

Programmation en C

Cours 4

Licence Maths-Info
Aix-Marseille Université
2011-2012

Valentin Emiya
valentin.emiya@lif.univ-mrs.fr

6 février 2012

Lundi dernier

- Compilation et make
- La précompilation : les directives
- Les types
 - `struct`, `union`, `enum`
 - définir un nouveau type avec `typedef`
- L'outil *`gdb`* pour « débbuguer »

Aujourd'hui

Les Pointeurs

1/2

Enfin !

Depuis le temps qu'on nous en parle !

Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * Pointeurs et tableaux
- * Pointeurs de structures et d'union

Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * Pointeurs et tableaux
- * Pointeurs de structures et d'union

Pratique du C

Introduction aux pointeurs

Licence Informatique — Université Lille 1
Pour toutes remarques : Alexandre.Sedoglavic@univ-lille1.fr

Semestre 5 — 2009-2010

Notion de pointeurs :

- ▶ la mémoire physique est vue comme une suite finie d'octets ;
- ▶ un pointeur est une variable contenant l'adresse d'une autre variable ;

```
int i = 43 ; int *p_i = &i ;
```
- ▶ une valeur de type pointeur est une adresse mémoire ;
- ▶ un pointeur est donc un espace mémoire pouvant contenir une adresse :

label	...	i				p_i				
adresse	0	...	x	x+1	x+2	x+3	x+4	x+5	x+6	x+7
octet	...	43				x				

Déclaration d'un pointeur

- ▶ pointeur : caractérisé par le type de la variable pointée ;
- ▶ déclaration : `type_pointé *identificateur_pointeur ;` ;
- ▶ `type_pointé` : peut être d'un type quelconque ;
- ▶ la classe d'allocation de la variable pointée peut être tout sauf *register* i.e. la variable pointée peut être externe, statique, automatique (voir cours correspondant) ;
- ▶ exemples :

```
int foo ;                               .data
int *p_foo ;                             .globl foo  .size foo,4
                                         foo:  .long  44

short int bar ;                          .globl p_foo .size p_foo,4
short int *p_bar ;   p_foo: .long  foo
                                         .globl bar  .size bar,2
foo=44 ; p_foo=&foo; bar:  .value  44
bar=44 ; p_bar=&bar;      .globl p_bar .size p_bar,4
p_bar: .long  bar
```

Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * Pointeurs et tableaux
- * Pointeurs de structures et d'union

L'opérateur &

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

Pointeurs et
tableaux

Pointeurs de
structures et
d'union

Cet opérateur retourne l'adresse d'un objet : opérateur
"adresse de"

- ▶ il est unaire & : adresse mémoire d'un objet ;
- ▶ il ne s'applique qu'à des objets en mémoire : variables, éléments de tableaux, fonctions ;
- ▶ Exemple : `int i, *p; p = &i;`

On utilise une constante dénommée "pointeur nul" :

```
#define NULL 0
```

et définie dans `stddef.h` (qui est inclus par le biais de `stdio.h`).
C'est la convention pour une adresse invalide (lorsqu'un
pointeur n'est pas initialisé par exemple).

L'opérateur *

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

Pointeurs et
tableaux

Pointeurs de
structures et
d'union

Il s'agit du déréférencement ou encore de l'opérateur d'indirection.

- ▶ c'est un opérateur unaire * qui retourne la valeur de l'objet pointé ;
- ▶ il s'applique à un pointeur de manière préfixée ;
- ▶ l'expression de retour est de même type que la valeur pointée ;
- ▶ il peut aussi apparaître en partie gauche d'affectation (*lvalue*) ;
- ▶ Exemple :

```
int i,j, *p = &i;  
*p = 4; j = *p + 1;
```


Attention

Les instructions :

```
int foo ;  
int *p_foo = &foo ;
```

ne sont pas équivalentes aux instructions :

```
int foo ;  
int *p_foo ;  
*p_foo = &foo ;
```

Il ne faut savoir sur quoi pointent vos pointeurs ; les instructions :

```
int *ptr ;  
*ptr = 0 ;
```

provoqueront probablement une erreur de segmentation car ptr n'est pas initialisé (on ne sait pas sur quoi il pointe).

Pointeur de type void

Pointeur vers le type void :

- ▶ pointeur vers un type *quelconque* ;
- ▶ le déréférencement ne s'y applique pas ;
- ▶ utiliser l'opérateur de conversion explicite de type.

Exemple :

```
int foo ;

void * p_qlcq = &foo ;

int
main
(void)
{
    foo = * (int *) p_qlcq ;
    /* "foo = *p_qlcq ; " est impossible */
    return 0 ;
}
```

Affectation à un pointeur

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

Pointeurs et
tableaux

Pointeurs de
structures et
d'union

Les pointeurs peuvent s'utiliser en valeur gauche
(affectation) à condition que :

- ▶ les pointeurs soient de même type i.e. même type d'objet pointé ;
- ▶ on affecte l'adresse d'une variable du type pointé ;
- ▶ l'expression de retour est un pointeur sur le type pointé.

Il est possible d'affecter une constante pointeur NULL.

```
int  a, *p_a =&a ;
char b, *p_b =&b ;
char c, *p_c =&c ;

      *p_a = *p_b ; /* conversion implicite */
      p_b  = p_c  ; /*   valide                */
/* p_a  = p_b  ;   invalide                */
```

Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * **Arithmétique sur les pointeurs**
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * Pointeurs et tableaux
- * Pointeurs de structures et d'union

Addition d'un pointeur et d'un entier :

- ▶ si p est un pointeur vers des objets de type T ;
- ▶ et n est un entier ;
- ▶ alors $p + n$ est une expression
 - ▶ de type pointeur vers des objets de type T ,
 - ▶ et de valeur l'adresse du n ième objet suivant celui pointé par p ;
- ▶ l'addition prend en compte la taille de l'objet.

```
int foo = 20 ;                               .data
int *p_foo = &foo ;                          .globl foo   .size   foo,4
                                              foo: .long   20
int                                             .globl p_foo .size   p_foo,4
main                                           .text
(void)                                       .globl main
{
    p_foo += 3 ;      main:  ....
    return 0 ;      addl   $12, p_foo
}
                                              .....
```

Spécificité du type void * — Soustraction

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

Pointeurs et
tableaux

Pointeurs de
structures et
d'union

On ne peut faire de l'arithmétique de pointeurs de type void.

Soustraction d'un pointeur et d'un entier (identique à l'addition) :

- ▶ la valeur étant l'adresse du *n*^{ième} objet précédent celui pointé par p.

Différence de pointeurs :

- ▶ si p et q sont des pointeurs de même type ;
- ▶ alors $p - q$ est une expression :
 - ▶ de type entier,
 - ▶ dont la valeur est le nombre d'objets situés entre p et q inclus.

Autres opérations

Comparaison de pointeurs :

- ▶ si p et q sont des pointeurs de même type ;
- ▶ tous les opérateurs de comparaison sont utilisables ;
- ▶ $p == q$: même objet pointé (adresse identique) ;
- ▶ $p < q$: p pointe un objet précédent celui pointé par q ;
- ▶ comparaison à NULL possible.

Calcul sur les pointeurs cohérent :

- ▶ prend en compte la taille des objets pointés ;
- ▶ `char *p ; p=p+1 ;` : fait “avancer” p de 1 octet ;
- ▶ `int *p ; p=p+1 ;` : fait “avancer” p de 4 octets ;
- ▶ arithmétique basée sur la taille des objets pointés (`sizeof`).

Tout autre calcul sur les pointeurs est *illicite*.

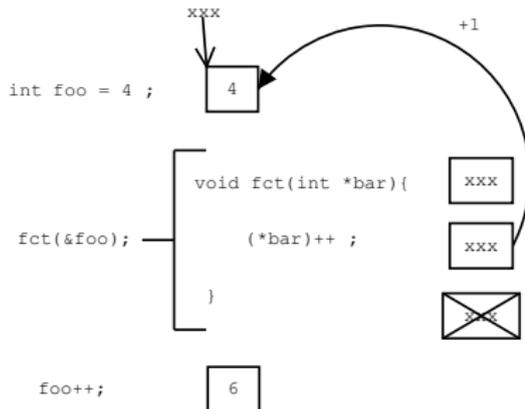
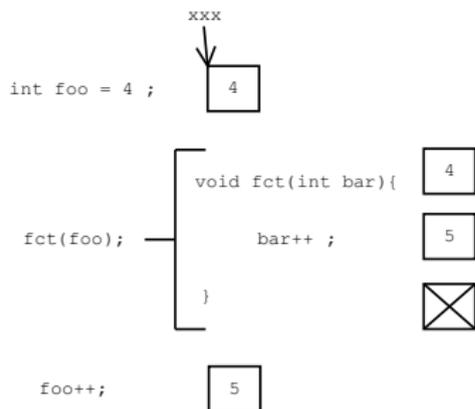
Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * **Pointeurs et passage de paramètres par adresse**
- * Pointeurs et tableaux
- * Pointeurs de structures et d'union

Lors de l'appel de fonction, le passage de paramètres est par valeur :

donc, pas d'effet de bord sur le paramètre dans l'appelante possible.

Les pointeurs permettent un effet latéral : c'est le passage par adresse.



Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * **Pointeurs et tableaux**
- * Pointeurs de structures et d'union

Dans un langage "classique" : après la déclaration d'un tableau t :

- ▶ t est une variable ;
- ▶ t est de type tableau de *quelque chose* ;
- ▶ t désigne le tableau en son entier.

En C :

- ▶ t **n'est pas** une variable ;
- ▶ t **n'est pas** de type tableau de *quelque chose* ;
- ▶ t **ne désigne pas** le tableau en son entier.

Ainsi, si on a `int t[10] ; :`

- ▶ t est une **constante** ;
- ▶ t est du type **pointeur vers** `int` ;
- ▶ valeur de t : adresse du premier élément du tableau ;

Si t est un tableau, alors $t \equiv \&t[0]$.

Pointeurs et tableaux partagent abusivement des opérateurs

Il y a équivalence de notation :

Si t est un tableau, $t[i] \equiv *(t + i)$

- ▶ un opérateur d'indexation est inutile dans le langage ;
- ▶ mais l'indexation est tout de même applicable à des variables de type pointeur ;

```
int tab[2] = { 1, 2 } ;                               .data
                                                       tab:   .long   1,2
int *p = tab ;                                         p:     .long   tab
                                                       .text
main:  ....
main   movl   tab, %eax
(void) movl   %eax, tab+4
{      movl   p, %edx
      *(tab+1) = *tab ;   addl   $4, %edx
      p[1] = p[0] ;      movl   p, %eax
      return 0 ;        movl   (%eax), %eax
}      movl   %eax, (%edx)
```

Passage de tableaux en paramètre

En conséquence des similitudes entre pointeurs et tableaux :

- ▶ un paramètre tableau est l'adresse du premier élément ;
- ▶ c'est une *variable* locale à la fonction : donc copie de l'adresse!!!!

Le passage de paramètre est systématiquement par adresse i.e. le tableau est modifié!!!

- ▶ deux syntaxes sont possibles :

- ▶ par pointeur :

```
void inc_tab(int *tableau, int size) {  
    register int i;  
    for (i = 0; i < size; i = i + 1);  
        *(tableau + i) = *(tableau + i) + 1;  
}
```

- ▶ par tableau :

```
void inc_tab(int tableau[], int size) {  
    register int i;  
    for (i = 0; i < size; i = i + 1);  
        tableau[i] = tableau[i] + 1;  
}
```

Les tableaux à 2 dimensions à la loupe

La clé pour comprendre :

type **M**[nb] \equiv **M** de type « tableau de nb *type* »,
donc

type M[NR][NC];

\equiv *type* (**M**[NR])[NC];

\equiv **M**[NR] de type « tableau de NC *type* »

\equiv « tableau de NC *type* » **M**[NR];

\equiv M de type

« tableau de NR « tableaux de NC *type* » »

Analyse de 2 « tableaux de tableaux »

```
#define NR 3
#define NC 5

char M[NR][NC]=
    {"nono", "tutu",
     "papa"};
char c;
int i=2, j=3;

c = M[i][j];
```

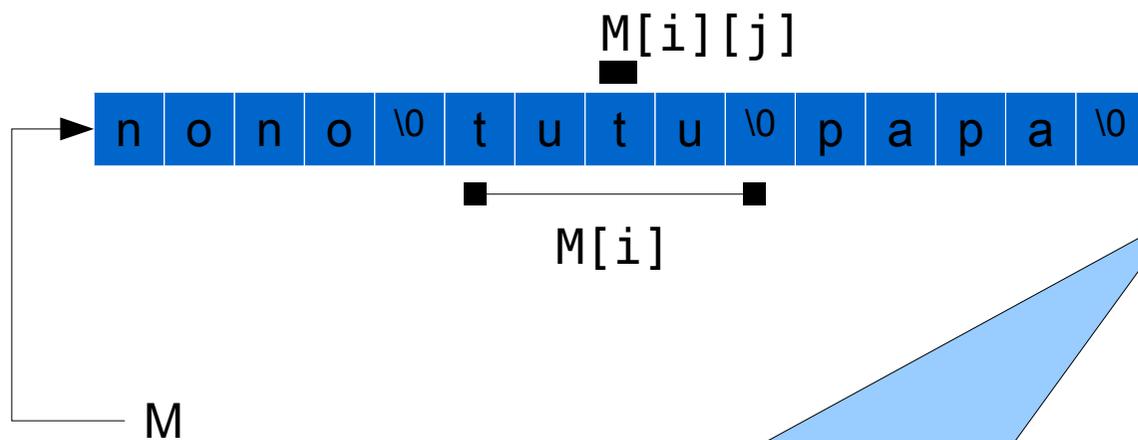
```
...
char s0[NC] = "nono";
char s1[NC] = "tutu";
char s2[NC] = "papa";
char *M[NR];
char c;
int i=2, j=3;

M[0] = s0;
M[1] = s1;
M[2] = s2;

c = M[i][j];
```

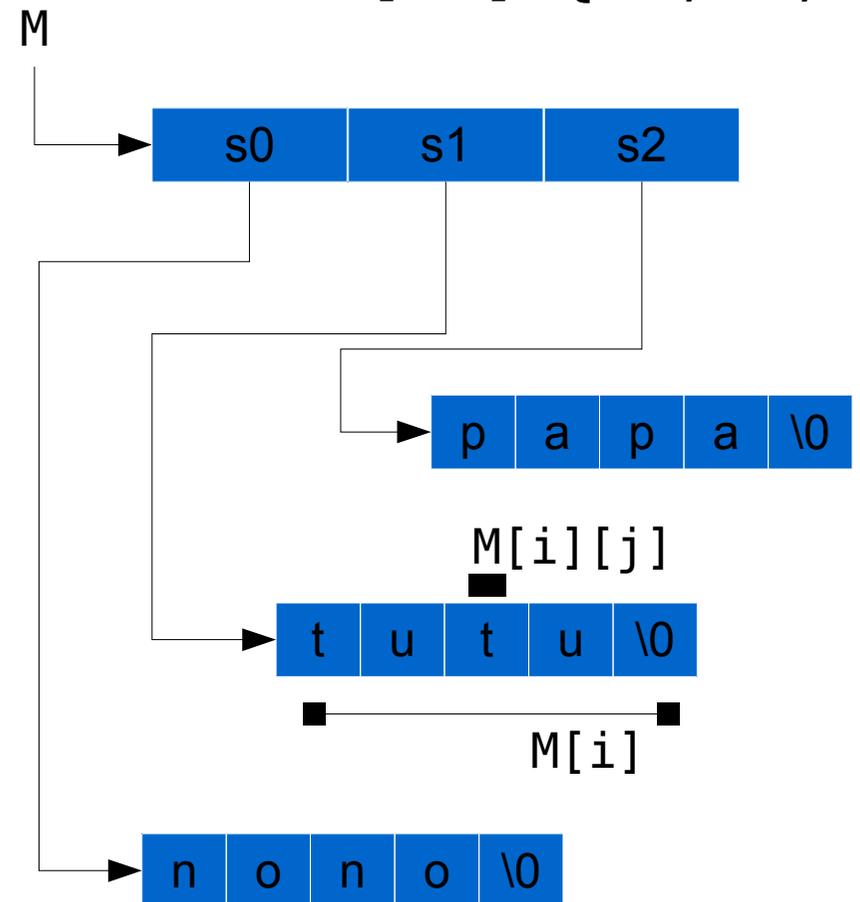
Analyse de 2 « tableaux de tableaux »

```
char M[NR][NC]={ "nono",  
                "tutu", "papa"};
```



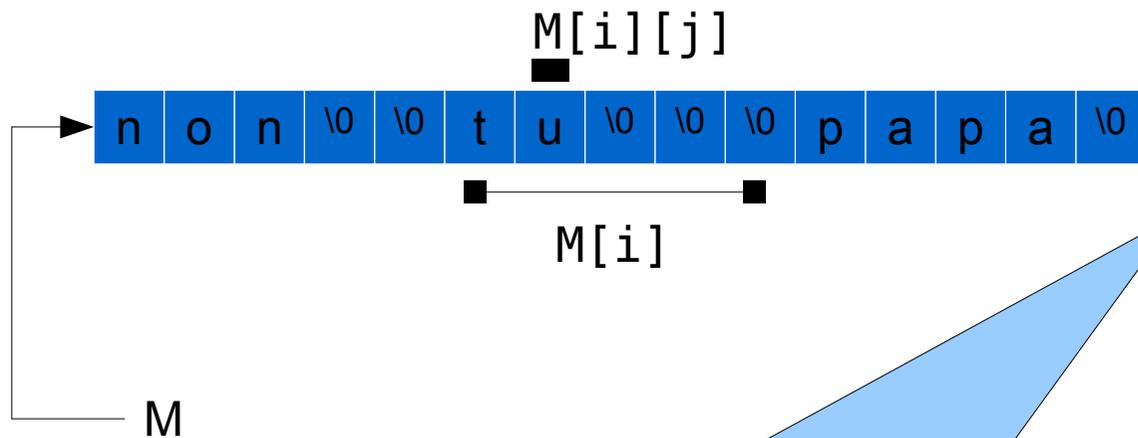
Les deux tableaux M ont des structures différentes en mémoire mais l'évaluation de $M[i][j]$ donne le même résultat !

```
char s0[NC] = "nono";  
char s1[NC] = "tutu";  
char s2[NC] = "papa";  
char *M[NR] = {s1, s2, s3};
```

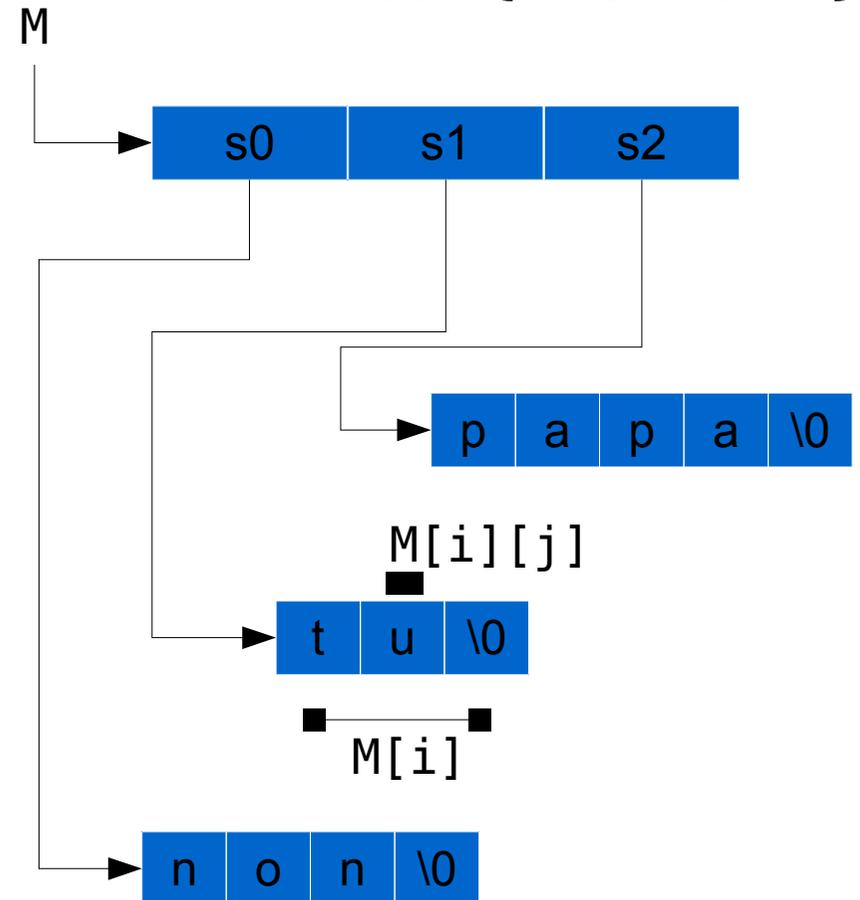


Lignes de longueurs différentes

```
char M[][]={"non",  
            "tu", "papa"};
```



```
char s0[] = "non";  
char s1[] = "tu";  
char s2[] = "papa";  
char *M[]={s1, s2, s3};
```



La version « tableau de pointeurs » (droite) permet d'avoir des lignes de longueurs différentes avec une occupation optimale de la mémoire.

Pointeur et tableau multidimensionnel (I)

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

Pointeurs et
tableaux

Pointeurs de
structures et
d'union

```
char tab[3][4] = {"123","456","789"} ; tab:      .globl tab .data
char *foo=NULL;                               .string "123"
char bar=0 ;                                  .string "456"
                                               .string "789"
int main(void){                               .globl foo
    foo = *(tab+1) ;                          foo:      .long 0
    bar = (*(tab+2)) ;                       .globl bar
    bar = foo[2] ;                            bar:      .byte 0
    return 0 ;
}                                               .text
                                               .globl main
main:      .....
    movl $tab+4, foo
    movb tab+8, %al
    movb %al, bar
    movl foo, %eax
    addl $2, %eax
    movb (%eax), %al
    movb %al, bar
    .....
```

/* la syntaxe des pointeurs
s'applique aux tableaux
et celles des tableaux
aux pointeurs bien qu'il ne
s'agissent pas exactement
des m[^]emes types d'objet */

Pointeur et tableau multidimensionnel (II)

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

**Pointeurs et
tableaux**

Pointeurs de
structures et
d'union

Les pointeurs permettent un codage des tableaux multidimensionnels par un “arbre” :

```
#include <stdio.h>
char tab[3][4] = {"123","456","789"} ;

char *foo[3] = {NULL,NULL,NULL} ; /* ce sera char **foo ; */
                                   /* lorsque nous saurons faire */
int                                           /* de l'allocation dynamique */
main                                         /* (prochain cours).          */
(void)
{
    foo[0] = tab[0] ;
    foo[1] = tab[1] ;
    foo[2] = tab[2] ;
    return (int) foo[1][1] ;
}
```

Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * Pointeurs et tableaux
- * **Pointeurs de structures et d'union**

Pointeurs et types composés

Pointeur sur une structure : usage de l'opérateur de sélection

->

En utilisant un exemple du cours précédent :

```
struct adresse {  
    int num;  
    char rue[40];  
    long int code;  
    char ville[20];  
};
```

```
struct adresse var, *ptr = &var;
```

```
ptr->num=39; (*ptr).code = 59000 ;  
ptr->rue[0]=N ; (*ptr).rue[1] = i;
```

accès : *(*pointeur_union).membre* ou
pointeur_union->membre

On peut maintenant jouer avec les pointeurs...

Les pointeurs :
notions de base

Les opérateurs liés
aux pointeurs

Arithmétique sur
les pointeurs

Pointeurs et
passage de
paramètres par
adresse

Pointeurs et
tableaux

Pointeurs de
structures et
d'union

```
enum bool_m {FALSE,TRUE} ;

enum bool_m *p_bool_v, bool_v ;

int
main
(void)
{
    bool_v  = TRUE    ;
    p_bool_v = &bool_v ;
    return *p_bool_v ;
}
```

tout en ayant une idée claire de ce qui se passe en mémoire.
(au besoin, gdb peut nous aider).

Aujourd'hui

- * Les pointeurs : notions de base
- * Les opérations liées aux pointeurs
- * Arithmétique sur les pointeurs
- * Pointeurs et passage de paramètres par adresse
- * Pointeurs et tableaux
- * Pointeurs de structures et d'union