3-IF / 3-IFA
Programmation C

Frédéric Prost
frederic.prost@insa-lyon.fr

INSA Lyon

2025-2026

Intervenant

- Cours: Frédéric Prost ; e-mail: frederic.prost@insa-lyon.fr
- Pages du cours : Moodle INSA.
- Structure du cours :
  - Cours : 3 x 2 h de C et 2 x 2 h d'Introduction à la sécurité informatique.
  - TP : 4 x 4h. (Non notés, vérification des acquis)

Plan

Histoire du C

- Inventé fin des années 60 (69/73) par Ken Thompson et Dennis Ritchie pour programmer un système d'exploitation: Unix.
- C est un macro assembleur portable. Un langage très proche de la machine.
  - Avantages :
    - Très efficace.
    - Rien n'est mystérieux.
  - Inconvénients :
    - Il faut tout faire (ou presque) à la main.
    - Il est possible d'écrire n'importe quoi...
- Toujours un des langages les plus utilisé au monde.
  - C++, C# sont des descendants directs (objet).
  - Java, Javascript adoptent la syntaxe "style C".

The Internation Obfuscated C Contest

- IOCC :
  - To write the most Obscure/Obfuscated C program within the rules.
  - To show the importance of programming style, in an ironic way.
  - To stress C compilers with unusual code.
  - To illustrate some of the subtleties of the C language.
- Le but était de faire un langage très compact : les limitations en terme de mémoire n'existent plus.
- Il n'y a même pas l'excuse de l'efficacité : le code produit par le compilateur ne change pas c'est juste moins lisible.
  Une expression qui tient moins de place n'est pas différente d'une plus longue et humainement compréhensible.

$\Longrightarrow$ Programmer en C est une école de self-contrôle et de politesse (enver vous même la plupart du temps).

```
#define _ F-->00 || F-OO--;
long F=00,OO=00;
main(){F_OO();printf("%1.3f\n", 4.*-F/OO/OO);}F_OO()
{
            _-_-_-_
        _-_-_-_-_-_-_-_-_
     _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
   _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
  _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
 _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
 _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
 _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
  _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
     _-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_-_
        _-_-_-_-_-_-_-_-_
            _-_-_-_
}
```

Plan du cours

1. Concepts de base (compilation, types, structures de contrôle,...).
2. Gestion des pointeurs et mémoire.
3. Structuration des données et des programmes.
4. Entrées-Sorties, Interface système.

Utilisation de gdb (debugger), Makefile, ...

Plan

Philosophie du paradigme impératif

- L'action de base est la modification de la mémoire : affectation de variables.

  $\Longrightarrow$ `x = 15`

- Il faut indiquer à chaque instant ce que doit faire l'ordinateur.

  $\Longrightarrow$ Structures de contrôles `'if'`, `'while'`, `'for'`, `';'`, `...`

- Le programme, écrit en C, dans un fichier est compilé en langage machine (assembleur) qui peut être éxécuté dans un environnement logiciel (le système d'exploitation).

Un premier programme

- Un programme qui ne fait rien :

```
int main()
{
  return 0;
}
```

- la fonction `main()` est le point d'entrée du programme.
- le `return 0;` indique que le programme, à la fin de son exécution, renvoie un code de retour de 0, indiquant que tout se passe bien (on verra ça plus tard dans le chapitre sur le système).

Conversion entre Farenheit et Celsius

```
#include <stdio.h>

int main(void) {

    double fahr;
    double celsius;
    int    lower =   0;   /*****************************************/
    int    upper = 300;   /*     Déclarations des variables        */
    int    step  =  20;   /*****************************************/

    printf("Fahrenheit␣\t␣Celsius\n");
    fahr = lower;
    while (fahr <= upper) {
        celsius = (5.0 / 9.0) * (fahr - 32.0);
        printf("%3.0f\t\t%6.1f\n", fahr, celsius);
        fahr = fahr + step;
    }
   return 0;
}
```

Retour sur le programme de conversion

- Notion de variable, assignation (lvalue et rvalue), types, coercion.
- Structures de contrôle : `';'`, `while`
- Types int, float.
  le test `(fahr <= upper)` est un entier avec la sémantique:
  - "faux" est équivalent à 0.
  - tout autre entier est interprété comme "vrai".
- Commentaires : `/* blabla */`.

Conversion (2) boucle `for` et constantes

```
#include <stdio.h>

#define LOWER 0
#define UPPER 300
#define STEP  20

int main(){
  int fahr;

  for (fahr = LOWER; fahr <= UPPER; farh += STEP)
      printf ("\%3d␣\%6.1f\n",fahr,(5.0/9.0) * (fahr-32.0));

return 0;
}
```

Compter le nombre de mots

```
#include <stdio.h>
#define IN  1  // dans un mot
#define OUT 0  // en dehors d'un mot.
int main(void) {
    char c;              // caractère courant
    int  inorout = OUT; // est on dedans ou en dehors d'un mot
    int  words   = 0;   // nombre de mots

    while ((c = getchar()) != EOF) {
        if (((c >= 'a') && (c <= 'z')) || ((c >= 'A') && (c <= 'Z'))) {
            if (inorout == OUT) {
                inorout = IN;
                words++;
            }
        } else if ((c == ' ') || (c == '\n')) {
                   inorout = OUT;
               } else {} // rien car on ignore le reste
    }
    printf("%d\n", words);
    return 0;}
```

Compter le nombre de caractères, mots et lignes (unix wc)

```
#include <stdio.h>
#define IN  1  // inside a word
#define OUT 0  // outside a word
int main(void) {
    int c, nl, nw, nc, state;
    state = OUT;
    nl = nw = nc = 0; /* affectations multiples */
    while ((c = getchar()) != EOF) {
        nc++;
        if (c == '\n')
           nl++;
        if (c == ' ' || c == '\n' || c == '\t')
           state = OUT;
        else if (state == OUT){
                 state = IN; nw++;
             }
    }  printf("%d %d %d \n", nl, nw, nc);
   return 0;}
```

Structures de Contrôles

- Affectation : `x=expression`, ATTENTION ne pas confondre avec le test d'égalité `epx1 == exp2`.
- Séquence : enchaîner les expressions (';' est terminateur d'expression non séparateur).
- Bloc d'expressions : utiliser les '{' et '}' pour transformer plusieurs commandes en une commande.
- Choix :

```
if (expression) /* expression est évaluée a 0 ou non 0 */
   commande_non_0;
else
    commande_0;
```

- Boucle 'tant que' :

```
while (expression)
   commande_du_while
```

while et dépendances

- Sémantique informelle du while :

```
while (e)
    c1
c2
```

est équivalent à

```
if (e){
   c1;
   while (e)
       c1;
   }
c2;
```

- Le `for` est un `while` particulier :

```
for (c1;e;c2)
    c3;
```

est équivalent à

```
c1;
while (e){
    c3;
    c2;
  }
```

Fonctions

```
#include <stdio.h>

int power(int m, int n); /* déclaration de la fonction */

int main (){
int i;
for (i = 0 ; i < 10 ; i++)
    printf("%d␣%d␣\n",i,power(2,i)); /*utilisation de la fonction*/
return 0;
}

int  power(int base, int n)  /* implantation de la fonction */
{  int i,p=1;
   for (i = 1;i <= n;i++)
       p = p*base;
   return p;
}
```

Fonctions

- Syntaxe d'une définition de fonction:

```
return-type function-name(parameter declarations)
{  déclarations locales;
   commandes;}
```

- L'instruction de valeur retournée est `return` e, ou e est une expression du type attendu pour le retour de la fonction.
- Subtilités (à relire plus tard): les fonctions sont en appel par valeur. Les paramètres formels peuvent êtres utiisés comme variables locales...

Programme mystère

```
#include<stdio.h>

int f(int y,int w,int z)
  {return y+w+z;}

int g(int y)
  {return y+3;}

int h(int y)
  {return 2*y;}

int main(){
   int x=4;

   printf("%d␣\n",f(g(x),h(x),x));
   printf("%d␣\n",f(g(++x),h(x),x));
   printf("%d␣\n",f(x,g(++x),h(x)));
   printf("%d␣\n",f(x,g(x++),h(x)));
   printf("%d␣\n",f(x,g(x),h(x++)));
}
```

Utiliser le debugger gdb

- gdb est un utilitaire qui permet d'éxécuter un programme petit à petit en inspectant la valeur des variables. Cela permet de comprendre d'où proviennent les erreurs quand un programme s'arrête sur un `Segmentation Fault` ou autre.
- Il faut ajouter l'option `-g` : `gcc -Wall -g prog.c -o prog`
- Le lancement de gdb se fait par : `gdb prog`
- Il existe toute une liste de commande permettant d'éxécuter le code "à la demande" et d'imprimer le contenu des variables et diverses informations sur l'éxécution en cours:
  `break, run, print, watch, clear, delete...`
- Manuel en ligne :
  https://www.gnu.org/software/gdb/documentation/

Plan

La chose et le nom de la chose

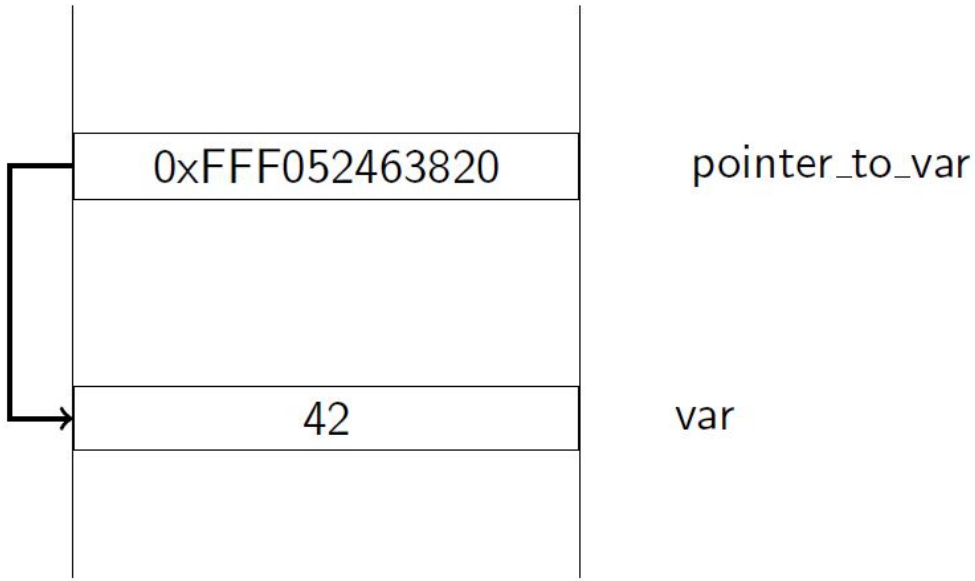
- Toute information est enregistrée dans la mémoire de l'ordinateur à une certaine adresse.
  $\Longrightarrow$ `int x=4:` définit une variable `x` qui a une valeur `4` et qui est enregistrée dans la cellule mémoire `0xFE34H...`
- Les adresses sont des entiers... sur lesquels on peut faire des calculs.
- Une variable qui représente une adresse est appelée un *pointeur*.
- La manipulation de la mémoire en C est de très bas niveau. Il faut tout faire soi même :
  - Avantages : gestion très précise.
  - Inconvénients : très compliqué, possibilité d'erreurs, aliasing `Segmentation fault`
- Les pointeurs sont utilisés pour :
  - Définir les tableaux.
  - Permettre le passage par adresse.
- Référencement, déréférencement et arithmétique des pointeurs.

Référencement

- Une variable : `int var = 42;`
- Opérateur de récupération d'adresse : **&**
  - On *référence* cette variable.**& var** est l'adresse où est enregistrée `var`.
  - `&` est un opérateur (unaire)
- Opérateur de récupération du contenu de l'adresse : *
  - On *déréférence* cette variable. Si `p` est un pointeur d'entier alors `*p` est le contenu de l'adresse `p`.
  - `*` est un opérateur (unaire)
- Des *types* pour les adresses : les *pointeurs* de type `t`.
  - Exemple: `int* pointer_to_var = & var;`
  - Dans l'exemple ci-dessus, le type de `pointer_to_var` est `int*`.

Déréférencement - 1

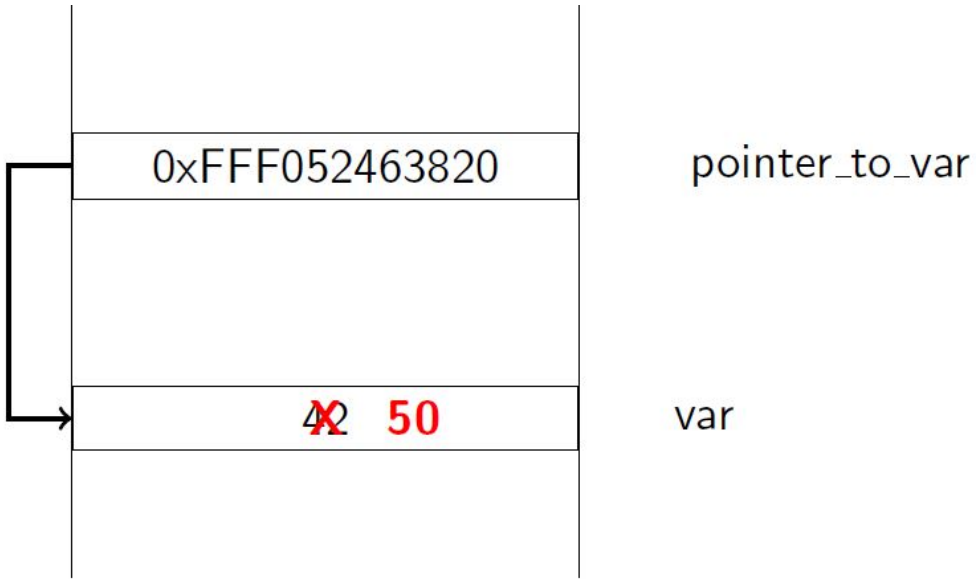
```
int var = 42;
int* pointer_to_var = & var;
```



Déréférencement - 2

- Déréférencement (récupérer la valeur à l'adresse) avec l'opérateur *:

```
int var = 42;
int* pointer_to_var = & var;

*pointer_to_var = 50;
```



```
#include<stdio.h>
void main()
{
   int entier=42;
   int* adresse_entier;
   long int pourvoir;

   adresse_entier=  & entier;
   pourvoir = (long int) adresse_entier;
   printf("adresse_entier␣pointeur␣%p\n",adresse_entier);
   *adresse_entier=43;
   printf("alias␣entier␣%d\n",entier);
   printf("adresse_entier␣%li\n", (long int) adresse_entier);
   printf("pourvoir␣%li\n\n\n",pourvoir);
   pourvoir++;
   adresse_entier++;
   printf("adresse_entier␣2␣%li\n", (long int) adresse_entier);
   printf("pourvoir␣2␣%li\n",pourvoir);
}
```

Tableaux

- La déclaration d'un tableau `int tab[10]` fait deux choses :
  - Déclare une variable `tab` de type pointeur (d'entier ici) vers la première case du tableau.
  - Réserve en mémoire la place pour 10 int.

- Dans le programme `t[x]` désigne la $x+1$ème case du tableau.
  En fait `t[x]` est exactement équivalent à `*(t+x)`.

  $\Longrightarrow$ Arithmétique des pointeurs !!

  C'est le point le plus délicat (de loin) du C.

Tableaux : exemple de programme

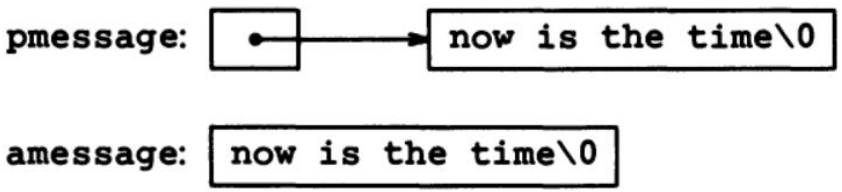
```
#include <stdio.h>
#include <stdbool.h>
#include <math.h>
#define SIZE 100
int main(){
  bool prem[SIZE]; /* nombres premiers plus petits que SIZE */
  int i,dernier_trouve=2;

  for(i=0;i<SIZE;i++) prem[i]=true;
  while (dernier_trouve <= (int) sqrt(SIZE))
     { if (prem[dernier_trouve]){
            for (i=2*dernier_trouve;i<SIZE;i=i+dernier_trouve)
                 if (i<SIZE) prem[i]=false;i}
       dernier_trouve=dernier_trouve+1;}

  for(i=2;i<SIZE;i++)  /* le plus petit nombre premier est 2 */
     if (prem[i]) printf("%d,␣",i);

  return 0;}
```

Cas particulier des tableaux de caractères

- Le type "string" en C c'est implanté par un tableaux de `char` (ou une variable de type `char *`) qui a une structure particulière.
- L'expression `"I␣am␣a␣string"` est représentée en interne comme un tableau de caractères se terminant par le char `'\0'` (taille!!).
- `char phrase[]="test"` est équivalent à `char phrase[] = {'t','e','s','t','\0'}`.
- Subtilité dans les définitions :

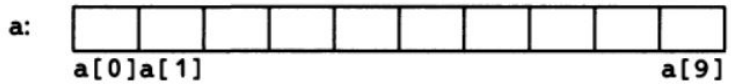
```
char amessage[] = "now␣is␣the␣time";
char *pmessage  = "now␣is␣the␣time";
```

ont une interprétation différente : `amessage` n'est pas une variable (c'est le nom d'un tableau) mais `pmessage` est une variable.

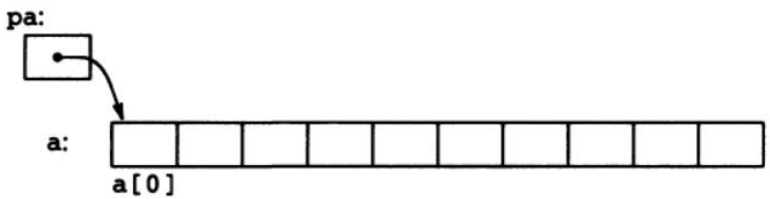


Arithmétique des pointeurs types et tableaux

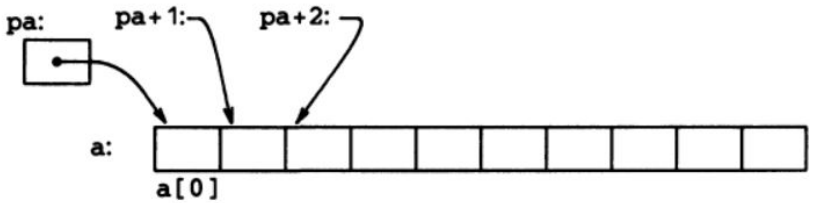
- La déclaration `int a[10];` produit :



- La déclaration `int *pa; pa = a;` produit :



- Le contenu de la case `a[1]` est le même que `*(pa+1)`.



- la signification de `a+x` avec `x` une expression de type entier, est le pointeur vers a plus `x` cases de la taille du type de a.

Allocation dynamique de mémoire

- Il est possible de réserver de manière dynamique de la mémoire : `malloc`. Il faut lui donner la taille en octet à libérer pour laquelle on peut utiliser `sizeof` qui prend en entrée un type (ou une expression qu'il transforme en type du résultat de l'expression).

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
int main(){
int* p;
int i,z=12;

p=malloc(sizeof(int)*z); /* taille en octet de mémoire libérée */
for(i=0;i<z;i++) p[i]=2*i+1;
for(i=0;i<z;i++) printf("P[%d]=%d,␣",i,p[i]);

return 0;}
```

- On peut libérer la mémoire grace à `free`.

Passage par adresse - 1

- En C ce sont les valeurs qui sont passées aux fonctions.

```
#include<stdio.h>

int test(int x){
        x=x+1; return x;
 }

int main(){
   int avant,apres;
   avant=10; apres=test(avant);
   printf("%d␣et␣%d␣\n",avant, apres);

   return 0
```

Passage par adresse - 2

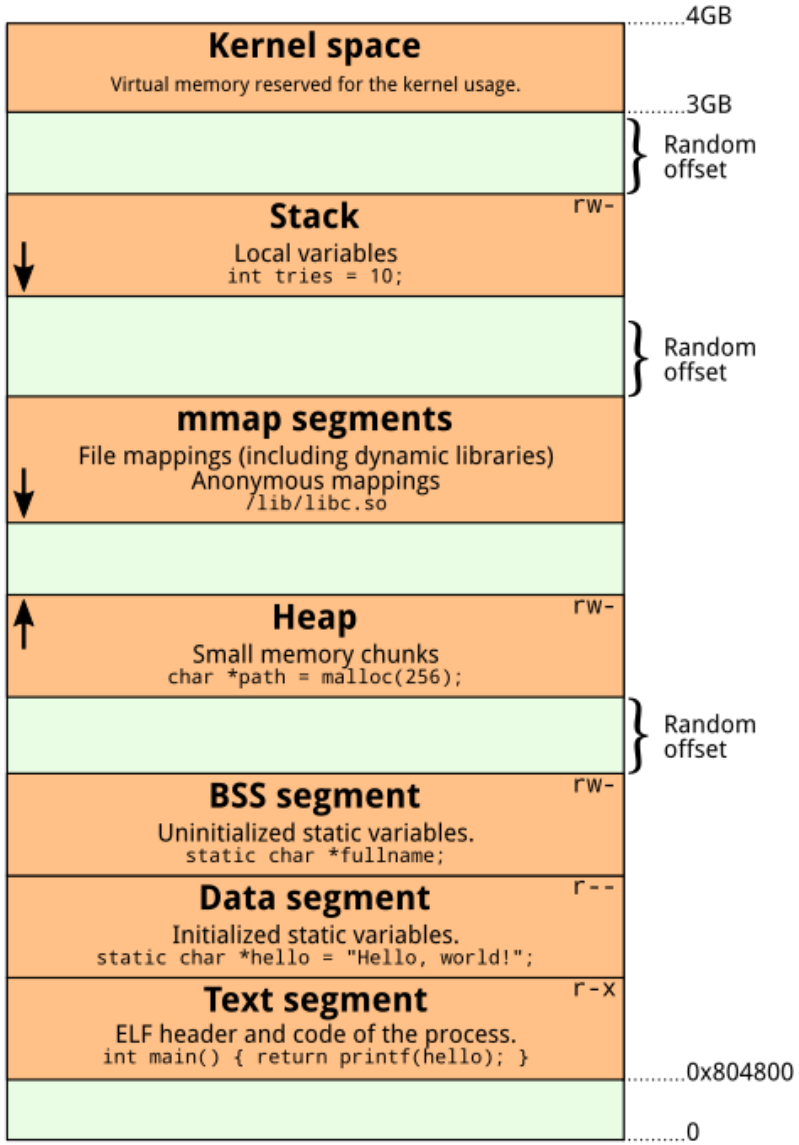
- Pour modifier les valeurs il faut les passer par adresse.

```
#include<stdio.h>

int test(int* x){
        *x=*x+1; return *x;
 }

int main(){
   int avant,apres;
   avant=10; apres=test(&avant);
   printf("%d␣et␣%d␣\n",avant, apres);

   return 0;}
```

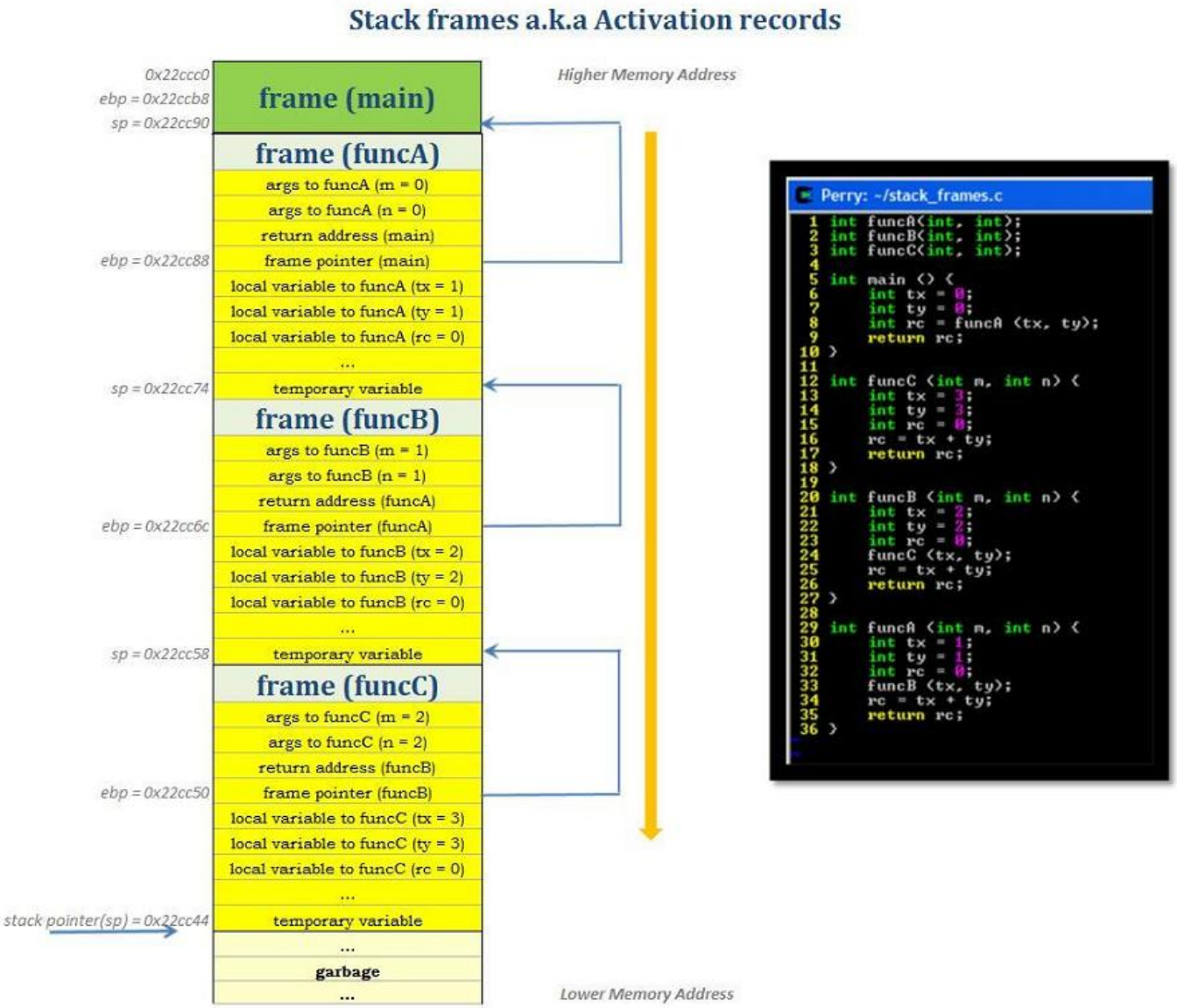
- Exemple du quicksort.

Plan

Execution d'un programme en mémoire



Pile d'éxécution



Implication

Différence fondamentale entre les deux fonctions suivantes (du fait de l'utilisation de variable locale.

```
int *f_oublie(){
  int t[10],i;
  for (i=0;i<10;i++)t[i]=i;
  return t;
}

int *f_souvient(){
  int *t,i;
  t=malloc(10*sizeof(int));
  for (i=0;i<10;i++)t[i]=i;
  return t;
}
```

Plan

Plan

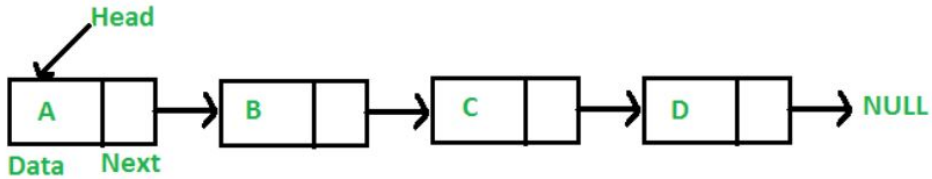
Structuration des données

- Les types de base ne sont pas suffisants pour organiser des données complexes.
- Pour combiner les informations on peut combiner des types existants (comme le produit cartésien en mathématiques) au moyen de `struct`.

```
#include<stdio.h>
int main(){
  struct point{  /* déclare un type structure point de deux */
       int x;    /* coordonnées une x et une y */
       int y;
      };
  struct point pt;

  pt.x = 1 ;   /* accès aux champs du struct par '.' */
  pt.y = 2 ;
  printf("coordonées␣de␣pt␣\n");
  printf("\t␣-abscisse:␣%d␣\n",pt.x);
  printf("\t␣-ordonnée:␣%d",pt.y);
  return 0;}
```

Structs récursifs

- Listes chaînées. Graphiquement :



- En C :

```
struct Node {
    int data;
    struct Node* next;}

struct Node* Head=NULL,inter;


inter = malloc (sizeof(struct Node));
inter -> data = A; inter -> next = Head; Head = inter;
inter = malloc (sizeof(struct Node));
inter -> data = B; inter -> next = Head; Head = inter;
...
```

Plan

Structuration des programmes

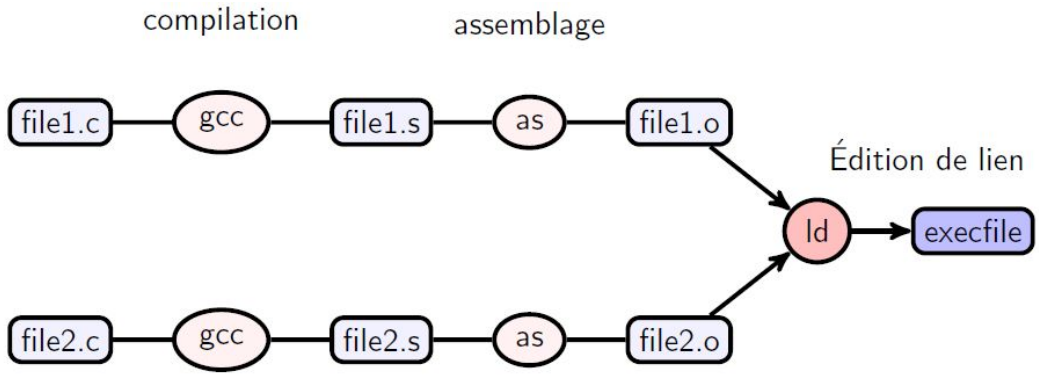
- Les programmes réalistes sont trop importants pour tenir dans un seul fichier.
- Comment réutiliser des morceaux de programmes pour ne pas tout réécrire ?
  $\Longrightarrow$ COMPILATION SPEPAREE.
- On peut séparer les sources dans plusieurs fichiers, les compiler de manière symbolique.
  Construction de bibliothèque de programmes (sans `main()`).
- Notion de fichier interface (fichier `.h`) pour déclarer les fonctions (ancien équivalent des API).

Structuration des programmes

- Deux fichiers `'.c'` : `exemple.c`, `somme.c`.
- Un fichier d'en-tête (header) `'.h'` : `somme.h`.
  - Précompilation des deux fichiers séparément (dans n'importe quel ordre):
    `gcc -c exemple.c`
    `gcc -c somme.c`
    $\Longrightarrow$ création de `exemple.o` et `somme.o`
  - édition de liens pour terminer la compilation :
    `gcc -o exemple somme.o exemple.o`
    $\Longrightarrow$ création de l'éxécutable `exemple`
- On peut modifier `somme.c` le recompiler sans toucher à `exemple.c`.

Structuration des programmes

- Schématiquement :



- Notion primitive d'API : on a un fichier par fonctionnalité, qui est connu à travers son interface. La manière dont le fichier est écrit est abstraite vis-à-vis du programme principal.
  $\Longrightarrow$ Que mettre dans un fichier `'.h'` ?
- Le problème est que dans de vrais projets il peut y avoir plusieurs niveaux d'intégrations.
  $\Longrightarrow$ `Makefile` et la commande `make`

Que mettre dans un fichier '.h' ?

- Chaque fichier `'.c'` doit inclure `#include "<file>.h"` pour pouvoir utiliser les fonctions déclarées dans `<file>.h` (et définies dans `<file>.c`).
- Similaire à l'utilisation de librairies standard... `#include <stdio.h>`.
- Contenu des `'.h'` :
  1. Chaque module (`'.h'` et `'.c'` correspondants) implante une fonctionnalité claire.
  2. Utiliser des gardes `#ifndef`, `#define`, `#endif`.
  3. Toutes les déclarations d'un module doivent être dans le `'.h'` et l'utilisation de ce module doit passer par son `#include`.
- Tutorial en ligne sur les fichiers header: `https://www.tutorialspoint.com/cprogramming/c_header_files.htm`

Dépendances des fichiers et Makefile

- Pour éviter de tout refaire à la main à chaque fois : `Makefile`.
- Le fichier `Makefile` (UTILISEZ DES TABULATIONS) :

```
exemple: somme.o exemple.o
	gcc -o exemple exemple.o somme.o

somme.o: somme.c
	gcc -o somme.o -c somme.c

exemple.o: exemple.c
	gcc -o exemple.o -c exemple.c
```

- forme du `Makefile` :

```
cible: dépendences
	commandes
```

- utilisation par `make cible`