

Licence informatique et vidéoludisme

Programmation avancée

de C à C++

Revekka Kyriakoglou
Cours et exercices
26 septembre 2022

Plan

Présentation

Présentation générale

(les points cités ci-après ne sont pas nécessairement abordés dans l'ordre)

- ▶ Rapides révisions de notions abordées en *Programmation Impérative*.
- ▶ Maîtriser les concepts avancés de la programmation C : renforcement pointeurs, allocation mémoire et organisation multi-fichiers; structures de données efficaces; mesure de performances.
- ▶ Apprendre à utiliser une sélection d'outils : make, utilisation/création de bibliothèques, gnuplot, GraphViz, gprof, valgrind, ...
- ▶ La généricité en C (usage des void *).
- ▶ Utilisation poussée des macros (*C preprocessor*).
- ▶ Introduction au C++ sans paradigme objet.
- ▶ Utilisation de la STL (C++).

Compilation

Compilation et génération de l'exécutable :

1. `gcc -Wall -Wextra -Wfatal-errors exo1.c -o exo1`

- `Wall` : "tous" les warnings
- `Wextra` : parce que "`-Wall`" ne contiens pas tout! (voir man gcc)
- `-Wfatal-errors` : arrêt de la compilation dès la 1ère erreur

2. Exécution : `./exo1`

Compilation

Compilation et génération de l'exécutable :

1. `gcc -Wall -Wextra -Wfatal-errors exo1.c -o exo1`

- `Wall` : "tous" les warnings
- `Wextra` : parce que "`-Wall`" ne contiens pas tout! (voir man gcc)
- `-Wfatal-errors` : arrêt de la compilation dès la 1ère erreur

2. Exécution : `./exo1`



Avez-vous créé un répertoire pour ce cours et cette seance?

Compilation

Compilation et génération de l'exécutable :

1. `gcc -Wall -Wextra -Wfatal-errors exo1.c -o exo1`

- `Wall` : "tous" les warnings
- `Wextra` : parce que "-Wall" ne contiens pas tout! (voir man gcc)
- `-Wfatal-errors` : arrêt de la compilation dès la 1ère erreur

2. Exécution : `./exo1`



Avez-vous créé un répertoire pour ce cours et cette seance?

`~/work/cours/ProgAvancee/Seance01/print_argv/`



Au fait, le `~/` est la référence vers votre *home directory* (racine de votre compte utilisateur)

stdio.h

? Quelle bibliothèque faut-il appeler pour utiliser printf?

stdio.h

? Quelle bibliothèque faut-il appeler pour utiliser printf?

Il faut taper `#include <stdio.h>` en haut de votre code.

stdio.h

? Quelle bibliothèque faut-il appeler pour utiliser printf?

Il faut taper **#include <stdio.h>** en haut de votre code.

? Ecrire un programme qui imprime votre nom.

Variables



Une variable est le nom donné à une zone de stockage que nos programmes peuvent manipuler.

Variables



Une variable est le nom donné à une zone de stockage que nos programmes peuvent manipuler.

Une variable est une entité "constituée" des cinq éléments :

Variables



Une variable est le nom donné à une zone de stockage que nos programmes peuvent manipuler.

Une variable est une entité "constituée" des cinq éléments :

- ▶ un identificateur (nom),
- ▶ type (intervalle de valeurs possibles),
- ▶ une valeur (à un moment donné),
- ▶ une adresse (emplacement mémoire),
- ▶ scope (sa durée de vie dans le programme).

Variables



Une variable est le nom donné à une zone de stockage que nos programmes peuvent manipuler.

Une variable est une entité "constituée" des cinq éléments :

- ▶ un identificateur (nom),
- ▶ type (intervalle de valeurs possibles),
- ▶ une valeur (à un moment donné),
- ▶ une adresse (emplacement mémoire),
- ▶ scope (sa durée de vie dans le programme).



Il faut déclarer toutes les variables avant de les utiliser.

Type	Size (bytes)	octect	bits	Format Specifier
char	1	1	8	%c
float	4	4	32	%f
double	8	8	64	%lf
int	4	4	32	%d, %i

- ▶ Le mot **bit (b)** vient de l'anglais « binary digit ». Un bit est un nombre binaire qui peut prendre les valeurs **0** ou **1**.
- ▶ Un **byte (B)** est composé de **8 bits**.
Un bit peut prendre 2 valeurs (0 ou 1), donc un byte peut prendre $2^8 = 256$ différents valeurs.
- ▶ Un **octet (o)** est 1 byte qui est 8 bits.



void signifie "rien" ou "aucun type". Vous pouvez considérer void comme une absence.

Si une fonction ne renvoie rien, son type de retour doit être void.

l-value et r-value

Comment affecter une **valeur** à une **variable**?

- ▶ À l'aide de l'opérateur affectation « = », lors de la déclaration de la variable ou plus tard, **ou bien**, par passage de paramètres (*i.e.* valable pour les arguments d'une fonction). Il y a d'autres moyens tels que `memset/memcpy` ou autres manipulations passant par des pointeurs : à voir plus tard.
- ▶ Dans tous les cas il faut bien distinguer ce qu'est une **l-value** et une **r-value** ; **l** et **r** faisant respectivement référence à *left* et *right*, et ceci est lié à l'emplacement du symbole par rapport à l'opérateur d'affectation « = ». Ainsi, une **l-value** est un contenant, comme par exemple une boîte, et une **r-value** fait référence à une donnée, ou une information, qui correspond *in fine* à une valeur.

l-value et r-value

```
#include <stdio.h>

int main(void){
    // declare 'a', 'b' an object of type 'int'
    int a = 1, b;

    // declare pointer variable 'p', and 'q'
    int *p, *q; // *p, *q are lvalue
    *p = 1; // valid l-value assignment

    // Invalid since "p + 2" is not an l-value
    // p + 2 = 18;

    q = p + 5; // valid - "p + 5" is an r-value

    // Below is valid - dereferencing pointer
    // expression gives an l-value
    *(p + 2) = 18;

    p = &b;

    int arr[20]; // arr[12] is an lvalue; equivalent to *(arr+12)

    // Note: arr itself is also an lvalue
    return 0;
}
```


Opérateurs



Opérateur

Les opérateurs sont des symboles qui permettent de manipuler des variables.

Il y a plusieurs types d'opérateurs :

- ▶ Opérateurs de calcul.
- ▶ Opérateurs d'assignation.
- ▶ Opérateurs d'incrémentement.
- ▶ Opérateurs de comparaison.
- ▶ Opérateurs logiques.
- ▶ Opérateurs bit-à-bit.
- ▶ Opérateurs de décalage de bit.

Opérateurs de calcul

Opérateur	Dénomination	Effet
+	Addition	Ajoute deux valeurs
-	Soustraction	Soustrait deux valeurs
*	Multiplication	Multiplie deux valeurs
/	Division	Divise deux valeurs
=	Affectation	Affecte une valeur à une variable

Opérateurs d'assignation et opérateurs d'incrémentatation

Opérateur	Effet
+=	Additionne deux valeurs et stocke le résultat dans la variable (à gauche)
-=	Soustrait deux valeurs et stocke le résultat
*=	Multiplie deux valeurs et stocke le résultat
/=	Divise deux valeurs et stocke le résultat

Opérateurs d'incrémentatation

Opérateur	Effet
++	Augmente d'une unité la variable
--	Diminue d'une unité la variable



x++ permet de remplacer $x=x+1$ avec $x+=1$.

Opérateurs de comparaison

Opérateur	Dénomination	Effet
==	Egalité	Vérifie l'égalité entre deux valeurs
<	Infériorité stricte	Vérifie qu'une variable est strictement inférieure à une valeur
<=	Infériorité	vérifie qu'une variable est Inférieure ou égale à une valeur
>	Supériorité stricte	Vérifie qu'une variable est strictement supérieure à une valeur
>=	Supériorité	Vérifie qu'une variable est supérieure ou égale à une valeur
!=	Différence	Vérifie qu'une variable est différente d'une valeur



La valeur 1 correspond à **Vrai** et la valeur 0 à **Faux**.

Opérateurs logiques

Opérateur	Dénomination	Effet
	OU	Vérifie qu'une des conditions est réalisée
&&	ET	Vérifie que toutes les conditions sont réalisées
!	NON	Inverse l'état d'une variable booléenne

Opérateurs bit

Opérateur	Dénomination
&	AND
	OR
^	XOR
< <	left shift
> >	right shift
~	Inverse

- ▶ **&** : Prend deux nbr et effectue le AND sur chaque bit des deux nbr.
- ▶ **|** : Prend deux nbr et effectue un OR sur chaque bit de deux nbr.
- ▶ **^** : (XOR au sens des bits) prend deux nbr et effectue un XOR sur chaque bit de deux nbr.
Le résultat de XOR est 1 si les deux bits sont différents.
- ▶ **< <** : Prend deux nbr, décale à gauche les bits du premier, le second décide du nbr de places à décaler.
- ▶ **> >** : Prend deux nbr, décale à droite les bits du premier, le second décide du nmbr de places à décaler.
- ▶ **~** : Prend un nbr et inverse tous les bits de celui-ci.

Opérateur sizeof



sizeof

Opérateur qui donne la **quantité de stockage**, en octets, obligatoire pour stocker un objet du type de l'opérande. Cet opérateur vous permet d'éviter de spécifier les tailles de données dépendantes de l'ordinateur dans vos programmes. Le résultat de `sizeof` est de type intégral non signé, généralement désigné par `size_t`.

Syntaxe :

```
sizeof( type )
```

```
sizeof expression
```

Opérateurs



Saisir ce code, sans faire un copier/coller, dans un éditeur convenable ayant au minimum une coloration syntaxique et une capacité à l'indenter correctement!!!

```
// C Program to demonstrate use of bitwise operators
#include <stdio.h>
int main()
{
    unsigned char a = 5, b = 9;
    // a = 5(00000101), b = 9(00001001)
    printf("a=_%d, b=_%d\n", a, b);
    printf("a&b=_%d\n", a & b);
    printf("a|b=_%d\n", a | b);
    printf("a^b=_%d\n", a ^ b);
    printf("~a=_%d\n", a = ~a);
    printf("b<<1=_%d\n", b << 1);
    printf("b>>1=_%d\n", b >> 1);

    return 0;
}
```

Code source 1.2 – Exemples Opérateurs bitwise_operator_ex1.c



Expliquer les opérations de ce programme.

Exercices

? Exercise

■ Essayez d'expliquer ce qui se passe avec le code suivant.

```
#include <stdio.h>

int main(void){
    int x = 5;
    (x & 1) ? printf("Odd\n") : printf("Even\n");
    return 0;
}
```

Code source 1.3 – Pair ou impair bitwise_operator_ex2.c

Notions de base – les fonctions (en C) 1/3

- ▶ Qu'est-ce qu'une fonction?



Dans un programme, une fonction peut être résumée à une séquence d'instructions regroupées pour réaliser une tâche (généralement actions ou calculs) particulière, dans un cadre délimité¹ ou restreint, lié à ses paramètres, s'ils existent. Une fonction peut donc être appelée (ou utilisée) plusieurs fois au sein du programme, ou, dans le cas spécifique de l'écriture d'une bibliothèque de fonctions, être réservée à un usage ultérieur par d'autres programmes utilisant la dite bibliothèque.

- ▶ Déclarer ET définir une fonction?
- ▶ Quelques *qualifiers* et leurs impacts?

1. Voir néanmoins le cas particulier de la fonction à effet de bord :
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_bord_\(informatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_bord_(informatique))

Notions de base – les fonctions (en C) 2/3

- ▶ Qu'est-ce qu'une fonction?
- ▶ Déclarer ET définir une fonction?

Déclarer une fonction consiste à donner un prototype, le plus complet possible, permettant de la qualifier², de donner son type de retour et d'informer sur ses paramètres. En donnant, à la suite, le type de chaque paramètre, nous déduisons leur nombre. Si le premier paramètre est `void` cela indique que la fonction n'en a pas. Il est important de déclarer une fonction avant de la définir; la déclaration se fait en haut du fichier C quand les fonctions sont statiques et dans un fichier d'en-têtes (fichier `.h`) quand les fonctions sont externes. Ci-après, une forme générale d'un prototype :

```
[qualifier1 [...] <type> [* [...]] nom_de_la_fonction(<void> | <type1>[, <type2>[...]]);
```

Définir une fonction consiste à donner « *dans les grandes lignes*³ » son prototype, directement (à la place du «;») suivi du corps de la fonction entre accolades. Si le type de retour de la fonction est autre que `void`, alors le corps de la fonction doit avoir un retour (i.e. `return ...;`) correspondant à ce type dans toutes les situations rencontrées (tous les branchements du code). Ci-après, une forme générale d'une définition :

```
<type> [* [...]] nom_de_la_fonction(<void> | <type1 nom1>[, <type2 nom2>[...]]) {  
    /* les instructions qui constituent le corps de la fonction */  
    /* ne pas oublier un return lié au type dans toute situation */  
}
```

- ▶ Quelques *qualifiers* et leurs impacts?

2. Définir ses particularités : sans être exhaustifs, citons `extern` contre `static`, exportable au sein d'une bibliothèque ou non, ou encore *inlinable* (cf. `inline`) ou non (les deux derniers points sont compilateur-spécifiques).

3. Si la fonction est correctement prototypée (déclarée) avant sa définition, remettre les *qualifiers* est optionnel, voire non-productif. Par contre, dans le cas de la définition de fonction, il est nécessaire de nommer les paramètres (en plus des types).

Notions de base – les fonctions (en C) 3/3

- ▶ Qu'est-ce qu'une fonction ?
- ▶ Déclarer ET définir une fonction ?
- ▶ Quelques *qualifiers* et leurs impacts ?

Le principal couple de *qualifiers* à connaître est : `static` ou `extern`. Le premier indique que la fonction a une portée limitée au fichier (à partir de sa déclaration) alors que le second lui permet d'avoir une portée au delà du fichier (*i.e.* le fichier `.c`), évidemment si son prototype est donné (généralement dans le fichier *header* `.h` inclus via la directive de préprocesseur `#include`).



La vidéo https://youtu.be/Q_XliWuKsKw peut aider à comprendre la structuration multi-fichiers d'un programme et les concepts de `static` et `extern`. Prenez le temps de la visualiser en entier.

Fonctions

? Exercise

Écrire une fonction `void bin(char c)` pour imprimer la version binaire d'un entier. Vous devez utiliser les opérateurs bit à bit et décalage de bit.

Exercises

1. Écrire un programme qui calcule les (deux) racines de l'équation quadratique : $ax^2 + bx + c$ où $a = 1.2$, $b = 2.3$ et $c = -3.4$.
2. Exécutez le code ci-dessous et examinez la sortie.

```
#include <stdio.h>

//ERRORS
void function_call(int i, float f)
{
    printf("%d\n", i * f);
}

main()
{
    double d = 20;
    float f = 10;
    function_call(d, f);
}
```

Code source 1.4 – correct_errors_1.c

3. Ecrire un programme pour afficher le motif comme un triangle à angle droit en utilisant un astérisque.
4. Écrire un programme pour imprimer les 50 premiers nombres naturels en utilisant la récursion.
5. Ecrire un program qui lit deux nombres entiers et a et b et donne le choix à l'utilisateur :
1. de savoir si $a + b$ est pair; 2. de savoir si ab est pair; 3. de connaître le signe de $a + b$; 4. de connaître le signe de ab .
Attention, vous pouvez utiliser switch().
6. Écrire un programme pour estimer la racine carrée d'un nombre en utilisant la méthode de Newton.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Newton>

Rue la RAM

Imaginez la mémoire comme un tableau de cases numérotées ou adressées.

Par Exemple :

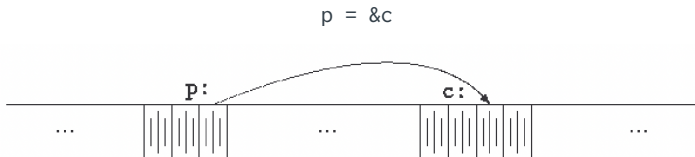
- ▶ Un octet peut représenter un char.
- ▶ Un pair d'octets peut représenter un entier short.
- ▶ Quatre octets peut représenter un long.

Pointeurs

L'idée de base est qu'un **pointeur** est un type de données spécial (i.e. un groupe de cases), qui contient une adresse vers un emplacement en mémoire.



Pensez à un pointeur comme à une flèche qui pointe vers l'emplacement d'un bloc de mémoire qui contient à son tour des données intéressantes.



C'est un concept similaire à celui de l'adresse d'une maison.



L'opérateur unaire & donne l'**adress** d'un objet.



L'opérateur unaire * représente l'opérateur d'**indirection** ou de **déréférence** (ie il donne accès à l'objet pointé par ce pointeur).

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main (void)
4  {
5      int age = 18;
6      int *p;
7      p = &age;
8      printf("age=%d\n", age);
9      printf("p=%p\n", p);
10     printf("*p=%d\n", *p);
11     printf("sizeof(p)=%ld\n", sizeof(p));
12     *p = 19;
13     printf("*p=%d\n", *p);
14     printf("age=%d\n", age);
15     return 0;
16 }
```

Type d'un pointeur



Type d'un pointeur

Même si la valeur d'un pointeur est toujours un entier, le type d'un pointeur dépend du type de l'objet vers lequel il pointe. En général, nous déclarons le type vers lequel pointe un pointeur, mais l'exception est un pointeur dit "**pointeur vide**" ("void pointer").

Déclaration des pointeurs

Syntaxe générale pour déclarer les pointeurs :

```
data_type *pointer_name
```

Déclaration des pointeurs

Syntaxe générale pour déclarer les pointeurs :

```
data_type *pointer_name
```



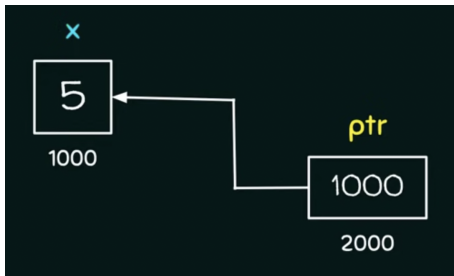
Déclarer un pointeur n'est pas suffisant, il est préférable de l'**initialiser**.

Initialisation des pointeurs



Une manière d'initialiser un pointeur est d'**assigner l'adresse d'une variable**.

```
int x = 5;  
int *p; //declaration of the pointer p  
p = &x; //initialisation of the pointer p
```

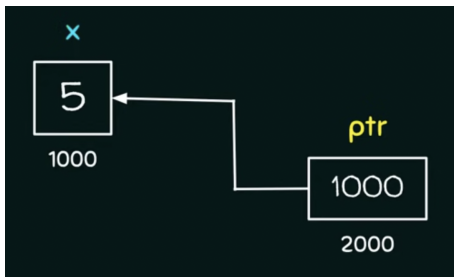


Initialisation des pointeurs



Une manière d'initialiser un pointeur est d'**assigner l'adresse d'une variable**.

```
int x = 5;  
int *p; //declaration of the pointer p  
p = &x; //initialisation of the pointer p
```



Equivalent à : `int x = 5; *p = &x;`

? Quiz



Figure – Votez

Soit n est une variable et p un pointeur sur n , quelles expressions parmi les suivantes sont des alliances avec celle-ci?

1. $*p$
2. $*\&p$
3. $\&p$
4. $*n$
5. $*\&n$

Questions

? Question

Dans le code suivant, la première ligne est une **déclaration** et la deuxième est une instruction d'**affectation**.

Pourquoi, dans la deuxième ligne, p n'est pas précédé du symbole *?

```
int *p = &n;  
p = &n;
```

Questions

? Question

Dans le code suivant, la première ligne est une **déclaration** et la deuxième est une instruction d'**affectation**.

Pourquoi, dans la deuxième ligne, p n'est pas précédé du symbole *?

```
int *p = &n;  
p = &n;
```

SOLUTION :

Le symbole * dans la déclaration indique au compilateur que p est un **pointeur vers un entier**. Il ne s'agit pas d'un opérateur d'indirection.

Si nous écrivons *p=&i alors c'est FAUX, car * symbol indique l'opération d'indirection et nous ne pouvons pas affecter l'adresse à une variable int.

Adresse la mémoire



Saisir ce code, sans faire un copier/coller :

```
#include <stdio.h>

int main(void){
    int i = 1, j = 2, k = 3;
    printf("address_i=_%p\n", &i);
    printf("address_j=_%p\n", &j);
    printf("address_k=_%p\n", &k);
    /* Que remarquez-vous concernant leur adresse ?*/

    int l;
    int *p = &i;
    /* Je prends un risque :) */
    for (l = 0; l < 3; l++){
        printf("%d\n", p[l]);
    }
    return 0;
}
```

Code source 1.5 – printf les adresse de la mémoire printf_ex1.c



Expliquer ce programme.

Adresse la mémoire



Saisir ce code, sans faire un copier/coller :

```
#include <stdio.h>

int main(void){
    int t[] = {4, 5, 6};
    int *p = t;

    //this code is secure in comparison to the printf_ex1.c
    int i;
    for (i = 0; i < 3; i++){
        printf("%d\n", p[i]);
    }
    return 0;
}
```

Code source 1.6 – printf les adresse de la mémoire printf_ex2.c



Expliquer ce programme.

Arithmétique des pointeurs

Les opérations arithmétiques valides sur les pointeurs :

Arithmétique des pointeurs

Les opérations arithmétiques valides sur les pointeurs :

- L'addition d'un entier à un pointeur.
Le résultat est un pointeur de même type que le pointeur de départ.

Arithmétique des pointeurs

Les opérations arithmétiques valides sur les pointeurs :

- ▶ L'addition d'un entier à un pointeur.
Le résultat est un pointeur de même type que le pointeur de départ.
- ▶ La soustraction d'un entier à un pointeur.
Le résultat est un pointeur de même type que le pointeur de départ.

Arithmétique des pointeurs

Les opérations arithmétiques valides sur les pointeurs :

- ▶ L'addition d'un entier à un pointeur.
Le résultat est un pointeur de même type que le pointeur de départ.
- ▶ La soustraction d'un entier à un pointeur.
Le résultat est un pointeur de même type que le pointeur de départ.
- ▶ La différence de deux pointeurs pointant tous deux vers des objets de même type.
Le résultat est un entier.

Soit **i un entier** et **p est un pointeur** sur un objet de type type



L'expression **p + i** désigne un **pointeur** sur un objet de type type dont la valeur est :
la valeur de p incrémentée de $i * \text{sizeof}(\text{type})$.

Soit **i** un entier et **p** est un **pointeur** sur un objet de type `type`



L'expression `p + i` désigne un **pointeur** sur un objet de type `type` dont la valeur est :

la valeur de `p` incrémentée de `i * sizeof(type)`.

```
main(void){  
    int i = 3;  
    int *p1, *p2;  
    p1 = &i;  
    p2 = p1 + 1;  
    printf("p1=_%ld_\t_p2=_%ld\n", p1, p2);  
}
```



Exercise 1

Essayez le même programme avec des pointeurs sur des objets de type `double`. Qu'est-ce que vous attendez?

```
#define N 5

int tab[4] = {1, 2, 3, 4};

int main(void){
    int *p;
    printf("\n_ordre_croissant:\n");
    for (p = &tab[0]; p <= &tab[N-1]; p++)
        printf("_%d_\n",*p);
    printf("\n_ordre_decroissant:\n");
    for (p = &tab[N-1]; p >= &tab[0]; p--)
        printf("_%d_\n",*p);

    return 0;
}
```



Exercise 2

Pouvez-vous expliquer le programme ci-dessus? Quel est le rôle des opérations arithmétiques?


```
#define N 5

int tab[4] = {1, 2, 3, 4};

int main(void){
    int *p;
    printf("\n_ordre_croissant:\n");
    for (p = &tab[0]; p <= &tab[N-1]; p++)
        printf("_%d_\n",*p);
    printf("\n_ordre_decroissant:\n");
    for (p = &tab[N-1]; p >= &tab[0]; p--)
        printf("_%d_\n",*p);

    return 0;
}
```



Exercise 2

Pouvez-vous expliquer le programme ci-dessus? Quel est le rôle des opérations arithmétiques?

Réponse : Ils ont utilisé pour parcourir des tableaux.

Tableaux et pointeurs



Lorsque vous déclarez le tableau `int tab[4]`, ce qui se passe c'est qu'un bloc de mémoire est alloué (sur la pile dans ce cas) suffisamment grand pour contenir 5 entiers, et la variable `tab` est un pointeur qui pointe vers le premier élément du tableau.

Opérateur d'incrément et pointeurs

Saisir ce code, sans faire un copier/coller :

```
//Difference between ++*p, *p++ and ***p in C

#include <stdio.h>

int main(void) {
    int arr[3] = {20, 30, 40};
    int *p = arr;
    int q;

    //value of p (20) incremented by 1 and returned
    q = ++(*p);
    printf("arr[0]=%d, arr[1]=%d, *p=%d, q=%d\n", arr[0], arr[1], *p, q);

    //value of p (20) is returned pointer incremented by 1
    q = (*p)++;
    printf("arr[0]=%d, arr[1]=%d, *p=%d, q=%d\n", arr[0], arr[1], *p, q);

    //pointer incremented by 1 value returned
    q = *(++p);
    printf("arr[0]=%d, arr[1]=%d, *p=%d, q=%d\n", arr[0], arr[1], *p, q);

    return 0;
}
```

Code source 1.7 – printf les adresse de la mémoire
pointers_and_increment_operator.c



Licence Informatique et Vidéoludisme
Université Paris 8