

Langage C

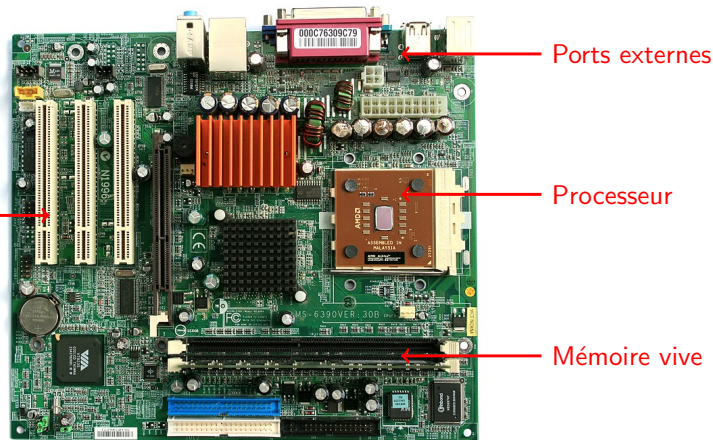
Nicolas Delestre

Plan

- 1 Contexte
- 2 Le C : un langage compilé et modulaire
- 3 Éléments de base du langage
 - La base
 - Les pointeurs
 - Entrée / Sortie standard
 - Les types composites
 - Les fichiers
- 4 Particularités du langage
 - Le programme principal
 - Pointeurs de fonction
 - Les bibliothèques
 - Les macros paramétrés (macro-fonction)
 - Mots clés
 - Arithmétique sur les pointeurs
 - Allocation statique et dynamique
 - Les chaînes de caractères
- 5 La bibliothèque standard
 - Préconditions : `errno.h`
 - Préconditions : `assert.h`

Contexte

Sous le capot d'un PC



Contexte

Processeur, microprocesseur

Définitions

- « Un processeur est la partie d'un ordinateur qui exécute les instructions et traite les données des programmes. (Wikipédia) »
- « Un microprocesseur est un processeur dont tous les composants ont été suffisamment miniaturisés pour être regroupés dans un unique boîtier » (Wikipédia) »

Caractéristiques d'un microprocesseur

- Le jeu d'instructions
- La complexité de son architecture (nb de cœurs, transistors)
- Le nombre de bits que le processeur peut traiter simultanément
- La fréquence de l'horloge



Un peu d'histoire

Évolutions des microprocesseurs

Année	Fabriquant	Nom	Nb instructions	Nb transistors	Fréquence	Nb bits
1971	Intel	4004	46	2 300	108 kHz	4/4
1974	Intel	8080	72	6 000	2 MHz	8/8
1979	Intel	8088	72	29 000	5 MHz	16/32
1979	Motorola	68000	82	68 000	2 à 12 MHz	16/32
1982	Intel	80286	99	134 000	6 à 16 MHz	16/16
1983	Acorn	ARM1	≈ 50	25 000	≤ 8 MHz	32/26
1985	Intel	80386	155	275 000	16 à 40	32/32
1992	IBM	PowerPC 601		2 800 000	50 à 120 MHz	32/32
1993	Intel	Pentium	168	3 100 000	60 à 233 MHz	32/64
1995	AMD	K5	168	4 300 000	75 à 100 MHz	32/64
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2021	IBM	Power10		3 600 000 000	4 GHz	64
2022	Intel	i9 12900H	981	4 150 000 000	5 GHz	64
2022	Apple	M2 (ARMV8-5)	"232"	20 000 000 000	≤ 3,4 GHz	64

Remarques

- Apple a souvent changé de microprocesseur pour ces Mac : 1984 Motorola, 1995 IBM, 2005 Intel, 2020 ARM
- Il est difficile de connaître le nombre de transistors dans les nouveaux microprocesseurs

Langage de plus haut niveau et compilation 1 / 3

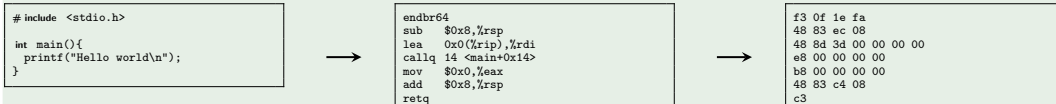
Constats

- Le code assembleur est propre à chaque microprocesseur
- Il est très difficile d'écrire un code conséquent en assembleur

⇒ Nécessité de développer avec des langages de plus haut niveau qu'un programme va traduire en code assembleur / code objet

Compilation vs interprétation

- Traduction à la volée : langage interprété
- **Traduction complète du code : langage compilé**



Du code assembleur aux octets

Tout est octet

- Les programmes et les données sont représentés par des octets et stockés dans la mémoire vive
- Chaque instruction d'un microprocesseur est représentée par un ou plusieurs octets : codage
- Les octets représentant le programme se nomment le code objet
- Le langage assembleur est une représentation humainement compréhensible du code objet :
 - assembler : code assembleur → code objet
 - désassembler : code objet → code assembleur

Exemple pour x86

```

$ objdump -d helloworld.o
helloworld.o:      format de fichier elf64-x86-64

Désassemblage de la section .text :
0000000000000000 <main>:
0: f3 0f 1e fa          endbr64
4: 48 83 ec 08          sub    $0x8,%rsp
8: 48 8d 3d 00 00 00 00 lea   0x0(%rip),%rdi    # f <main+0xf>
f: e8 00 00 00 00      callq 14 <main+0x14>
14: b8 00 00 00 00      mov   $0x0,%eax
19: 48 83 c4 08          add   $0x8,%rsp
1d: c3                  retq
    
```

Langage de plus haut niveau et compilation 2 / 3

Gain en productivité

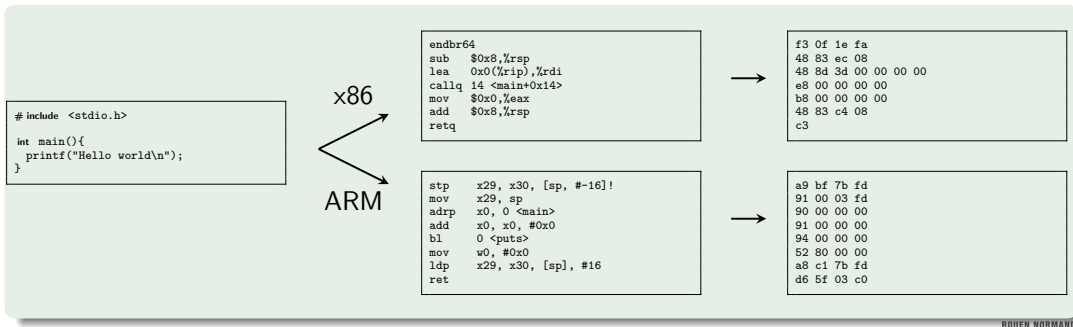
- Plus simple
 - Abstraction
 - Permet le changement de paradigme
 - Des contrôles (sécurité) peuvent être ajoutés
- ⇒ Une instruction de haut niveau peut produire plusieurs instructions assembleur

Compilation implique vérifications avant exécution

- Syntaxique : respect de la grammaire du langage
- Sémantique : respect du typage dans les opérations et les passages de paramètre

Portabilité

- Un code peut être compilé/interprété sur différents types de microprocesseurs (et de systèmes d'exploitation)



Le C un langage compilé

- Objectif : produire à partir d'un fichier .c (code source) un fichier .o (code objet)
- Le code source est composé de deux langages : macros (instructions commençant par un #) et code C

code source avec macros $\xrightarrow{\text{précompilation}}$ code source sans macros $\xrightarrow{\text{compilation}}$ code objet

- La .o n'est pas un exécutable !

Plusieurs compilateurs

- GCC (GNU Compiler Collection)**
- intel
- Clang
- Microsoft Visual C++

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_compilers#C_compilers

Le langage C

Caractéristiques

- Langage compilé inventé en 1972 par Dennis Ritchie et Kenneth Thompson pour redévelopper le système d'exploitation UNIX
- Langage d'assez bas niveau parmi les langages de haut niveau
- Normalisé en 1989 (ANSI) et en 1990 (ISO, C90)
- Évolutions de la norme ISO : en 1999 (C99), 2011 (C11), 2017 (C17) et 2023 (C23)
- Langage du paradigme de la programmation structurée
- Langage à typage statique et typage faible
- Le cœur du C comprend peu d'instructions, mais il est accompagné de nombreuses bibliothèques standards

GCC

Compilation d'un fichier C

```

$ ls
helloworld.c
$ gcc -c helloworld.c
$ ls
helloworld.c helloworld.o

```

Options à utiliser

- Wall pour afficher tous les warnings
- pedantic pour n'accepter que du code C ISO

```

$ gcc -c -pedantic -Wall helloworld.c
$ ls
helloworld.c helloworld.o

```

L'édition des liens

Constats sur l'exemple

- Le `.o` n'est pas un exécutable !
- Le cœur du langage C propose peu de fonctionnalités, par exemple
 - Le code correspondant à l'affichage d'une chaîne de caractères (code de `printf`) n'est pas inclus dans le `.o`
 - Il faut donc **lier** l'appel du sous programme `printf` du code objet de `helloworld.o` avec le code de ce sous programme, code qui se trouve dans une bibliothèque

⇒ L'édition des liens

code source avec macros $\xrightarrow{\text{précompilation}}$ code source sans macros $\xrightarrow{\text{compilation}}$ code objet $\xrightarrow{\text{édition des liens}}$ exécutable

L'édition des liens avec gcc sous UNIX

Les bibliothèques sous UNIX

- Le nom du fichier commence par `lib`
- L'extension du fichier est `.a` ou `.so`

L'édition des liens avec gcc

- option `-l` suivi du nom de la bibliothèque (sans `lib`, sans l'extension)
- le code objet
- option `-o` pour préciser le nom de l'exécutable (par défaut `a.out`)

Création et exécution du programme helloworld

```
$ ls
helloworld.c helloworld.o
$ gcc -o helloworld -lc helloworld.o
```

```
$ ls
helloworld helloworld.c helloworld.o
$ ./helloworld
Hello world
$
```

Deux types de bibliothèques

Bibliothèque statique (`.a` sous Unix, `.lib` sous Windows)

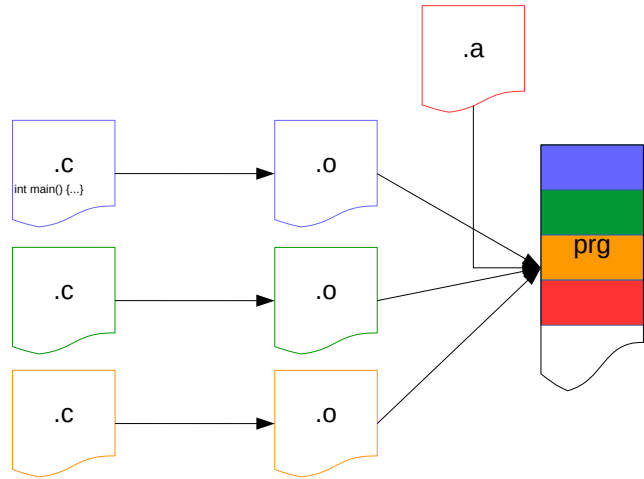
- Le code objet de la bibliothèque est ajouté au code objet du programme et le lien entre l'appel du sous programme et le corps du sous programme est réalisé à l'édition des liens
- Avantage : chaque programme à sa version d'une bibliothèque
- Inconvénients : exécutable plus volumineux et une même version d'une bibliothèque peut être présente plusieurs fois en mémoire

Bibliothèque dynamique (`.so` sous Unix, `.dll` sous Windows)

- Le code objet de la bibliothèque est chargé en mémoire de l'ordinateur au lancement du programme (si ce n'est déjà fait) et le lien entre l'appel du sous programme et le corps du sous programme est réalisé à l'exécution
- Avantage : une bibliothèque utilisée par plusieurs programmes n'est présente qu'une seule fois en mémoire
- Inconvénients : gestion de plusieurs versions d'une bibliothèque et problème si la bibliothèque n'est pas pré installée

Principales bibliothèques standards

Fichiers	Entêtes	Fonctionnalités
libc.so	assert.h errno.h limits.h stdarg.h stdlib.h stdio.h ...	macro <code>assert</code> pour activer des préconditions en mode debug codes d'erreur "renvoyés" par les fonctions standards constantes bornes min et max des <code>int</code> pour créer des fonctions à arité variable transtypage, nombres aléatoires, allocations de mémoire, ... gestion des entrées/sorties
libm.so	complex.h math.h	manipulation des nombres complexes fonctions mathématiques (trigo, exp, etc.)



Les types simples

- Le C propose les types simples suivants :
 - int^a , float, double, char^b
- On peut donc suivre les règles de traduction suivantes :
 - On peut ajouter les qualificatifs short, long ou long long (sur architecture 64bits)
 - On peut ajouter les qualificatifs signed ou unsigned

Algo. ⇒ C

Algorithmique	C
Entier,Naturel	int, long, short
Réel	float, double
Caractère	char
Booléen	int (1=VRAI, 0=FAUX)
Chaîne de caractères	Voir les tableaux et pointeurs

- Sous UNIX, la libc est par défaut incluse au système (donc optionnelle)
- Si le programme n'utilise aucun module/bibliothèque (autre libc), on peut compiler et linker directement en utilisant gcc suivi du fichier C (avec optionnellement l'option -o), par exemple :
 - `gcc -o helloworld helloworld.c`
- Il est fortement conseillé d'ajouter l'option `-Wall` pour avoir tous les warnings
- L'option `-pedantic` permet de s'assurer que le code C est ISO

Les variables

On déclare en C une variable en la précédant de son type et en la suivant optionnellement d'une initialisation

```
int a;
float x=1.0;
char c;
```

- Une variable globale est définie en dehors de toute fonction
 - Sa portée est le fichier où elle est définie à partir de sa définition (pas au dessus)
- Une variable locale est définie à l'intérieur d'une fonction
 - Sa portée est uniquement la fonction où elle a été définie

Définir un type alias

typedef

- Crée un alias de type à partir d'une déclaration
- Syntaxe :
 - **typedef** declaration

```
typedef int Entier;
```



Les constantes 1 / 3

Constantes booléennes

true (1) et false (0) définie dans `stdbool.h`

Constantes entières

Pour représenter les constantes entières, le C propose trois notations :

- 1 La notation décimale, en base dix, par exemple 379
- 2 La notation octale, en base huit, qui doit commencer par un zéro, par exemple 0573
- 3 Le notation hexadécimale, en base seize, qui doit commencer par un zéro suivi d'un x (ou X), par exemple 0X17B (ou 0x17B, 0X17b, 0x17b)

Constantes flottantes

Pour les constantes flottantes, on utilise le "." pour marquer la virgule et le caractère "e" suivi d'un nombre entier, ici a, pour représenter 10^a , par exemple :

- 2. , .3, 2e4, 2.3e4

Les énumérés

enum

- Permet de définir un ensemble de valeurs constantes associées à un type
- Syntaxe

```
enum [nom] {id1 [=val1], id2 [=val2], ...}
```

- `enum` crée un type dont le nom commence par `enum`
- L'utilisation de `enum` est souvent couplé avec `typedef`

```
typedef enum {LUNDI,MARDI,MERCREDI,JEUDI,VENDREDI,SAMEDI,DIMAMCHE} Semaine;
Semaine unJour = LUNDI;
```



Les constantes 2 / 3

Constantes caractères

Les constantes caractères avec l'encodage ASCII sont entourées de quote, par exemple 'a'

- Certains caractères (les caractères non imprimables, avec un code ASCII inférieur à 32, le \, le ') ne sont utilisables qu'en préfixant par un \ :
 - le code ASCII du caractère (exprimé en octal), par exemple '\001'
 - un caractère tel que '\n', '\t', '\\', '\'

Constantes chaîne de caractères

Les constantes chaîne de caractères doivent être entourées de guillemets, par exemple "une chaîne"

- Par défaut le compilateur ajoute à la fin de la chaîne de caractères '\0', qui est le marqueur de fin de chaîne

Attention à l'encodage de votre fichier source !

Les constantes 3 / 3

Constantes explicites

- Approche historique : utiliser la macro `#define`
- Précéder à la déclaration/définition d'une variable du mot clé `const` (à partir de C90)
 - Avantage : type explicitement la constante
 - Mot clé utilisable dans les paramètres formels des fonctions (si pointeur, impossibilité pour la fonction de modifier l'espace mémoire pointer)

Les opérateurs 2 / 2

Opérateurs ++ et --

Les opérateurs unaires ++ et -- sont des opérateurs particuliers qui peuvent avoir jusqu'à deux effets de bord :

- En dehors de toute affectation, elle incrémente l'opérande associée, par exemple
 - `i++` et `++i` sont équivalents à `i=i+1`
- Lorsqu'ils sont utilisés dans une affectation, tout dépend de la position de l'opérateur par rapport à l'opérande, par exemple :
 - `j=i++` est équivalent à `j=i; i=i+1;`
 - `j=++i` est équivalent à `i=i+1; j=i;`

Les opérateurs 1 / 2

Algo. \Rightarrow C

On traduit les opérateurs en respectant les règles suivantes :

Algorithmique	C
<code>=, ≠</code>	<code>==, !=</code>
<code><, ≤, >, ≥</code>	<code><, <=, >, >=</code>
et, ou, non	<code>&&, , !</code>
<code>+, -, *, /</code>	<code>+, -, *, /</code>
div, mod	<code>/, %</code>

Attention

En C l'affectation est une opération (opérateur =)

Les instructions

Instructions simples

Elles finissent toujours par un `;`

Exemple

```
a=a+1;
```

Instructions composées

Les instructions composées qui permettent de considérer une succession d'instructions comme étant une seule instruction.

Elles commencent par `{` et finissent par `}`

Exemple

```
{a=a+1;b=b+2;}
```

Les conditionnelles 1 / 4

if

L'instruction si...alors...sinon est traduite par l'instruction if, qui a la syntaxe suivante :

```
if (condition)
  // instruction (s) du if
[else
  // instruction (s) du else
]
```

Exemple

```
if (a<10)
  a=a+1;
else
  a=a+2;
```

Les conditionnelles 3 / 4

switch...case

L'instruction cas...où est traduite par l'instruction switch, qui a la syntaxe suivante :

```
switch (leSelecteur) {
  case cas1:
    // instruction (s) du cas 1
    break;
  case cas2:
    // instruction (s) du cas 2
    break;
  ...
  default:
    // instruction (s) du default
}
```

Les conditionnelles 2 / 4

Attention

Le else dépend toujours du if le plus proche

Exemple

```
if (a>b)
if (c<d)
u=v;
else
i=j;
```

Le mieux étant toutefois de clarifier cette ambiguïté

```
if (a>b)
  if (c<d)
    u=v;
  else {
    i=j;
  }
else {
  i=j;
}
```

Les conditionnelles 4 / 4

Exemple

```
switch(choix) {
  case 't' : printf("vous voulez un triangle\n"); break;
  case 'c' : printf("vous voulez un carre\n"); break;
  case 'r' : printf("vous voulez un rectangle\n"); break;
  default : printf("erreur. recommencez !\n");
}
```

Les itérations 1 / 3

for

L'instruction Pour est traduite par l'instruction for, qui a la syntaxe suivante :

```
for( initialisation ;
    condition_d_arret ;
    operation_effectuée_à_chaque_itération )
    instruction ;
```

Exemple

```
for (i=0;i<10;i++)
    printf("%d\n", i);
```

Attention

Contrairement à l'algorithmique le for est une itération indéterministe

Les itérations 3 / 3

do..while

L'instruction répéter est traduite par l'instruction do..while, qui a la syntaxe suivante :

```
do
    instruction ;
while(condition);
```

Exemple

```
char temp[MAX];
int motDePasseValide=0;
int nbEssais=0;
do {
    printf("Mot de passe : ");
    scanf("%s", temp);
    motDePasseValide=hash(temp) == hashMotPasseRef;
    nbEssais++;
} while (!motDePasseValide && nbEssais<nbEssaisMax) ;
```

Les itérations 2 / 3

while

L'instruction Tant...que est traduite par l'instruction while, qui a la syntaxe suivante :

```
while(condition)
    instruction ;
```

Exemple

```
float g,d,m;
g=1;
d=x;
while (d-g > epsilon) {
    m=(d+g)/2.0;
    if (m*m>x)
        d=m;
    else
        g=m;
}
```

Les pointeurs 1 / 3

- Lorsque l'on déclare une variable, par exemple un entier i, l'ordinateur réserve un espace mémoire pour y stocker la valeur de i
- L'emplacement de cet espace dans la mémoire est nommé adresse
- Un pointeur est une variable qui permet de stocker une adresse

Par exemple si on déclare une variable entière i (initialisée à 10) et que l'on déclare un pointeur p dans lequel on range l'adresse de i (on dit que p pointe sur i), on a par exemple le schéma suivant :

	i	p
Mémoire	10	124
	124	226

Les pointeurs 2 / 3

On déclare une variable de type pointeur en préfixant le nom de la variable par le caractère *

```
int i, j;
int *p;
```

Opérateurs * et &

Il existe deux opérateurs permettant d'utiliser les pointeurs :

- 1 & : permet d'obtenir l'adresse d'une variable, permettant donc à un pointeur de pointer sur une variable
- 2 * : permet de déréférencer un pointeur, c'est-à-dire d'accéder à la valeur de la variable pointée

```
p=&i; // p pointe sur i
*p=*p+2; // ajoute 2 a i
j=*p; // met la valeur de i dans j (donc 12)
```

Les fonctions 1 / 2

On déclare une fonction en respectant la syntaxe suivante :

```
typeRetour nomFonction(type1 param1, type2 param2, ...) {
    // variables locales
    // instructions avec au moins
    // une fois l'instruction return
}
```

Par exemple

```
int plusUn(int a){
    return a+1;
}
```

Les pointeurs 3 / 3

- Par défaut lorsque l'on déclare un pointeur, on ne sait pas sur quoi il pointe
- Comme toute variable, il faut l'initialiser
 - On peut dire qu'un pointeur ne pointe sur rien en lui affectant la valeur NULL

```
int i;
int *p1,*p2;
p1=&i;
p2=NULL;
```

Les fonctions 2 / 2

- Il n'y a pas de procédure en C
 - Pour traduire une procédure, on crée une fonction qui ne retourne pas de valeur, on utilise alors le type void comme type de retour
- Tous les passages de paramètres en C sont des passages de paramètres en entrée (on parle de passage par valeur)
 - Lorsque l'on veut traduire des passages de paramètres en sortie ou en entrée/sortie on utilise les pointeurs (on parle de passage de paramètres par adresse)
 - On passe le pointeur sur la variable en lieu et place de la variable

Implanter un passage de paramètre en entrée

... par un passage de paramètre par valeur

On copie la valeur du paramètre effectif dans le paramètre formel :

	exemple	carre
Avant appel de carre	i = 3 j = ?	
Au début de l'exécution de carre	i = 3 j = ?	x = 3
À la fin de l'exécution de carre	i = 3 j = 9	x = 3

Sortie standard 1 / 2

printf

- L'instruction printf (de la bibliothèque `stdio.h`) permet d'afficher des informations à l'écran
- Syntaxe :

```
printf("chaîne de caractères" [, variables ])
```

 - Si des variables suivent la chaîne de caractères, cette dernière doit spécifier comment présenter ces variables :
 - `%d` pour les entiers (int, short, long)
 - `%f` pour les réels (float, double)
 - `%s` pour les chaînes de caractères
 - `%c` pour les caractères
 - La chaîne de caractères peut contenir des caractères spéciaux :
 - `\n` pour le retour chariot
 - `\t` pour les tabulations

Implanter un passage de paramètre en entrée/sortie ou en sortie

... par un passage de paramètre par adresse

On copie la valeur d'un pointeur sur le paramètre effectif dans le paramètre formel :

	exemple	remiseAZero
Avant appel de remiseAZero	i = 10	
Au début de l'exécution de remiseAZero	i = 10 &i	p = 124
À la fin de l'exécution de remiseAZero	i = 0	p = 124

Sortie standard 2 / 2

- Par exemple :

```
int i=1;
float x=2.0;
printf("Bonjour\n");
printf("i = %d\n",i);
printf("i = %d, x = %f\n",i,x);
```
- ...affiche :

```
Bonjour
i = 1
i = 1, x=2.0
```

scanf

- L'instruction `scanf` (de la bibliothèque `stdio.h`) permet à l'utilisateur de saisir des informations au clavier
- Syntaxe :
`scanf("chaîne de formatage",pointeur var1, ...)`
 La chaîne de formatage spécifie les caractères et le type des données attendues, par exemple :
 - `%d` pour les entiers (int, short, long)
 - `%f` pour les réels (float, double)
 - `%s` pour les chaînes de caractères
 - l'espace, la tabulation, le retour chariot sont considéré comme un séparateur de chaîne
 - préférez dans ce cas `gets` (voire `fgets`)
 - `%c` pour les caractères

ROUEN NORMANDIE

On déclare une variable de type tableau en ajoutant après l'identificateur la taille de chaque dimension (entre [et])

```
int tab1 [10]; // un tableau de 10 entiers (une dimension)
float tab2 [2][5]; // un tableau de 10 réels (deux dimensions)
```

- Le premier indice d'une dimension est toujours 0
- C'est vous qui déterminez la sémantique de chaque dimension

Par exemple

```
int i;
float x;
scanf("%d%f",&i,&x);
```

Une fois déclaré, un élément d'un tableau s'utilise comme une variable classique

```
int t [10]; // un tableau de 10 entiers (une dimension)
int i;
for (i=0;i<10;i++)
  scanf("%d",&t[i]);
```

- Un tableau est considéré comme un pointeur constant
- Lors d'un appel de fonction, le passage de paramètre pour un tableau est un passage de paramètre par adresse
- Dans la signature d'une fonction, la dimension d'un tableau en tant que paramètre formel est facultative

Les chaînes de caractères

- Il n'y a pas de type chaîne de caractères en C
- Souvent les tableaux de caractères sont utilisés pour les représenter

```
char nom[30];
printf("Votre nom: ");
scanf("%s",nom);
```

Si n caractères sont saisis (en utilisant l'encodage ASCII, ou ISO8859), $n + 1$ éléments du tableau sont utilisés ('\0').



Les unions

- Équivalent aux structures sauf que l'espace mémoire réservé est le maximum des espaces mémoires des attributs (alors que pour les structures c'est l'addition)^a
- Un seul champ est donc interprétable à un moment donné
- Syntaxe :

```
union [Nom] {
    type1 attr1;
    ...
}
```

a. à un alignement près...

```
union Nombre {
    int unEntier;
    float unReel;
    Complexe unComplexe;
}
```

Les structures

- On traduit une structure en utilisant le mot clé struct
- Syntaxe :

```
struct [Nom] {
    type1 attr1;
    ...
}
```

```
struct Personne {
    char nom[30];
    char prenom[30];
}
```

Attention

- struct crée un nouveau type dont le nom commence par *struct*
- L'utilisation de struct est souvent couplé avec typedef

Les fichiers

Le type FILE*

- Pas de concept de fichiers texte ou d'enregistrement : ce sont des fichiers binaires
- Ouverture : FILE *fopen(const char *path, const char *mode);
 - mode : "r", "r+", "w", "w+", "a", "a+"
 - "b" peut être ajouté pour la compatibilité C89
- Fermeture : int fclose(FILE *fp)
- Fonction de lecture : fscanf, fgetc, fgets, fread, ...
- Fonction d'écriture : fprintf, fputc, fputs, fwrite, ...
- Fonction gestion curseur : fseek, ftell, rewind, feof, ...
- Pointeurs de fichier prédéfinis : stdin, stdout, stderr



Retour sur la fonction main

En fait la signature de la fonction main est `int main(int argc, char **argv)`, tel que :

- `argc` est le nombre de paramètres
- `argv` est un tableau de chaîne de caractères

`argv[0]` est le nom du programme

Exemple : `args.c`^a

^a <http://www.ai.univ-paris8.fr/~jalb/langimp/main.html>

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char **argv) {
    int i;
    printf("argc: %d\n", argc);
    for (i=0; i < argc; i++)
        printf("argv[%d]: %s\n", i, argv[i]);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Exemple 1 / 3

Tri d'un tableau d'entiers dans un ordre croissant puis décroissant

```
void triABulle(int t[], int (*comparer)(int,int), int nbElements) {
    int i,j, estTrie;
    estTrie=0;
    i=0;
    while ((i<nbElements) && (!estTrie)) {
        estTrie=1;
        for (j=nbElements-1;j>0;j--) {
            if (comparer(t[j-1],t[j])>0) {
                echanger(&t[j-1],&t[j]);
                estTrie=0;
            }
        }
        i++;
    }
}
```

Pointeurs de fonction

- Les fonctions peuvent être considérées comme des variables, elles possèdent :
 - un identifiant
 - un type (type des paramètres et type de retour)
- Elles peuvent être un argument d'un appel de fonction

Exemple 2 / 3

```
void afficherTabEntier (int t [], int nbElements) {
    int i;
    for (i=0;i<nbElements;i++)
        printf ("%d ",t[i]);
    printf ("\n");
}

void trierEtAfficherTableauDEntiers (int (*comparer) (int ,int )) {
    int i;
    int tabEntier [4];

    for (i=0;i<4;i++) {
        tabEntier [i]=random() % 10;
    }
    afficherTabEntier (tabEntier ,4);
    triABulle (tabEntier ,comparer,4);
    afficherTabEntier (tabEntier ,4);
}
```

Exemple 3 / 3

Particularité...

Pointeurs de fonction

```
int plusGrand(int a, int b) {
    return a<b;
}

int plusPetit(int a, int b) {
    return a>b;
}

int main() {
    trierEtAfficherTableauDEntiers ( plusPetit );
    trierEtAfficherTableauDEntiers (&plusGrand);
}
```

```
3 6 7 5
3 5 6 7
3 5 6 2
6 5 3 2
```

Le langage C - v3.0.5

Particularité...

Les bibliothèques

Les bibliothèques 2 / 3

Comment rendre disponible une bibliothèque ?

- Compiler le(s) .c : obtention de .o (code objet)
- Inclure le(s) .o dans une bibliothèque :
 - statique : .a (.lib sous Windows)
ex : ar -r libtest.a test1.o test2.o ...
 - dynamique : .so (.dll sous Windows)
ex : gcc -o libtest.so -shared test1.o test2.o ...
- Rendre disponible le(s) .h et le(s) .a ou .so

Attention

- Par abus de langage, on appelle bibliothèque aussi bien le .h que le .a (ou .so)
- Puisque une bibliothèque (.a ou .so) peut être la concaténation de plusieurs .o, plusieurs .h peuvent être associés à une bibliothèque

Le langage C - v3.0.5

59 / 94Le langage C - v3.0.5

Les bibliothèques 1 / 3

Particularité...

Les bibliothèques

- Le C est un langage modulaire :
 - Le cœur du C ne contient que le strict minimum
 - Les extensions sont des bibliothèques
- Lorsque l'on écrit un programme en C :
 - On réutilise des bibliothèques
 - On crée des modules et quelques fois des bibliothèques
 - Le programme principal est court et utilise ces modules et ces bibliothèques

Comment créer une bibliothèque ou un module ?

- Créer un .h qui contient :
 - la définition des types disponibles
 - la signature des fonctions disponibles
- Créer un .c qui contient :
 - la définition de types et/ou fonctions privés
 - la définition des fonctions déclarées dans le .h

57 / 94Le langage C - v3.0.5

Particularité...

Les bibliothèques

Les bibliothèques 3 / 3

Comment utiliser une bibliothèque ?

- Inclure le .h dans les fichiers (.h ou .c) l'utilisant
- À la compilation du projet le .h doit être disponible
 - le référencer en spécifiant dans quel répertoire il se trouve (option -I de gcc)
- À l'édition des liens, le(s) .a (.so) doit(doivent) être disponible(s)

60 / 94

Problème des inclusions multiples 1 / 2

entierA.h

```
#include "entierB.h"
typedef int entierA;
entierA entierBEntierA(entierB);
```

entierB.h

```
#include "entierA.h"
typedef int entierB;
entierB entierAEntierB(entierA);
```

Problème

L'interprétation de `entierA.h` par le préprocesseur va inclure `entierB.h`, qui va inclure `entierA.h`, qui va inclure `entierB.h`, ...

Macro définition (macro-fonction) 1 / 4

- Possibilité de créer des fonctions *inline*
- Syntaxe : `#define identifiant(arguments) code`
 - Les parenthèses suivent aussitôt l'identifiant
 - Les paramètres sont séparés par des virgules avec aucun type de spécifié
 - Le code peut être sur plusieurs lignes (utilisation de `\` en fin de ligne)
- Objectifs :
 - Avoir de la modularité sans appel de fonction : gain de performance, non utilisation de la pile puisque le code est copié/collé avec les paramètres effectifs qui remplacent les paramètres formels
 - Possibilité d'une sorte de surcharge, même identifiant de macro avec un nombre de paramètres formels différents (un *warning* est produit)

Problème des inclusions multiples 2 / 2

entierA.h

```
1 #ifndef __ENTIER_A__
2 #define __ENTIER_A__
3 typedef int entierA;
4 #include "entierB.h"
5 entierA entierBEntierA(entierB);
6 #endif
```

entierB.h

```
1 #ifndef __ENTIER_B__
2 #define __ENTIER_B__
3 typedef int entierB;
4 #include "entierA.h"
5 entierB entierAEntierB(entierA);
6 #endif
```

Macro définition (macro-fonction) 2 / 4

Code source

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#define ADD(x,y) ((x)+(y))

int main(int argc, char **argv) {
    int milieu, gauche, droite;

    scanf("%d%d", &gauche, &droite);
    milieu = ADD(gauche, droite);
    printf("%d\n", milieu);

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Code produit (extrait)

```
int main(int argc, char **argv) {
    int milieu, gauche, droite;

    scanf("%d%d", &gauche, &droite);
    milieu = ((gauche)+(droite));
    printf("%d\n", milieu);

    return 0;
}
```

Macro définition (macro-fonction) 3 / 4

Des problèmes peuvent apparaître^a

a. https://wiki.deimos.fr/Mieux_connaître_et_utiliser_le_préprocesseur_du_langage_C.html

- Utilisation multiple du paramètre formel
- Les conditionnels et itérations avec des macros sur plusieurs lignes

Mot clé static

...devant la déclaration d'une variable locale

Permet de conserver l'état de la variable entre deux exécutions d'une fonction
La variable n'est alors initialisée qu'une seule fois

```
void foo() {
    static int compteurDAppels=0;
    compteurDAppels++;
    ...
}
```

Macro définition (macro-fonction) 4 / 4

Les conditionnels et itérations avec des macros sur plusieurs lignes

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define ADD(a, b, c) \
    printf("%d + %d", a, b); \
    c = a + b; \
    printf("= %d\n", c);

int main(int argc, char *argv[]) {
    int i = 0;
    int r = 0;
    while (argv[i++])
        ADD(r, 1, r);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define ADD(a, b, c) \
    printf("%d + %d", a, b); \
    c = a + b; \
    printf("= %d\n", c);

int main(int argc, char *argv[]) {
    int i = 0;
    int r = 0;
    while (argv[i++]) {
        ADD(r, 1, r);
    };
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

```
$ ./a.out 1 2 3
0 + 1 0 + 1 0 + 1 0 + 1 = 1
```

```
$/a.out 1 2 3
0 + 1 = 1
1 + 1 = 2
2 + 1 = 3
3 + 1 = 4
```

Mot clé static

...devant la déclaration d'une variable globale ou d'une fonction

- Cela permet de spécifier que la variable globale ou la fonction est accessible uniquement depuis le fichier où elle est déclarée
- Cela permet d'avoir des variables globales ou des fonctions ayant des même noms dans des fichiers différents

Mot clé extern^a

a. http://www.lri.fr/~aze/page_c/aide_c/

- Indique que l'emplacement réel et la valeur initiale d'une variable, ou du corps d'un sous-programme sont définis ailleurs, généralement dans un autre fichier source.
- Cela permet à plusieurs fichiers de se partager une variable ou un sous-programme.
- Pour un prototype de fonction, le mot réservé extern est facultatif.

Arithmétique sur les pointeurs

- On peut appliquer les opérateurs +, -, ++ et -- à des variables du type pointeurs

```
int t [10]={1,2,3,4,1,7,2,4,9,60};
int *p;

p=t;
p=p+3;
*p=0;
p--;
*p=10;
```

Allocation statique et dynamique

- Lorsque l'on déclare une variable locale, le compilateur ajoute des instructions dans le code généré réservant de l'espace mémoire dans la pile lorsque la fonction de la variable sera exécutée
 - C'est ce que l'on appelle l'allocation statique
 - Il ajoute aussi du code libérant cet espace mémoire qui sera exécuté lorsque l'on sortira de la fonction
- On aimerait quelquefois pouvoir déterminer la taille de l'espace mémoire à réserver non pas à la compilation, mais à l'exécution
 - C'est ce que l'on appelle l'allocation dynamique
 - Elle se fait dans le tas
 - On réserve l'espace mémoire à l'aide de la fonction malloc (et consœurs) et on libère cet espace à l'aide de la fonction free

Exemple

```
void trierEtAfficherTableauDEntiers (int (*comparer) (int , int ), int nb) {
    int i;
    int * tabEntier;
    tabEntier=(int*)malloc(nb*sizeof(int));
    for (i=0;i<nb;i++) {
        tabEntier[i]=random() % nb;
    }
    afficherTabEntier (tabEntier , nb);
    triABulle ( tabEntier , comparer ,nb);
    afficherTabEntier (tabEntier , nb);
    free ( tabEntier );
}

int main() {
    int nb;
    printf (" nb entier ");
    scanf ("%d" ,&nb);
    trierEtAfficherTableauDEntiers ( plusPetit , nb);
    trierEtAfficherTableauDEntiers ( plusGrand ,nb);
}
```

Chaînes de caractères 1 / 8

Questions

- Lorsque l'on demande à l'utilisateur de saisir une chaîne de caractères, combien doit on réserver d'espace ?
- Lorsque l'on veut écrire un fonction qui doit « calculer » une chaîne de caractères, qui réserve l'espace mémoire, l'appelant ou l'appelé ?

Réservées où ? comment ?

- À l'aide d'un tableau de caractères. C'est donc une allocation statique, qui n'a d'existence que dans le fonction où elle est faite
- À l'aide d'une allocation dynamique. Il doit donc y avoir une désallocation quelque part



Chaînes de caractères 3 / 8

Exécution

```
$ ./testChaine1
un petit test qui risque de ne pas marcher
un petit test q
$
```

Chaînes de caractères 2 / 8

Premier exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define MAX 100

char* saisieQuiNeMarchePas() {
    char buffer [MAX];
    gets( buffer );
    return buffer ;
}

int main(int argc, char **argv) {
    printf ("%s\n",saisieQuiNeMarchePas());
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Compilation

```
$ gcc -c -Wall -pedantic testChaine1.c
testChaine1.c: In function 'saisieQuiNeMarchePas':
testChaine1.c:9:3: attention: cette fonction retourne l'adresse d'une
variable locale [enabled by default]
```

Chaînes de caractères 4 / 8

Deuxième exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define MAX 10

void saisieQuiDevraitMarcher(char buffer []) {
    gets( buffer );
}

int main(int argc, char **argv) {
    char buffer [MAX];
    saisieQuiDevraitMarcher ( buffer );
    printf ("%s\n",buffer);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Compilation

```
$ gcc -c -Wall -pedantic testChaine2.c
$
```



Chaînes de caractères 5 / 8

Exécution

```
$ ./testChaine2
ca marche
ca marche
$ ./testChaine2
ca ne marche plus du tout
ca ne marche plus du tout
*** stack smashing detected ***: ./testChaine2 terminated
===== Backtrace: =====
/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6(__fortify_fail+0x37) [0x7fe72ed77007]
/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6(__fortify_fail+0x0) [0x7fe72ed76fd0]
...
```

Chaînes de caractères 7 / 8

Exécution

```
$ ./testChaine3
un petit test qui marche tres bien
un petit
```

Chaînes de caractères 6 / 8

Troisième exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MAX 10

void saisieQuiMarche(char buffer []) {
    fgets ( buffer , MAX,stdin);
}

int main(int argc, char **argv) {
    char buffer [MAX];
    saisieQuiMarche( buffer );
    printf ("%s\n",buffer);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Compilation

```
$ gcc -c -Wall -pedantic testChaine3.c
$
```

Chaînes de caractères 8 / 8

Quatrième exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MAX 10

char* saisieQuiMarche() {
    char* buffer =(char*)malloc(sizeof(char)*MAX);
    fgets ( buffer , MAX,stdin);
    return buffer ;
}

int main(int argc, char **argv) {
    char* ch;
    ch=saisieQuiMarche();
    printf ("%s\n",ch);
    free (ch);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

- Le C standard est livré avec des bibliothèques standards, dont les fichiers d'en-tête sont :
 - assert.h**
 - ctype.h
 - errno.h**
 - float.h
 - limits.h
 - locale.h
 - math.h
 - setjmp.h
 - signal.h
 - stdarg.h
 - stdbool.h
 - stddef.h
 - stdio.h
 - stdlib.h
 - string.h
 - time.h

Gestion des erreurs

- Lorsqu'une fonction ne retourne pas naturellement de valeur (`void`) ou qu'elle doit retourner un pointeur, et qu'elle peut produire des erreurs, c'est la valeur de retour qui indique si une erreur s'est produite :
 - `int` à la place de `void` et une valeur différente de 0 est retourné ;
 - `NULL` si c'est un pointeur qui est retournée
- Dans les autres cas, c'est la variable globale `errno` qui est utilisée

Gestion des préconditions

- On peut faire apparaître des préconditions en C via l'utilisation de la bibliothèque `assert` qui propose la macro `assert(expression)`
- « Si la macro `NDEBUG` est définie au moment de la dernière inclusion de `<assert.h>`, la macro `assert()` ne génère aucun code et ne fait rien. Sinon, la macro `assert()` affiche un message d'erreur sur la sortie d'erreur et termine l'exécution du programme en cours en appelant `abort()` si l'expression est fausse (égale à zéro). Le but de cette macro est d'aider le programmeur à trouver des bogues dans son application. Le message "assertion failed in file foo.c, function do_bar(), line 1287" n'est d'aucune aide pour l'utilisateur. »^a

a. man

Un exemple de code : `assert.c`

```
#include <stdio.h>
/* #define NDEBUG
   décommenter pour annuler les tests
   de précondition
*/
#include <assert.h>

int foo(int a) {
    assert(a>0);
    return a;
}

int main() {
    int i;
    scanf("%d",&i);
    printf("%d\n",foo(i));
}
```

Un exemple d'exécution

```
$/assert
-10
assert: assert.c:10: foo: Assertion 'a>0' failed.
Abandon (core dumped)
```

Compiler un projet C 1 / 3

Organisation d'un projet C

- Un projet C est composé de plusieurs répertoires :

src les .c (avec possibilité de sous répertoires), c'est aussi dans ce répertoire que sont mis les .o
include les .h
src/tests les sources des tests unitaires
lib les bibliothèques du projet (.a, .so)
bin le(s) exécutable(s)
tests les tests unitaires
doc la documentation technique générée (souvent doc/html et doc/pdf)

Un exemple : programme de tri par minimum successif

- Composé de :

- src/main.c
- include/echanger.h, src/echanger.c
- include/triParMinSuccessif.h, src/triParMinSuccessif.c

- Objectifs :

- lib/libechanger.a
- bin/tri

Compiler un projet C 3 / 3

Objectifs du makefile

Faciliter :

- la compilation, avec vérification des dépendances (si utilisation d'autoconf et automake) et ne compiler que ce qui est nécessaire
- l'installation
- la désinstallation

utilisation classique

```
./configure
make
make install
```

- le fichier ./configure est généré par des utilitaires (autoconf et automake)
- les environnements de développement génèrent automatiquement ces fichiers

Compiler un projet C 2 / 3

Comment compiler ce projet ? utilisation d'un script bash . .

```
1 #!/bin/bash
2 gcc -o src/echanger.o -Wall -pedantic -c -Iinclude src/echanger.c
3 ar -r lib/libechanger.a src/echanger.o
4 gcc -o src/triParMinSuccessif.o -Wall -pedantic -c -Iinclude src/triParMinSuccessif.c
5 gcc -o src/main.o -Wall -pedantic -c -Iinclude src/main.c
6 gcc -o bin/tri src/main.o src/triParMinSuccessif.o -Llib -lechanger
```

Écriture d'un makefile à la main 1 / 7

Pour plus d'information <http://gl.developpez.com/tutoriel/outil/makefile/>

Structure du fichier

[déclaration de variables]
Règles

Règles

- Permet de décomposer une action en plusieurs actions
- Structure :


```

      cible: dependance
          actions
      
```
- Quelques cibles prédéfinies : all, install, clean

Écriture d'un makefile à la main 2 / 7

Un premier makefile

```

1 all : bin/tri
2
3 bin/tri : lib/libechanger.a src/triParMinSuccessif.o src/main.o
4     gcc -o bin/tri src/main.o src/triParMinSuccessif.o -Llib -lechanger
5
6 lib/libechanger.a : src/echanger.o
7     ar -r lib/libechanger.a src/echanger.o
8
9 src/echanger.o : src/echanger.c
10    gcc -o src/echanger.o -c -Wall -pedantic -Iinclude src/echanger.c
11
12 src/triParMinSuccessif.o : src/triParMinSuccessif.c
13    gcc -o src/triParMinSuccessif.o -c -Wall -pedantic -Iinclude src/triParMinSuccessif.c
14
15 src/main.o : src/main.c
16    gcc -o src/main.o -c -Wall -pedantic -Iinclude src/main.c
17
18 clean :
19     rm -f bin/*
20     rm -f src/*.o
21     rm -f lib/*.a

```

Écriture d'un makefile à la main 4 / 7

Quelques variables internes

- \$@ Le nom de la cible de la règle
- \$< Le nom de la première dépendance de la règle
- \$~ La liste des dépendances de la règle
- \$? La liste des dépendances plus récentes que la cible
- \$* Le nom du fichier sans suffixe

Écriture d'un makefile à la main 3 / 7

Un makefile avec variables

```

1 SRCDIR=src
2 LIBDIR=lib
3 BINDIR=bin
4 INCLUDEDIR=include
5 CC = gcc
6 AR = ar
7 CFLAGS=-Wall -pedantic -I$(INCLUDEDIR)
8 LDFLAGS=-L$(LIBDIR)
9 EXEC=tri
10
11 all : $(BINDIR)/$(EXEC)
12
13 $(BINDIR)/tri : $(LIBDIR)/libechanger.a $(LIBDIR)/triParMinSuccessif.o $(LIBDIR)/main.o
14     $(CC) $(LDFLAGS) -o $(BINDIR)/$(EXEC) $(LIBDIR)/main.o $(LIBDIR)/triParMinSuccessif.o -lechanger
15
16 $(LIBDIR)/libechanger.a : $(SRCDIR)/echanger.o
17     $(AR) -r $(LIBDIR)/libechanger.a $(SRCDIR)/echanger.o
18
19 $(SRCDIR)/echanger.o : $(SRCDIR)/echanger.c
20     $(CC) -o $(SRCDIR)/echanger.o -c $(CFLAGS) $(SRCDIR)/echanger.c
21
22 $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o : $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.c
23     $(CC) -o $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o -c $(CFLAGS) $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.c
24
25 $(SRCDIR)/main.o : $(SRCDIR)/main.c
26     $(CC) -o $(SRCDIR)/main.o -c $(CFLAGS) $(SRCDIR)/main.c
27
28 clean :
29     rm $(BINDIR)/*
30     rm $(SRCDIR)/*.o

```

Écriture d'un makefile à la main 5 / 7

Un makefile avec variables

```

1 SRCDIR=src
2 LIBDIR=lib
3 BINDIR=bin
4 INCLUDEDIR=include
5 CC = gcc
6 AR = ar
7 CFLAGS=-Wall -pedantic -I$(INCLUDEDIR)
8 LDFLAGS=-L$(LIBDIR)
9 EXEC=tri
10
11 all : $(BINDIR)/$(EXEC)
12
13 $(BINDIR)/tri : $(LIBDIR)/libechanger.a $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o $(SRCDIR)/main.o
14     $(CC) $(LDFLAGS) -o $@ $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o $(SRCDIR)/main.o -lechanger
15
16 $(LIBDIR)/libechanger.a : $(SRCDIR)/echanger.o
17     $(AR) -R $@ $~
18
19 $(SRCDIR)/echanger.o : $(SRCDIR)/echanger.c
20     $(CC) -o $@ -c $(CFLAGS)
21
22 $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o : $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.c
23     $(CC) -o $@ -c $(CFLAGS)
24
25 $(SRCDIR)/main.o : $(SRCDIR)/main.c
26     $(CC) -o $@ -c $(CFLAGS)
27
28 clean :
29     rm $(BINDIR)/*
30     rm $(SRCDIR)/*.o

```

Règles d'inférence

- Possibilité de généraliser des règles

```
%.o: %.c
```

commandes

Un makefile avec variables

```

1 SRCDIR=src
2 LIBDIR=lib
3 BINDIR=bin
4 INCLUDEDIR=include
5 CC = gcc
6 AR = ar
7 CFLAGS=-Wall -pedantic -I$(INCLUDEDIR)
8 LDFLAGS=-L$(LIBDIR)
9 EXEC=tri
10
11 all : $(BINDIR)/$(EXEC)
12
13 $(BINDIR)/tri : $(LIBDIR)/libchanger.a $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o $(SRCDIR)/main.o
14     $(CC) $(LDFLAGS) -o $@ $(SRCDIR)/triParMinSuccessif.o $(SRCDIR)/main.o -lechanger
15
16 $(LIBDIR)/lib%.a : $(SRCDIR)/%.o
17     $(AR) -r $@ $^
18
19 $(SRCDIR)/%.o : $(SRCDIR)/%.c
20     $(CC) -o $@ -c $< $(CFLAGS)
21
22 clean :
23     rm $(BINDIR)/*
24     rm $(SRCDIR)/*.o
25     rm $(LIBDIR)/*.a

```