Chapitre 9

Pointeurs

Les pointeurs

Concept

Un pointeur **est une variable** qui **contient une adresse mémoire**

Permet de **manipuler directement la mémoire**

Utile dans de nombreux scénarios

Un des plus **importants concepts du langage C**

Les pointeurs

Utilité

Passage des paramètres d'une fonction par adresse

Gestion de certains types *(e.g.* tableaux, chaines de caractères, pointeurs sur fonctions)

Structures dynamiques

Performance ► éviter les copies de données

Désavantage

⚠ **La mémoire doit toujours être utilisée avec grande attention**

9. Table des matières

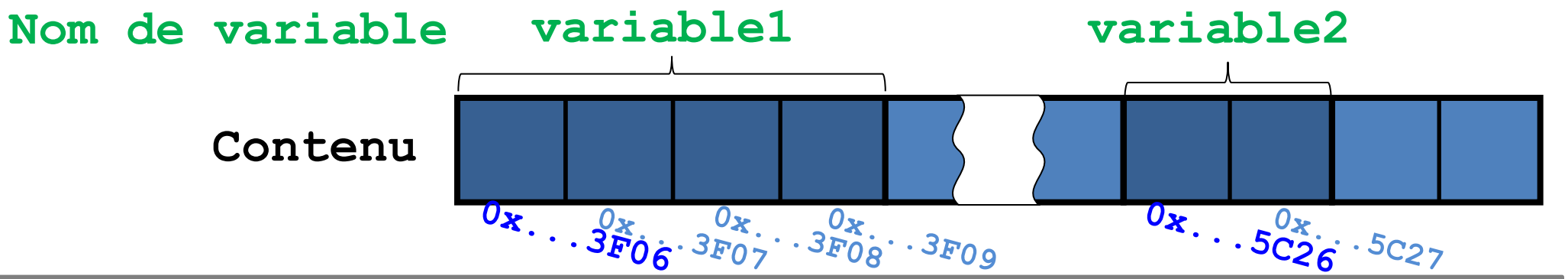
Accès à la mémoire – 2 modes d'adressage

Adressage direct

Accès au contenu d'une variable par le nom de la variable

Adressage indirect

Accès au contenu d'une variable, par **l'adresse de la variable** ou **par un pointeur** (variable qui contient l'adresse)



Accès à la mémoire – 2 modes d'adressage

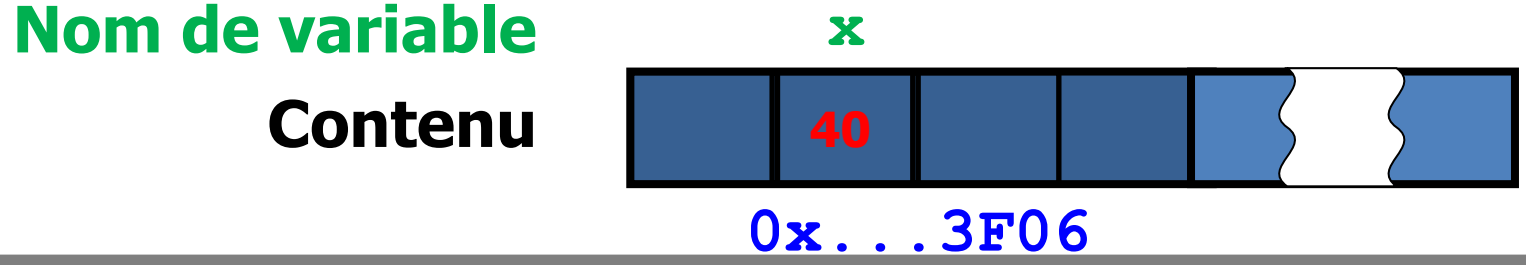
Adressage direct par le nom de la variable

```
x = 40;
printf("%d",x);
```

Adressage indirect par *, opérateur d'indirection ou de déréférencement (*contenu de*)

```
*address64 = 40;
printf("%d",*address64);
```

Avec `address64` = `0x...3F06`



9. Table des matières

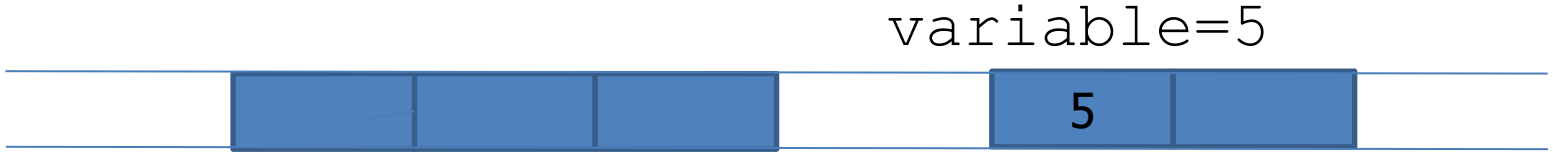
Les pointeurs

Définition simple

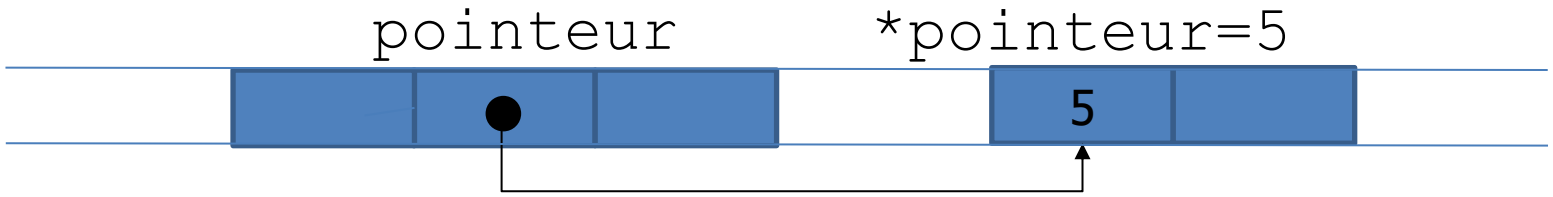
Les pointeurs sont des variables qui mémorisent les adresses physiques de la mémoire.

Ils donnent accès à un emplacement de la mémoire interne de l'ordinateur

Une **variable** permet d'accéder à un emplacement mémoire



Un **pointeur** permet d'accéder à n'importe quel emplacement mémoire



Les pointeurs

Définition

a) Un pointeur est une **variable**
b) Un pointeur est une **variable qui contient une adresse**
c) Un pointeur **peut contenir l'adresse d'une autre variable**

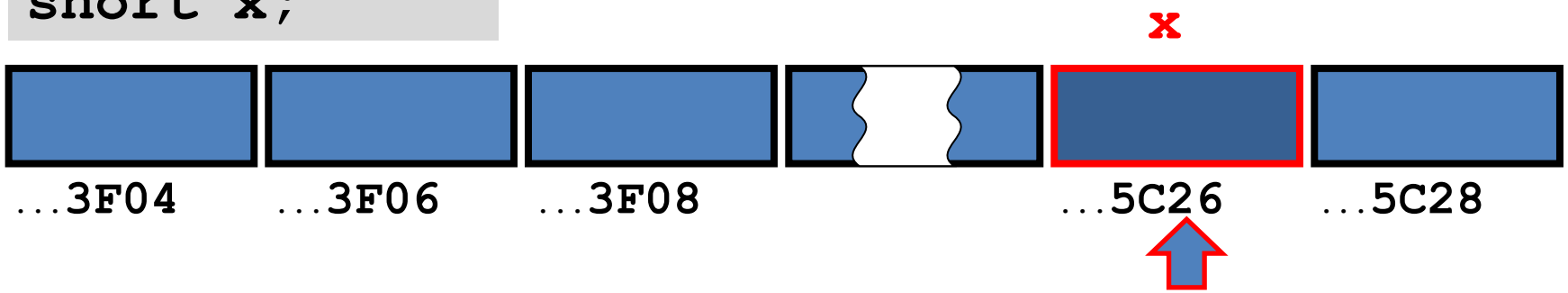
Si un pointeur P contient l'adresse d'une variable A, on dit que
«P pointe sur A»

9. Table des matières

Adresse d'une variable

Déclaration de variable

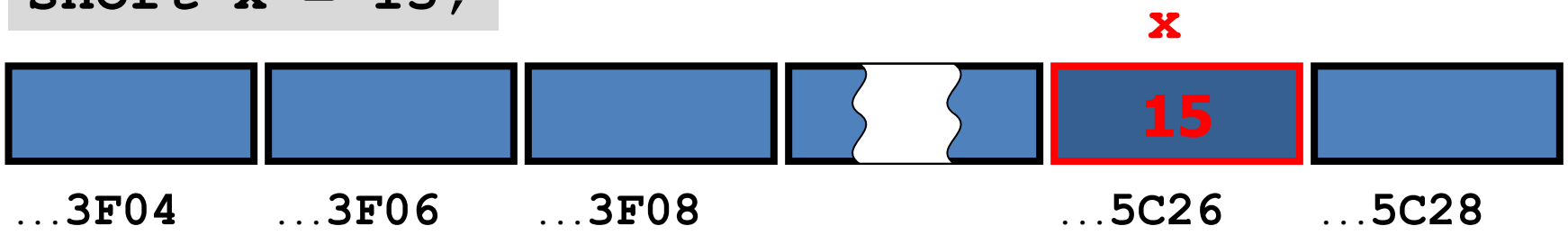
```
short x;
```



`short` sur 2 octets soient 16 bits

Initialisation

```
short x = 15;
```



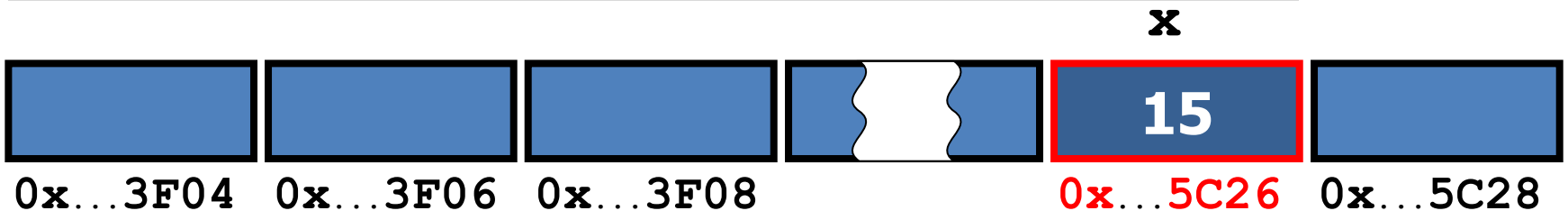
Adresse d'une variable

L'adresse de la variable x est obtenue par l'opérateur **&**

`&x` → **adresse de la variable x**

Exemple

```
printf("%p", &x); → 0x 00FA E201 0223 5C26
```



9. Table des matières

Syntaxe de déclaration d'un pointeur

```
<type> *<variable1>, *<variable2>, … ;
```

Le type correspond au type de la case mémoire pointée.

Pour différencier un pointeur d'une variable ordinaire, **on fait précéder son nom du signe '*' lors de sa déclaration**

Exemple

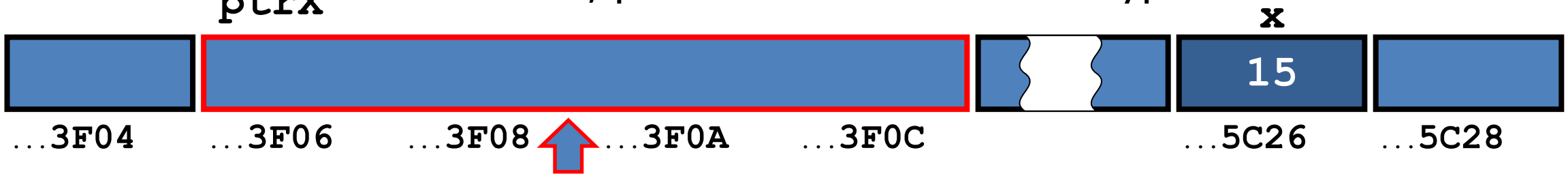
```
double *ptrD1, *ptrD2;
```

➔ on déclare 2 variables **`ptrD1`** et **`ptrD2`**, dont le contenu est une adresse (*) pointant sur un **`double`**

Déclaration d'un pointeur

```
short *ptrX;
```

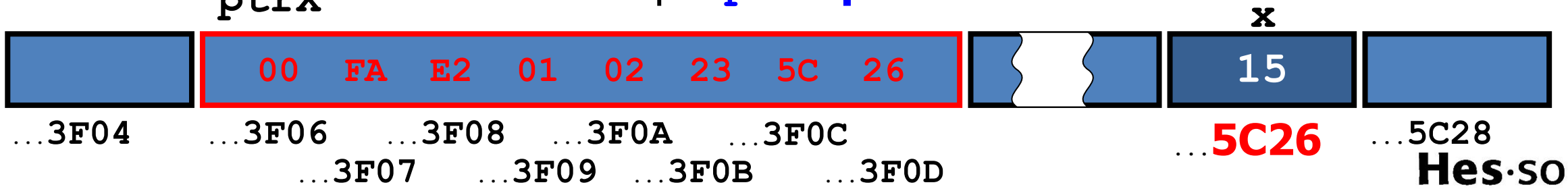
Réserve un emplacement pour stocker une adresse mémoire, pointant sur un entier de type `short`



Adresse sur 8 bytes. Exemple : **0x 00FA E201 0223 5C26**

```
ptrX = &x;
```

Écrit **l'adresse de `x`** dans la variable `ptrX`
On dit alors que **`ptrX` pointe sur `x`**

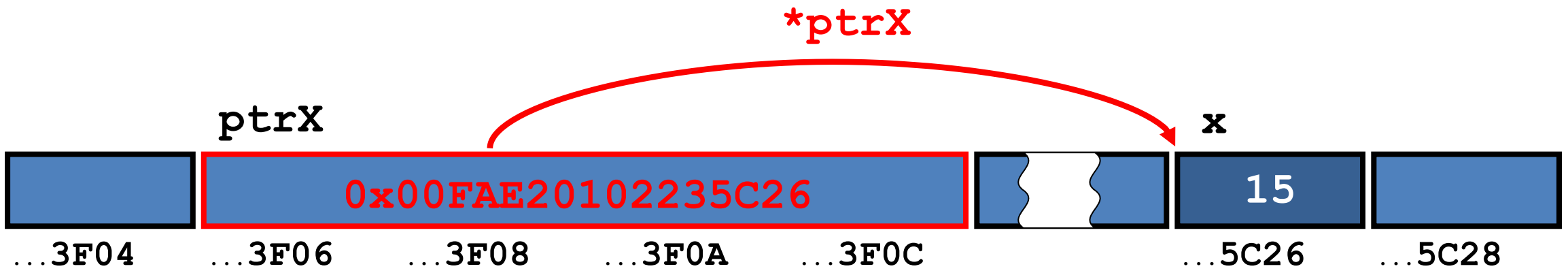


9. Table des matières

Opérateur de déréférencement *

Affiche la valeur de **x** par pointeur déréférencé

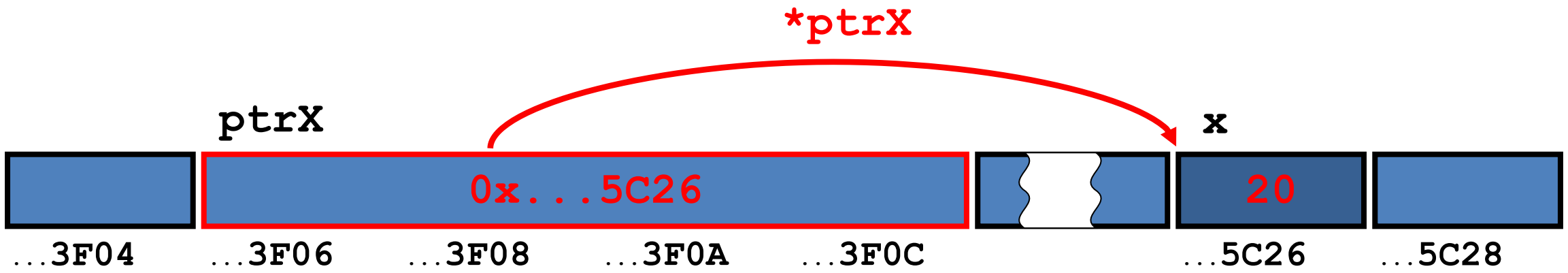
```
printf("%d", *ptrX);
```
→ 15



Opérateur de déréférencement *

Affecte une valeur à **x** par pointeur déréférencé

```
*ptrX = 20;
```



Remarques

Les pointeurs et les noms de variables donnent accès à un emplacement de la mémoire. **Mais :**

un pointeur est une variable qui peut 'pointer' sur **différentes adresses**

le nom d'une variable reste toujours lié à **la même adresse**

⚠ **Ne pas confondre l'opérateur * de déréférencement avec la syntaxe déclarative**

```
char *ptrP;
…

*ptrP = 'f';
```

Déclaration de pointeur `*` : la variable `ptrP` contient l'adresse d'un `char`

Opérateur de déréférencement `*` : accès au contenu de la mémoire pointée par `ptrP`

Résumé : les opérations sur les pointeurs

L'utilisation de pointeurs nécessite :

```
<type>
*ptrX, *ptrY;
```

une **syntaxe de déclaration** pour pouvoir **déclarer** un pointeur

```
&x
```

un opérateur unaire pour obtenir **l'adresse d'une variable.** L'**opérateur «adresse de» &**

```
*ptrX
```

un opérateur unaire pour **accéder au contenu** de la mémoire, par son adresse. L'**opérateur de déréférencement *** («*contenu de*»)

Opérateur	Sens d'évaluation	Priorité
`++ -- (postfixé) ()`	→	haute
`& (adresse) * (déref.) + - (unaire) ++ -- (préfixé) (<Type>) ! ~`	←	
`* / %`	→	
`+ -`	→	
`<< >>`	→	
`< > <= <=`	→	
`== !=`	→	
`&`	→	
`^`	→	
`|`	→	
`&&`	→	
`||`	→	
`?:`	←	
`= += -= *= /= %= >>= etc`	←	basse

Exemples

```
ptrX = &x;
```

Si un pointeur **ptrX** pointe sur une variable **x** alors ***ptrX** peut être utilisé partout où on peut écrire **x**

Les expressions suivantes sont donc équivalentes

`y = *ptrX+1`	≡	`y = x+1`
`*ptrX = *ptrX+10`	≡	`x = x+10`
`*ptrX += 2`	≡	`x += 2`
`++*ptrX`	≡	`++x`
`(*ptrX)++`	≡	`x++`

Pointeurs particuliers

```
int *ptrP = NULL;
```

La constante `NULL` est utilisée pour indiquer que `ptrP` ne contient pas encore d'adresse valide.

Bonne pratique : initialiser tous les pointeurs à `NULL`

Le type `void*` est utilisé quand on ne sait pas encore le type sur lequel va pointer le pointeur → type retourné par **`malloc`**

```
void *ptrP;
```

Vue d'ensemble

```
int a = 6;
```

Constante

6 est une **constante** qui est déterminée lors de la **compilation** ; elle n'est **pas modifiable** par le programme

```
int a;
a = 6;
```

Variable

L'adresse de `a` est une **constante** qui est déterminée lors de la **compilation**. Le contenu de `a`, sa valeur, est **modifiable** par le programme

```
int *ptr = NULL;
ptr = &a
```

Pointeur

L'adresse de `ptr` est une **constante** qui est déterminée lors de la **compilation** ; le contenu de `ptr`, l'adresse de la variable `a`, est **modifiable** par le programme

9. Table des matières

Passage de paramètres

En programmation, il existe 2 modes de passage de paramètres

Passage par valeur

en entrée -- *i.e.*, le compilateur passe la valeur à la fonction

Passage par adresse

en entrée/sortie -- *i.e.*, le compilateur passe l'adresse de la variable

→ la fonction peut lire et modifier la valeur de la variable

En C, le passage de paramètres ne se fait que par valeur !

Passage de paramètres

Principe

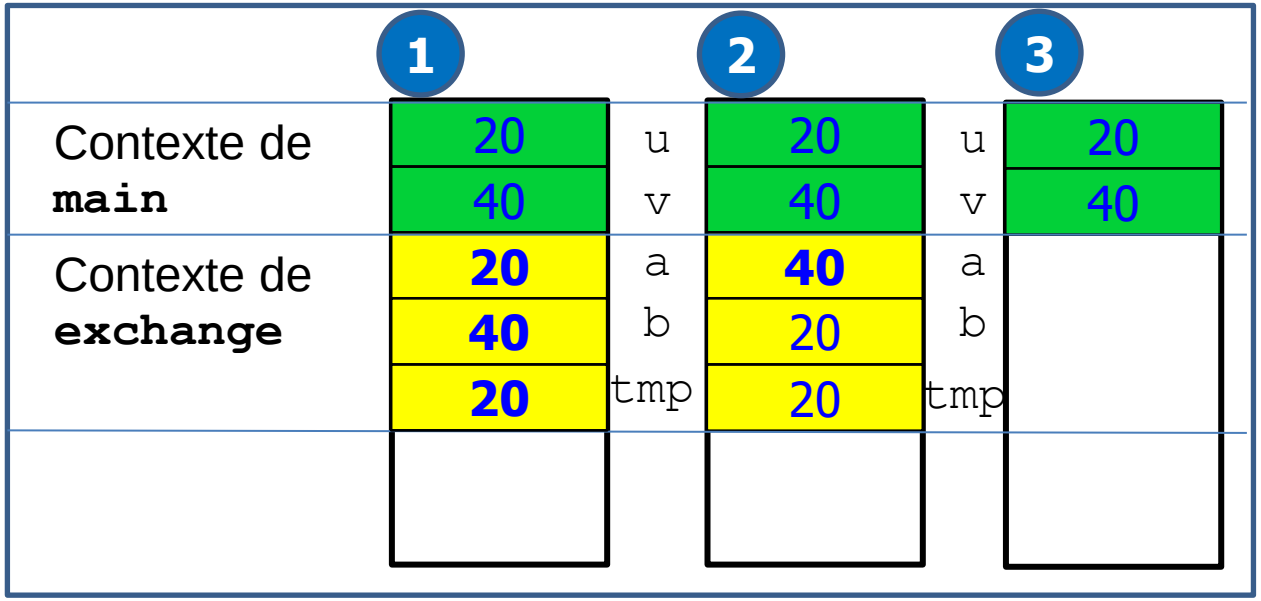
1. La fonction appelante fait une **copie des valeurs passées en paramètre** dans la pile («*stack*»)
2. La fonction appelée utilisera ces copies comme paramètres
3. Ces copies disparaîtront lors du retour à la fonction appelante

Passage par valeur

```
void exchange(int a,int b)
{
   int tmp = a;
1  a = b;
   b = tmp;
2
}

int main(void)
{
   int u = 20, v = 40;
   printf("u = %d v = %d\n",u,v);
   exchange(u, v);
3  printf("u = %d v = %d\n",u,v);
   return 0;
}
```

20 40



u=20 v=40

u=20 v=40

Les valeurs u et v ne sont PAS échangées !

Comment échanger, avec une fonction en langage C, les valeurs de 2 variables ?

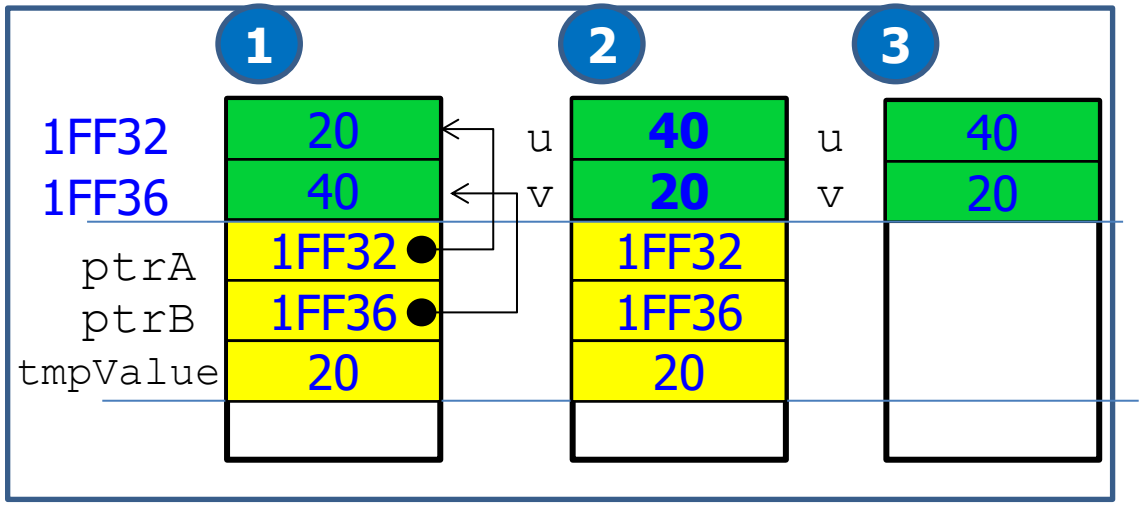
Puisque, le seul mode de passage des paramètres (en C) se fait par copie, pour modifier a ou b depuis la fonction `exchange`, on doit accéder à leur valeur de manière indirecte, avec un pointeur !

Passage par valeur

```
void exchange(int *ptrA, int *ptrB)
{
   int tmpValue = *ptrA;
1  *ptrA = *ptrB;
   *ptrB = tmpValue ;
2 }

int main(void)
{
   int u = 20, v = 40;
   printf("u = %d v = %d\n",u,v);
   exchange(&u, &v);
3  printf("u = %d v = %d\n",u,v);
   return 0;
}
```

1FF32 1FF36




```
u:20 v:40
```

```
u:40 v:20
```

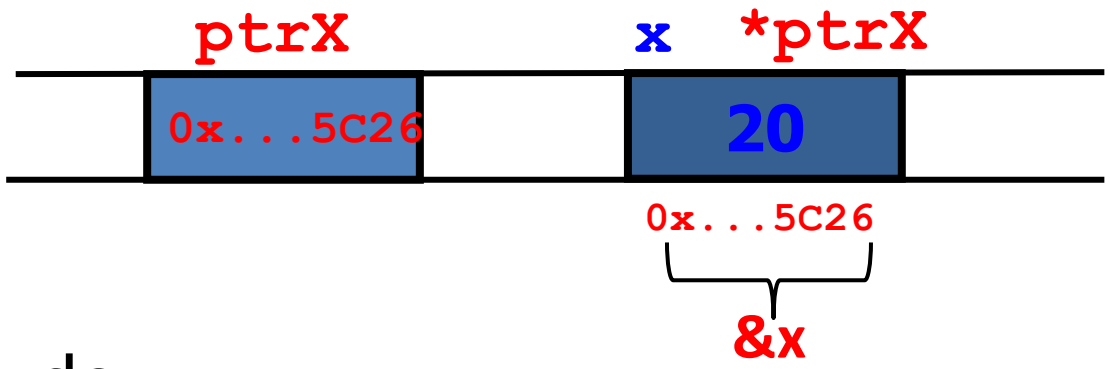
Les valeurs u et v sont maintenant échangées !

9. Table des matières

9.4 Tableaux et pointeurs

Résumé

```
int x=20;
int *ptrX;
ptrX = &x;
```



`x` désigne le contenu de `x`

`&x` désigne l'adresse de `x`

`ptrX` contient l'adresse de `x` → `ptrX` pointe sur `x`

`*ptrX` désigne le contenu de `x`

9.4 Lien entre pointeur et tableau

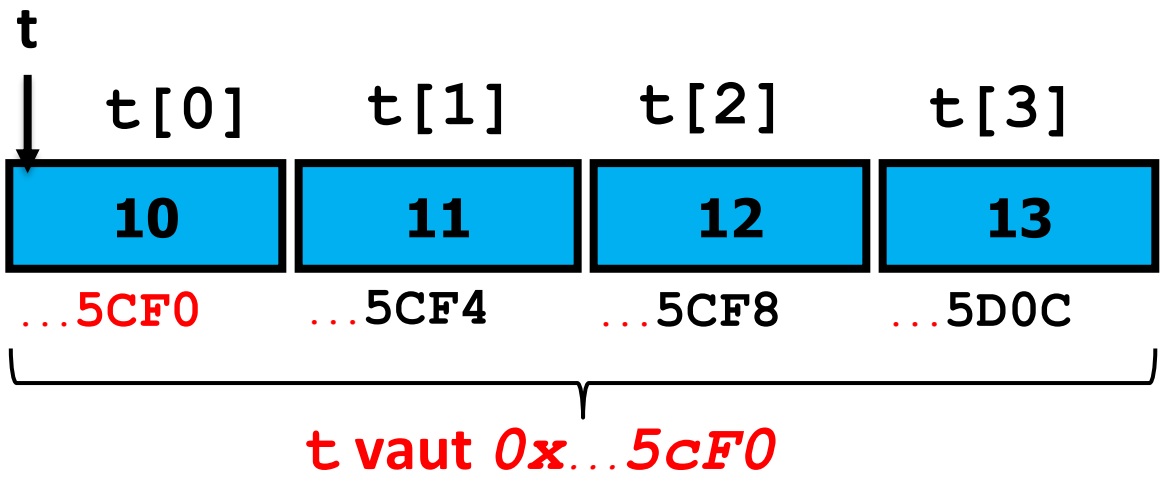
Le nom d'un tableau, ici *t*, représente en réalité son adresse !

```
int t[4];
printf("%p" ,t);
```

→ `0x00000000000005CF0`

`%p` → format pour afficher une adresse en hexadécimal

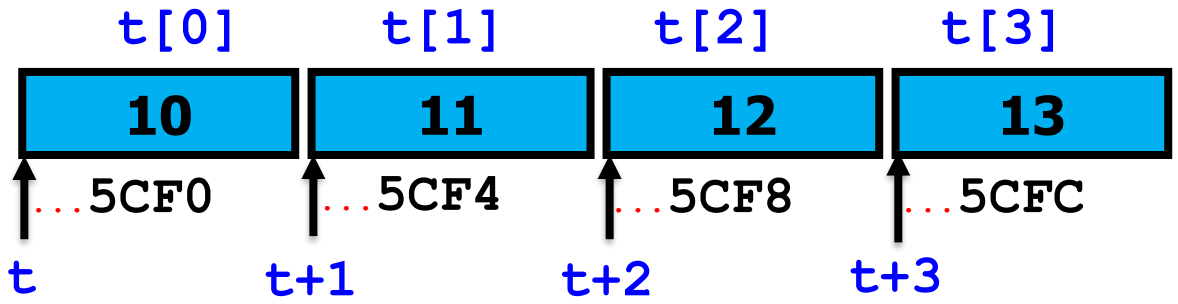
⚠ dépend du compilateur et de la plateforme



9.4 Lien entre pointeur et tableau

```
int t[4];
printf("%p" ,t);
printf("%p" ,t+1);
printf("%p" ,t+2);
printf("%p" ,t+3);
```

```
0x...5CF0
0x...5CF4
0x...5CF8
0x...5CFC
```



`t[0]` est équivalent `*t`
`t[1]` est équivalent `*(t+1)`
`t[2]` est équivalent `*(t+2)`
`t[3]` est équivalent `*(t+3)`

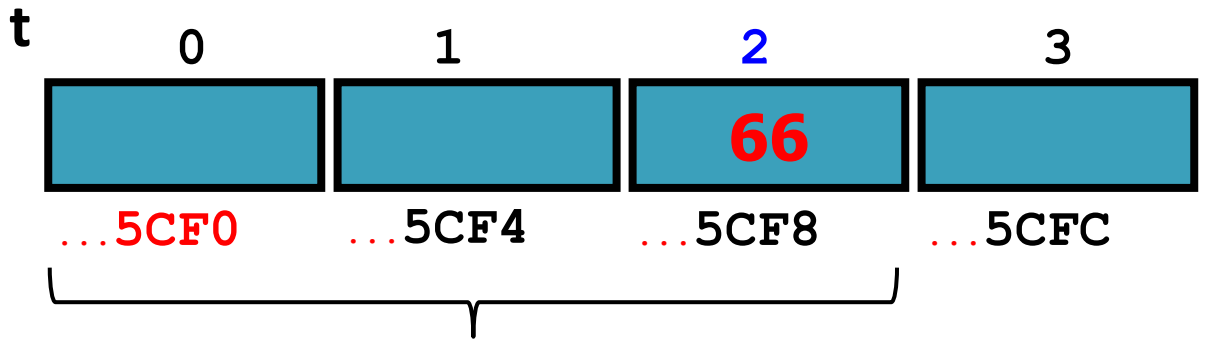
9.4 Lien entre pointeur et tableau

Formalisme tableau vs formalisme pointeur

`t[i]` est équivalent `*(t+i)`

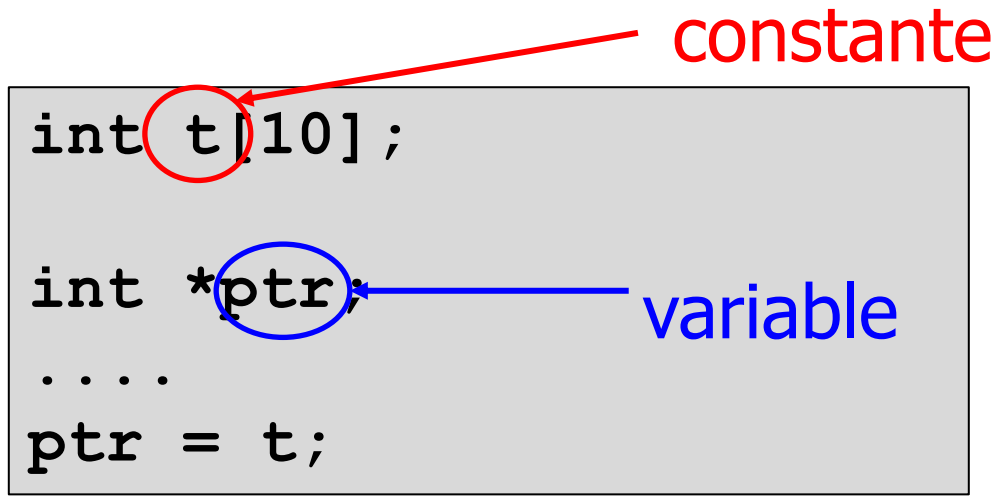
Exemple

```
int t[4]; t[2] = 66
```




```
  t+2   → 5CF0 + 2*sizeof(int) = 5CF8
*(t+2)  → *(5CF8)→ 66
```

Différence entre tableau et pointeur



Un pointeur est une **variable**, donc des opérations comme `ptr=t;` ou `ptr++` sont **permises**.

Le nom d'un tableau est une **constante**, donc des opérations comme `t=ptr` ou `t++` sont **impossibles**

Différence entre tableau et pointeur

```
int t[10];    // sizeof(t) → 40
```

Un tableau est constitué d'un **pointeur constant**, qui pointe sur le premier élément, et d'une **zone mémoire** pour stocker ses données

```
int *ptr = t;    // sizeof(ptr) → 4 / 8
```

Un **pointeur** est une variable qui contient une **adresse**

Formalisme tableau et formalisme pointeur

```
int main(void)
{
 int t[10] = {-3,4,0,-7,…};
 int pos[10];
 int i,j=0;
 for (i=0;i<10; i++)
  if (t[i] > 0)
  {
    pos[j] = t[i];
    j++;
  }
 return 0;
}
```

```
int main(void)
{
 int t[10] = {-3,4,0,-7,…};
 int pos[10];
 int i,j=0;
 for (i=0;i<10;i++)
  if (*(t+i) > 0)
  {
    *(pos+j) = *(t+i);
    j++;
  }
 return 0;
}
```

Exemple d'implémentation de strcpy()

```
void mystrcpy(char *ptrCh1,
              const char *ptrCh2)
{
 int i;
 i=0;
 while ((ptrCh1[i] = ptrCh2[i]) != '\0')
        i++;
}
```

Exemple d'implémentation de strcpy()

```
void mystrcpy(char *ptrCh1,
              const char *ptrCh2)
{
 int i;
 i=0;
 while( (*(ptrCh1+i) = *(ptrCh2+i) ) != '\0')
      i++;
}
```

Exemple d'implémentation de strcpy()

```
void mystrcpy(char *ptrCh1,
              const char *ptrCh2)
{
  while ( (*ptrCh1 = *ptrCh2) != '\0' )
  {
    ptrCh1++;
    ptrCh2++;
  }
}
```

Exemple d'implémentation de strcpy()

```
void mystrcpy(char *ptrCh1,
              const char *ptrCh2)
{
    while (*ptrCh1++ = *ptrCh2++);
}
```

Programmer avec des pointeurs : résumé

Déclaration

```
int  var, tab[5];
int *ptrT=NULL;
int *ptrV=NULL;
```

Initialisation

```
ptrV = &var;
ptrT = tab;
```

Utilisation

```
*ptrV = 6;
*(ptrT+1)=4;
*ptrT = *ptrV;
```

Fonction avec un argument de type pointeur

Déclaration

```
void foo(int *ptr);
```

appel

```
foo( ptr );
foo(&var);
```

Résumé : le pointeur

Un pointeur

1. **est** une **variable**
2. **contient** une **adresse mémoire**
3. **est associé** à une **arithmétique**

Exercices

[Exercices du chapitre 09]