3/10^2+4/10^3)\times 10^{53-50}$

Réels en virgule flottante

- Donc, 0,0005 (5×10^{-4}) serait représenté par m=50000 e=46 (50000|46)
- Le plus grand nombre représentable est 99999|99
- Le plus petit (strictement positif) est 00001|00 = 1.10^{-4} x 10^{-50} = 10^{-54}
- Il est clair qu'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 : avec par exemple une mantisse sur 5 bits, un exposant sur 3 bits et un biais D valant 3
  - 10110 |110 : $(1+1/4+1/8)\times 2^{6-3}=11$, ou, autre façon de calculer, $(11\times 2^{-3})\times 2^3$ (puisque $1011_2=11_{10}$, $1{,}0110_2=11_{10}\times 2^{-3}$)

- La mantisse $b_0b_1b_2...b_m$ (en forme *normalisée, on a toujours* $b_0 = 1$) représente le nombre **rationnel** $\mathbf{m = b_0+b_1/2+b_2/2^2+...b_m/2^m}$

- l'exposant $x_nx_{n-1}...x_1x_0$, représente l'**entier** $\mathbf{x=x_n2^n+...x_12+x_0}$,

- et la valeur représentée par le couple (m,x) est $\mathbf{m.2^{x-D}}$

Réels binaires en virgule flottante

- La conversion de 0,xxxxx en binaire se fait en procédant par **multiplications successives**
- 0,375 = ¼ + 1/8
  - 0,375 x 2 = 0,75 on obtient 0
  - 0,75 x 2 = 1,5 on obtient 1
  - 0,5 x 2 = 1 on obtient 1
  - 0 c'est fini
  - Le résultat est $0,011_2$

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

Réels binaires en virgule flottante

- La représentation entière ne permet de compter que jusqu'à l'ordre de grandeur 4×10^9 (sur 32 bits), alors que la représentation flottante permet de représenter les nombres entre les ordres de grandeur 10^{-37} et 10^{37} (sur 32 bits) ou 10^{-308} et 10^{308} (sur 64 bits) : on serait tenté de n'utiliser qu'elle !

- 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 $(b_0+b_1/2+b_2/2^2+...b_m/2^m) \times 2^{x-D}$**

- On a donc des erreurs d'arrondi : par exemple sur 32 bits, 1000 × (1/3000 + 1/3000 + 1/3000) ≠ 1
- $0,3_{10}$ n'est pas exactement représentable en binaire !

- **sur n bits, on représente moins de nombres réels flottants *différents que de nombres entiers !***

Réels binaires en virgule flottante

- La conversion de 0,xxxxx en binaire se fait en procédant par **multiplications successives**

- 0,3
  - 0,3 x 2 = 0,6 on obtient 0
  - 0,6 x 2 = 1,2 on obtient 1
  - 0,2 x 2 = 0,4 on obtient 0
  - 0,4 x 2 = 0,8 on obtient 0
  - 0,8 x 2 = 1,6 on obtient 1
  - 0,6 x 2 : on boucle
  - Le résultat est $0,0100110011001\ldots_2$: ca ne s'arrête jamais !

- Problème 0,3 a une représentation fini en base 10 mais pas en base 2 : je ne peux pas représenter tous les nombres à virgule

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, seul le nombre de bits de l'exposant et de la mantisse diffèrent.

Type énuméré

1.75

```
#include <stdio.h>
enum Lights { green, yellow, red };
enum Cards { diamond=1, spade=-5, club=5, heart };
enum Operator { Plus = '+', Min = '-', Mult = '*', Div = '/' };
int main (void) {
    enum Lights feux = red;
    enum Cards jeu = spade;
    enum Operator op = Min;


    printf("L = %d %d %d\n", green, yellow, red);
    printf("C = %d %d %d %d\n", diamond, spade, club, heart);
    printf("O = %d %d %d %d\n", Plus, Min, Mult, Div);
    jeu = yellow;
    printf("%d %d %c\n", feux, jeu, op);
    return 0;
}
```

Type énuméré

- On peut affecter ou comparer des variables de types énumérés.
- Un type énuméré est considéré comme de type int : la numérotation commence à 0, mais on peut donner n'importe quelles valeurs entières.
- Comme on a pu le remarquer, il n'y a pas de vérification.

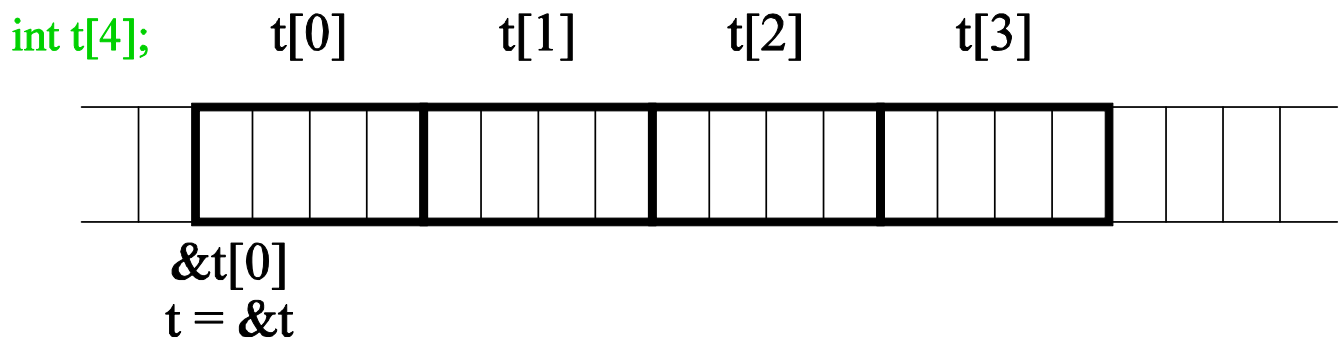
Types structurés

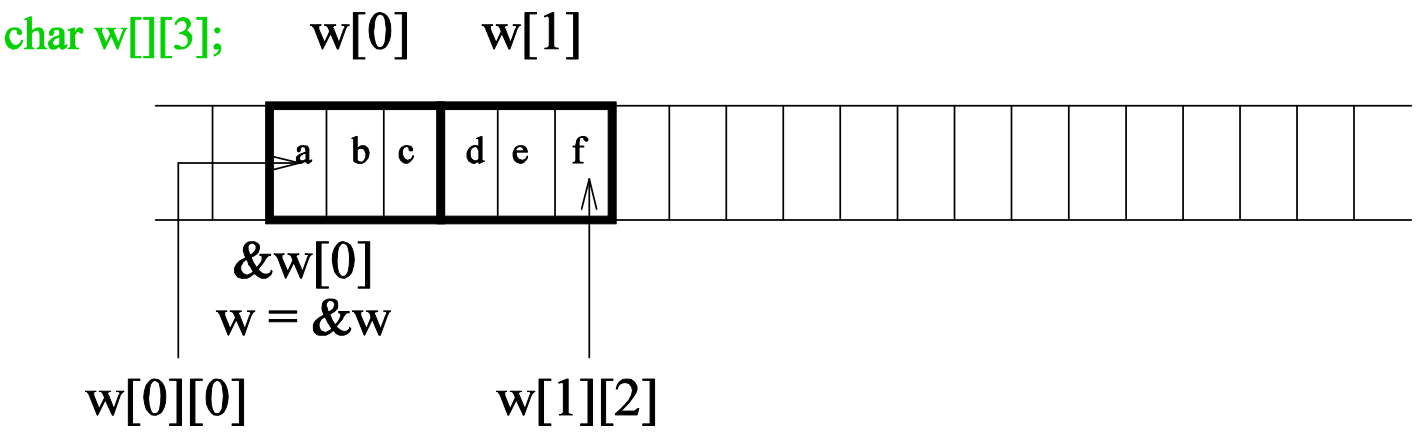
1.77

```
#include <stdio.h>


int main (void) {
	int t[4];
	int i;
	int j;
	int u[] = {0, 1, 2, 3};
	float x[3][10];
	char w[][3] = {{'a', 'b', 'c'}, {'d', 'e', 'f'}};
	for (i = 0; i < 4; i++) {
		t[i] = 0; printf("t[%d]=%d ", i, t[i]);
	}
	fputc('\n', stdout);
	for (i = 0; i < 2; i++) {
		for (j = 0; j < 3; j++) {
			w[i][j] = 'a'; fprintf(stdout, "w[%d][%d]=%c ", i, j, w[i][j]);
		}
		fputc('\n', stdout);
	}
	return 0;
}
```

Tableaux





Tableaux

- Tableaux à une seule dimension : possibilité de tableau de tableau.
- Dans ce cas, la dernière dimension varie plus vite.
- Indice entier uniquement (borne inférieure toujours égale à 0).
- On peut initialiser un tableau lors de sa déclaration (par agrégat).
- Dimensionnement automatique par agrégat (seule la première dimension peut ne pas être spécifiée).
- Les opérations se font élément par élément. Aucune vérification sur le dépassement des bornes.

Tableaux

- La dimension doit être connue **statiquement** (lors de la compilation)

```
int n = 10;
int t[n]; /* INTERDIT */
```

- Ce qu'il faut plutôt faire :

```
#define N 10
...
int t[N]; /* c'est le préprocesseur qui travaille */
```

- On verra plus tard comment définir des tableaux de façon **dynamique** (taille connue à l'exécution)

Tableaux : initialisation

1.81

```
#include <stdio.h>

void init (int t[], int n, int v) {
        int i;
        for (i = 0; i < n; i++)
                t[i] = v;
        }

}

void aff (int t[], int n) {
        int i;
        for (i = 0; i < n; i++){
                printf("%d ", t[i]);
        }
        printf("\n");

}

int main (int argc, char *argv[]) {
         int tab[] = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0};
        aff(tab, 5);
        init(tab, 5, 0);
        aff(tab, 10);
        return 0;

}
```

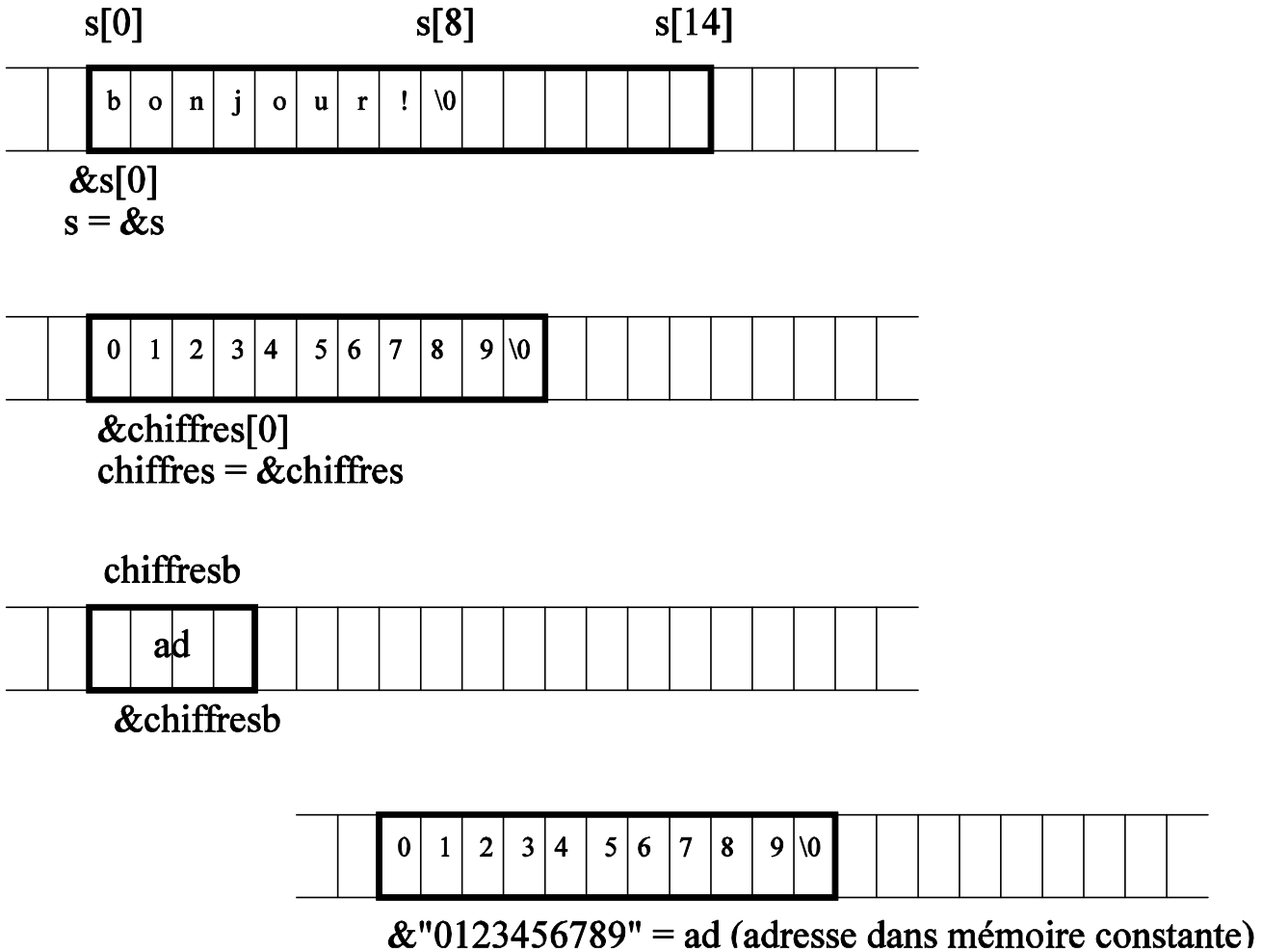
Chaines de caractères

- Ce sont des tableaux de caractères : ce n'est donc pas un vrai type.
- Par convention, elles se terminent par le caractère nul \0 (valeur 0).
- Il n'y a pas d'opérations pré-définies (puisque ce n'est pas un type), mais il existe des fonctions de bibliothèque, dont le fichier de déclarations s'appelle string.h (toutes ces fonctions suivent la convention).

- char string1[100];
- char s[15] = {'b', 'o', 'n', 'j', 'o', 'u', 'r', '!', '\0'}; /* "bonjour!" */
- char chiffres[] = "0123456789";
- char *chiffresb = "0123456789";

- Ecriture sur la sortie standard :
  - printf("%s",chiffres);
  - fputs(chiffres,stdout);

Chaines de caractères



Chaines de caractères : initialisation

1.84

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

int main (void) {
    char chaine[] = "bonjour ";
    char chRes[256];

    printf("%s\n", strcpy(chRes, chaine));
    printf("%s\n", strcat(chRes, "tout le monde!"));
    printf("%s\n", chRes);
    return 0;
}
```

Structures


```
#include <stdio.h>
struct date {
      short jour, mois, annee;
};
struct personne {
      int num; /* numéro de carte */
      struct date neLe;
      short tn[3]; /* tableau de notes */
};
int main (void) {
      struct personne p;
      struct personne etud[2];
      short e, n, somme;
      p.num = 15;
      p.neLe.jour = 5;
      p.neLe.mois = 10;
      p.neLe.annee = 1992;
      p.tn[0] = 10;
      p.tn[1] = 15;
      p.tn[2] = 20;
      etud[0] = p;
```

Structures


```
int main (void) {
	struct personne p, etud[2];
	short e, n, somme;
	p.num = 15;
	p.neLe.jour = 5;
	p.neLe.mois = 10;
	p.neLe.annee = 1992;
	p.tn[0] = 10;
	p.tn[1] = 15;
	p.tn[2] = 20;
	etud[0] = p;
	p.num = 20;
	p.neLe.jour = 1;
	p.neLe.mois = 1;
	p.neLe.annee = 1995;
	p.tn[0] = 0;
	p.tn[1] = 5;
	p.tn[2] = 10;
	etud[1] = p;
	for (e = 0; e < 2; e++) {
		somme = 0;
		for (n = 0; n < 3; n++){
			somme = somme + etud[e].tn[n];
		}
		printf("moy de %d, ne en %d = %.2f\n",
		etud[e].num, etud[e].neLe.annee,
		somme/(double)3);
	}
	return 0;
}
```

Structures


```
struct personne {
   int num; /* numéro de carte */
   struct date neLe;
   short tn[3]; /* tableau de notes */
};
```

- Objet composite formé d'éléments de types quelconques.
- La place réservée est la somme de la longueur des champs (au minimum, à cause de l'alignement).
- On peut affecter des variables de types structures.
- Lors de la déclaration de variables de types structures, on peut initialiser avec un agrégat.

Union


```
union aword {
   unsigned int i;
   unsigned char b[4];
   unsigned short s[2];
};
```

- const aword a ={ buf[k]}; /* initialisation */
  if (a.i) cnt += (lut[a.b[0]] + lut[a.b[1]] + lut[a.b[2]] + lut[a.b[3]]);

Union

- La place réservée est le maximum de la longueur des champs.
- Sert à partager la mémoire dans le cas où l'on a des objets dont l'accès est exclusif.
- Sert à interpréter la représentation interne d'un objet comme s'il était d'un autre type.

Champs de bits

1.90

```
#include <stdio.h>
typedef struct {
    unsigned rouge : 10;
    unsigned vert : 10;
    unsigned bleu : 10;
    unsigned : 2;
} couleur;
int main (void) {
    couleur rouge = {0x2FF, 0x000, 0x000}, vert = {0x133, 0x3FF, 0x133},
    bleu = {0x3FF, 0x3FF, 0x2FF};
    printf("rouge = %x\tvert = %x\tbleu = %x\n", rouge, vert, bleu);
    printf("rouge = %u\tvert = %u\tbleu = %u\n",rouge, vert, bleu);
    return 0;
}
```

Champs de bits

- Pour les champs de bits, on donne la longueur du champ en bits; longueur spéciale 0 pour forcer l'alignement (champ sans nom pour le remplissage). Attention aux affectations (gauche à droite ou vice versa).

- Utiliser pour coder plusieurs choses sur un mot :
  - Je veux coder les couleurs sur un mot machine (ici 32 bits)
  - 3 couleurs donc10 bits par couleur au lieu d'un octet

Champs de bits

- Dépend fortement de la machine, donc difficilement transportable.
- Architectures droite à gauche : **little endian** (petit bout)
  - Octet de poids faible en premier (adresse basse)
  - x86
- Architectures gauche à droite : **big endian** (gros bout)
  - Octet de poids fort en premier (adresse basse)
  - Motorola 68000

- Souvent remplacé par des masques binaires et des décalages

Définition de types : typedef

- Mot-clé typedef (très utilisé). Permet de définir de nouveau type (aide le compilateur)

```
typedef int Longueur;
typedef char tab_car[30];
typedef struct people {
    char Name[20];
    short Age;
    long SSNumber;
} Human;
typedef struct node *Tree;
typedef struct node {
    char *word;
    Tree left;
    Tree right;
} Node;
typedef int (*PFI) (char *, char *);
```

Instructions : instruction vide

- Dénotée par le point-virgule.
- Le point-virgule sert de terminateur d'instruction : la liste des instructions est une suite d'instructions se terminant toutes par un ';'.
- ```
  for (; (fgetc(stdin) != EOF); nb++)
        /* rien */ ;
  ```
- Note :
  - Ne pas mettre systématiquement un ; après la parenthèse fermante du for...
  - Mettre toujours des { }, avec les if et les for
  ```

Expression, affectations et instructions

- En général
  - instruction = action
  - expression = valeur

- Une expression a un *type statique* (*c'est-à-dire qui ne dépend pas de* l'exécution du programme) et une *valeur*.
- L'affectation en C est dénotée par le signe '='.

Affectation composée

- partie_gauche ?= expression
  ? est l'un des opérateurs suivants :
  * / % - + << >> & ^ |

- ```
  int main (int argc, char *argv[]) {
        int a, b;
        a = b = 3;
        3; /* warning: statement with no effect */
        a += 3; /* a = a + 3 */
        a -= 6: /* a = a – 6; */
        a *= 3 - 5; /* a = a * (3 - 5) */
        a *= (3 - 5); /* a = a * (3 - 5) */
        return 0;
  }
  ```
  ```

Bloc

- Sert à grouper plusieurs instructions en une seule.
- Sert à restreindre (localiser) la visibilité d'une variable.
- Sert à marquer le corps d'une fonction.

```
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
    int i = 3, j = 5;
    {
            int i = 4;
            printf(" i = %d, j = %d \ n ", i, j);
            i++; j++;
    }
    printf(" i = %d, j = %d \ n", i, j); /* valeur de i et j ? */
    return 0;
}
```

Instruction conditionnelle

- Il n'y a pas de mot-clé « alors » et la partie « sinon » est facultative.
- La condition doit être parenthèsée.
- **Rappel : en C, il n'y a pas d'expression booléenne ; une expression** numérique est considérée comme faux si sa valeur est égale à 0, vrai sinon.

Instruction Conditionnelle


```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
    int x, y = -3, z = -5;
    printf(" valeur de x? ");
    scanf("%d ", &x);
    if (x == 0)
    x = 3;
    else  if (x == 2) {
            x = 4; y = 5;
            }
    else
    z = x = 10;
    printf(" x = %d, y = %d, z = %d \ n", x, y, z);
    if (0) x = 3; else x = 4; /* à éviter */
    return 0;
}
```

Instruction Conditionnelle


```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
      int x, y = -3, z = -5;
      printf(" valeur de x? ");
      scanf("%d ", &x);
      if (x == 0) {
                  x = 3;
      } else {
                  if (x == 2) {
                              x = 4; y = 5;
                  } else {
                              z = x = 10;
                  }
      }
      printf(" x = %d, y = %d, z = %d \ n", x, y, z);
      if (0) x = 3;
      else x = 4;
      return 0;
}
```

Aiguillage (switch)

- Là encore, l'expression doit être parenthèsée.
- Les étiquettes de branchement doivent avoir des valeurs calculables à la compilation et de type *discret*.
- Pas d'erreur si aucune branche n'est sélectionnée.
- **Exécution des différentes branches en séquentiel** : ne pas oublier une instruction de débranchement (**break par exemple**)

Switch

1.102

```
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
        short i = 0, nbc = 0, nbb = 0, nba = 0;
        if (argc != 2) {
                fprintf(stderr, " usage: %s chaîne \ n", argv[0]);
                return 1;
        }
        while (argv[1][i]) {
                switch (argv[1][i]) {
                                case ' 0' :
                                case ' 1' :
                                case ' 2' :
                                case ' 3' :
                                case ' 4' :
                                case ' 5' :
                                case ' 6' :
                                case ' 7' :
                                case ' 8' :
                                case ' 9' : nbc++; break;
                                case ' ' :
                                case ' \ t ' :
                                case ' \n' : nbb++; break;
                                default : nba++;
                };
                i++;
        }
        printf(" chiffres = %d, blancs = %d , autres = %d \ n", nbc, nbb, nba);
        return 0;}
```

Les boucles

- **while** ***(expression_entière)***
  instruction

```
#include <stdio.h>
#define MAX 30
int main (int argc, char *argv[]) {
    char tab[MAX], c;
    int i;
    i = 0;
    while ((i < MAX - 1) && (c = fgetc(stdin)) != EOF){
            tab[i++] = c;
    }
    tab[i] = ' \ 0 ' ;
    printf(" \n %s\ n ", tab);
    return 0;
}
```

Les boucles

- **do**
  instruction
  while (expression_entière);

```
#include  <stdio.h>
#include  <string.h>
#include  <ctype.h>
#define  NB  3
int  main  (int  argc,  char  *argv[])  {
    char  rep[NB];
    do  {
        printf(" Voulez vous sortir ? " );
        fgets(rep, NB, stdin);
        rep[0] = toupper(rep[0]);
    } while (strcmp(rep, "O\ n"));
    return 0;
}
```

Les boucles

- **for (init; cond_continuation; rebouclage)**
  instruction
- équivalent à

```
init;
while (cond_conti) {
        instruction;
        rebouclage;
}
```

```
#include <stdio.h>
#define MAX 30
int main (int argc, char *argv[]) {
    char tab[MAX] = "toto";
    int i;
    printf("*%s*\n" ,tab);
    for (i = 0; i < MAX; i++)
        tab[i] = '\0';
    printf("*%s*\n" ,tab);
    return 0;
}
```

Les boucles


```
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
    int i;
    i = 0;
    while (i < 10) {
            i++;
    }
    printf("i = %d\n", i);
    i = 0;
    do {
            i++;
    } while (i < 10);
    printf("i = %d\n", i);
    for (i = 0; i < 10; i++);
    printf("i = %d\n", i);
return 0;
```

Instructions de débranchement

- **break**
  - Utilisée dans un switch ou dans une boucle
  - Se débranche sur la première instruction qui suit le switch ou la boucle
- **continue**
  - Utilisée dans les boucles
  - Poursuit l'exécution de la boucle au test (ou au rebouclage)
- **goto**
  - « saute » à l'étiquette donnée
  - l'étiquette, etq par exemple, est placée comme suit
    - etq :
- **return**
  - Provoque la sortie d'une fonction
  - La valeur de retour est placée derrière le mot-clé

Fonction exit

- Fonction exit
  - Met fin à l'exécution d'un programme
  - 0 en paramètre indique l'arrêt normal

Débranchements : exemple


```
#include <stdio.h>
void f(int j){
    int i = 0;
    while (i < j) {
        /* instruction? */
        i++;
    }
    printf("fin de f, i = %d\n", i);
}
int main (int argc, char *argv[]) {
    int i = 100;
    f(i);
    printf("fin de main, i = %d\n", i);
    return 0;
}
```

Débranchements : exemple

Instruction?	Résultat
break;	fin de f, i = 0
	fin de main, i = 100
continue;	Ca boucle
return;	fin de main, i = 100
exit(2);	
/* aucune instruction */	fin de f, i = 100
	fin de main, i = 100

Opérateurs

Affectation

- C'est un opérateur (signe =) dont les opérandes sont de tout type (*attention* si de type tableau).
- Cas particulier des opérateurs unaires (d'in-/dé)crémentation: ++, --.
- **Attention : l'ordre d'évaluation n'est pas garanti.**
  t[i++] = v[i++]; /* à éviter */
  i = i++; n'est pas défini

Opérateurs de calcul

- Arithmétiques + * - / %
- Relationnels < <= > >= == !=
- Logiques ! || &&
- Bit à bit ~ & | ^ << >>

- 3 + 4 3 * 4 + 5
- 3 / 4 3.0 / 4
- 3 % 4 !(n % 2)
- (x = 1) || b
- (x = 0) && b

Opérateurs de calcul


```
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
   short i;
   for (i = 0; i < 10; i++){
         printf("i = %hx ,~i = %hx",i,~i);
         printf("!i = %hx ,i << 1 = %hx", !i, i << 1);
         printf("i >> 1 = %hx \ n ",i >> 1);
   }
   return 0;
}
```

Opérateurs de calcul

- **Résultat :**
- i = 0, ~i = ffff, !i = 1, i << 1 = 0, i >> 1 = 0
- i = 1, ~i = fffe, !i = 0, i << 1 = 2, i >> 1 = 0
- i = 2, ~i = fffd, !i = 0, i << 1 = 4, i >> 1 = 1
- i = 3, ~i = fffc, !i = 0, i << 1 = 6, i >> 1 = 1
- i = 4, ~i = fffb, !i = 0, i << 1 = 8, i >> 1 = 2
- i = 5, ~i = fffa, !i = 0, i << 1 = a, i >> 1 = 2
- i = 6, ~i = fff9, !i = 0, i << 1 = c, i >> 1 = 3
- i = 7, ~i = fff8, !i = 0, i << 1 = e, i >> 1 = 3
- i = 8, ~i = fff7, !i = 0, i << 1 = 10, i >> 1 = 4
- i = 9, ~i = fff6, !i = 0, i << 1 = 12, i >> 1 = 4

Opérateurs sur les types

- Taille d'un objet (nombre d'octets nécessaires à la mémorisation d'un objet)

- **sizeof(nom_type)**
- **sizeof expression**

- Renvoie une valeur de type size_t déclaré dans le fichier de déclarations stdlib.h.
  - size_t : taille d'un mot machine

Opérateurs sur les types


```
#include <stdio.h>
#define imp(s, t) printf(" sizeof %s = %d \ n", s, sizeof(t))
int main (int argc, char *argv[]) {
    int t1[10];
    float t2[20];
    imp(" char ", char);
    imp(" short ", short);
    imp(" int ", int);
    imp(" long ", long);
    imp(" float ", float);
    imp(" double ", double);
    imp(" long double ", long double);
    printf(" sizeof t1 = %d, sizeof t2 = %d \ n",sizeof t1, sizeof t2);
    printf(" sizeof t1 [0] = %d, sizeof t2 [1] = %d \ n",sizeof t1[0], sizeof t2[1]);
    return 0;
}
```

Opérateurs sur les types

Exécution :

```
$ a.out
sizeof char = 1
sizeof short = 2
sizeof int = 4
sizeof long = 4
sizeof float = 4
sizeof double = 8
sizeof long double = 12
sizeof t1 = 40, sizeof t2 = 80
sizeof t1[0] = 4, sizeof t2[1] = 4
$
```

Opérateurs sur les types

1.118

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
void f (int t[]) {
    printf(" f : sizeof t = %d, sizeof t [0] = %d \ n",sizeof t, sizeof t[0]);
}
void g (char s[]) {
    printf("g: sizeof s = %d, sizeof s[0] = %d \ n",sizeof s, sizeof s[0]);
    printf("g: l g r de s = %d \ n ", strlen(s));
}
int main (int argc, char *argv[]) {
    int t1[10];
    char s1[] = " 12345";
    printf(" main : sizeof t1 = %d \ n", sizeof t1);
    f(t1);
    printf(" main : sizeof s1 = %d, s t r l e n ( s1) = %d \ n",sizeof s1, strlen(s1));
    g(s1);
    return 0;
}
```

Opérateurs sur les types

Exécution :

```
$ a.out
main: sizeof t1 = 40
f: sizeof t = 4, sizeof t[0] = 4
main: sizeof s1 = 6, strlen(s1) = 5
g: sizeof s = 4, sizeof s[0] = 1
g: lgr de s = 5
$
```

Casting ou transtypage

Conversion explicite (« casting » ou transtypage)

(type) expression

```
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
   printf("%.2 f ", 3/(double)4);
   printf("%d ", (int)4.5);
   printf("%d ", (int)4.6);
   printf("%.2 f ", (double)5);
   fputc( ' \n' , stdout);
   return 0;
}
```

Opérateur de condition

condition ? expression_si_vrai : expression_si_faux

Seul opérateur ternaire du langage.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
    int x, y, n;
    if (argc != 2) {
            fprintf(stderr, " usage: %s nb \ n ", argv[0]); return 1;
    }
    n = atoi(argv[1]);
    x = (n % 2) ? 0 : 1;
    y = (n == 0) ? 43 : (n == -1) ? 52 : 100;
    printf(" x = %d , y %d \ n ", x, y);
    return 0;
}
```

Opérateur virgule

- Le résultat de expr1, expr2, …, exprn
  est le résultat de exprn
- expr1, expr2, …, expr(n-1) sont évaluées, mais leurs résultats oubliés (sauf si effet de bord)

Opérateur virgule


```
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
   int a, b, i, j, t[20];
   for (i = 0, j = 19; i < j; i++, j--)
        t[i] = t[j];
   printf("%d \n ", (a = 1, b = 2));
   printf("%d \n ", (a = 1, 2));
   return 0;
}
```

Opérateurs

Types	Symboles	Associativité
postfixé	(), [], ., ->, ++, --	G à D
unaire	&, *, +, -, ~, !, ++, --, sizeof	D à G
casting	(<type>)	D à G
multiplicatif	*, /, %	G à D
additif	+, -	G à D
décalage	<<, >>	G à D
relationnel	<, >, <=, >=	G à D
(in)égalité	==, !=	G à D
et bit à bit	&	G à D
xor	^	G à D
ou bit à bit	|	G à D
et logique	&&	G à D
ou logique	||	G à D
condition	?	D à G
affectation	=, *=, /=, %=, +=, -=, <<=, >>=, &=, ^=, |=	D à G
virgule	,	G à D

Pointeurs

- Les pointeurs sont très utilisés en C.
- En général, ils permettent de rendre les programmes
  - plus compacts,
  - plus efficaces,
- L'accès à un objet se fait de façon indirecte.

Pointeurs

- int x; // alloue de la mémoire pour x
- x=10; // met 10 dans la(les) case(s) mémoire correspondant à x

- On ne peut pas décider de l'emplacement mémoire (adresse) de x
- On ne peut pas changer l'adresse de x

- Les pointeurs vont permettre de faire cela
- int *p; // **pointeur représenté avec une** *

- Toute variable contient une valeur : la valeur d'un pointeur est une adresse
  p= &x;

Pointeurs

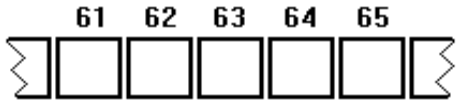
- int *p; pointeur
- Toute variable contient une valeur : la valeur d'un pointeur est une adresse p= &x;

- Déréférencement : operateur *
- Permet d'interpréter le contenu de la case située à l'adresse du pointeur :
  - p=&x; //&x vaut 1234
  - *p contenu la mémoire à la case 1234
    - On peut la lire (y = *p;)
    - On peut la modifier (*p = 22;)

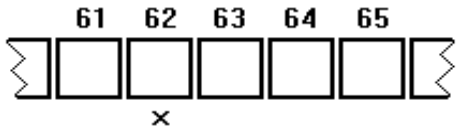
Pointeurs

- `int x; // Réserve un emplacement pour un entier en mémoire.`
- `x = 10; // Ecrit 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.



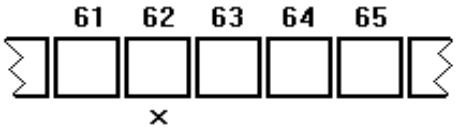
- int x;



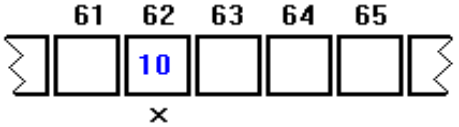
Pointeurs

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

- int x;



- x=10;

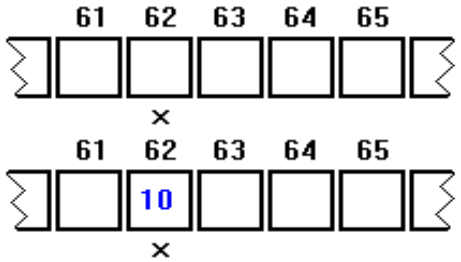


- &x : adresse de x : ici 62

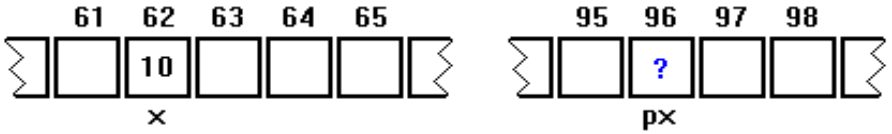
Pointeurs

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

- int x;
- x=10;

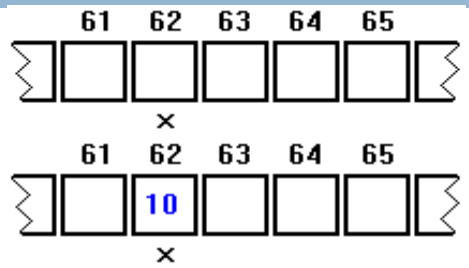


- int* px; // pointeur sur un entier

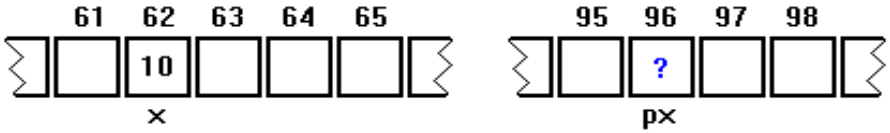


Pointeur Implémentation

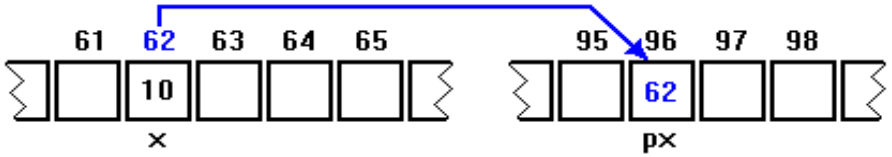
- int x;
- x=10;



- int* px; // pointeur sur un entier

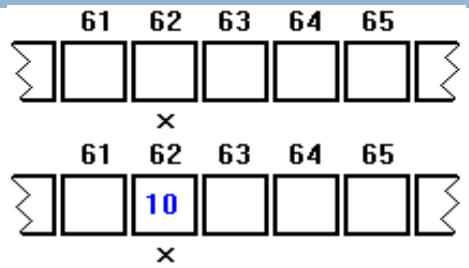


- px=&x (adresse de x)

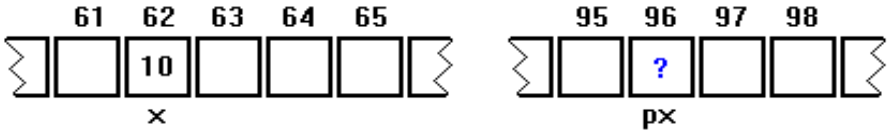


Pointeur Implémentation

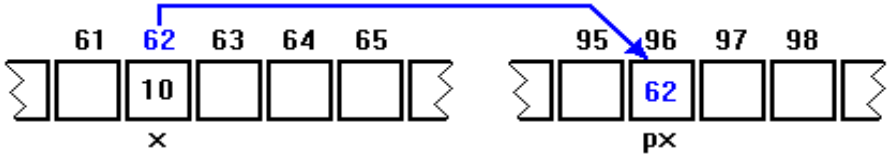
- int x;
- x=10;



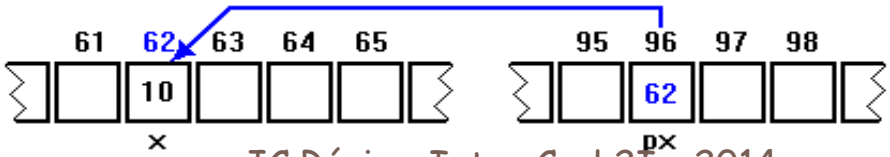
- int* px; // pointeur sur un entier



- px=&x (adresse de x)

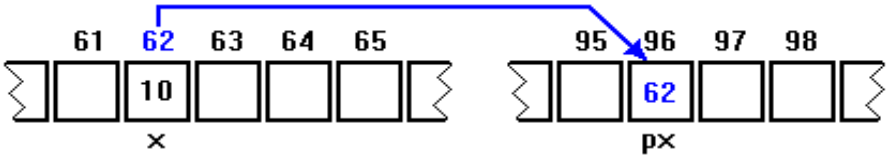


- int y=*px

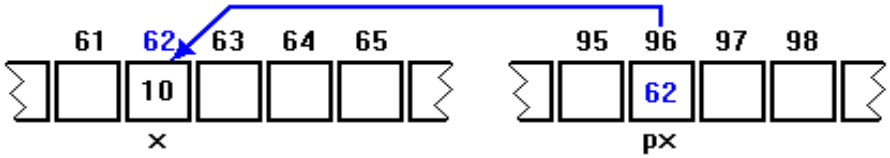


Pointeur Implémentation

- Si px contient l'adresse de x

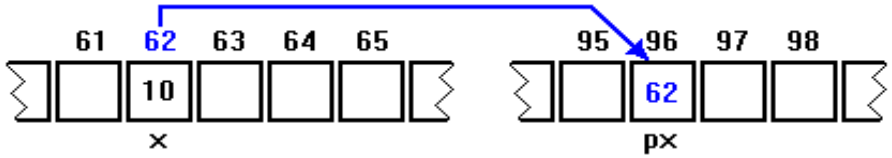


- Alors *px contient la valeur de l'adresse de x, donc la valeur de x

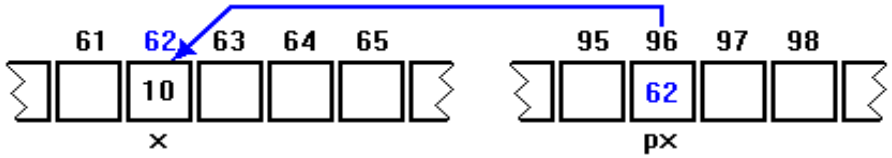


Pointeur Implémentation

- Si px contient l'adresse de x



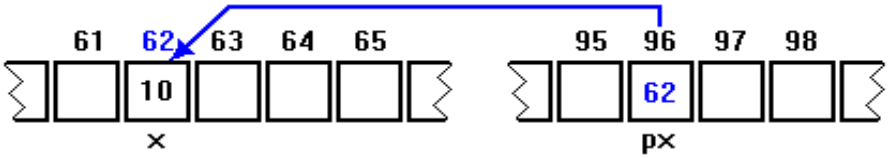
- Alors *px contient la valeur de l'adresse de x, donc la valeur de x



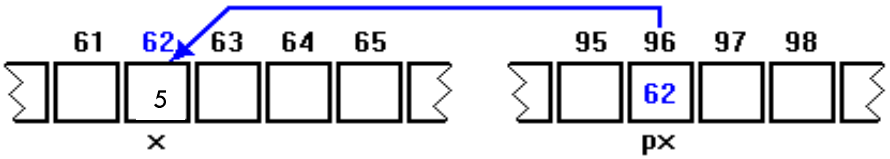
- Si je change la valeur à l'adresse de x, alors je change la valeur de x,

Pointeur Implémentation

- Si px contient l'adresse de x, donc *px la valeur de x



- Si je change la valeur à l'adresse de x, alors je change la valeur de x : *px=5



Pointeur Implémentation

- px=&x
- Si je modifie *px alors je modifie x (même case mémoire concernée)
- px=&y
- Si je modifie *px alors je modifie y (même case mémoire concernée)
- px=&bidule
- Si je modifie *px alors je modifie bidule (même case mémoire concernée)
- px désigne **l'objet pointé**
- *px modifie l'**objet pointé**

Pointeurs : type

- Types des pointeurs :
  - on a vu qu'on avait besoin d'interpréter le contenu des cases mémoires (2 octets pour un short, 4 pour un int, big-endian, small-endian…). On va donc typer les pointeurs pour obtenir ce résultat
  - int *p veut dire que *p sera un int, donc int y =*p est parfaitement ok.

Pointeurs

- A quoi cela sert-il ?
  - accès direct à la mémoire
  - passage de paramètres
  - partage d'objets
  - indirection
  - passage par référence
  - allocation dynamique

Pointeurs

- A quoi cela sert-il ?
  - accès direct à la mémoire
  - **passage de paramètres**
  - partage d'objets
  - indirection
  - passage par référence
  - allocation dynamique

Pointeurs : passage de paramètre

- Passage de paramètres par référence

```
struct etudiant {
    char nom[50];
    char prenom[50];
    char adresse[255];
    int notes[10];
};
int calculMoyenne(struct etudiant etud){
     int i, sum=0;
    for(i=0;i<10;i++)
            sum += etud.notes[i];
    return sum/10;
}
```

- Que se passe t'il quand on passe un étudiant en paramètre ?

Pointeurs : passage de paramètre

- Passage de paramètres par référence

```
struct etudiant {
    char nom[50];
    char prenom[50];
    char adresse[255];
    int notes[10];
};
int calculMoyenne(struct etudiant etud){
     int i, sum=0;
    for(i=0;i<10;i++)
            sum += etud.notes[i];
    return sum/10;
}
```

- **Il y a création d'une variable locale**
  - **on réalloue de la mémoire pour cette structure locale**
  - **la structure est entièrement copiée ! Donc au moins 365 opérations !**

Pointeurs : passage de paramètre

- Passage de paramètres par référence

```
struct etudiant {
        char nom[50];
        char prenom[50];
        char adresse[255];
        int notes[10];

};
int calculMoyenne(struct etudiant etud){
         int i, sum=0;
        for(i=0;i<10;i++)
                        sum += etud.notes[i];
        return sum/10;

}
```

- Comment éviter cela ?
  - On définit un tableau global de structure et on passe l'indice de l'élément dans le tableau (je ne vois pas d'autres solutions sans les pointeurs)
  - **GROS défauts**
    - Cela impose des données globales (je ne peux pas passer le tableau ! Sinon copie !)
    - Cela impose une structure de tableau, comment gère t'on les suppressions/ajouts ?
    - Je dois connaitre la taille du tableau au début du programme
  - C'est pratiquement injouable

Pointeurs : passage de paramètre

- Passage de paramètres par référence

```
struct etudiant {
        char nom[50];
        char prenom[50];
        char adresse[255];
        int notes[10];
};
int calculMoyenne(struct etudiant etud){
        int i, sum=0;
        for(i=0;i<10;i++)
                sum += etud.notes[i];
        return sum/10;
}
```

- **Solution : on utilise un pointeur sur la structure d'un étudiant**

```
int calculMoyenne(struct etudiant *etud){
        int i, sum=0;
        for(i=0;i<10;i++)
                sum += *(etud).notes[i];
        return sum/10;
}
```

- On ne passe que l'adresse mémoire et on travaille avec cette adresse mémoire : il n'y a pas de copie locale

Pointeurs

- A quoi cela sert-il ?
  - accès direct à la mémoire
  - passage de paramètres
  - **partage d'objets**
  - indirection
  - passage par référence
  - allocation dynamique

Pointeurs : partages d'objets

- Pour chaque note on veut connaitre celui qui a la meilleure note
  - Premier (meilleure note) en C
  - Premier en Système Exploitation
  - Premier en Algorithmique
  - Premier en Anglais …
- Comment faire ?

Pointeurs : partages d'objets

- Pour chaque note on veut connaitre celui qui a la meilleure note
  - Premier (meilleure note) en C
  - Premier en Système Exploitation
  - Premier en Algorithmique
  - Premier en Anglais …
- On fait une copie à chaque fois : mauvaise solution, problème de synchronisation entre les copies
- On utilise des indices pour désigner chaque étudiant : problème demande une gestion sous la forme de tableau des étudiants (avec les inconvénients vu)
- On utilise des pointeurs !

Pointeurs : partages d'objets

- Pour chaque note on veut connaitre celui qui a la meilleure note
  - Premier (meilleure note) en C
  - Premier en Système Exploitation
  - Premier en Algorithmique
  - Premier en Anglais …

- On utilise des pointeurs !

```
struct etudiant *pC;
struct etudiant *pSE;
struct etudiant *pAlgo;
struct etudiant *pAnglais;
```

Un meme élément peut être partagé!

Pointeurs

- A quoi cela sert-il ?
  - accès direct à la mémoire
  - passage de paramètres
  - partage d'objets
  - **indirection**
  - passage par référence
  - allocation dynamique

Pointeurs : indirection

- L'indice d'un tableau est différent du contenu : on fait une indirection
- C'est pareil avec les pointeurs
- Plus petit élément d'un ensemble (ppelt)
  - Avec un tableau d'élément de type t : ppelt est un indice
  - Avec n'importe quelle structure de données d'élément de type t : ppelt est un pointeur de type t (**t *ppelt**)

Pointeurs

- A quoi cela sert-il ?
  - accès direct à la mémoire
  - passage de paramètres
  - partage d'objets
  - indirection
  - **passage par référence**
  - allocation dynamique

Pointeurs : passage par référence

- Comment modifier un paramètre avec une fonction ?

```
int moyenne(int* t, int nbelt){
    /* on calcule la moyenne et on la retourne */
    return moy;
}
```

- Je veux faire :

```
void modifierMoyenne(int* t, int nbelt, int moy){
    /* je veux modifier la moyenne moy*/
    moy = 12;
}
```

- Cette solution ne marche pas car moy est copié dans une variable locale

Pointeurs : passage par référence

- Un pointeur contient une adresse mémoire. Si on déréference on touche directement à l'adresse mémoire. C'est ce qu'il nous faut !

```
void modifierMoyenne(int* t, int nbelt, int* moy){
   /* je veux modifier la moyenne moy*/
   *moy = 12;
}
```

- Cette solution marche car on modifie ce qui est à l'adresse mémoire passée en paramètre. C'est l'adresse qui est passée et non plus la valeur

Pointeurs

- A quoi cela sert-il ?
  - accès direct à la mémoire
  - passage de paramètres
  - partage d'objets
  - indirection
  - passage par référence
  - **allocation dynamique**

Pointeurs : allocation dynamique

- On ne peut pas toujours connaitre la taille d'une structure de données au moment ou on écrit le code source
  - Nombre d'étudiants à l'université ? Nombre d'arbres dans un jardin ?
- On peut surestimer mais cela peut créer des problèmes
- Allocation dynamique
  - Comment allouer n éléments, avec n qui sera défini à l'exécution ?
  - Comment définir cette variable dans le programme ?

Pointeurs : allocation dynamique

- Allocation dynamique
  - Comment allouer n éléments, avec n qui sera défini à l'exécution ?
  - Comment définir cette variable dans le programme ?
- Solution : on travaille en fait avec des cases mémoires avec les pointeurs
  - on n'a pas besoin que la mémoire soit définie,
  - on a juste besoin de savoir que c'est la mémoire à un certain endroit qui va être utilisée.
- On allouera cette mémoire (cela veut dire on réservera cette place mémoire) après quand on connaitra la taille, en utilisant des fonction spéciales : malloc, calloc, realloc

Pointeurs : allocation dynamique


```
int* tab; /* tab est un tableau */
int n;
tab = calloc(n,sizeof(int)); /* réserve de la place pour
                                n entiers */
/* calloc retourne une adresse mémoire et dit à l'OS
   que la palce est réservée à cet endroit */
```

Pointeurs : allocation mémoire

- En utilisant les fonctions standard suivantes, l'utilisateur a la garantie que la mémoire allouée est contigüe et respecte les contraintes d'alignement.
- Ces fonctions se trouvent dans le fichier de déclarations stdlib.h.
  - **void *malloc (size_t taille);**
    - permet d'allouer taille octets dans le tas.
  - **void *calloc (size_t nb, size_t taille);**
    - permet d'allouer taille x nb octets dans le tas, en les initialisant à 0.
  - **void *realloc (void *ptr, size_t taille);**
    - permet de réallouer de la mémoire.
  - **void free (void *ptr);**
    - permet de libérer de la mémoire (ne met pas ptr à NULL)

Pointeur

- **Un pointeur est un type de données dont la valeur fait référence (référencie) directement (pointe vers) à une autre valeur.**

- Un pointeur référencie une valeur située quelque part en mémoire en utilisant son adresse

- Un pointeur est une variable qui contient une adresse mémoire

Pointeur

- Un pointeur est un type de données dont la valeur **pointe vers** une autre valeur.
- Obtenir la valeur vers laquelle un pointeur pointe est appelé **déréférencer** le pointeur.
- Un pointeur qui ne pointe vers aucune valeur aura la valeur **NULL ou 0**
- **En Java TOUT est pointeur**

Pointeurs : déclarations

Comment déclarer un pointeur ?

type *nom_pointeur;

```
char  *p;
int  *p1,  *p2;
struct  {int  x,  y;}  *q;
void  *r;
int  *s1[3];
int  (*fct)(void);
int  (*T[5])(void);
double  *f(void);
```

Pointeurs : syntaxe

- Adresse d'une variable x est désignée en utilisant &
  - exemple &x;
- Pointeur « universel » : void *
- Pointeur sur « rien du tout » : constante entière 0 ou NULL (macro définie dans le fichier de déclarations stdlib.h)
- Simplification d'écriture : si q est un pointeur sur une structure contenant un champ x
  - q -> x est équivalent à (*q).x

Références fantômes !


```
#include <stdlib.h>

int *f1 (void) {
  int a = 3;
  return &a;
  /* warning: function returns address of local variable */
}
int *f2 (void) {
  int *a = malloc(sizeof(int));
  *a = 3;
  return a;
}
int main (int argc, char *argv[]) {
  int *p1 = f1();
  int *p2 = f2();
  return 0;
}
```

Que se passe t'il ?


```
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
  int i = 0;
  char c, *pc;
  int *pi;

  printf("sizeof(char) = %d, sizeof(int) = %d,\n, sizeof(void *) %d\n\n",
          sizeof(char), sizeof(int), sizeof(void *));
  printf(stdout, "&i = %p, &c = %p,\n&pc = %p, &pi = %p\n",
          (void *)&i, (void *)&c, (void *)&pc, (void *)&pi);
  c = 'a';
  pi = &i; pc = &c;
  *pi = 50; *pc = 'B';
  printf("i = %d, c = %c,\npc = %p, *pc = %c,\n pi = %p, *pi = %d\n",
          i, c, pc, *pc, pi, *pi);
  return 0;
}
```

- Exécution :
- $a.out
- sizeof(char) = 1, sizeof(int) = 4,
- sizeof(void *) = 4
- &i = 0xbffff7b4, &c = 0xbffff7b3,
- &pc = 0xbffff7ac, &pi = 0xbffff7a8
- i = 50, c = B,
- pc = 0xbffff7b3, *pc = B,
- pi = 0xbffff7b4, *pi = 50
- $

Que se passe t'il ?


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

int main (int argc, char *argv[]) {
  int i = 0;
  char c, *pc;
  int *pi;

  printf("sizeof(char) = %d, sizeof(int) = %d, sizeof(void *) = %d\n\n",
           sizeof(char),sizeof(int), sizeof(void *));
  printf("&i = %p, &c = %p, &pc = %p, &pi = %p\n",
        (void *)&i, (void *)&c, (void *)&pc,(void *)&pi);
  c = 'a';
  pc = calloc(1, sizeof(char));
  pi = calloc(1, sizeof(int));
  *pi = 50; *pc = 'B';
  printf(stdout, "i = %d, c = %c,pc = %p, *pc = %c,pi = %p, *pi = %d\n",
      i, c, pc, *pc, pi, *pi);
  return 0;
}
```

- Exécution :
- $ a.out
- sizeof(char) = 1, sizeof(int) = 4,
- sizeof(void *) = 4
- &i = 0xbffff7b4, &c = 0xbffff7b3,
- &pc = 0xbffff7ac, &pi = 0xbffff7a8
- i = 0, c = a,
- pc = 0x80497c8, *pc = B,
- pi = 0x80497d8, *pi = 50
- $

Passage par référence

- En C, le passage des paramètres se fait toujours par valeur. Les pointeurs permettent de simuler le passage par référence.

```
#include <stdio.h>
void Swap (int a, int b) {
  int aux;
  aux = a;
  a = b;
  b = aux;
}
int main (int argc, char *argv[]) {
  int x = 3, y = 5;
  printf("av: x = %d, y = %d\n",x, y);
  Swap(x, y);
  printf("ap: x = %d, y = %d\n",x, y);
  return 0;
}
```

Passage par référence

1.168

```
#include <stdio.h>

void Swap (int *a, int *b) {
  int aux;

  aux = *a;
  *a = *b;
  *b = aux;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int x = 3, y = 5;

  printf("av: x = %d, y = %d\n", x, y);
  Swap(&x, &y);
  printf("ap: x = %d, y = %d\n", x, y);
  return 0;
}
```

Passage par référence


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

void imp (int t[], int lg) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++)
    printf("%d ", t[i]);
  fputc('\n', stdout);
}

void MAZ (int t[], int lg) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++)
    t[i] = 0;
}

void Mess (int t[], int lg) {
  int i;
  t = malloc(sizeof(int) * lg);
  for (i = 0; i < lg; i++)
    t[i] = 33;
  imp(t, lg);
}

#define MAX 10
int main (int argc, char *argv[]) {
  int t[MAX];
  MAZ(t, MAX); imp(t, MAX);
  Mess(t, MAX); imp(t, MAX);
  return 0;
}
```

Pointeurs et tableaux

- Notions très liées en C.
- Le nom du tableau correspond à l'adresse de départ du tableau (en fait l'adresse du premier élément).
  - Si int t[10]; alors t = &t[0]
- Si on passe un tableau en paramètre, seule l'adresse du tableau est passée (il n'existe aucun moyen de connaître le nombre d'éléments).
- En fait, l'utilisation des crochets est une simplification d'écriture. La formule suivante est appliquée pour accéder à l'élément i.
  - a[i] est équivalent à *(a + i)

Pointeurs : opérations arithmétique

- Un pointeur contenant une adresse, on peut donc lui appliquer des opérations arithmétiques
- pointeur + entier donne un pointeur
- pointeur – entier donne un pointeur
- pointeur – pointeur donne un entier

- Le dernier point est **FORTEMENT déconseillé** car très peu portable.

Pointeurs : opérations arithmétiques

1.172

```
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
  int t1[10], t2[20];

  printf("t1 = %p, t2 = %p\n", t1, t2);
  printf("t1 + 3 = %p, &t1[3] = %p\n", t1 + 3, &t1[3]);
  printf("&t1[3] - 3 = %p\n", &t1[3] - 3);
  printf("t1 - t2 = %d\n", t1 - t2);
  printf("t2 - t1 = %d\n", t2 - t1);
  return 0;
}
```

Exécution :

```
$ a.out
t1 = 0xbffff780, t2 = 0xbffff730
t1 + 3 = 0xbffff78c, &t1[3] = 0xbffff78c
&t1[3] - 3 = 0xbffff780
t1 - t2 = 20
t2 - t1 = -20
$
```

```
#include <stdio.h>

void aff (int t[], int n) {
  /* Antécédent : n initialisé */
  /* Rôle : affiche les n premiers éléments de t
     séparés par des blancs et terminés par une fdl */
  int i;
  for (i = 0; i < n; i++)
    printf("%d ", t[i]);
  fputc('\n', stdout);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int tab[] = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0};
  aff(tab, sizeof tab / sizeof tab[0]);
  aff(tab + 5, 5);
  return 0;
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define M 5
void saisieTab (int t[], short n) {
  /* Antécédent : t et n initialisés */
  /* Rôle : saisie de n entiers dans t */
  short i;
  printf("les %d nombres? ", n);
  for (i = 0; i < n; i++)
    scanf("%d", &t[i] /* t + i */);
}
void copieTab (int t[], int *p, short n) {
  /* Antécédent : t, p et n initialisés */
  /* Conséquent : $\forall$ i $\in$ [0..n-1] p[i] = t[i] */
  short i;
  for (i = 0; i < n; i++)
    *p++ = t[i];
}
void affTab (int t[], short n) {
  /* Antécédent : n initialisé */
  /* Rôle : affiche les n premiers éléments de t
     séparés par des blancs et terminés par fdl */
  short i;
  for (i = 0; i < n; i++)
    printf("%d ", t[i]);
  fputc('\n', stdout);
}
int main (int argc, char *argv[]) {
  int *p = calloc(M, sizeof(int)), t[M];
  saisieTab(t, M); affTab(t, M); affTab(p, M);
  copieTab(t, p, M); affTab(t, M); affTab(p, M);
  return 0;
}
```

Pointeurs et chaînes de caractères

- Une **constante** chaîne de caractères a comme valeur l'adresse mémoire de son premier caractère (on ne peut la modifier).
- Son type est donc pointeur sur caractères.

```
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
  char y[] = "1234";
  char *x = "1234";
  char z[10] = "1234";
  char tc[] = {'1', '2', '3', '4'};

  printf("x=%p &x=%p\n", x, (void *)&x);
  printf("y=%p &y=%p\n", y, (void *)&y);
  return 0;
}
```

Parcours de chaînes de caractères

1.176

```
#include <stdio.h>

void aff (char *s) {
  while (*s) {
    fputc(*s, stdout);
    s++;
  }
  fputc('\n', stdout);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  char s1[] = "bonjour vous!",
    *s2 = "et vous aussi";
  aff(s1);
  aff(s2);
  return 0;
}
```

Pointeurs et fonctions

- En C, le type pointeur sur fonction existe :
  - **typedef int (*tpf) (int);**
    - déclaration de tpf comme étant un type pointeur sur fonction prenant un int en paramètre et renvoyant un int
  - **float (*vpf) (double, char *);**
    - déclaration de vpf comme étant une variable de type pointeur sur fonction prenant en paramètres un double et un char * et renvoyant un float
  - **char *f (int);**
    - déclaration de f comme étant une constante de type pointeur sur fonction prenant en paramètre un int et renvoyant un char *

Pointeurs et fonctions

- Lorsqu'on définit une fonction, en fait on déclare une constante de type pointeur sur fonction et sa valeur est l'adresse de la première instruction de la fonction.

```
#include <stdio.h>

int max (int a, int b) {
  return a > b ? a : b;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  printf("%p\n", (void *)printf);
  printf("%p\n", (void *)&printf);
  printf("%p\n", (void *)max);
  printf("%p\n", (void *)max(1, 16));
  return 0;
}
```

Fonctions en paramètre

- il suffit de passer le type du pointeur sur fonction (concerné) en paramètre.

```
#include <stdio.h>
void imp (int t[], int lg) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++)
    printf("%d ", t[i]);
  fputc('\n', stdout);
}
int maz (int a) {
  return 0;
}
int plus1 (int a) {
  return a + 1;
}
void modifierTableau (int t[], int lg, int (*f) (int)) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++)
    t[i] = f(t[i]);
}
#define MAX 10
int main (int argc, char *argv[]) {
  int t[MAX];
  modifierTableau(t, MAX, maz); imp(t, MAX);
  modifierTableau(t, MAX, plus1); imp(t, MAX);
  modifierTableau(t, MAX, plus1); imp(t, MAX);
  return 0;
}
```

Pointeur polymorphe (void*)


```
#include <stdio.h>

void Swap (int *a, int *b) {
  int aux;

  aux = *a;
  *a = *b;
  *b = aux;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int x = 3, y = 5;

  printf("av: x = %d, y = %d\n", x, y);
  Swap(&x, &y);
  printf("ap: x = %d, y = %d\n", x, y);
  return 0;
}
```

Pointeur polymorphe (void*)


```
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "swapPoly1.h"

void Swap (void *a, void *b, short taille) {
  void *aux = malloc(taille);

  memcpy(aux, b, taille);
  memcpy(b, a, taille);
  memcpy(a, aux, taille);
#if 0
  /* c'est complètement faux:
     on déréférence un void *!!! */
  *aux = *b;
  *b = *a;
  *a = *aux;
#endif
}
```

Pointeur polymorphe (void*)

1.182

```
#include <stdio.h>
#include "swapPoly1.h"

#define imp(t, s1, s2, x, s3, y) \
 printf("%s: %s = " t ", %s = " t "\n",s1, s2, x, s3, y)

int main (int argc, char *argv[]) {
  int a = 3, b = 9;
  float x = 13, y = 19;
  double m = 23.45, n = 25.0;
  char c1 = 'a', c2 = 'B';
  imp("%d", "avant", "a", a, "b", b);
  Swap(&a, &b, sizeof(int));
  imp("%d", "après", "a", a, "b", b);
  imp("%.2f", "avant", "x", x, "y", y);
  Swap(&x, &y, sizeof(float));
  imp("%.2f", "après", "x", x, "y", y);
  imp("%.2f", "avant", "m", m, "n", n);
  Swap(&m, &n, sizeof(double));
  imp("%.2f", "après", "m", m, "n", n);
  imp("%c", "avant", "c1", c1, "c2", c2);
  Swap(&c1, &c2, sizeof(char));
  imp("%c", "après", "c1", c1, "c2", c2);
  return 0;
}
```

Pointeur polymorphe (void*)

1.183

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

void Swap (void **a, void **b) {
  void *aux = malloc(sizeof(void *));

  aux = *b;
  *b = *a;
  *a = aux;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int a = 3, b = 4;
  int *x = &a, *y = &b;
  double *m = malloc(sizeof(double));
  double *n = malloc(sizeof(double));

  printf("av: a=%d, b=%d, x=%d, y=%d\n",a, b, *x, *y);
  Swap(&x, &y);
  printf("ap: a=%d, b=%d, x=%d, y=%d\n",a, b, *x, *y);

  *m = 3.456;
  *n = 1.2345;
  printf("av: *m=%f, *n=%f\n", *m, *n);
  Swap(&m, &n);
  printf("ap: *m=%f, *n=%f\n", *m, *n);

  return 0;
}
```

Conversion de type

- Une conversion est en fait un changement de représentation.
  - Un entier en un double
  - Un double en un entier
  - Etc…

- **Attention** : le résultat d'une conversion de type peut être indéterminé.

Conversions implicites

- Elles sont provoquées par des opérateurs arithmétiques, logiques et d'affectation, lorsque les types des opérandes sont différents mais comparables.
- Pour les expressions arithmétiques et logiques :
  - les conversions sont effectuées du type le plus faible vers le plus fort. (char vers int, short vers int …)
- Pour les affectations :
  - le résultat de la partie droite est converti dans celui de la partie gauche. (int x= ¾;)

Conversions explicites

- Elles sont faites par le transtypage.
- La valeur de l'expression ainsi construite est le résultat de la conversion de l'expression dans le type.

```
int i;
double d;
enum E {rouge=1, bleu=2, vert=3} couleur;
...
d = 3;
couleur = (enum E)((int) d);
i = (int) couleur;
(float) 3; /* \donc 3.0 */
(int) 5.1267e2; /* \donc 512 */
```

Ligne de commande

- En fait, la fonction main a plusieurs paramètres permettant de faire le lien avec UNIX. Son prototype est :
  - `int main (int argc, char *argv[]);`
- On utilise par convention `argc` et `argv` (ce ne sont pas des identificateurs réservés).
  - Le paramètre `argc` (entier) indique le nombre de paramètres de la commande (incluant le nom de celle-ci).
  - Le paramètre `argv` (tableau de chaînes de caractères) contient la ligne de commande elle-même:
    - `argv[0]` est le nom de la commande
    - `argv[1]` est le premier paramètre;
    - etc… `argv[argc] == NULL`.

Ligne de commande : exemple

- $ commande -option fic1 199

- Dans le programme C
  - argc = 4
  - argv a 5 éléments significatifs et on peut les représenter comme suit :
    - argv[0] : “command”
    - argv[1] : “-option”
    - argv[2] : “fic1”
    - argv[3] : “199”
    - argv[4] : NULL

Ligne de commande


```
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
      int i;

      for (i = 1; i < argc; i++)
            printf("*%s*\n", argv[i]);

      while (*++argv){
            printf("*%s*\n", *argv);
      }

      return 0;
}
```

Nombre variable de paramètres

- La liste variable de paramètres est dénotée par ... derrière le dernier paramètre fixe. Il y a **au moins un** paramètre fixe.
  - int printf(const char *format, ...);
- 4 macros sont définies dans le fichier stdarg.h
  - Le « type » **va_list** sert à déclarer le pointeur se promenant sur la pile d'exécution.
    va_list ap;
  - La macro **va_start** initialise le pointeur de façon à ce qu'il pointe après le dernier paramètre nommé.
    void va_start (va_list ap, last);

Nombre variable de paramètres

- La macro **va_arg** retourne la valeur du paramètre en cours, et positionne le pointeur sur le prochain paramètre. Elle a besoin du nom du type pour déterminer le type de la valeur de retour et la taille du pas pour passer au paramètre suivant.

  type va_arg (va_list ap, type);

- La macro **va_end** permet de terminer proprement.

  void va_end (va_list ap);

Nombre variable de paramètres


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

void imp (int nb, ...) {
      int i;
      va_list p;

      va_start(p, nb);
      for (i = 0; i < nb; i++)
            printf("%d ", va_arg(p, int));
      fputc('\n', stdout);
      va_end(p);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
      imp(10, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10);
      imp(5, 'a', 'b', 'c', 'd', 'e');
      imp(2, 12.3, 4.5);
      return 0;
}
```

Nombre variable de paramètres


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

int max (int premier, ...) {
      /* liste d'entiers >= 0 terminée par -1 */
      va_list p;
      int M = 0, param = premier;

      va_start(p, premier);
      while (param >= 0) {
            if (param > M)
                  M = param;
            param = va_arg(p, int);
      }
      va_end(p);
      return M;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
      printf("%d\n", max(12, 18, 17, 20, 1, 34, 5, -1));
      printf("%d\n", max(12, 18, -1, 17, 20, 1, 34, 5, -1));
      return 0;
}
```

Entrées/Sorties

- Fichier de déclarations stdio.h
- E/S simples
  - Écriture d'un caractère sur la sortie standard

```
char c = '1';
putchar(c);
putchar('\n');
```

  - Lecture d'un unique caractère sur l'entrée standard

```
int c;
c = getchar();
```

Entrées/Sorties

- En fin de fichier standard, valeur EOF
- Écriture d'une chaîne de caractères (avec retour à la ligne) sur la sortie standard

```
char *s = "coucou";
puts(s);
puts("bonjour");
```

- Lecture d'une chaîne de caractères sur l'entrée standard (jusqu'à EOF ou \n) et \0 est mis à la fin

```
char s[256];
printf("Nom? ");
gets(s);
```

Entrées/Sorties formatées

- Écriture sur la sortie standard

```
printf("décimal = %d, hexa = %x\n", 100, 100);
printf("nb réel = %f, %g\n", 300.25, 300.25);
```

- Lecture sur l'entrée standard

```
int i;
double x;
printf("i = ? "); scanf("%d", &i);
printf("x = ? "); scanf("%lf", &x);
```

Entrées/Sorties formatées

- Écriture dans une chaîne de caractères

```
char s[256];
sprintf(s, "%s", "il fait beau");
printf("*%s*\n", s);
```

- Lecture dans une chaîne de caractères

```
int i;
sscanf("123", "%d", &i);
printf("%d\n", i);
```

Conversion de base : printf

caractère	type du paramètre
d,i	Nombre décimal
o	Nombre octal non signé
x,X	Nombre hexadécimal non signé
u	Non décimal non signé
c	Caractère isolé
s	Chaîne de caractères
f	[-]m.dddddd
e, E	[-]m.ddddde/E+/-xx
p	pointeur
%	%

Conversion de base : scanf

caractère	Type de l'argument
d, i, n	Entier décimal
o, u, x	Entier décimal non signé
c	caractère
s	Chaîne de caractères
e, f, g	Nombre en virgule flottante
%	%

Entrées/Sorties : fichier de caractères

- **FILE** * est un descripteur de fichier

- Trois fichiers standard déclarés dans stdio.h
  - FILE *stdin, *stdout, *stderr;

- Déclaration d'un descripteur de fichier
  - FILE *fd;

Entrées/Sorties : fichier de caractères

- Ouverture d'un fichier (liaison entre le nom logique et le nom physique)
  - FILE *fopen (const char *filename, const char *type);
- "r" pour lecture, "w" pour écriture et "a" pour ajouter en fin de fichier, "b" à la fin du mode pour les fichiers binaires

- Fermeture d'un fichier
  - int fclose (FILE *stream);

Entrées/Sorties : fichier de caractères


```
FILE *fl, *fe;
fl = fopen("../ficLec", "r");

/* si ../ficLec n'existe pas, fl == NULL
sinon fl contient le descripteur de fichier correspondant au
fichier physique de nom ../ficLec */

fe = fopen("ficEcr", "w");

/* si problème, fe == NULL
sinon fe contient le descripteur de fichier correspondant au
fichier physique de nom ficEcr;
si ficEcr existe, effacement du contenu,
sinon création du fichier vide */
```

Ecriture dans un fichier

- un caractère
  - int fputc (int c, FILE *stream);
  - int putc (int c, FILE *stream);
- une chaîne
  - int fputs (const char *s, FILE *stream);
- un peu plus compliqué
  - int fprintf (FILE *stream, const char *format, ...);

Lecture dans un fichier

- un caractère
  - int fgetc (FILE *stream);
  - int getc (FILE *stream);
- une chaîne
  - char *fgets (char *s, int n, FILE *stream);
- un peu plus compliqué
  - int fscanf (FILE *stream, const char *format, ...);

Commande cat (cat.c)


```
#include <stdio.h>

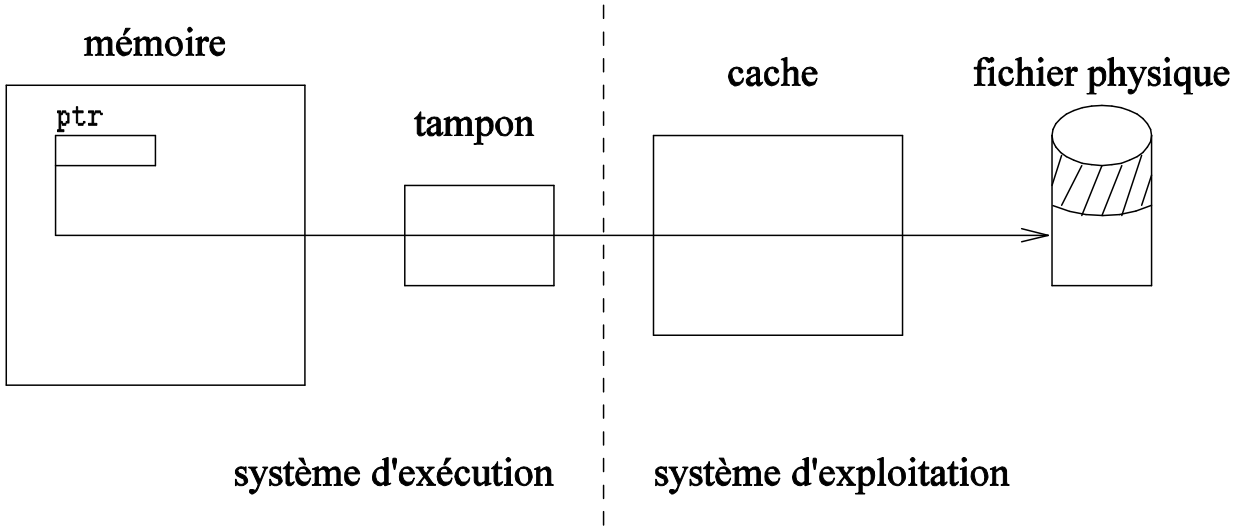
void copy (FILE *f) {
      int c;

      while ((c = fgetc(f)) != EOF)
            fputc(c, stdout);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
      FILE *f;
      if (argc == 1)
            copy(stdin);
      else {
            while (--argc) {
                  if ((f = fopen(*++argv, "r")) == NULL) {
                        fprintf(stderr, "Ouverture impossible %s\n",
                              *argv);
                        return 1;
                  }
                  else {
                        copy(f);
                        fclose(f);
                  }
            }
      }
      return 0;
}
```

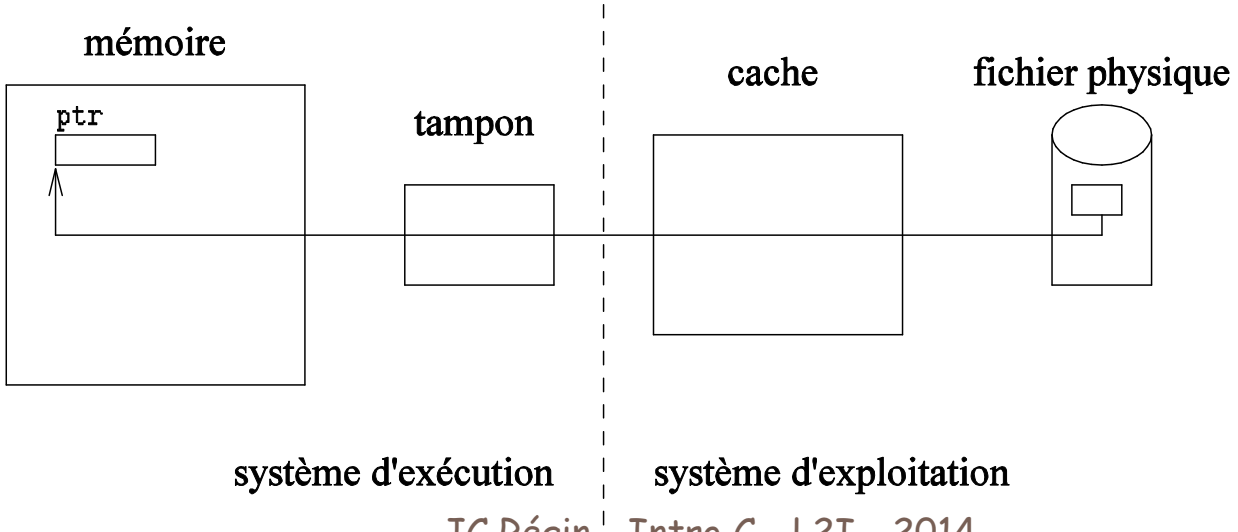
E/S sur fichiers quelconques

- Ouverture fopen et fermeture fclose
- Écriture
- size_t fwrite (const void *ptr, size_t size,
  size_t nitems, FILE *stream);



E/S sur fichiers quelconques

- Ouverture fopen et fermeture fclose
- Lecture
- size_t fread (void *ptr, size_t size,
  size_t nitems, FILE *stream);



E/S sur fichiers quelconques


```
/* fl ouvert en lecture, fe en écriture */
int i[10] = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
char c;
fread(&c, sizeof(char), 1, fl);
fwrite(&i, sizeof(int), 5, fe);
fwrite(&i, sizeof(int), 1, fe);
fwrite(&c, sizeof(int), 1, fe);
fwrite(&i, sizeof(char), 10, fe);
```

E/S Positionnement

- Déplacement en octets
  - int fseek (FILE *stream, long offset, int ptrname);

ptrname

SEEK_SET==0	Début de fichier
SEEK_CUR==1	Position courante
SEEK_END==2	Fin de fichier

E/S

- Indication de position
  - long ftell (FILE *stream);

- Fin de fichier
  - int feof (FILE *stream);

Fichiers

1.211

```
#include <stdio.h>

FILE *ecrire (char *nom, int n) {
      int i;
      FILE *f = fopen(nom, "w");

      for (i = 0; i < n; i++)
            fwrite(&i, sizeof(int), 1, f);
      fclose(f);
      return f;
}

FILE *lireEtAfficher (char *nom) {
      int i;
      FILE *f = fopen(nom, "r");

      while (fread(&i, sizeof(int), 1, f))
            printf("%d ", i);
      fputc('\n', stdout);
      fclose(f);
      return f;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
      if (argc != 2) {
            fprintf(stderr, "%s filename\n", argv[0]);
            exit(2);
      }
      {
            ecrire(argv[1], 20);
            lireEtAfficher(argv[1]);
      }
      return 0;
}
```

Structure des programmes

- Deux types de durée de vie
  - **statique** ou permanente (c'est-à-dire la durée de vie est celle du programme)
  - **automatique** ou dynamique (c'est-à-dire la durée de vie est celle du bloc qui la déclare)
- Trois types de portée
  - bloc (ou fonction)
  - fichier (au sens .c = fichier source)
  - programme

Classes de variables

- La classe de mémorisation est spécifiée par
  - auto
  - extern
  - static
  - register.
- auto : pas ou plus utilisé
- extern : variable globale définie dans une autre fichier
- register : variable mise dans un registre
- static : variable dans un bloc conservant sa valeur d'un appel à l'autre

Variables et durée de vie

- Définition vs. déclaration
- **Définition d'une variable :**
  Variable réellement créée, mémoire allouée

- ```
  { /* bloc */
      int v; /* variable automatique */
      /* déclare v et alloue la mémoire nécessaire
  au rangement d'un entier */
  }
  ```

- La définition est UNIQUE
  ```

Variables et durée de vie

- **Déclaration d'une variable :**
  Pas de mémoire allouée, juste la nature de la variable est donnée.

- extern int v;
  /* définit v comme étant une variable de type entier */

- déclaration de référence : MULTIPLE

Variables internes

- Paramètres
- Variables automatiques (ou locales) : elles sont locales à un bloc
  - naissent à l'appel de la fonction (ou à l'entrée d'un bloc
  - meurent lorsque la fonction se termine (ou quand on sort du bloc).
- Classe auto

Variables externes

- Elles servent à la communication entre fonctions (comme les paramètres) :
  - visibles du point de déclaration jusqu'à la fin du fichier physique ;
  - définies hors de toute fonction (niveau 0) ;
  - ont des valeurs permanentes, durant l'exécution du programme ;
  - initialisées lors de la définition.
- Chaque fonction doit la déclarer si elle veut l'utiliser :
  - de façon explicite, grâce à extern.
  - de façon implicite, par contexte (si la déclaration apparaît avant son utilisation).

Variables static

- Les variables internes statiques sont locales à une fonction particulière mais « restent en vie » d'un appel sur l'autre.
- Les variables externes statiques sont locales au fichier source (fichier physique). Cela permet de ne pas les exporter.

```
void f(void) {
   static int S = 0;
   int L = 0; /* automatique */
   L++; S++;
   printf(" L=%d ,  S=%d \n ", L, S);
}
```

Variables registres

- Cela permet d'indiquer au compilateur que la variable va être beaucoup utilisée et que le compilateur va pouvoir la ranger dans un registre (car l'accès à un registre est plus rapide qu'un accès à la mémoire).
- Seuls les variables automatiques et les paramètres formels d'une fonction peuvent avoir cette caractéristique. L'ensemble des types autorisés varie.
- Il est impossible de connaître l'adresse d'une variable **register.**

Variables volatiles

- Indiquer à l'optimiseur qu'une variable peut changer de valeur même si cela n'apparaît pas explicitement dans le source du programme.

```
int main (int argc, char *argv[]) {
    volatile int var = -1;
    int i = 1;
    while (i)
            i = var; /* sans volatile, cette instruction est supprimée
                                par l'optimiseur */
    return 0;
}
```

- Variables susceptibles d'être modifiées indépendamment du déroulement normal du programme : variable modifiée sur réception d'un signal ou d'une interruption, variable implantée à une adresse directement utilisée par la machine

Initialisation des variables

- Si pas d'initialisation explicite, les variables static et extern sont initialisées à 0, les auto et register à n'importe quoi.
- Si initialisation explicite, les variables static et extern doivent l'être avec une expression constante car initialisations élaborées à la compilation. Les initialisations des variables auto et register sont élaborées à chaque entrée dans le bloc (exécution) a , donc n'importe quelle expression est acceptée.

Fonctions

- Par défaut, toute fonction est extern et elle est supposée rendre un int ou char s'il n'y a pas eu de déclaration explicite avant.
- Une fonction peut être static explicitement (dans ce cas-là, on limite la portée de la fonction au fichier physique).

Domaine d'application

- Le domaine d'application d'une déclaration = région de texte du programme C dans laquelle cette déclaration est active.
  - **Variables globale :** Le domaine d'application d'un identificateur déclaré dans une déclaration de plus haut niveau s'étend entre son emplacement de déclaration et la fin du fichier physique.
  - **Paramètre formel :** Le domaine d'application d'un identificateur déclaré dans une déclaration de paramètre formel s'étend entre son emplacement de déclaration et la fin du corps de la fonction.

Domaine d'application

- Domaine d'application
  - **Variable automatique :** Le domaine d'application d'un identificateur déclaré au début d'un bloc s'étend entre son emplacement de déclaration et la fin du bloc.
  - **Etiquette d'instruction :** Le domaine d'application d'une étiquette d'instruction englobe l'ensemble du corps de la fonction dans laquelle elle apparaît.
  - **Macro :** Le domaine d'application d'un nom de macro de préprocesseur s'étend entre #define et la fin du fichier physique ou jusqu'à un #undef correspondant.

Conseils

- Avoir un seul emplacement de définition (fichier source) pour chaque variable externe (omettre extern et avoir un initialiseur).
  - `int cpt = 0;`
- Dans chaque fichier source référençant une variable externe définie dans un autre module, utiliser extern et ne pas fournir d'initialiseur.
  - `extern int cpt;`

Modularité

- Forme très simple de «modularité» reposant sur la notion de fichiers (et inclusion de fichiers).
- Rappels sur les déclarations de variables :
  - au début d'un bloc : locale, temporaire;
  - au niveau 0 : globale au programme, permanente;
  - déclaration static : locale (fichier ou fonction), permanente;
  - déclaration extern : référence à une définition.
- Rappel sur le mot-clé static : il permet de rendre une variable externe ou une fonction «privée» à un fichier; il permet de déclarer des variables internes permanentes.

Pourquoi la modularité ?

- Un module est une unité de programme, c'est-à-dire un ensemble de fonctions réalisant un même traitement et un ensemble de variables utilisées par ces fonctions.
- Le découpage d'un programme en modules est indispensable à
  - la lisibilité;
  - la maintenance;
  - la ré-utilisation
- Dans un programme en langage C, on définira un module nom au moyen du couple de fichiers :
  - nom.c : le fichier d'implémentation contenant les définitions de toutes les fonctions et variables du module;
  - nom.h : le fichier de définitions contenant les déclarations de types, de constantes, de variables et de fonctions (prototypes).

Règles de modularité

- Les fonctions et variables internes du module sont déclarées locales à ce module au moyen du mot-clé static.
- Un fichier de déclarations ne contient aucune définition de variable, mais seulement :
  - des définitions de types
  - des déclarations de variables
  - des déclarations de fonctions.
- Le fichier de déclarations d'un module est inclus dans le source de ce module, afin de permettre un contrôle des déclarations par le compilateur.

Exemple


```
#ifndef _GENERATOR_H
#define _GENERATOR_H

extern void generator_reset (int);
extern int generator_current (void);
extern int generator_next (void);

#endif
```

Exemple


```
#include "generator.h"

static int value = 0;

void generator_reset (int beg) {
      value = beg;
}

int generator_current (void) {
      return value;
}

int generator_next (void) {
      return value++;
}
```

Modularité compilation

- compilation :
  - gcc -c -Wall -pedantic -ansi generator.c
- Ne crée que le fichier objet et pas d'exécutable.
- un fichier utilisateur main.c :

```
#include <stdio.h>
#include "generator.h"

int main (int argc, char *argv[]) {
      printf("%d\n", generator_current());
      generator_reset(4);
      printf("%d\n", generator_next());
      printf("%d\n", generator_current());
      return 0;
}
```

- Compilation :
  - gcc -Wall -pedantic -ansi generator.c main.c
- Crée l'exécutable a.out.

Options de compilations

- Générales (principes généraux mais syntaxe spécifique gcc)
  - -c : compile et assemble les fichiers sources et stoppe avant l'édition de liens (fichier .o ou .obj).
  - -S : stoppe après la compilation propre; n'assemble donc pas (fichier .s).
  - -E : stoppe après le passage du préprocesseur (sur la sortie standard).
  - -o file : (output) redirige la sortie sur le fichier file.
  - -v : (verbose) option intéressante, car liste toutes les commandes appelées par gcc.

- Démo Visual C++ (définir IDE, front end)

Options de compilations

- Répertoires
  - -I dir : ajoute dir à la liste des répertoires où chercher les fichiers à inclure. (i masjuscule)
  - -L dir : ajoute dir à la liste des répertoires où chercher les bibliothèques -l.
- Pour déboguer
  - -g : met les informations nécessaires dans l'exécutable pour le débogueur.
  - -g format : pour un format précis (gdb, coff, xcoff, dwarf).

Options de compilations

- Optimisations
  - -O1, -O2, -O3 : afin d'optimiser.
  - -O0 : pour ne pas optimiser.
- Cible
  - -b machine : pour la cross-compilation.
  - -V version : quelle version utiliser (option utilisée bien sûr si plusieurs versions sont installées).

Options de compilations

- Avertissements
  - -w : pour supprimer les avertissements du compilateur.
  - -Wall : à utiliser si on veut avoir des programmes «vraiment propres».
  - -pedantic –ansi : pour être sûr de «coller» la norme ansi.

Outil make

- Vocation de **make** = gérer la construction de logiciels modulaires.
- Réaliser des compilations (ou toute autre action) dans un certain ordre (compatible avec des règles de dépendance) : fichier **makefile.**
- Dans le cas où make réalise des actions autres que la compilation, cet outil est équivalent à un script SHELL, si ce n'est qu'il y a la gestion des règles de dépendance en plus.
- make ne produit les cibles que si les cibles dont elles dépendent sont plus récentes qu'elles.

Utilitaire make et makefile

- Existe partout (make sur Linux, nmake sur windows)
- Exécute une suite d'instructions contenues dans un fichier dit « makefile »
- Souvent le fichier « makefile » s'appelle Makefile
- Structure du fichier

  entree: dépendances

  	action à réaliser
- Attention tabulations importantes !!!! Avant actions

makefile

- **CC=gcc**
- **CFLAGS=-Wall -pedantic -ansi**
- OBJECTS=math.o essai.o
- vasy : $(OBJECTS)
  $(**CC**) **-o vasy $(OBJECTS)**
  @echo "La compilation est finie"
- essai.o : essai.c math.h
  $(**CC**) **-c $(CFLAGS) essai.c**
- math.o : math.c math.h
  $(**CC**) **-c $(CFLAGS) math.c**
- clean :
  -rm -f $(OBJECTS) vasy *~
- print :
  a2ps math.h math.c essai.c | lpr

- **Remarque :** Si math.o n'est pas « lu » lors de l'édition de liens, il y aura une référence non résolue de la fonction puissance.
- $ gcc essai.c

  ...: In function 'main':

  ...: undefined reference to 'puissance'

  ... ld returned 1 exit status
- $

Structure générale du makefile

- Ce fichier de texte contient une suite d'entrées qui spécifient les dépendances entre les fichiers.
- Il est constitué de lignes logiques (une ligne logique pouvant être une ligne physique ou plusieurs lignes physiques séparées par le signe barre à l'envers).
- Les commentaires débutent par le signe # et se terminent à la fin de ligne.
- Contenu (ordre recommandé) :
  - définitions de macros
  - règles implicites
  - règles explicites ou entrées

Règles explicites

$cible_1$ ... $cible_m$: $dépendance_1$ ... $dépendance_n$

$action_1$

$action_2$

...

$action_p$

- Traduction : mettre à jour les cibles : $cible_1$ ... $cible_m$ quand les dépendances $dépendance_1$ ... $dépendance_n$ sont modifiées en effectuant les opérations $action_1$,$action_2$ ... $action_p$
- La première entrée est la cible principale

makefile : exemple


```
onyva : entiers.o matrices.o pal.o
	@gcc -o onyva entiers.o matrices.o pal.o
	@echo "exécutable $@ créé"
entiers.o : entiers.h entiers.c
	@echo "compilation de $*.c..."
	@gcc -c -Wall -pedantic -ansi entiers.c
matrices.o : matrices.h entiers.h elements.h matrices.c
	@echo "compilation de $*.c..."
	@gcc -c -Wall -pedantic -ansi matrices.c
pal.o : matrices.h pal.c
	@echo "compilation de $*.c..."
	@gcc -c -Wall -pedantic -ansi pal.c

clean :
	-rm -f *.o; rm -f onyva; rm -f *~

print :
	a2ps entiers.h entiers.c | lpr
	a2ps matrices.h matrices.c | lpr
	a2ps elements.h pal.c | lpr
```

- Si une action s'exécute sans erreur (code de retour nul), **make** passe à l'action suivante de l'entrée en cours, ou à une autre entrée si l'entrée en cours est à jour. Si erreur (et - absent), **make** arrête toute exécution.
- Les actions peuvent être précédées des signes suivants :
  - - si l'action s'exécute avec un code de retour anormal (donc erreur), **make** continue
  - @ l'impression de la commande elle-même est supprimée
  - @-, -@ pour combiner les précédents

Commandes usuelles

- Il est bien pratique d'avoir des entrées d'impression, de nettoyage ou d'installation.

impression :

```
-lpr *.c *.h
```

menage :

```
@-rm *.o *.out core *~
```

install :

```
mv a.out /usr/bin/copy
chmod a+x /usr/bin/copy
```

Appel de make

- make [-f nom_du_makefile] [options] [nom_des_cibles]
- Options :
  - -f : si option manquante, make prendra comme fichier de commandes un des fichiers makefile, Makefile, s.makefile ous.Makefile (s'il le trouve dans le répertoire courant)
  - -d : permet le mode «Debug», c'est-à-dire écrit les informations détaillées sur les fichiers examinés ainsi que leur date
  - -n : imprime les commandes qui auraient dû être exécutées pour mettre à jour la cible principale (mais ne les exécute pas).

Commandes usuelles

- Options (suite) :
  - -p : affiche l'ensemble complet des macros connues par make, ainsi que la liste des suffixes et de leurs règles correspondantes
  - -s : n'imprime pas les commandes qui s'exécutent; make fait son travail en silence
  - -S : abandonne le travail sur l'entrée courante en cas d'échec d'une des commandes relatives à cette entrée (L'option opposée est -k).
  - -t : permet de mettre à jour les fichiers cible
  - nom_des_cibles : si aucun nom n'est donné, la cible principale sera la première entrée explicite du makefile.

make : exemple d'appel

- make
- make pal.o
- make clean
- make onyva
- make (@print@)

Makefile : Macros

- Définition de macros :
- Syntaxe
  - chaine1 = chaine2
- chaîne2 est une suite de caractères se terminant au caractère # de début de commentaire ou au caractère de fin de ligne (s'il n'est pas précédé du caractère d'échappement \).
- Dans la suite du makefile, chaque apparition de $(chaîne1) sera remplacée par chaîne2.
- Exemples :
  - OBJETS=f1.o f2.o f3.o
  - SOURCES=f1.h f1.c f2.h f2.c f3.h f3.c
  - REPINST=/usr/bin

- Remplacement d'une sous-chaîne par une autre dans une chaîne :
- Syntaxe : $(chaîne:subst1=subst2)
  - subst1 est remplacé par subst2 dans chaîne.
- Exemples :
  - $(OBJETS:f2.o=)
  - $(OBJETS:f2.o=fn.o)
  - $(REPINST:bin=local/bin)

Macros internes

- $* le nom de la cible courante sans suffixe
- $@ le nom complet de la cible courante
- $< la première dépendance
- $^ la liste complète des dépendances
- $? la liste des dépendances plus récentes que la cible

- Les variables d'environnement sont supposées être des définitions de macros. Par défaut :
  - Les variables d'environnement l'emportent sur les macros internes définies par défaut.
  - Les macros définies dans le makefile l'emportent sur les variables d'environnement.
  - Les macros définies dans une ligne de commande l'emportent sur les macros définies dans le makefile.
- L'option -e change tout ça de telle façon que les variables d'environnement l'emportent sur les macros définies dans le makefile.

Exemple


```
CC=gcc
CFLAGS=-Wall -pedantic -ansi
OBJETS=entiers.o matrices.o pal.o
SOURCES=*.h *.c Makefile ALIRE
CARDIR=/usr/profs/Licence

onyva : $(OBJETS)
      @$(CC) -o onyva $(OBJETS)
      @echo "$(USER), l'exécutable $@ est créé"
entiers.o : entiers.h entiers.c
      @echo "compilation de $*.c..."
      @$(CC) -c $(CFLAGS) entiers.c
matrices.o : matrices.h entiers.h elements.h \
           matrices.c
      @echo "compilation de $*.c..."
      @$(CC) -c $(CFLAGS) matrices.c
pal.o : matrices.h pal.c
      @echo "compilation de $*.c..."
      @$(CC) -c $(CFLAGS) pal.c

clean :
      -rm -f *.o; rm -f onyva; rm -f *~

print :
      a2ps entiers.h entiers.c | lpr
      a2ps matrices.h matrices.c | lpr
      a2ps elements.h pal.c | lpr

copy :
      tar czf $(CARDIR)/binomes.tgz $(SOURCES)
      chmod o+r $(CARDIR)/binomes.tgz
```

Règles implicites

- Elles servent à donner les actions communes aux fichiers se terminant par le même suffixe.

.SUFFIXES: liste de suffixes

.source.cible :

    actions

- Dans .SUFFIXES:, on définit les suffixes standard utilisés par les outils pour identifier des types de fichiers particuliers.
- Traduction : À partir de XX.source, on produit XX.cible grâce à actions.
- Pour supprimer les règles implicites par défaut, appeler make avec l'option -r, ou écrire .SUFFIXES: seulement.

Règles implicites

- Exemple : Pour tous les fichiers sources C (ayant comme suffixe .c), on appelle le compilateur C avec l'option -c.

```
.SUFFIXES: .out .o .h .c
.c.o:
    gcc -c -Wall -pedantic -ansi $*.c
```

Exemple : règles implicites par défaut


```
CC=gcc
CFLAGS=-Wall -pedantic -ansi
OBJETS=entiers.o matrices.o pal.o
SOURCES=*.h *.c Makefile ALIRE
CARDIR=/usr/profs/Licence

onyva : $(OBJETS)
	@$(CC) -o onyva $(OBJETS)
	@echo "$(USER), l'exécutable $@ est créé"
entiers.o : entiers.h entiers.c
matrices.o : matrices.h entiers.h elements.h \
	matrices.c
pal.o : matrices.h pal.c

clean :
	-rm -f *.o; rm -f onyva; rm -f *~

print :
	a2ps entiers.h entiers.c | lpr
	a2ps matrices.h matrices.c | lpr
	a2ps elements.h pal.c | lpr

copy :
	tar czf $(CARDIR)/binomes.tgz $(SOURCES)
	chmod o+r $(CARDIR)/binomes.tgz
```

Exemple : changement des règles implicites par défaut


```
CC=gcc
CFLAGS=-Wall -pedantic -ansi
OBJETS=entiers.o matrices.o pal.o
SOURCES=*.h *.c Makefile ALIRE
CARDIR=/usr/profs/Licence
.c.o:
      @echo "compilation de $*.c..."
      @$(CC) -c $(CFLAGS) $*.c

onyva : $(OBJETS)
      @$(CC) -o $@ $(OBJETS)
      @echo "$(USER), l'exécutable $@ est créé"
entiers.o : entiers.h entiers.c
matrices.o : matrices.h entiers.h elements.h \
           matrices.c
pal.o : matrices.h pal.c

clean :
      -rm -f *.o; rm -f onyva; rm -f *~

print :
      a2ps entiers.h entiers.c | lpr
      a2ps matrices.h matrices.c | lpr
      a2ps elements.h pal.c | lpr

copy :
      tar czf $(CARDIR)/binomes.tgz $(SOURCES)
      chmod o+r $(CARDIR)/binomes.tgz
```

Exemple : avec demande à l'utilisateur


```
SHELL=zsh
CC=gcc
CFLAGS=-Wall -pedantic -ansi

.c:
	@echo "avec Debug? "
	@-read -q REP; \
	case $${REP} in \
	y) $(CC) $(CFLAGS) -g -o $@ $*.c;;\
	n) $(CC) $(CFLAGS) -o $@ $*.c;; \
	esac
```

Autre exemple


```
SHELL=zsh
CC=gcc
CFLAGS=-Wall -pedantic -ansi
.c.o:
      @print "compilation de $*.c..."
      @$(CC) $(CFLAGS) -c $*.c

all :
# exécution d'un script shell pour demander
# à l'utilisateur quelle implémentation il
# désire
      @demande
pileL : pileL.o pal.o
      @print "edl pour impl. liste..."
      @$(CC) -o pileL pileL.o pal.o
pileT : pileT.o pal.o
      @print "edl pour imp. tableau..."
      @$(CC) -o pileT pileT.o pal.o
pileT.o : pileT.c pile.h
pileL.o : pileL.c pile.h
pal.o : pal.c pile.h

clean :
      -rm -f *~ core pileL pileT *.o
print :
      a2ps pal.c pile.h pileT.c pileL.c | lpr
```

Autre exemple


```
echo -n "Liste ou tableau (L/T)? "
read rep
case $rep in
t|T) make pileT;;
l|L) make pileL;;
*) echo "pas possible...";;
esac
```

make sous windows

- Il existe un ou plusieurs utilisateurs make sous chaque système
- Attention : souvent pas compatible entre eux, mais fonctionnement commun
- make sous Windows = nmake
- Sous windows il faut exécuter vcvars32 ou un équivalent
  - Allez dans démarrer / Tous les programme / Microsoft Visual Studio 2010 / Visual Studio Tools puis cliquer sur un « command prompt »
  - Vous pouvez exécuter nmake /help
  - Nécessaire pour avoir plusieurs versions de compilateurs installées sur la même machine

make

- Les IDE créent des makefile.
- Visual Studio : positionnez la souris sur un projet, puis faites un clique droit, puis Propriétés. Dans la partie gauche sous C/C++ et Linker il y a une entrée Command Line : elle permet de voir la commande qui est effectivement appelée pour compiler et pour linker

Le préprocesseur

- Fonctions du préprocesseur
- Il est appelé avant chaque compilation par le compilateur. Toutes les directives commencent par un # en début de ligne.
  - Inclusion textuelle de fichiers (#include)
  - Remplacements textuels (#define)
    - Définition de constantes
    - Définition de macros
  - Compilation conditionnelle (#if #ifdef #ifndef #else #endif)
- Remarque : Récursivité des définitions.

Définition des constantes

- #define nom expression
- #undef nom
- Dans le fichier concerné, nom sera remplacé textuellement par expression (sauf dans les chaînes de caractères et les commentaires).
- Exemples :
  - #define FALSE 0
  - #define TRUE 1
  - #define NULL ((char*) 0)
  - #define T_BUF 512
  - #define T_BUFDBLE (2 * T_BUF)

Remarques

- Certains préprocesseurs produisent un message d'avertissement s'il y a re-définition d'une macro, mais remplacent la valeur par la nouvelle.
- D'autres ont une pile de définitions.
- La norme ansi ne permet pas l'empilement.

Inclusion de fichiers sources

- #include "nom_du_fichier"
- #include <nom_du_fichier>
- Avec les <>, le préprocesseur ne va chercher que dans le ou les répertoires standards.
  - /usr/include
  - /include
- Avec les guillemets, le préprocesseur va chercher à l'endroit spécifié, puis dans le ou les répertoires standards.
- On peut passer une option au compilateur pour lui expliquer où chercher (-I)

Définition de macros

- #define nom(par_1, ..., par_n) expression
- Dans expression, il est recommandé de parenthéser les par_i afin d'éviter des problèmes de priorité lors du remplacement textuel des paramètres (rien à voir avec le passage des paramètres lors d'un appel de sous-programme).
- Exemples :
  - #define getchar() getc(stdin)
  - #define putchar(c) putc(c, stdout)
  - #define max(a, b) (((a) > (b)) ? (a) : (b))
  - #define affEnt(a) fprintf(stdout, "%d", a)
  - #define p2(a) ((a) * (a))

Définition de macros

- Une macro est définie à partir du #define jusqu'à la fin de ligne
- Pour passer à la ligne, sans utiliser une fin de ligne, on doit utiliser le caractère \
- Exemple

```
#define PRINT_TAB(tab,n)\
   int i;\
   for(i=0;i<n;i++){ printf("%d ", tab[i]);}\
   printf("\n");
```

Définition de macros

- ## va permettre de concaténer
- Macro concat(a,b) je veux concaténer a et b ?
  - #define concat(a,b) a##b
- ATTENTION a la priorité des opérateurs : on parenthèse
  - #define max(a,b) (a < b) ? b : a;
  - #define max(a,b) ((a) < (b)) ? (b) : (a);
- ATTENTION les macros font du remplacement de texte
  - #define max(a,b) ((a) < (b)) ? (b) : (a);
  - max(i++,j++) : mauvais résultat !

Macros prédéfinies

- __LINE__ ligne courante dans le fichier source
- __FILE__ nom du fichier source
- __DATE__ date de compilation du programme
- __HEURE__ heure de compilation du programme
- __STDC__ à 1 si implémentation conforme à ansi

Compilation conditionnelle


```
#if expression_constante
#ifdef expression_constante
#ifndef expression_constante
   liste_instructions_ou_déclarations
#else
   liste_instructions_ou_déclarations
#endif
```

Compilation conditionnelle

- Il est possible d'emboîter des commandes de compilation conditionnelle.
- La compilation conditionnelle permet :
  - la paramétrisation à la compilation des structures de données;
  - de gagner de la place en ôtant le code inutile à l'exécution;
  - de prendre des décisions à la compilation plutôt qu'à l'exécution.

Exemple


```
#include <stdio.h>

#if 0
/* partie de programme en commentaires */
...
#endif

      int main (int argc, char *argv[]) {
            printf("%d\n", __STDC__);
#if __STDC__
            printf("ansi\n");
#else
            printf("non ansi\n");
#endif
            return 0;
}
```

Autres directives

- #line fournit un numéro de ligne
- #elif sinon si
- defined(nom) détermine si nom est défini comme une macro de préprocesseur
- #error "mess" arrête la compilation avec le message d'erreur
- #warning "mess" produit l'avertissement mess à la compilation

Options du compilateur (très utilisées)

- -Dmacro=defn définit la macro avec la chaîne defn comme valeur
- -Umacro pour ôter la définition de la macro

Exemple


```
#ifndef _GENERATOR_H
#define _GENERATOR_H

extern void generator_reset (int);
extern int generator_current (void);
extern int generator_next (void);

#endif
```

Exemple

1.276

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

static int value = 0;

void generator_reset (int beg) {
      value = beg;
}

int generator_current (void) {
      return value;
}

int generator_next (void) {
      return value++;
}

#ifdef SELFEXEC
int main (int argc, char *argv[]) {
      generator_reset(argv[1] != NULL ?
            atoi(argv[1]) : 0);
      do {
            printf("%d\n", generator_current());
      } while (generator_next() < 10);
      return 0;
}
#endif
```

Assert et NDEBUG


```
#include <assert.h>
void assert( int exp );
```

- La macro assert est utilisé pour tester des erreurs. Si exp est évalué à 0, alors assert écrit des informations sur la sortie erreur standard (stderr).
- Si la macro NDEBUG est définie alors assert est ignorée

Assert et NDEBUG

- Code

x = t[i] +2;

- Dangereux si i n'est pas dans les bornes (i >=0 et i < n)
- Problème tester coute cher
- Solution assert

assert(i >=0 && i < n);

x = t[i] +2;

- Avec NDEBUG définie (Not Debug) ne fait rien du tout = cout nul
- Avec NDEBUG non définie, alors on teste les valeurs et si erreur alors message du type
  - « Assertion failed in line XXX »

Edition de liens

- L'édition de lien permet de constituer un module binaire exécutable à partir de bibliothèques et de fichiers objets compilés séparément, en résolvant les références (externes) qui n'ont pas été résolues lors des passes précédentes du processus de compilation.
- Elle extrait des bibliothèques les modules utiles aux fonctions effectivement utilisées.
- Chaque objet externe doit avoir une et une seule définition dans l'ensemble des modules à assembler.

Bibliothèque (library)

- C'est un fichier « un peu spécial » contenant la version objet d'une fonction ou de plusieurs traitant d'un sujet particulier (ou la version objet d'un « module »).
- Sous UNIX, les répertoires standard des bibliothèques sont /lib ou /usr/lib.
- La bibliothèque d'archives standard C est en fait le fichier /usr/lib/libc.a, et elle contient entre autres fprintf.o, atoi.o, strncat.o, etc.
- La bibliothèque d'archives mathématique est en fait le fichier /usr/lib/libm.a, contenant entre autres e_pow.o, s_sin.o, etc

Utilisation explicite d'une bibliothèque


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

#define dem(n, v) printf(n " = ? ");\
      fscanf(stdin, "%d", &v)

int main (int argc, char *argv[]) {
      int x, y;

      dem("x", x);
      dem("y", y);
      printf("%d^%d = %.2f\n", x, y, pow(x, y));
      return 0;
}
```

Compilation et édition de liens

- gcc -Wall -pedantic -ansi -c power.c
- gcc power.o : ERROR
- ...: In function 'main':
  ...: undefined reference to 'pow'
  ...: ld returned 1
- OK :
  - gcc power.o –lm
  - gcc power.o /usr/lib/libm.a
  - gcc power.o /usr/lib/libm.so

Edition de liens statique

- Elle extrait le code de la fonction et le recopie dans le fichier binaire.
- Tout est donc contenu dans le fichier binaire, ce qui permet une exécution directe du programme.
- Inconvénients :
  - Problème de mémoire : le code de la fonction est chargé en mémoire autant de fois qu'il y a de processus l'utilisant.
  - Problème de version : si la bibliothèque change, les applications déjà construites continueront d'utiliser l'ancienne version...

Edition de liens statique

- gcc power.o -static /usr/lib/libm.a
  - taille de a.out = 1656301 octets
- gcc power.o -static -lm
  - taille de a.out = 1656301 octets

Edition de liens dynamique

- Dans ce cas, l'éditeur de liens ne résout plus totalement les références, mais construit une table de symboles non résolus contenant des informations permettant de localiser ultérieurement les définitions manquantes.
- Les résolutions sont alors seulement faites lors de l'exécution.
  - liaison dynamique **immédiate** (lors du chargement du programme);
  - liaison dynamique **différée** (à la première référence d'un objet).
- Inconvénient : ralentissement du chargement du programme.

Edition de liens dynamique

- Les bibliothèques de fonctions «reliables,» dynamiquement sont appelées
  - objets partagés (fichiers .so)
  - bibliothèques partagées (fichiers .sl)
  - Dynamic link library (dll) sous Windows

- gcc power.o /usr/lib/libm.so
  - taille de a.out = 14298 octets
- gcc power.o -lm
  - taille de a.out = 14298 octets

Options de compilation

- Tous les fichiers dont les noms n'ont pas de suffixe connus sont considérés par gcc comme des fichiers objets (et sont donc reliés par l'éditeur de liens).
- -l*nom_de_biblio* : l'éditeur de liens va chercher, dans la liste des répertoires standard des bibliothèques, la bibliothèque *nom_de_biblio*, qui est en fait un fichier nommé lib (*nom_de_biblio.a* ou *.so* et *.sl* si dynamique).
- -L*nom_de_chemin* : ajoute *nom_de_chemin* à la liste des répertoires standard des bibliothèques.
- -static : sur les systèmes acceptant l'édition de liens dynamique, elle permet d'éviter l'édition de liens avec des bibliothèques partagées.

Options de compilation

- Pour Windows :
- "*nom_de_biblio.lib*" : l'éditeur de liens va chercher, dans la liste des répertoires standard des bibliothèques, la bibliothèque *nom_de_biblio*, qui est en fait un fichier nommé lib
- /LIBPATH:"*nom_de_chemin*" : ajoute *nom_de_chemin* à la liste des répertoires standard des bibliothèques.
- /MT : édition de lien statique
- /MD : édition de liens dynamique

Construction de bibliothèques

- Il est nécessaire de fournir un (ou des) .h, qui servira d'interface avec la bibliothèque :
  - définitions de constantes symboliques et de macros;
  - définitions de types;
  - déclarations de variables globales externes;
  - déclarations de fonctions (en fait, leur prototype).
- Et bien sûr, il y a le (ou les) .c, qui définit les variables et les fonctions déclarées dans le (ou les) .h, et autres objets privés.

Création de bibliothèques

- Après la mise au point de la fonction ou du module, il suffit de créer la bibliothèque :
- Bibliothèque d'archives : réunir un ensemble d'«objets» en une seule bibliothèque d'archives, en vue de leur reliure statique.
  - ar [options] archive fichiers
- Options :
  - -t : affiche le contenu de l'archive
  - -r : remplace ou ajoute le(s) fichier(s) dans l'archive
  - -q : ajoute le(s) fichier(s) à la fin de l'archive (sans contrôler leur existence)
  - -d : supprime le(s) fichier(s) spécifié(s) de l'archive
  - -x : extrait le(s) fichier(s) de l'archive sans que le contenu de l'archive soit modifié

Exemples

- ar -r lib/libdiv.a generator.o
- ar -t lib/libdiv.a
- generator.o
- ar -r lib/libdiv.a pow.o
- ar -t lib/libdiv.a
- generator.o
- pow.o

Bibliothèque partagée

- Bibliothèque partagée (produite par gcc ou ld)
- Exemple :
- gcc -c **-shared** -o pow.so pow.c
- gcc power.o pow.so