Chapitre 3

Les opérateurs

Plan

3.1 Les opérateurs arithmétiques

Opérateur	Signification	Exemple
`+`	Addition	`a + b`
`-`	Soustraction	`a - b`
`*`	Multiplication	`a * b`
`/`	Division	`a / b`
`%`	Modulo : reste de la division d'entiers	`a % b`

3.1 Les opérateurs arithmétiques

Quelle valeur prend `a` dans ces expressions ?

```
int a;
a = 10 %  2;
a = 10 %  3;
a = 10 % 10;
a =  5 % 10;
a = 10 %  0;
a =  0 % 10;
```

Remarques

L'opérateur `%` ne s'applique qu'à des opérandes de type entier et retourne un entier.

La fonction `fmod()` dans la librairie `<math.h>` travaille avec des valeurs de type double.

3.1 Priorité des opérateurs

Opérateur	Sens d'évaluation	Priorité
()	→	haute
* / %	→	
+ -	→	
=	←	basse

3.1 Priorité des opérateurs

Dans chaque classe de priorité, les opérateurs ont la même priorité. S'il y a une suite d'opérateurs binaires de même classe, l'évaluation se fait de la **gauche vers la droite** dans l'expression.

Exemple `6/3*2 → 4`

Pour les opérateurs unaires (`!`,`++`,`--`) et pour les opérateurs d'affectation (`=`,`+=`,`-=`,`*=`,`/=`,`%=`), l'évaluation se fait de **droite à gauche**.

3.1 Les opérateurs arithmétiques

Quelle valeur prend `a` dans ces expressions ?

```
int a = 0;

a = (10 + 6) / (3 - 1);

a = (10 + 6) / 3 - 1;

a =  10 + 6  / (3 - 1);

a =  10 + 6  / 3 - 1;
```

3.1 Types et domaines de définition

Le **type** d'une variable définit le **domaine des valeurs possibles**

Il faut être attentif à **ne pas dépasser les limites de validité** des variables.

⚠ lorsqu'on combine des variables de types différents à l'aide des opérateurs mathématiques.

Le tableau suivant rappelle les **domaines de validité** de quelques types du langage C.

3.1 Domaines de validité

Type	Min	Max
`char`	-128	+127
`unsigned char`	0	+255
`short`	-32768	+32767
`unsigned short`	0	+65535
`int`	-2147483648	+2147483647
`unsigned int`	0	+4294967295
`long`	-2147483648	+2147483647
`unsigned long`	0	+4294967295
`float`	1.1E-38	3.4E+38
`double`	2.2E-308	1.7E+308

3.1 Domaines de validité

Le fichier **<limits.h>** définit des macros pour les nombres entiers. Les valeurs dépendent de l'implémentation et de la machine.

Valeur	Remarques
CHAR_BIT	Taille d'un **char** en bits (minimum 8 bits)
SCHAR_MIN, SHRT_MIN, INT_MIN, LONG_MIN, LLONG_MIN(C99)	Valeur **minimum possible** des types entiers signés : **char, short, int, long, long long**
SCHAR_MAX, SHRT_MAX, INT_MAX, LONG_MAX, LLONG_MAX(C99)	Valeur **maximum possible** des types entiers signés : **signed char, signed short, signed int,...**
UCHAR_MAX, USHRT_MAX, UINT_MAX, ULONG_MAX, ULLONG_MAX(C99)	Valeur **maximum possible** des types entiers non-signés : **unsigned char, unsigned short,...**
CHAR_MIN	Valeur **minimum possible** pour un **char**
CHAR_MAX	Valeur **maximum possible** pour un **char**
...	...

3.1 Domaines de validité

Le fichier **<float.h>** définit des macros pour les nombres en virgule flottante. Les valeurs dépendent de l'implémentation et de la machine.

Valeur	Remarques
FLT_MIN, DBL_MIN	Valeur **minimum possible** d'un **float, double**
FLT_MAX, DBL_MAX	Valeur **maximum possible** d'un **float** ou **double**
FLT_EPSILON, DBL_EPSILON	Le **plus petit nombre** tel que 1.0 + x != 1.0 pour **float** ou **double**
FLT_DIG, DBL_DIG	Nombre de décimales qui peuvent être représentées sans perte de précision pour **float** ou **double**
….	….

3.1 «Overflow» – dépassement de capacité

Lorsqu'on sort des domaines de définition

a) Avec les types **réels** tels que `float` ou `double`, la variable prend une valeur spéciale

	Valeurs	math.h
Valeur infinie	`1.#INF`	`HUGE_VAL` `INFINITY`
Valeur indéterminée	`1.#IND`	`NAN`

b) Avec les types **entiers,** signés ou non, **aucun message d'erreur**, mais un certain nombre de bits sont pris en compte, les autres sont ignorés. Généralement, la valeur "boucle sur le codage", sans garanti à 100% hélas.

3.1 Exemples de débordement

```
unsigned char resultat;
resultat = 255 + 1;
```

```
char resultat;
resultat = 127 + 1;
```

```
#include <math.h> /* HUGE_VAL: valeur infinie */
…
double x = 1/0.;
printf("%lf %lf\n", x, -HUGE_VAL);

double y = x/x;
printf("%lf %lf\n", y,  -HUGE_VAL/HUGE_VAL);

double z = 1/HUGE_VAL;
printf("%lf\n", z);
```

3.1 Les opérateurs arithmétiques

Que valent `i3` et `f3`?

```
int   i1 = 5,  i2 = 2,  i3;
float f1 = 5., f2 = 2., f3;

f3 = f1 / f2;

i3 = i1 / i2;

f3 = i1 / i2;

i3 = f1 / f2;
```

3.1 Règles de conversions implicites

Une **conversion implicite** est une modification du type prise en charge par le compilateur.

1. **Dans une affectation :** le résultat de l'expression à droite du signe = est converti de façon à **réduire au minimum les pertes de données**.
2. **Dans une opération :** si les opérandes sont de types différents, il y a conversion **du type le plus FAIBLE vers le type le plus FORT**.

FAIBLE
`char`
`short`
`int`
`unsigned int`
`long`
`unsigned long`
`float`
`double`
`long double`
FORT

«Casting» – conversion explicite

Une **conversion explicite** (transtypage) est **une modification du type**, réalisée par le programmeur grâce à la syntaxe suivante :

```
(<Type>) <valeur>
```

Exemples

```
(int) 132.45
(double) 2/3    //    2.0/3
```

Remarque : on peut aussi forcer un transtypage de valeurs littérales au moyen de suffixes : `.` pour `double`, `f` pour `float`, `u` pour `unsigned`, `l` pour `long`. Par exemple `x = 17f`

Exercice – Conversions

```
int x = 5;
int y = 2;
int r;
r = x / y;
```

```
int x = 5;
int y = 2;
float r;
r = x / y;
```

```
int x = 5;
int y = 2;
float r;
r = (float)x / y;
```

```
float x = 5;
int y = 2;
int r;
r = x / y;
```

```
float x = 5;
int y = 2;
float r;
r = x / y;
```

```
int x = 5;
int y = 2;
float r;
r = (float)(x / y);
```

Exemple

```
// This programs uses various operations using variables and mixing types
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void)
{
          double result1, result2;
          long result3;
          unsigned int result4;
          result1 = 4. / 3;     // Division: double -> double
          result2 = 4 / 3;      // Division: int -> double
          result3 = result1;    // double -> long
          result4 = -result1;   // double -> unsigned int
          printf("double:          4. / 3  = %lg\n", result1);
          printf("double:          4  / 3  = %lg\n", result2);
          printf("long:            4. / 3  = %ld\n", result3);
          printf("unsigned int: -(4. / 3) = %u\n", result4);          // (2^32) - 1

          return 0;
}
```

Affichage des résultats

```
double:          4. / 3   = 1.33333
double:          4  / 3   = 1
long:            4. / 3   = 1
unsigned int: - (4./ 3) = 4294967295
```

Note : de nouvelles spécifications de format sont employées ici

long	***%ld***
unsigned long	***%lu***
double	***%lg, %lf***

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. **Les opérateurs d'affectation / assignation**
3. Les opérateurs d'incrémentation
4. L'opérateur virgule
5. Les opérateurs de comparaison
6. Les opérateurs logiques
7. Les opérateurs bit-à-bit
8. Les opérateurs de décalage de bit

3.2 L'opérateur d'affectation

En C, **l'affectation peut jouer le rôle d'un opérateur en fournissant un résultat** pouvant être réutilisé dans le programme.

La partie à gauche de l'opérateur **=** s'appelle une ***lvalue***.

L'affectation produit un résultat qui peut, lui aussi, être affecté à une variable :

```
b = (a = 4);
```

ou

```
b = a = 4;
```

est équivalent à:

```
a = 4;
b = a;
```

3.2 L'opérateur d'affectation

```
<Var> = <Var> <Opérateur> <Expression>;
```

devient

```
<Var> <Opérateur composé> <Expression>;
```

Exemple

```
compteur = compteur + 2;
compteur += 2;
```

} équivalents

3.2 L'opérateur d'affectation

Opérateur	Signification	Exemple
`=`	Affectation	`a = b`
`+=`	addition et assignation	`a += b`
`-=`	soustraction et assignation	`a -= b`
`*=`	multiplication et assignation	`a *= b`
`/=`	division et assignation	`a /= b`
`%=`	modulo et assignation	`a %= b`

3.2 Priorité des opérateurs

Opérateur	Sens d'évaluation	Priorité
( )	→	haute
* / %	→	
+ -	→	
= += -= *= /= %=	←	basse

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. Les opérateurs d'affectation / assignation
3. **Les opérateurs d'incrémentation**
4. L'opérateur virgule
5. Les opérateurs de comparaison
6. Les opérateurs logiques
7. Les opérateurs bit-à-bit
8. Les opérateurs de décalage de bit

3.3 Les opérateurs d'incrémentation

Opérateur qui **augmente**, ou **diminue**, **de 1** la valeur d'une variable entière.

Opérateur	Signification	Exemple
`++`	incrémentation	`a++` `++a`
`--`	décrémentation	`a--` `--a`

3.3 Les opérateurs d'incrémentation

Les opérateurs ++ et -- peuvent être

(a) préfixés, à gauche de l'opérande

On **pré-incrémente**, puis on affecte

(b) postfixés, à droite de l'opérande

On affecte, puis on **post-incrémente**

3.3 Les opérateurs d'incrémentation

```
y = x++;   est équivalent à   y = x;
                              x = x + 1;

y = ++x;   est équivalent à   x = x + 1;
                              y = x;

y = x--;   est équivalent à   y = x;
                              x = x - 1 ;

y = --x;   est équivalent à   x = x - 1 ;
                              y = x ;
```

3.3 Opérateurs d'incrémentation

Que valent `x` et `y` ?

```
int x = 6, y;
y = --x;
```

```
int x = 6, y;
y = x--;
```

3.3 Priorité des opérateurs

Opérateur	Sens d'évaluation	Priorité
( )	→	haute
++ --	←	
* / %	→	
+ -	→	
= += -= *= /= %=	←	basse

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. Les opérateurs d'affectation / assignation
3. Les opérateurs d'incrémentation
4. **L'opérateur virgule**
5. Les opérateurs de comparaison
6. Les opérateurs logiques
7. Les opérateurs bit-à-bit
8. Les opérateurs de décalage de bit

3.4 L'opérateur virgule : « , »

<expression1> , … , <expressionN>

expression1 est évaluée, puis … , puis finalement **expressionN**. La valeur de **expressionN**, la plus à droite, est conservée, c'est la valeur de l'opération virgule.

Utilisation courante dans les boucles :

```
for(i=1,j=0; j<15; i++, j=j+2){...}
```

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. Les opérateurs d'affectation / assignation
3. Les opérateurs d'incrémentation
4. L'opérateur virgule
5. **Les opérateurs de comparaison**
6. Les opérateurs logiques
7. Les opérateurs bit-à-bit
8. Les opérateurs de décalage de bit

3.5 Opérateurs de comparaison

Comparaison de variables ou expressions dont le résultat est **0** ou **1** :

```
{type simple} x {type simple}  -> {0, 1}
```

Exemples

```
_Bool b = 5 < (3 + 4);

b = 'A' > 'Z';
```

3.5 Exemple de valeurs booléennes

Les valeurs booléennes peuvent avoir diverses représentations

Version	Type	vrai	faux	#include
K&R	`int`	1 (≠0)	0	
C99	`bool`	**true**	**false**	**<stdbool.h>**
C99	`_Bool`	**≠0**	**0**	

Have g++ follow the coming C++0x (aka c++11) ISO C++ language standard [-std=c++0x] ☑

```c
#include <stdbool.h>
bool test = true;
test = (2*3) < 7;
printf("%d", test);
printf("%s", test ? "true" : "false");
```

```c
_Bool test = 3; //!=0 => true
test = (2*3) < 7;
printf("%d", test);
printf("%s", test ? "true" : "false");
```

3.5 Opérateurs de comparaison

Opérateur	Signification	Exemple
`==`	égal à	`a == b`
`!=`	différent de	`a != b`
`>`	supérieur à	`a > b`
`<`	inférieur à	`a < b`
`>=`	supérieur ou égal à	`a >= b`
`<=`	inférieur ou égal à	`a <= b`

3.3 Priorité des opérateurs

Opérateur	Sens d'évaluation	Priorité
`()`	→	haute
`++ --`	←	
`* / %`	→	
`+ -`	→	
`< > <= <=`	→	
`== !=`	→	
`= += -= *= /= %=`	←	basse

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. Les opérateurs d'affectation / assignation
3. Les opérateurs d'incrémentation
4. L'opérateur virgule
5. Les opérateurs de comparaison
6. **Les opérateurs logiques**
7. Les opérateurs bit-à-bit
8. Les opérateurs de décalage de bit

3.6 Opérateurs logiques

Opérateur qui agit sur des booléens et qui donne un booléen :

```
{ _Bool } x { _Bool }  -> { _Bool }
```

Exemple :

```
bool a = true, b = false, c;
c = a || b;
```

Opérateur	Signification	Exemple
`&&`	et (AND)	`a && b`
`||`	ou (OR)	`a || b`
`!`	négation (NOT)	`!a`

3.6 Opérateurs logiques

		NOT	**AND**	**OR**	***XOR***
p	**q**	`!q`	`p&&q`	`p||q`	`(!p && q) || (p && !q)`
false	**false**	true	false	false	*false*
false	**true**	false	false	true	*true*
true	**false**	true	false	true	*true*
true	**true**	false	true	true	*false*

3.6 Priorité des opérateurs

Opérateur	Sens d'évaluation	Priorité
( )	→	haute
++ -- !	←	
* / %	→	
+ -	→	
< > <= <=	→	
== !=	→	
&&	→	
||	→	
= += -= *= /= %=	←	basse

3.6 Exemples

```
(true && false)

!true

false || !(32 > 12)
```

Remarque : les opérateurs `&&` et `||` ont un point d'arrêt entre l'évaluation du membre de gauche et du membre de droite : « *short-circuit evaluation* ». **Le membre de droite n'est évalué que si c'est nécessaire.**

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. Les opérateurs d'affectation / assignation
3. Les opérateurs d'incrémentation
4. L'opérateur virgule
5. Les opérateurs de comparaison
6. Les opérateurs logiques
7. **Les opérateurs bit-à-bit**
8. Les opérateurs de décalage de bit

3.7 Opérateurs bit-à-bit

Opérateurs qui agissent directement au niveau des bits des mots. La valeur de **chaque bit** dépend **seulement** des valeurs des bit(s) à cette **position**

Opérateur	Signification	Exemple
`&`	et : « AND »	`a & b`
`|`	ou : « OR »	`a | b`
`^`	ou exclusif : « XOR »	`a ^ b`
`~`	complément à 1	`~a`

Les opérateurs composés sont également autorisés : `&=`, `|=` et `^=`

3.7 Opérateurs bit à bit – entiers

	a	0	0	1	1
	b	0	1	0	1
Et	`a & b`	0	0	0	1
Ou	`a | b`	0	1	1	1
Ou exclusif	`a ^ b`	0	1	1	0
Complément à 1	`~a`	1	1	0	0

3.7 Opérateurs bit à bit – entiers

Exemples : `int a = 33333, b = -77777;`

Expression	Représentation
`a`	`00000000 00000000 10000010 00110101`
`b`	`11111111 11111110 11010000 00101111`
`a & b`	`00000000 00000000 10000000 00100101`
`a ^ b`	`11111111 11111110 01010010 00011010`
`a | b`	`11111111 11111110 11010010 00111111`
`~ ( a | b )`	`00000000 00000001 00101101 11000000`
`~ a & ~ b`	`00000000 00000001 00101101 11000000`

3.7 Opérateurs bit à bit – entiers

Qu'affiche ce programme

```
unsigned char x=0xAA; // 1010 1010
printf("%X\n", x);
printf("%X\n", x & 0xFF);
printf("%X\n", x & 0x01);
printf("%X\n", x & 0x03);
```

Plan

1. Les opérateurs arithmétiques
2. Les opérateurs d'affectation / assignation
3. Les opérateurs d'incrémentation
4. L'opérateur virgule
5. Les opérateurs de comparaison
6. Les opérateurs logiques
7. Les opérateurs bit-à-bit
8. **Les opérateurs de décalage de bit**

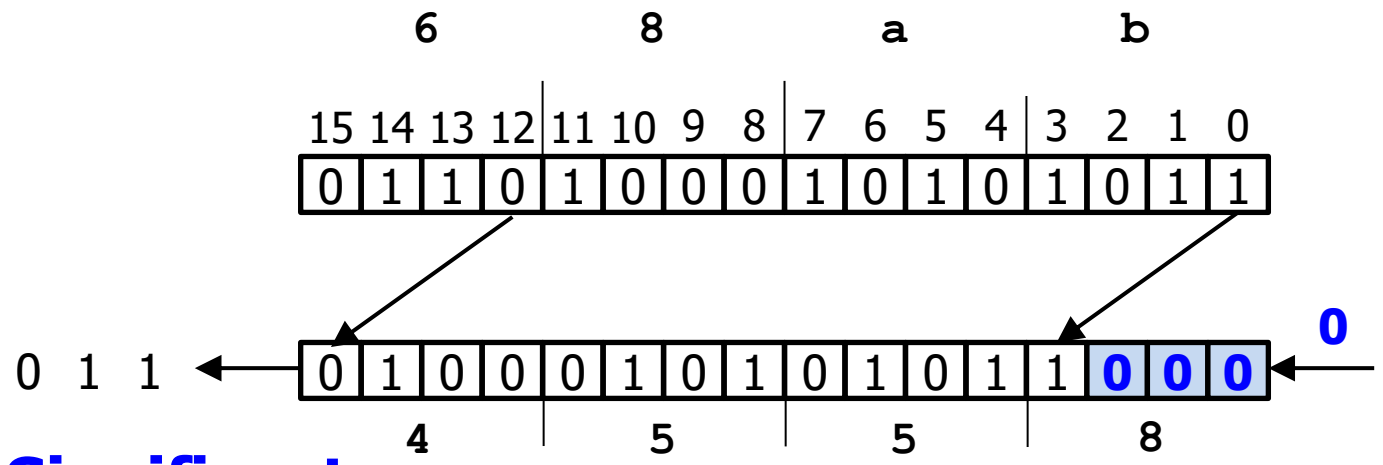
3.8 Opérateurs de décalage

Les opérateurs de décalage vont décaler les bits soit vers la droite, soit vers la gauche.

Opérateur	Signification	Exemple
`<<`	Décalage des bits de **`a`** vers la gauche de **`b`** bits	`a << b`
`>>`	Décalage des bits de **`a`** vers la droite de **`b`** bits	`a >> b`
`<<=`	Décalage à gauche et affectation	`a <<= b`
`>>=`	Décalage à droite et affectation	`a >>= b`

3.8 Opérateur de décalage à gauche

```
short a = 0x68ab;
a = a << 3; /* shift left 3 bits  */
```

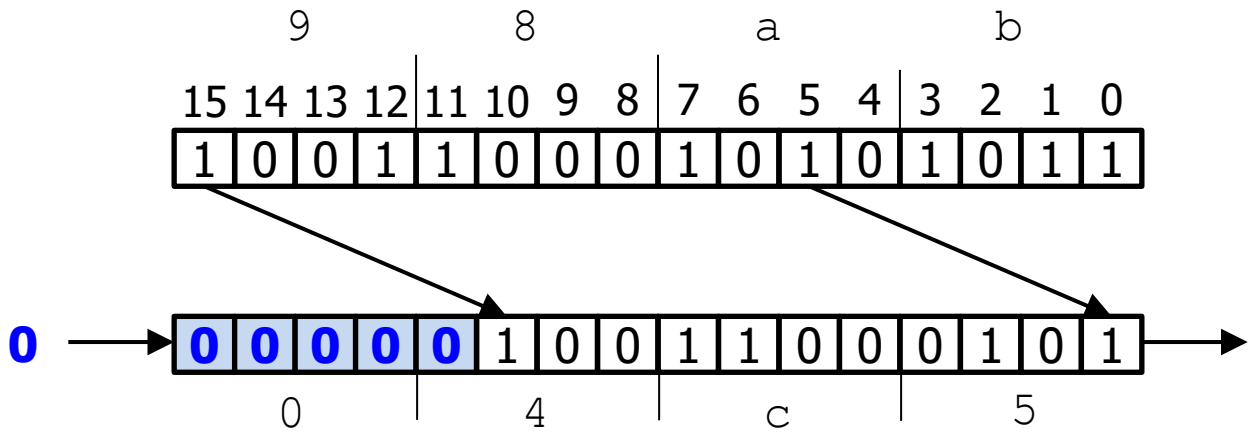


Les **"Most Significant Bits"** sont perdus

Les positions vides en entrée sont **remplies de zéros**

3.8 Opérateur de décalage à droite – non signé

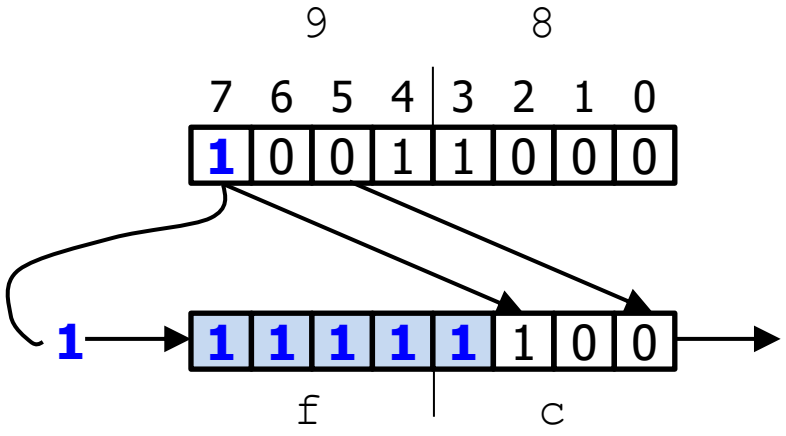
```
unsigned short a = 0x98ab;
. . .
a >>= 5; /* shift right 5 bits */
```



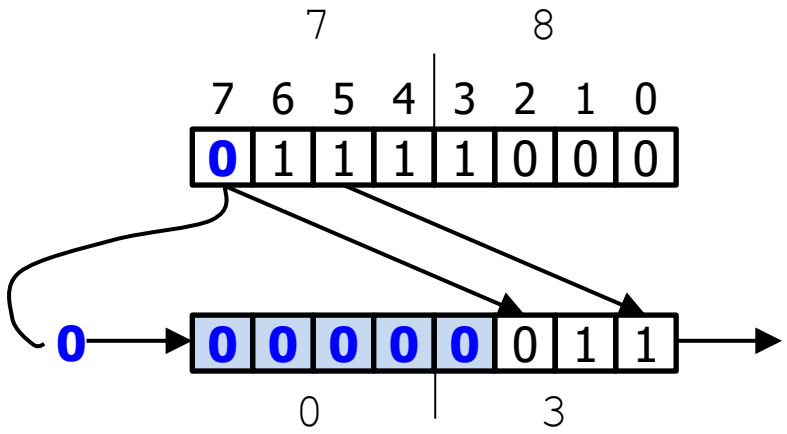
Pour les types **non signés**, les positions libérées sont **remplies avec des zéros**

3.8 Opérateur de décalage à droite – signé

```
char a = 0x98; //-104
. . .
a >>= 5;
```




```
char a = 0x78; //+120
. . .
a >>= 5;
```



Les positions libérées sont remplies avec **une copie du bit de poids fort : bit de signe**

3.8 Remarques

`x << n` est équivalent à **multiplier par 2^n**

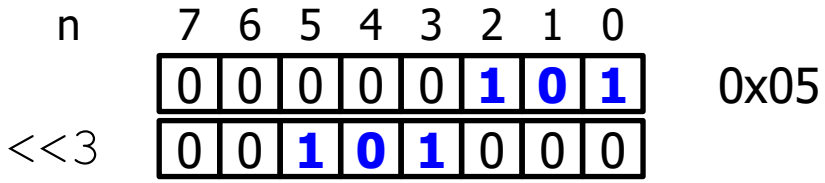
`x >> n` est équivalent à **diviser par 2^n**

n	7	6	5	4	3	2	1	0		
	0	0	0	0	0	0	0	**1**	0x01	1
<<1	0	0	0	0	0	0	**1**	0	0x02	2
<<2	0	0	0	0	0	**1**	0	0	0x04	4
<<3	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0x08	8
<<4	0	0	0	**1**	0	0	0	0	0x10	16
<<5	0	0	**1**	0	0	0	0	0	0x20	32
<<6	0	**1**	0	0	0	0	0	0	0x40	64
<<7	**1**	0	0	0	0	0	0	0	0x80	128

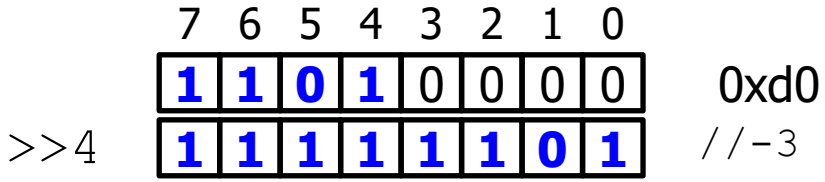
La réalisation d'un décalage est bien plus rapide que celle d'une multiplication ou d'une division.
→ Les multiplications et divisions de puissance de 2 devraient être implémentées avec des **décalages**.

3.8 Exemples

```
char a = 0x05; //+5
a <<= 3;
```



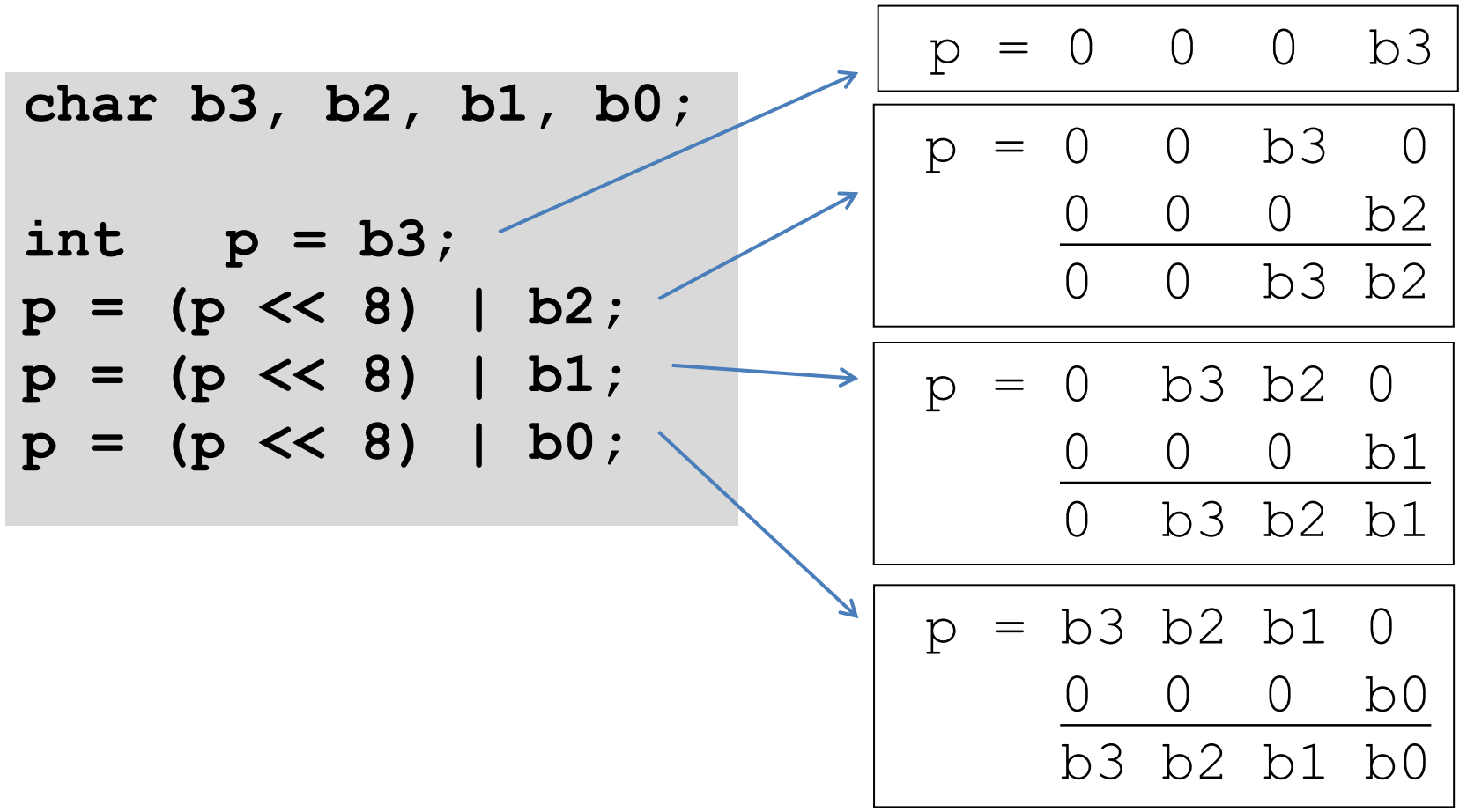

```
char a = 0xd0; //-48
a >>= 4;
```



3.8 Groupement de 4 `char` en un `int`

```
char b3, b2, b1, b0;

int   p = b3;
p = (p << 8) | b2;
p = (p << 8) | b1;
p = (p << 8) | b0;
```



3.8 Extraction d'un byte d'un `int`

```
int i; char b;
int noByte;  // de 0 à 3

unsigned int mask = 0xFF;
int n = noByte * 8;

mask <<= n;
b =  ( ( i & mask ) >> n );
```

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

Exercices

[Exercices du chapitre 03]