Plan

Types structurés
- Déclaration et initialisation
- Affectation et comparaison
- Dans les fonctions
- Alignement en mémoire

Renvoi d'une variable d'un type structuré

Le code

```
1  typedef struct {
2      int x;
3      int y;
4  } Couple;
5
6
```

```
7  Couple twist(Couple c) {
8      Couple res;
9      res.x = c.y;
10     res.y = c.x;
11     return res;
12 }
```

est correct (`twist` renvoie le couple obtenu par échange des coordonnées de celui passé en argument).

`twist` renvoie une variable d'un type structuré.

Cependant, il n'est pas efficace car, à chaque appel de fonction

```
d = twist(c);
```

la variable `res`, qui vit dans la pile, doit être recopiée.

Paramètre variable d'un type structuré

Le code

```
1  typedef struct {
2      int tab1[2048];
3      int tab2[2048];
4  } DeuxTab;
5
```

```
6  int prem_egaux(DeuxTab x) {
7      return x.tab1[0]
8          == x.tab2[0];
9  }
```

est correct (`prem_egaux` teste si les premières cases des tableaux sont égales).

`prem_egaux` est paramétrée par une variable d'un type structuré.

Cependant, il n'est pas efficace car à chaque appel de fonction

```
prem_egaux(y);
```

les champs de l'**argument** `y` sont recopiés dans le **paramètre** `x`.

Passage par adresse *vs* passage par valeur

Soit une fonction `fct` paramétrée par une variable `x` d'un type structuré `T`.

Passage par adresse *vs* passage par valeur

Soit une fonction `fct` paramétrée par une variable `x` d'un type structuré `T`.

Il est d'usage courant d'adopter la convention suivante :

- si les champs de `x` doivent être modifiés par la fonction, alors on recourt à un **passage par adresse**

```
... fct(T *x, ...) { ... }
```

Passage par adresse *vs* passage par valeur

Soit une fonction `fct` paramétrée par une variable `x` d'un type structuré `T`.

Il est d'usage courant d'adopter la convention suivante :

- si les champs de `x` doivent être modifiés par la fonction, alors on recourt à un **passage par adresse**

```
... fct(T *x, ...) { ... }
```

- si les champs de `x` ne doivent pas être modifiés par la fonction, alors on recourt à un **passage par valeur**

```
... fct(T x, ...) { ... }
```

Passage par adresse *vs* passage par valeur

Soit une fonction `fct` paramétrée par une variable `x` d'un type structuré `T`.

Il est d'usage courant d'adopter la convention suivante :

- si les champs de `x` doivent être modifiés par la fonction, alors on recourt à un **passage par adresse**

```
... fct(T *x, ...) { ... }
```

- si les champs de `x` ne doivent pas être modifiés par la fonction, alors on recourt à un **passage par valeur**

```
... fct(T x, ...) { ... }
```

Cette conception est erronée car il est possible de « modifier » une variable d'un type structuré passée par valeur à une fonction.

Passage par adresse *vs* passage par valeur

Considérons en effet le code suivant :

```
1  tyepdef struct {
2      int *tab;
3      int n;
4  } Tab;
5
```

```
6  void init(Tab t, int k) {
7      int i;
8      for (i = 0 ; i < t.n ; ++i)
9          t.tab[i] = k;
10 }
```

Chaque appel de fonction

```
init(s, r);
```

provoque la recopie de trois valeurs (ce qui est encore acceptable) mais « modifie » les valeurs pointées par le champ `tab` de `s`, malgré le passage par valeur.

Conclusion : écrire des fonctions avec passage par valeur des paramètres d'un type structuré ne présente que des désavantages.

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

1. une fonction ne renvoie jamais de valeur d'un type structuré ;

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

1. une fonction ne renvoie jamais de valeur d'un type structuré ;
2. tous les paramètres d'un type structuré sont passés par adresse dans une fonction.

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

1. une fonction ne renvoie jamais de valeur d'un type structuré ;
2. tous les paramètres d'un type structuré sont passés par adresse dans une fonction.

Ainsi, un prototype de fonction habituel est

```
int fct(T *x, E1 e1, ..., EN en, S1 *s1, ..., SM *sm);
```

où

- le type de retour est `int` (renvoi d'un code d'erreur) ;

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

1. une fonction ne renvoie jamais de valeur d'un type structuré ;
2. tous les paramètres d'un type structuré sont passés par adresse dans une fonction.

Ainsi, un prototype de fonction habituel est

```
int fct(T *x, E1 e1, ..., EN en, S1 *s1, ..., SM *sm);
```

où

- le type de retour est `int` (renvoi d'un code d'erreur) ;
- `x` est l'adresse d'une variable d'un type structuré `T` ;

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

1. une fonction ne renvoie jamais de valeur d'un type structuré ;
2. tous les paramètres d'un type structuré sont passés par adresse dans une fonction.

Ainsi, un prototype de fonction habituel est

```
int fct(T *x, E1 e1, ..., EN en, S1 *s1, ..., SM *sm);
```

où

- le type de retour est `int` (renvoi d'un code d'erreur) ;
- `x` est l'adresse d'une variable d'un type structuré `T` ;
- `e1`, ..., `en` sont les entrées de la fonction (adresses ou non) ;

Variables d'un type structuré dans les fonctions

En résumé, on adopte les deux règles suivantes :

1. une fonction ne renvoie jamais de valeur d'un type structuré ;
2. tous les paramètres d'un type structuré sont passés par adresse dans une fonction.

Ainsi, un prototype de fonction habituel est

```
int fct(T *x, E1 e1, ..., EN en, S1 *s1, ..., SM *sm);
```

où

- le type de retour est `int` (renvoi d'un code d'erreur) ;
- `x` est l'adresse d'une variable d'un type structuré `T` ;
- `e1`, ..., `en` sont les entrées de la fonction (adresses ou non) ;
- `s1`, ..., `sm` sont les sorties de la fonction (qui sont des adresses).

Variables d'un type structuré dans les fonctions

P.ex., voici le nécessaire pour calculer la somme pondérée de deux points selon les conventions établies :

```
1  typdef struct {
2      float x;
3      float y;
4  } Point;
5
6  void somme_points(const Point *p1, const Point *p2,
7          float coeff1, float coeff2,
8          Point *res) {
9
10     assert(p1 != NULL);
11     assert(p2 != NULL);
12     assert(res != NULL);
13
14     res->x = coeff1 * p1->x + coeff2 * p2->x;
15     res->y = coeff1 * p1->y + coeff2 * p2->y;
16 }
```

Résumé

Voici en résumé la bonne marche à suivre lors de la manipulation de types structurés :

1. on utilise l'**alias** lors de la déclaration de types structurés **récursifs** et/ou **mutuellement récursifs** ;

2. toute **déclaration d'un type structuré** s'accompagne de la définition des quatre fonctions suivantes :
   - une fonction de **copie** ;
   - une fonction de **test d'égalité** ;
   - une fonction de **test d'inégalité** ;
   - une fonction de **destruction** ;

3. on ne **renvoie jamais** de valeur d'un type structuré ;

4. on passe les **paramètres** d'un type structuré **par adresse** (ne pas oublier d'ajouter les qualificateurs `const` nécessaires).

Plan

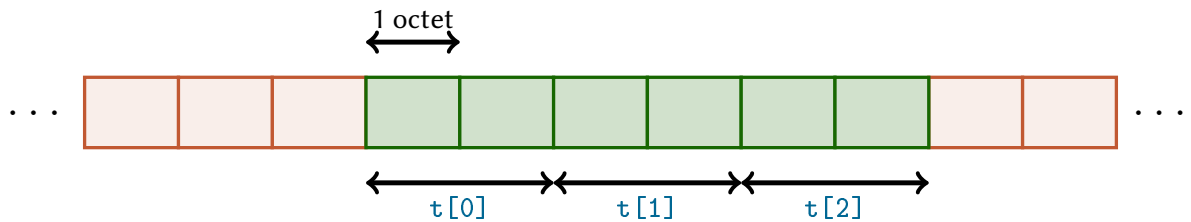
Types structurés
- Déclaration et initialisation
- Affectation et comparaison
- Dans les fonctions
- Alignement en mémoire

Alignement en mémoire

L'alignement en mémoire d'une donnée est la façon dont celle-ci est organisée dans la mémoire.

Par exemple, nous avons déjà vu que les **tableaux** de taille `n` d'éléments d'un type `T` sont organisés en un segment contigu de `sizeof(T) * n` octets.

Ainsi, un tableau `t` de `3` éléments de type `short` est organisé en



On peut se poser de la même manière la question de l'**alignement mémoire** des variables d'un **type structuré**.

Alignement en mémoire des variables d'un type structuré

Considérons les déclarations de types

```c
typedef struct {
    short x;
    short y;
    int z;
} A;
```

```c
typedef struct {
    short x;
    int z;
    short y;
} B;
```

A et B sont des types structurés composés des mêmes champs. Il n'y a que l'ordre de leur déclaration qui diffère.

Cependant,

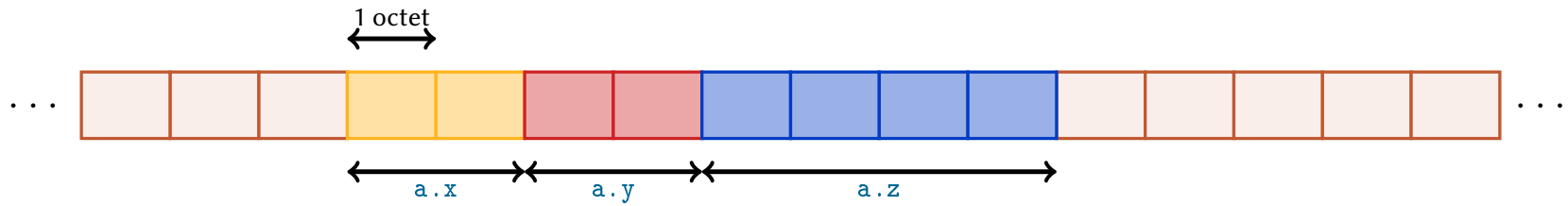
```c
    printf("%lu %lu\n", sizeof(A), sizeof(B));
```

affiche 8 12.

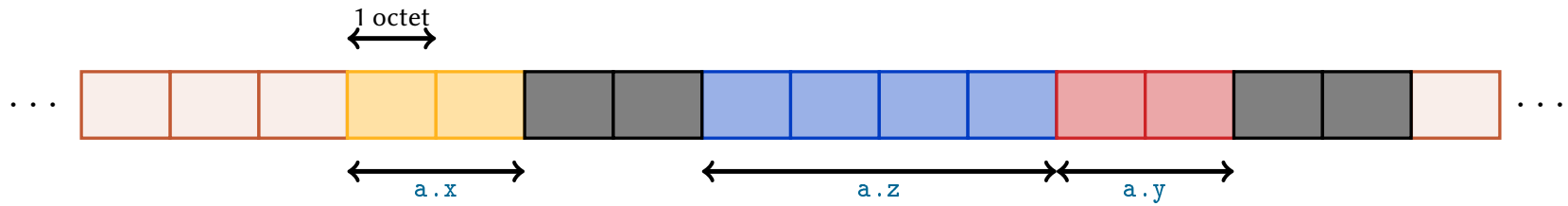
Le fait que les tailles des variables de type A et B diffèrent est dû à leur **alignements en mémoire** respectifs qui ne sont pas les mêmes.

Alignement en mémoire des variables d'un type structuré

Soit `a` une variable de type `A`. Cette variable est organisée en mémoire en



Soit `b` une variable de type `B`. Cette variable est organisée en mémoire en

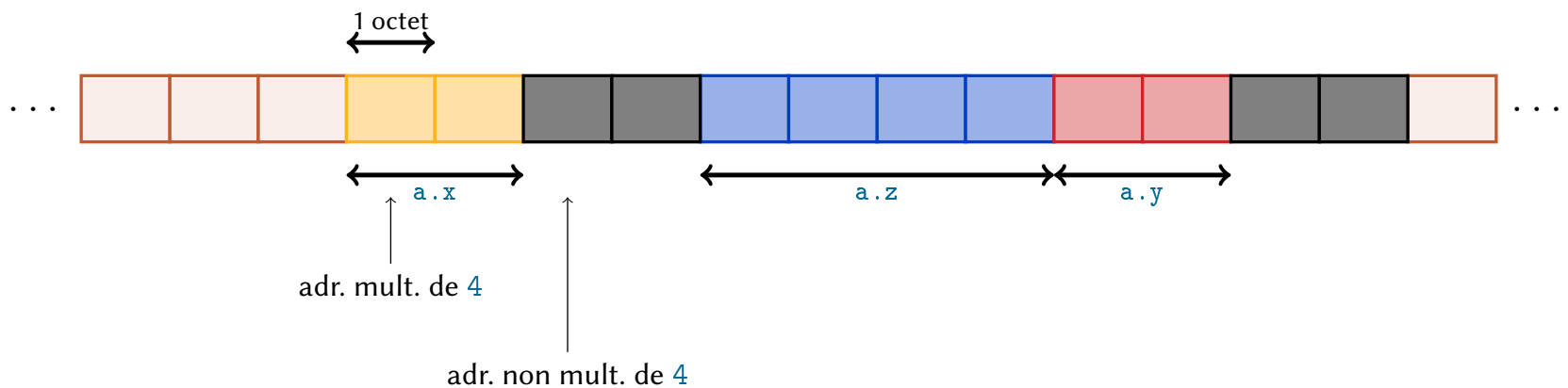


Les octets en gris intervenant dans l'alignement mémoire de `b` sont des octets de complétion.

Octets de complétion

Des octets de complétion sont introduits pour que chaque champ `c` d'une variable d'un type structuré commence à une adresse multiple d'un entier dépendant du type de `c`.

Dans notre exemple, en sachant que tout champ de type `short` (resp. `int`) doit commencer à une adresse multiple de 2 (resp. 4), on explique l'alignement en mémoire de `b` précédent :



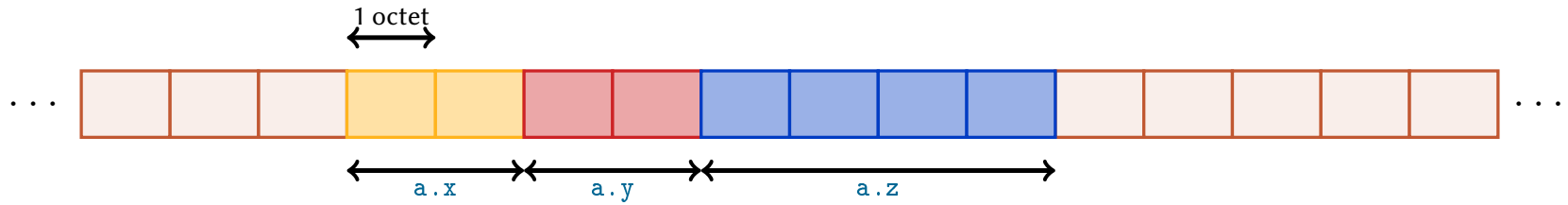
Les derniers octets de complétion sont introduits pour que les tableaux de variables de type `B` puissent être représentés en vérifiant cet alignement en mémoire.

Accès manuel aux champs

Soit `a` une variable de type `A` initialisée par

```
1    A a = {1000, 2000, 3000};
```

Cette variable est organisée en mémoire en



On peut accéder aux champs de `a` de la manière suivante :

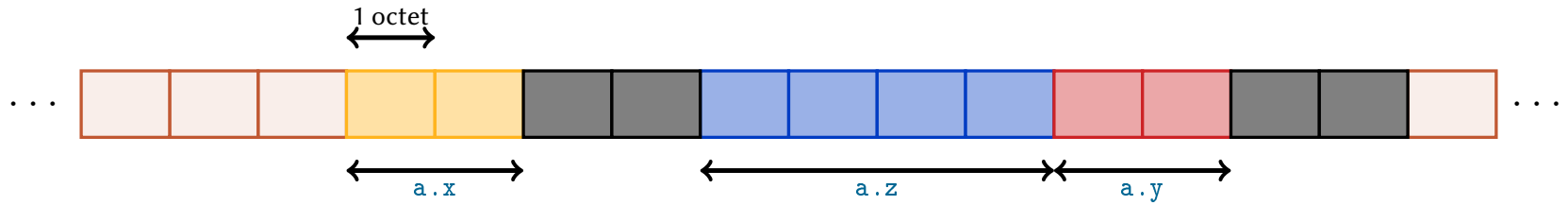
```
1  short x, y;
2  int z;
3  void *p;
4  p = &a;
5  x = *((short *) p); /* Equivalent a x = a.x; */
6  p += 2; /* p est de type void * : l'adresse p est incrementee de 2 */
7  y = *((short *) p); /* Equivalent a y = a.y; */
8  p += 2;
9  z = *((int *) p); /* Equivalent a z = a.z; */
```

Accès manuel aux champs

Soit `b` une variable de type `B` initialisée par

```
1    B b = {1000, 2000, 3000};
```

Cette variable est organisée en mémoire en



On peut accéder aux champs de `b` de la manière suivante :

```
1  short x, y;
2  int z;
3  void *p;
4  p = &b;
5  x = *((short *) p); /* Equivalent a x = a.x; */
6  p += 4;
7  z = *((int *) p); /* Equivalent a z = a.z; */
8  p += 4;
9  y = *((short *) p); /* Equivalent a y = a.y; */
```

L'option Wpadded

L'option du compilateur -Wpadded permet d'obtenir un avertissement sanctionnant la déclaration d'un type structuré nécessitant des octets de complétion.

Par exemple, avec le type structuré B défini par

```
1 typedef struct {
2     short x;
3     int z;
4     short y;
5 } B;
```

on obtient l'avertissement

```
Prog.c:3:9: warning: padding struct to align ‘z’ [-Wpadded]
     int z;
         ^
Prog.c:5:1: warning: padding struct size to alignment boundary [-Wpadded]
 } B;
 ^
```

Alignement en mémoire — ce qu'il faut retenir

L'alignement mémoire d'une variable d'un type structuré dépend de beaucoup de paramètres, notamment :

- de l'architecture de la machine exécutant ou ayant compilé le programme ;
- du compilateur ayant compilé le programme.

Il est donc important de savoir que le calcul de la **taille** d'une variable d'un **type structuré** n'est pas immédiat et **dépend du contexte**.

Dans la pratique, on ne cherchera pas à déclarer des types structurés qui ne nécessitent pas d'octet de complétion. Au contraire : il est de loin préférable de déclarer les champs dans un ordre logique favorisant la relecture et la maintenance.

Axe 3 : utiliser quelques techniques avancées

Opérateurs

Pointeurs de fonction

Génération aléatoire

Mémoïsation

Plan

Opérateurs
- Généralités
- Opérateurs d'accès
- Opérateurs de calcul
- Opérateurs d'affectation
- Autres opérateurs

Plan

Opérateurs
- Généralités
- Opérateurs d'accès
- Opérateurs de calcul
- Opérateurs d'affectation
- Autres opérateurs

Caractéristiques d'un opérateur

Un opérateur dispose des **caractéristiques structurelles** suivantes :

Caractéristiques d'un opérateur

Un opérateur dispose des **caractéristiques structurelles** suivantes :

1. son arité, qui désigne le nombre d'opérandes sur lesquelles il agit ;

Caractéristiques d'un opérateur

Un opérateur dispose des **caractéristiques structurelles** suivantes :

1. son arité, qui désigne le nombre d'opérandes sur lesquelles il agit ;
2. sa précédence, qui permet de savoir, dans une expression, dans quel ordre appliquer les différents opérateurs qui la composent ;

Caractéristiques d'un opérateur

Un opérateur dispose des **caractéristiques structurelles** suivantes :

1. son arité, qui désigne le nombre d'opérandes sur lesquelles il agit ;
2. sa précédence, qui permet de savoir, dans une expression, dans quel ordre appliquer les différents opérateurs qui la composent ;
3. son sens d'associativité, qui permet de savoir, dans une expression, dans quel sens appliquer des mêmes opérateurs qui la composent.

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;
2. `3 * (2 + 1)`, si `+` est **plus prioritaire** que `*`.

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;
2. `3 * (2 + 1)`, si `+` est **plus prioritaire** que `*`.

Considérons l'expression `4 - 3 - 2 - 1`.

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;
2. `3 * (2 + 1)`, si `+` est **plus prioritaire** que `*`.

Considérons l'expression `4 - 3 - 2 - 1`.

Suivant le sens d'associativité de `-`, il y a deux manières de l'évaluer :

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;
2. `3 * (2 + 1)`, si `+` est **plus prioritaire** que `*`.

Considérons l'expression `4 - 3 - 2 - 1`.

Suivant le sens d'associativité de `-`, il y a deux manières de l'évaluer :

1. `((4 - 3) - 2) - 1`, si `-` est **associatif de gauche à droite** ;

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;
2. `3 * (2 + 1)`, si `+` est **plus prioritaire** que `*`.

Considérons l'expression `4 - 3 - 2 - 1`.

Suivant le sens d'associativité de `-`, il y a deux manières de l'évaluer :

1. `((4 - 3) - 2) - 1`, si `-` est **associatif de gauche à droite** ;
2. `4 - (3 - (2 - 1))`, si `-` est **associatif de droite à gauche**.

Précédence et associativité des opérateurs

Considérons l'expression `3 * 2 + 1`.

Suivant les priorités relatives des opérateurs `*` et `+`, il y deux manières de l'évaluer :

1. `(3 * 2) + 1`, si `*` est **plus prioritaire** que `+` ;
2. `3 * (2 + 1)`, si `+` est **plus prioritaire** que `*`.

Considérons l'expression `4 - 3 - 2 - 1`.

Suivant le sens d'associativité de `-`, il y a deux manières de l'évaluer :

1. `((4 - 3) - 2) - 1`, si `-` est **associatif de gauche à droite** ;
2. `4 - (3 - (2 - 1))`, si `-` est **associatif de droite à gauche**.

Tout ceci peut être rendu explicite par l'utilisation de parenthèses.

Plan

Opérateurs
- Généralités
- Opérateurs d'accès
- Opérateurs de calcul
- Opérateurs d'affectation
- Autres opérateurs

Opérateurs de gestion la mémoire

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
`&`	référencement	1	–	une variable
`*`	déréférencement	1	–	un pointeur
`[]`	élément d'un tableau	2	$\longrightarrow$	un pointeur et un entier
`.`	valeur d'un champ	2	$\longrightarrow$	une var. d'un type struct. et un id. de champ
`->`	valeur d'un champ	2	$\longrightarrow$	une pointeur sur une var. d'un type struct. et un id. de champ

Plan

Opérateurs
- Généralités
- Opérateurs d'accès
- Opérateurs de calcul
- Opérateurs d'affectation
- Autres opérateurs

Opérateurs arithmétiques

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
+, −, *, /	opérations arith.	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
%	modulo	2	$\longrightarrow$	deux entiers
+, −	signe	1	−	une val. numérique
++, − −	incr./décr.	1	−	une var. d'un type numérique

L'opérateur modulo

L'opérateur modulo `%` calcule le reste de la division euclidienne de son premier opérande par son second.

L'opérateur modulo

L'opérateur modulo `%` calcule le reste de la division euclidienne de son premier opérande par son second.

D'un point de vue mathématique, si a et b sont deux entiers, on a $a = b \times q + r$, où $0 \leqslant r \leqslant b - 1$ et q est un entier. q est le **quotient** et r est le **reste**, toujours positif.

L'opérateur modulo

L'opérateur modulo % calcule le reste de la division euclidienne de son premier opérande par son second.

D'un point de vue mathématique, si a et b sont deux entiers, on a $a = b \times q + r$, où $0 \leqslant r \leqslant b - 1$ et q est un entier. q est le **quotient** et r est le **reste**, toujours positif.

Cependant, % peut produire des valeurs négatives, dans le cas où l'un des deux opérandes est négatif.

L'opérateur modulo

L'opérateur modulo % calcule le reste de la division euclidienne de son premier opérande par son second.

D'un point de vue mathématique, si a et b sont deux entiers, on a $a = b \times q + r$, où $0 \leqslant r \leqslant b - 1$ et q est un entier. q est le **quotient** et r est le **reste**, toujours positif.

Cependant, % peut produire des valeurs négatives, dans le cas où l'un des deux opérandes est négatif.

Solution pour un modulo qui respecte la définition mathématique :

```
int vrai_modulo(int a, int b) {
    int r;
    r = a % b;
    if (r < 0)
        return r + b;
    return r;
}
```

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Les opérateurs ++ et -- existent en deux versions, suivant qu'ils soient préfixes ou suffixes :

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Les opérateurs ++ et -- existent en deux versions, suivant qu'ils soient préfixes ou suffixes :

1. a++, incrémente (de un) la valeur de la variable a et est une expression dont la valeur est l'ancienne valeur de a ;

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Les opérateurs `++` et `--` existent en deux versions, suivant qu'ils soient préfixes ou suffixes :

1. `a++`, incrémente (de un) la valeur de la variable `a` et est une expression dont la valeur est l'ancienne valeur de `a` ;

2. `++a`, incrémente (de un) la valeur de la variable `a` et est une expression dont la valeur est la nouvelle valeur de `a`.

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Les opérateurs `++` et `--` existent en deux versions, suivant qu'ils soient préfixes ou suffixes :

1. `a++`, incrémente (de un) la valeur de la variable `a` et est une expression dont la valeur est l'ancienne valeur de `a` ;
2. `++a`, incrémente (de un) la valeur de la variable `a` et est une expression dont la valeur est la nouvelle valeur de `a`.

```
int a = 5, b;
b = 3 + a++;
```

`b` vaut `8` et `a` vaut `6`.

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Les opérateurs `++` et `--` existent en deux versions, suivant qu'ils soient préfixes ou suffixes :

1. `a++`, incrémente (de un) la valeur de la variable `a` et est une expression dont la valeur est l'ancienne valeur de `a` ;
2. `++a`, incrémente (de un) la valeur de la variable `a` et est une expression dont la valeur est la nouvelle valeur de `a`.

```
int a = 5, b;
b = 3 + a++;
```

`b` vaut 8 et `a` vaut 6.

```
int a = 5, b;
b = 3 + ++a;
```

`b` vaut 9 et `a` vaut 6.

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Attention au **pièges d'utilisation** de ces opérateurs.

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Attention au **pièges d'utilisation** de ces opérateurs.

P.ex., les instructions

```
int a = 5, b;
b = a++ + ++a;
```

```
int a = 5;
a = a++;
```

```
int a = 5;
a = ++a;
```

ne sont pas évaluables (l'effet produit par les lignes 2 dépend du compilateur et de ses options).

Les opérateurs d'incrémentation et de décrémentation

Attention au **pièges d'utilisation** de ces opérateurs.

P.ex., les instructions

```
int a = 5, b;
b = a++ + ++a;
```

```
int a = 5;
a = a++;
```

```
int a = 5;
a = ++a;
```

ne sont pas évaluables (l'effet produit par les lignes 2 dépend du compilateur et de ses options).

Règle : pour éviter ce type de piège, on s'interdit de réaliser plus d'une modification d'une même variable dans une même expression.

Opérateurs relationnels

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
<, >	comparaison stricte	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
<=, >=	comparaison large	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
==	égalité	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
!=	différence	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques

Opérateurs relationnels

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
`<`, `>`	comparaison stricte	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
`<=`, `>=`	comparaison large	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
`==`	égalité	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
`!=`	différence	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques

Toutes les expressions de la forme

```
v1 CMP v2
```

où `v1` et `v2` sont des valeurs numériques et `CMP` est un opérateur de comparaison produisent une valeur :

- `1` si la comparaison est vraie ;
- `0` sinon.

Opérateurs relationnels

Un pointeur étant une adresse, et donc une valeur numérique, il est possible de comparer deux pointeurs.

Opérateurs relationnels

Un pointeur étant une adresse, et donc une valeur numérique, il est possible de comparer deux pointeurs.

```
char *ptr1, *ptr2;
char c;
c = 'a';
ptr1 = &c;
ptr2 = &c;
if (ptr1 == ptr2)
    printf("ok1\n");
if (&ptr1 == &ptr2)
    printf("ok2\n");
```

Ceci affiche seulement `ok1`.

En effet, les deux pointeurs `ptr1` et `ptr2` pointent vers le même emplacement en mémoire.

Le second test est faux car les adresses des variables `ptr1` et `ptr2` sont différentes.

Opérateurs relationnels

Un pointeur étant une adresse, et donc une valeur numérique, il est possible de comparer deux pointeurs.

```
char *ptr1, *ptr2;
char c;
c = 'a';
ptr1 = &c;
ptr2 = &c;
if (ptr1 == ptr2)
    printf("ok1\n");
if (&ptr1 == &ptr2)
    printf("ok2\n");
```

Ceci affiche seulement `ok1`.

En effet, les deux pointeurs `ptr1` et `ptr2` pointent vers le même emplacement en mémoire.

Le second test est faux car les adresses des variables `ptr1` et `ptr2` sont différentes.

```
int t1[2], t2[2];
t1[0] = 1;
t1[1] = 2;
t2[0] = 1;
t2[1] = 2;
if (t1 == t2)
    printf("ok\n");
```

Ceci compare les **adresses** de `t1` et `t2` et non pas les valeurs de leurs cases.

Rien n'est donc affiché car les tableaux `t1` et `t2` sont à des adresses différentes.

Opérateurs logiques

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
&&	et logique	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
||	ou logique	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
!	non logique	1	–	une val. numérique

Opérateurs logiques

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
`&&`	et logique	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
`||`	ou logique	2	$\longrightarrow$	deux val. numériques
`!`	non logique	1	–	une val. numérique

Toutes les expressions formées d'opérateurs logiques produisent une valeur, `0` ou bien `1`.

Cette valeur est

- `1` si l'expression logique est vraie ;
- `0` sinon.

Opérateurs bit à bit

Op.	Rôle	Ari.	Assoc.	Opérandes
&	et bit à bit	2	$\longrightarrow$	deux val. entières
|	ou bit à bit	2	$\longrightarrow$	deux val. entières
^	xor bit à bit	2	$\longrightarrow$	deux val. entières
$\sim$	non bit à bit	1	–	une val. entière
< <, > >	déc. g./d. bit à bit	2	$\longrightarrow$	deux val. entières

Et/ou/xor/non bit à bit

Quelques exemples d'opérations bit à bit :

`x`	`0`	`1`	`1`	`1`	`0`	`1`	`0`	`1`
`y`	`1`	`0`	`1`	`0`	`1`	`1`	`0`	`0`
`x & y`	`0`	`0`	`1`	`0`	`0`	`1`	`0`	`0`

Et/ou/xor/non bit à bit

Quelques exemples d'opérations bit à bit :

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x & y	0	0	1	0	0	1	0	0

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x | y	1	1	1	1	1	1	0	1

Et/ou/xor/non bit à bit

Quelques exemples d'opérations bit à bit :

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x & y	0	0	1	0	0	1	0	0

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x ^ y	1	1	0	1	1	0	0	1

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x | y	1	1	1	1	1	1	0	1

Et/ou/xor/non bit à bit

Quelques exemples d'opérations bit à bit :

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x & y	0	0	1	0	0	1	0	0

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x ^ y	1	1	0	1	1	0	0	1

x	0	1	1	1	0	1	0	1
y	1	0	1	0	1	1	0	0
x | y	1	1	1	1	1	1	0	1

x	0	1	1	1	0	1	0	1
~x	1	0	0	0	1	0	1	0

Et/ou/xor/non bit à bit

Si les deux opérandes n'ont pas la même taille (en nombre de bits), le plus petit est complété à gauche par des

- **zéros** s'il est non signé ou bien positif ;
- **uns** s'il est négatif et signé.

Et/ou/xor/non bit à bit

Si les deux opérandes n'ont pas la même taille (en nombre de bits), le plus petit est complété à gauche par des

- **zéros** s'il est non signé ou bien positif ;
- **uns** s'il est négatif et signé.

Le signe d'un entier signé est lu sur son bit de poids fort :

- `0` s'il est positif ;
- `1` s'il est négatif.

Et/ou/xor/non bit à bit

Si les deux opérandes n'ont pas la même taille (en nombre de bits), le plus petit est complété à gauche par des

- **zéros** s'il est non signé ou bien positif ;
- **uns** s'il est négatif et signé.

Le signe d'un entier signé est lu sur son bit de poids fort :

- 0 s'il est positif ;
- 1 s'il est négatif.

```
short x = 5;
char y = 10;
x = x | y;
```

x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
x | y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Et/ou/xor/non bit à bit

Si les deux opérandes n'ont pas la même taille (en nombre de bits), le plus petit est complété à gauche par des

- **zéros** s'il est non signé ou bien positif ;
- **uns** s'il est négatif et signé.

Le signe d'un entier signé est lu sur son bit de poids fort :

- 0 s'il est positif ;
- 1 s'il est négatif.

```
short x = 5;
char y = 10;
x = x | y;
```

x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
x | y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

```
short x = 5;
char y = -10;
x = x | y;
```

x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
x | y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Si `x` est signé (déclaré sans `unsigned`),

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Si `x` est signé (déclaré sans `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Si `x` est signé (déclaré sans `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Si `x` est signé (déclaré sans `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

`x`	1	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

Décalage bit à bit

Si `x` est non signé (déclaré avec `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

Si `x` est signé (déclaré sans `unsigned`),

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	0	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	0	0	0	0	1	1	1	0

`x`	1	1	1	1	0	1	0	1
`x << 3`	1	0	1	0	1	0	0	0

`x`	1	1	1	1	0	1	0	1
`x >> 3`	1	1	1	1	1	1	1	0

Exemple — ensembles finis

Les opérateurs bit à bit sont adaptés pour représenter des ensembles finis et réaliser des opérations ensemblistes de manière simple et efficace.

Exemple — ensembles finis

Les opérateurs bit à bit sont adaptés pour représenter des ensembles finis et réaliser des opérations ensemblistes de manière simple et efficace.

Soit E un ensemble à 32 éléments.

On considère que E est muni d'une relation d'ordre totale de sorte que ses éléments puissent être indexés de 0 à 31. Ainsi,

$$E = \{e_0, e_1, e_2, \ldots, e_{31}\}.$$

Exemple — ensembles finis

Les opérateurs bit à bit sont adaptés pour représenter des ensembles finis et réaliser des opérations ensemblistes de manière simple et efficace.

Soit E un ensemble à 32 éléments.

On considère que E est muni d'une relation d'ordre totale de sorte que ses éléments puissent être indexés de 0 à 31. Ainsi,

$$E = \{e_0, e_1, e_2, \ldots, e_{31}\}.$$

Cette indexation permet de représenter tout sous-ensemble S de E par un mot de 32 bit dont le i^{e} bit code la présence (1) ou l'absence (0) de e_i dans S.

Exemple — ensembles finis

Les opérateurs bit à bit sont adaptés pour représenter des ensembles finis et réaliser des opérations ensemblistes de manière simple et efficace.

Soit E un ensemble à 32 éléments.

On considère que E est muni d'une relation d'ordre totale de sorte que ses éléments puissent être indexés de 0 à 31. Ainsi,

$$E = \{e_0, e_1, e_2, \ldots, e_{31}\}.$$

Cette indexation permet de représenter tout sous-ensemble S de E par un mot de 32 bit dont le i^{e} bit code la présence (1) ou l'absence (0) de e_i dans S.

P.ex., l'entier dont l'écriture binaire est

`00010000100000000000001100000101`

code le sous ensemble $\{e_0, e_2, e_8, e_9, e_{23}, e_{28}\}$ de E.

Exemple — ensembles finis

Ceci mène à la déclaration du type alias

```
1  typedef unsigned int SousEnsemble;
```

Pour tester si e_i **appartient** à S, il suffit de réaliser un et bit à bit entre l'entier représentant S et le mot binaire constitué d'un unique `1` en i^{e} position.

Cette expression vaut `0` si $e_i \notin S$ et une valeur non nulle sinon.

Ainsi,

```
1  int appartient_e_i(SousEnsemble s, int i) {
2      assert(0 <= i);
3      assert(i <= 31);
4
5      return (1 << i) & s;
6  }
```

Exemple — ensembles finis

Pour réaliser l'**union** de deux sous-ensembles S_1 et S_2 de E, il suffit de réaliser un ou bit à bit des deux entiers représentant S_1 et S_2. En effet, pour tout i, $e_i \in S_1 \cup S_2$ si $e_i \in S_1$ ou $e_i \in S_2$.

Ainsi,

```
1  SousEnsemble union(SousEnsemble s_1, SousEnsemble s_2) {
2      return s_1 | s_2;
3  }
```

Pour réaliser l'**intersection** de deux sous-ensembles S_1 et S_2 de E, il suffit de réaliser un et bit à bit des deux entiers représentant S_1 et S_2. En effet, pour tout i, $e_i \in S_1 \cap S_2$ si $e_i \in S_1$ et $e_i \in S_2$.

Ainsi,

```
1  SousEnsemble intersection(SousEnsemble s_1, SousEnsemble s_2) {
2      return s_1 & s_2;
3  }
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

On travaille sur des variables de `64` bits. On considère pour cela le type alias `Mot64` défini par

```
typedef unsigned long long Mot64;
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

On travaille sur des variables de `64` bits. On considère pour cela le type alias `Mot64` défini par

```
typedef unsigned long long Mot64;
```

1re **méthode** : attraper le bit de poids faible et le pousser à droite.

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

On travaille sur des variables de 64 bits. On considère pour cela le type alias `Mot64` défini par

```
typedef unsigned long long Mot64;
```

1re **méthode** : attraper le bit de poids faible et le pousser à droite.

```
int compter_un_1(Mot64 x) {




}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

On travaille sur des variables de 64 bits. On considère pour cela le type alias `Mot64` défini par

```
typedef unsigned long long Mot64;
```

1re **méthode** : attraper le bit de poids faible et le pousser à droite.

```
int compter_un_1(Mot64 x) {
    int res, i;
    res = 0;




    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

On travaille sur des variables de 64 bits. On considère pour cela le type alias `Mot64` défini par

```
typedef unsigned long long Mot64;
```

1re **méthode** : attraper le bit de poids faible et le pousser à droite.

```
int compter_un_1(Mot64 x) {
    int res, i;
    res = 0;
    for (i = 0 ; i < 64 ; ++i) {


        x = x >> 1;
    }
    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

But : écrire une fonction qui renvoie le nombre de bits à un de son paramètre.

On travaille sur des variables de 64 bits. On considère pour cela le type alias `Mot64` défini par

```
typedef unsigned long long Mot64;
```

1re **méthode** : attraper le bit de poids faible et le pousser à droite.

```
int compter_un_1(Mot64 x) {
    int res, i;
    res = 0;
    for (i = 0 ; i < 64 ; ++i) {
        if ((x & 1) == 1)
            res += 1;
        x = x >> 1;
    }
    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

2e **méthode** : on constate que pour tout entier `x` non nul (avec au moins un bit à un), l'expression `x & -x` est l'entier qui contient un unique bit à un, le plus à droite de `x`.

Exemple — Compter le nombre de bits à un

2e **méthode** : on constate que pour tout entier `x` non nul (avec au moins un bit à un), l'expression `x & -x` est l'entier qui contient un unique bit à un, le plus à droite de `x`.

Ainsi, l'instruction

```
x = x ^ (x & -x);
```

transforme le bit à un le plus à droite de `x` en un zéro.

Exemple — Compter le nombre de bits à un

2e **méthode** : on constate que pour tout entier `x` non nul (avec au moins un bit à un), l'expression `x & -x` est l'entier qui contient un unique bit à un, le plus à droite de `x`.

Ainsi, l'instruction

```
x = x ^ (x & -x);
```

transforme le bit à un le plus à droite de `x` en un zéro.

L'exploitation de cette idée donne

Exemple — Compter le nombre de bits à un

2e **méthode** : on constate que pour tout entier `x` non nul (avec au moins un bit à un), l'expression `x & -x` est l'entier qui contient un unique bit à un, le plus à droite de `x`.

Ainsi, l'instruction

```
x = x ^ (x & -x);
```

transforme le bit à un le plus à droite de `x` en un zéro.

L'exploitation de cette idée donne

```
int compter_un_2(Mot64 x) {



}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

2e **méthode** : on constate que pour tout entier `x` non nul (avec au moins un bit à un), l'expression `x & -x` est l'entier qui contient un unique bit à un, le plus à droite de `x`.

Ainsi, l'instruction

```
x = x ^ (x & -x);
```

transforme le bit à un le plus à droite de `x` en un zéro.

L'exploitation de cette idée donne

```
int compter_un_2(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;




    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

2e **méthode** : on constate que pour tout entier `x` non nul (avec au moins un bit à un), l'expression `x & -x` est l'entier qui contient un unique bit à un, le plus à droite de `x`.

Ainsi, l'instruction

```
x = x ^ (x & -x);
```

transforme le bit à un le plus à droite de `x` en un zéro.

L'exploitation de cette idée donne

```
int compter_un_2(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    while (x != 0) {
        x = x ^ (x & -x);
        res += 1;
    }
    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

3e **méthode** : cette troisième méthode n'utilise pas de boucle.

Exemple — Compter le nombre de bits à un

3e **méthode** : cette troisième méthode n'utilise pas de boucle.

On commence par construire un tableau qui associe à tout entier de huit bits (un `char`) le nombre de bits à un qu'il contient, en utilisant au choix l'une des deux méthodes précédentes.

Exemple — Compter le nombre de bits à un

3^{e} **méthode** : cette troisième méthode n'utilise pas de boucle.

On commence par construire un tableau qui associe à tout entier de huit bits (un `char`) le nombre de bits à un qu'il contient, en utilisant au choix l'une des deux méthodes précédentes.

```
int nombre_un[256];

void initialiser_nombre_un() {
    int i;
    Mot64 x;
    for (i = 0; i < 256; ++i) {
        x = (Mot64) i;
        nombre_un[i] = compter_un_2(x);
    }
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {




}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;









    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];









    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];









    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 16)];




    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 16)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 24)];




    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 16)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 24)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 32)];



    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 16)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 24)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 32)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 40)];


    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 16)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 24)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 32)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 40)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 48)];

    return res;
}
```

Exemple — Compter le nombre de bits à un

On isole l'octet d'indice `i` d'une variable `x` de type `Mot64` par l'expression

```
0xFF & (x >> (8 * i))
```

Comme le nombre de bits à un de `x` est la somme du nombre de bits à un de chacun des huit octets qui le constituent, on obtient

```
int compter_un_3(Mot64 x) {
    int res;
    res = 0;
    res += nombre_un[0xFF & x];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 8)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 16)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 24)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 32)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 40)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 48)];
    res += nombre_un[0xFF & (x >> 56)];
    return res;
}
```