ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Programmation impérative

Le langage C

F. Pellegrini
ENSEIRB

Ce document est copiable et distribuable librement et gratuitement à la condition expresse que son contenu ne soit modifié en aucune façon, et en particulier que le nom de son auteur et de son institution d'origine continuent à y figurer, de même que le présent texte.

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Pourquoi tant de langages ?

- Les ordinateurs ne comprennent que le langage machine
  - Trop élémentaire, trop long à programmer
- Nécessité de construire des programmes à un niveau d'abstraction plus élevé
  - Meilleure expressivité et généricité
  - Moins de risques d'erreurs
- Il y a autant de langages que de besoins différents et de domaines d'applications...

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Historique du langage C

- Inventé aux Bell Labs / ATT en 1970
- Conçu pour être le langage de programmation d'Unix, premier système d'exploitation écrit dans un langage autre qu'un langage machine
- Diffusé grâce à Unix
- Popularisé par sa concision, son expressivité et son efficacité
- Disponible actuellement sur quasiment toutes les plate-formes

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Caractéristiques (1)

- Langage impératif
  - Le programmeur spécifie explicitement l'enchaînement des instructions devant être exécutées :
    - Fais ceci, puis cela
    - Fais ceci, si cela est vrai
    - Fais ceci, tant de fois
    - Fais ceci, tant que cela est vrai
  - Famille comprenant aussi le BASIC, le FORTRAN, le Pascal, etc...

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Caractéristiques (2)

- Langage de haut niveau
  - Programmation structurée
    - Organisation des données (regroupement structurel)
    - Organisation des traitements (fonctions)
  - Possibilité de programmer « façon objet »
- Langage de bas niveau
  - Conçu pour être facilement traduit en langage machine
  - Gestion de la mémoire « à la main »
  - Pas de gestion des exceptions

© 2004, 2005 F. Pellegrini

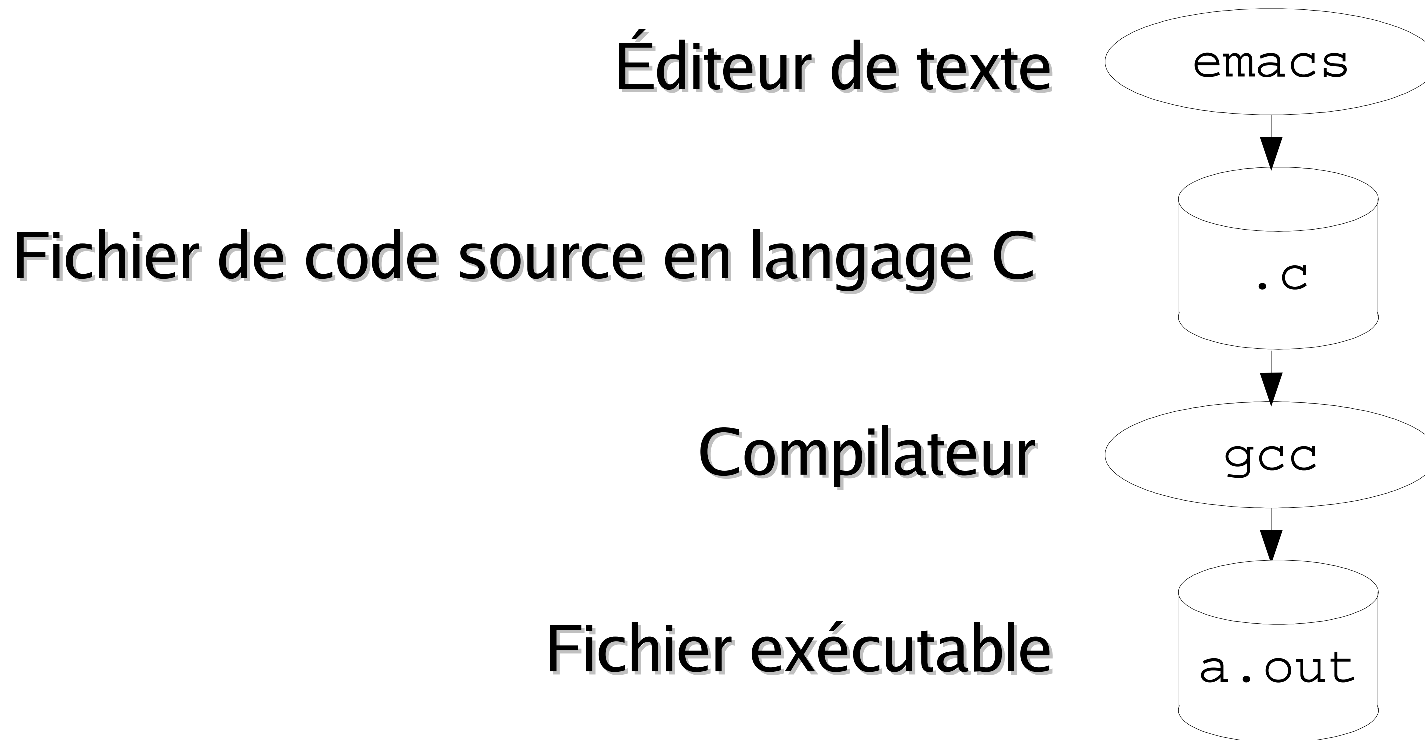
ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Compilation (1)

- C est un langage compilé
  - Le programmeur écrit son programme sous la forme d'un code source, contenu dans un ou plusieurs fichiers texte d'extension « .c »
  - Un programme appelé compilateur (habituellement nommé `cc`, ou `gcc`) vérifie la syntaxe du code source et le traduit en code objet, compris par le processeur
  - Le programme en code objet ainsi obtenu peut alors être exécuté sur la machine

Compilation (2)

- Schéma simplifié :



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Compilation (3)

- Exemple de compilation simple

bonjour.c

```
#include <stdio.h>
main ()
{
  printf (¨Bonjour!\n¨);
}
```

```
% gcc bonjour.c
% a.out
Bonjour!
%
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Compilation (4)

- En plus des erreurs, le compilateur peut émettre des avertissements lorsqu'il détecte des incohérences dans l'écriture du code
  - Le compilateur est votre allié, pas votre ennemi !
- Toujours utiliser un compilateur à son niveau d'alerte maximale
  - Un programme correct doit compiler sans avertissements (nécessaire mais pas suffisant...)
  - Utiliser plusieurs compilateurs différents est un plus

```
% gcc -Wall bonjour.c
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Structure d'un programme (1)

- Doit obligatoirement contenir une fonction principale « `main ()` », qui est exécutée lorsque le programme est lancé

rien.c
```
main ()
{
}
```

- La présentation du code n'est pas importante pour le compilateur, mais pour le programmeur

rien.c
```
                              main                     (
                                      )                     {
                          }
```

Structure d'un programme (2)

- Un programme est la spécification d'un processus de traitement d'informations
- Un programme impératif spécifie précisément les traitements devant être réalisés, sous la forme de suites d'instructions élémentaires
- Ces instructions opèrent sur les valeurs numériques contenues dans des variables nommées

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS BORDEAUX

Instructions (1)

- Une instruction peut être :
  - Une instruction simple
  - Un bloc d'instructions
- Une instruction simple
  - Se termine toujours par un point-virgule « ; »
- Un bloc d'instructions définit un ensemble d'instructions s'exécutant en séquence
  - Encadré par des accolades « { ... } »
  - Pas de point-virgule après l'accolade fermante

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instructions (2)

- Une instruction simple peut être
  - Une affectation de variable
  - Un test
  - Une boucle
  - etc.

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Commentaires (1)

- Les commentaires sont non seulement utiles, mais nécessaires à la compréhension d'un programme
  - Pensez à ceux qui vous suivront !
- Ils doivent donner une information de niveau d'abstraction plus élevé que le code qu'ils commentent
  - Sinon c'est de la paraphrase inutile...

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Commentaires (2)

- On aura en général trois types de commentaires
  - Commentaires d'en-tête de fichier
    - Explique ce que contient le fichier
  - Commentaires d'en-tête de fonction ou de structure de donnée (aussi appelé « commentaire de bloc »)
    - Explique la fonction et l'usage du fragment de code qui suit
  - Commentaires de lignes
    - Déclaration de variable
    - Début de boucle
    - Astuces, etc.

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Commentaires (3)

- Forme « standard » : `/* ... */`
  - Le commentaire finit au premier « */ » rencontré

```
/* Ce commentaire, qui a un style de commentaire
** de bloc, s'étend sur plusieurs lignes.
*/

  a = a + 1;          /* Ceci est un commentaire de ligne */
  b = b - 1;          /* Et ceci en est un autre          */
```

  - Pas de commentaires imbriqués !

```
  a = a + 1;          /* Ce commentaire /* imbriqué */ ne marche pas */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Commentaires (4)

- Forme « C++ » : // ...
  - Valides jusqu'à la fin de la ligne
  - Ne pas utiliser pour du code C standard

```
prht  = prht - remise;        /* Commentaire de ligne standard */
ptva  = prht * 0.196;         // Commentaire à la C++ ; bof...
```

- Attention à bien fermer vos commentaires !

```
pttc  = prht + ptva;          /* Aie, danger, la ligne suivante
total = total + pttc;         /* Sera ignorée car il manque le : */
```

  - Les éditeurs de texte modernes (comme `emacs`) affichent les commentaires en couleur, ce qui permet de repérer ce type d'erreurs

Variables (1)

- Les variables servent à stocker les données manipulées par le programme
- Les variables sont nommées par des identificateurs alphanumériques

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Variables (2)

- Format des identificateurs :
  - La première lettre est comprise dans l'ensemble [a-zA-Z_] (mais éviter le « _ » en début d'identificateur, réservé aux variables du système)
  - Les autres lettres sont comprises dans l'ensemble [a-zA-Z0-9_]
  - Différence entre majuscules et minuscules
  - 31 caractères significatifs selon la norme

✔ `Brol`	✔ `brol_2_brol`	✘ `1brol2trop`
✔ `bRol`	✔ `brol_`	✘ `123`
✔ `brol123`	★ `_brol`	✘ `123_45`

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables (3)

- Toutes les variables sont typées
  - Types simples
  - Types structurés
  - Références (pointeurs) de types
- On ne pourra mettre dans une variable d'un type donné une valeur d'un type incompatible
  - C est un langage (assez) fortement typé

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Types simples

- Deux familles principales
  - Types entiers :
    - `char` : type caractère, correspondant au stockage d'un unique caractère
    - `int`, `long`, `short` : types numériques servant au stockage des nombres entiers signés
    - Versions « `unsigned` » pour les entiers non signés
  - Types flottants :
    - `float` : nombres à virgule flottante en simple précision
    - `double` : nombres à virgule flottante en double précision

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Déclaration de variables

- Au début d'un bloc d'instructions
  - Après une accolade ouvrante : « { »
- On spécifie le type, puis le nom de la variable
  - Autant de fois que nécessaire
- On peut mettre plusieurs noms, séparés par une virgule : « , »

```
{
  int           i;           /* i : variable entière signée   */
  int           j, k;        /* j et k : idem                 */
  unsigned long l;           /* l : entier long non signé     */
  double        d, e;        /* d, e : flottants double préc. */
  float         f;           /* f : flottant simple précision */
  char          c;           /* c : caractère                 */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Affectation de variables (1)

- On donne une valeur à une variable au moyen de l'instruction d'affectation « = »

```
i = 2;
j = 4356;
d = 7.43;
e = 1.25e3;
e = 18.6;
c = 'A';
```

- Ce n'est pas une égalité au sens mathématique
  - Le sens exact est : prends la valeur de ce qui est à droite du « = » et mets-la dans la variable qui est à sa gauche

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Affectation de variables (2)

- Il est possible de déclarer et d'initialiser une variable en même temps

```
int      i = 2;
double   d = 7.43;
char     c = 'A';
int      j = 8, k = 42;
```

- Ce n'est pas souhaitable, car déclaration et initialisation sont deux actions différentes
  - Elles n'ont pas lieu au même moment dans la chaîne de compilation et d'exécution
  - Elles nécessitent donc des commentaires différents

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Constantes entières (1)

- Structure générale
  - Signe, optionnel : « + », « - »
  - Suite de chiffres
  - Marqueurs de type, optionnels :
    - « U » : constante non signée
    - « L » : constante de type long

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Constantes entières (2)

- Constantes décimales
  - Notation en base dix
  - Suite de chiffres décimaux : [0-9]
  - Pas de « 0 » non significatif en début de nombre

```
0
+0
42
+42
-42
123456
-2147483648
4294967295U
4294967295UL
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Constantes entières (3)

- Constantes octales
  - Notation en base huit (3 bits par chiffre)
  - Commencent par un zéro
  - Suite de chiffres octals : [0-7]

`0`	$\equiv$	0
`05`	$\equiv$	$5 \times 8^0 = 5$
`-017`	$\equiv$	$-(1 \times 8^1 + 7 \times 8^0) = -15$
`+0460L`	$\equiv$	$4 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 0 \times 8^0 = 304$

- Ne mettez pas de « 0 » devant les constantes entières pour faire joli...

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Constantes entières (4)

- Constantes hexadécimales
  - Notation en base seize (4 bits par chiffre)
  - Commencent par « `0x` » ou « `0X` »
  - Suite de chiffres hexadécimaux : [0-9A-F]

0	0000	4	0100	8	1000	C	1100
1	0001	5	0101	9	1001	D	1101
2	0010	6	0110	A	1010	E	1110
3	0011	7	0111	B	1011	F	1111

`+0x0` ≡ 0

`-0X712` ≡ $-(7 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 2 \times 16^0) = -1810$

`0xA3DUL` ≡ $+(10 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 13 \times 16^0) = 2621$

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
École Nationale Supérieure
Électronique, Informatique & Radiocommunications
Bordeaux

Constantes caractères

- Unique caractère, encadré par des apostrophes « ' » (pas des guillemets)
- Caractère d'échappement : la barre inversée « \ » (appelée « *antislash* » en Anglais)

\0	Caractère nul	\"	Guillemet	\t	Tabulation
\\	Antislash	\r	Retour chariot	\b	Retour arrière
\'	Apostrophe	\n	Nouvelle ligne	\a	Bip terminal

```
'A'                          '\''                         '\n'
' '                          '"'
'\0'                         '\"'
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Domaines des types entiers

- Domaines des types entiers pour une architecture 32 bits

Type	Bits	Valeur minimale	Valeur maximale
`char`	8	-128	127
`unsigned char`	8	0	255
`int`	32	-2147483648	2147483647
`unsigned int`	32	0	4294967295
`short`	16	-32768	32767
`unsigned short`	16	0	65535
`long`	32	-2147483648	2147483647
`unsigned long`	32	0	4294967295
`long long` ★	64	-9223372036854775808	9223372036854775807
`unsigned long long` ★	64	0	18446744073709551615

★ Norme C99

  - Le type `int` est toujours de la taille du mot machine
  - Voir le fichier `/usr/include/limits.h`

Constantes à virgule flottante

- Structure générale
  - Signe, optionnel : « + », « - »
  - Suite de chiffres et point décimal « . »
  - Suite de chiffres, optionnelle
  - Exposant « e » ou « E » et exposant entier décimal, optionnels
  - Marqueur de type, optionnel :
    - « F » : constante en simple précision

```
-12.34
+12.F
-12.34e-56
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Expressions

- Une expression est une construction du langage à laquelle est associée un type et une valeur
- Elle correspond le plus souvent à un calcul faisant intervenir des constantes, des variables, et des opérateurs

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Opérateurs arithmétiques

- Ces opérateurs servent à la construction d'expressions numériques

Type	Opérateur	Entier	Flottant
Addition	+	✔	✔
Soustraction	-	✔	✔
Multiplication	*	✔	✔
Division	/	✔	✔
Modulo	%	✔	✗

- Les parenthèses permettent d'outrepasser les priorités relatives par défaut des opérateurs

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Conversion de type (1)

- Lorsque les deux opérandes d'un opérateur sont de types différents mais comparables, il y a, avant l'évaluation proprement dite, conversion implicite du type le plus faible vers le type le plus fort

  `char` < `short` ≤ `int` ≤ `long` < `float` < `double`

- Les constantes entières sont de type `int`
- Les constantes flottantes sont de type `double`

```
'A' + 1      ⇨  int
sh * 12.34   ⇨  double
12 / 23.F    ⇨  float
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Conversion de type (2)

- Lors d'une affectation, le type du membre droit est converti dans le type du membre gauche
- Si le type de destination est plus faible que le type du membre droit :
  - Le résultat peut être indéfini pour les types flottants, si le nombre ne peut être représenté
  - Il y a troncature pour les types entiers

```
char c; int i; double d;
c = 'A' + 1;
i = i * 12.34;
c = 0;                   /* À éviter ! Utiliser plutôt : c = '\0' */
d = 0;                   /* Pareil : utiliser plutôt   : d = 0.0  */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Conversion de type (3)

- L'opérateur parenthésé de conversion de type (aussi appelé « *type cast* ») permet les conversions explicites
  - Permet de spécifier explicitement les conversions au compilateur
  - Supprime les avertissements du compilateur lors de conversions vers des types plus faibles

```
int    diviseur;
int    reste;
double nombre;
...
reste = (int) nombre % diviseur;
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Affectations combinées

- Comme de nombreuses instructions arithmétiques sont des modifications du contenu de variables, il existe des raccourcis spécifiques

```
var = var op expr; ⇔ var op= expr;
```

- On trouve ces raccourcis pour tous les opérateurs arithmétiques binaires : « += », « -= », « *= », « /= », « %= »

```
i =  3; i += 12;    /* i = 15                   */
i =  3; i -= 7;     /* i = -4 (i de type int)   */
i =  3; i *= 4;     /* i = 12                   */
i =  3; i /= 2;     /* i = 1 (division entière) */
i = 13; i %= 5;     /* i = 3                    */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Incrémentation et décrémentation (1)

- Comme de nombreuses instructions arithmétiques mettent en jeu des incrémentations et décrémentations, des raccourcis spécifiques existent

```
var += 1;    ⇔    var ++;
var -= 1;    ⇔    var --;
```

- Ces instructions sont également des expressions qui ont une valeur et peuvent être utilisées dans une expression englobante

```
i = 3;
a = i ++;     /* L'expression "i ++" a un type et une valeur */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Incrémentation et décrémentation (2)

- Selon que les opérateurs sont positionnés avant ou après la variable sur laquelle ils opèrent, on lit la valeur de la variable avant ou après l'opération, et on a soit pré-, soit une post- incrémentation (ou décrémentation)

`var ++;` ⇒ Post-incrémentation

`++ var;` ⇒ Pré-incrémentation

```
i = 3; a = i ++;    /* Post-incrémentation : a = 3 et i = 4 */
i = 3; a = ++ i;    /* Pré-incrémentation  : a = 4 et i = 4 */
i = 3; a = i --;    /* Post-décrémentation : a = 3 et i = 2 */
i = 3; a = -- i;    /* Pré-décrémentation  : a = 2 et i = 2 */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Affectations et expressions

- Les affectations sont par elles-mêmes des expressions, car elles ont :
  - Un type : le type du membre droit
  - Une valeur : la valeur du membre droit
- On peut donc les utiliser comme termes d'expressions englobantes
  - Attention à la lisibilité !

```
i = j = k = 1;              /* Usage courant */
i = 2 * j += k *= 3;        /* À éviter...   */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Précédence des opérateurs (1)

- Tableau partiel des opérateurs déjà abordés

Opérateur	Signification	Associativité
( )	Parenthésage	G → D
-	Négation unaire	D → G
++ --	Inc/decrémentation	D → G
* / %	Mult/div/modulo	G → D
+ -	Addition/soustraction	G → D
= += -= *= /= %=	Affectation	D → G

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonction d'écriture `printf` (1)

- Sert à afficher du texte
- Affiche la chaîne de caractères passée en paramètre, entre guillemets « " »
- Les séquences d'échappement valables pour les caractères s'appliquent également

```
printf ("Je dis \"Bonjour!\"\n");
printf ("Avec l'apostrophe\n");
printf ("Avec l\'apostrophe\n"); /* Le "\'" n'est pas nécessaire */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonction d'écriture `printf` (2)

- La chaîne peut indiquer comment afficher d'autres paramètres, au moyen des séquences d'échappement « % »

%%	« % »
%c	Caractère (`char`)
%d	Entier (`int`)
%ld	Entier long (`long`)
%f	Flottant (`float`)
%lf	Flottant double précision (`double`)

```
printf ("La valeur de i est %d\n", i);
printf ("%lf est plus petit que %lf\n", d1, d2);
printf ("Le caractère que vous avez tapé est \'%c\'\n", c);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonction de lecture `scanf` (1)

- Fonction inverse de `printf`
- Sert à analyser du texte tapé et à le convertir en valeurs placées dans les variables passées en paramètres, selon la chaîne de format passée en premier paramètre
  - Pas d'espaces dans la chaîne de format
- On doit mettre un « & » avant les noms des variables de types simples (référence)

```
int i;
printf ("Entrez votre valeur : ");
scanf  ("%d", &i);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Structures de contrôle

- Servent à orienter l'exécution du programme en fonction de la valeur courante d'une expression
  - Exécution conditionnelle d'un fragment de code si une certaine condition est vérifiée
  - Exécution répétitive d'un fragment de code tant qu'une certaine condition est vérifiée
- Les conditions de contrôle sont des expressions logiques booléennes

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Expressions booléennes (1)

- Une expression booléenne peut être une comparaison entre deux valeurs, au moyen des opérateurs :
  - « < » : strictement inférieur
  - « <= » : inférieur ou égal
  - « == » : égal (attention : « = » est l'affectation !)
  - « != » : différent
  - « >= » : supérieur ou égal
  - « > » : strictement supérieur

```
a >= b
a != b
a <  b
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Expressions booléennes (2)

- Elle peut aussi être une combinaison logique entre deux expressions booléennes, au moyen des opérateurs :
  - « `||` » : ou bien
  - « `&&` » : et aussi
  - « ! » : non pas

```
(a > b) || (a > c)          /* a n'est pas le plus petit des trois */
((an % 4) == 0) && ! (((an % 100) == 0) && ((an % 400) != 0))
                            /* an est bissextile   */
```

- La deuxième clause n'est pas toujours évaluée
  - Attention aux effets de bord !

```
(a ++ > b) || (a > c --)  /* Si (a > b) est vrai, pas de c-- */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `if` ... `else` (1)

- Format
  - `if` (expression) instruction1
  - `if` (expression) instruction1 `else` instruction2
- Si l'expression est vraie, l'instruction1 est exécutée, sinon l'instruction2 est exécutée, si elle existe

```
if (((an % 4) != 0) || (((an % 100) == 0) && ((an % 400) != 0)))
  nbjours = 365;                          /* Si année pas bissextile */
else {
  nbjours = 366;
  bissext = 1;
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `if` ... `else` (2)

- Lorsqu'on a plusieurs cas à tester, on peut enchaîner les `if` ... `else`

```
if (n < 10)
  printf ("%d est plus petit que 10.\n", n);
else {             /* Accolades pour la lisibilité, pas nécessaires */
  if (n > 20)
    printf ("%d est plus grand que 20.\n", n);
}
```

- Si les conditions sont de même nature, on peut aligner les `else` sur le premier `if`

```
if (n < 10)
  printf ("%d est plus petit que 10.\n", n);
else if (n > 20)
  printf ("%d est plus grand que 20.\n", n);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Opérateur ternaire ? ... : ...

- Dans de nombreux cas, un test sert juste à positionner le contenu d'une variable
  - Redondance de code

```
if (a > b)
  max = a;
else
  max = b;
```

```
max = b;
if (a > b)
  max = a;
```

- L'opérateur ternaire « ? : » renvoie une valeur différente selon la validité de l'expression qui le précède
  - (expression) ? valeur1 : valeur2

```
max = (a > b) ? a : b;
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `switch` ... `case`

- L'instruction `switch` ... `case` sert à traiter des choix multiples en fonction de la valeur d'une expression entière

```
printf ("Entrez votre choix : ");
scanf  ("%c", &c);
switch (c) {            /* Évaluation d'une expression entière   */
  case 'A' :            /* Clause de choix sur une constante     */
    ...                 /* Instructions exécutées jusqu'au break */
    break;
  case 'q' :            /* Plusieurs clauses pour le même bloc    */
  case 'Q' :            /* d'instructions : continue si pas break */
    ...                 /* Instructions exécutées jusqu'au break  */
    break;
  default  :            /* Clause optionnelle "voiture balai" */
    printf ("Choix \"%c\" invalide.\n", c);
    break;
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `while`

- Format
  - `while (`expression`)` instruction
- Tant que l'expression est vraie, on exécute l'instruction
  - L'instruction doit modifier l'expression, sinon on a une boucle infinie

syracuse.c

```
...
  printf ("Entrez le nombre de départ : ");
  scanf  ("%d", &n);
  while (n > 1) {
    n = ((n % 2) == 0) ? (n / 2) : (3 * n + 1);
    printf ("%d\n", n);
  }
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `for` (1)

- Format
  - `for (`instruction1`;` expression`;` instruction2`)` instruction3
- L'instruction1 est d'abord exécutée (initialisation). Puis, tant que l'expression est vraie, on exécute l'instruction3 (corps de boucle), puis l'instruction2 (itérateur)

```
printf ("Je compte jusqu'à 10 :\n");
for (i = 1; i <= 10; i ++)
  printf ("%d\n", i);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `for` (2)

- L'instruction `for` est sémantiquement équivalente à l'instruction `while`

```
for (i = 0; i < 10; i ++)
  instruction;
```

```
i = 0;
while (i < 10) {
  instruction;
  i ++;
}
```

- Elle apporte cependant une lisibilité supplémentaire
  - Lien conceptuel entre l'initialisateur et l'itérateur
  - Proximité visuelle entre l'initialisateur et l'itérateur

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `for` (3)

- On peut utiliser l'opérateur virgule « , » pour exécuter plusieurs instructions simples dans l'initialisateur ou l'itérateur d'une boucle

```
  int    i, f, n;

/* Calcul de n!, en C un peu « extrême », sur une ligne */

  for (i = n, f = 1; i > 1; f *= i, i --) ; /* Boucle à corps vide */

/* La même, un peu moins violente, sur deux lignes */

  for (i = n, f = 1; i > 1; i --)   /* On voit mieux l'itérateur    */
    f *= i;                         /* Le but de la boucle est plus visible */
```

- L'opérateur virgule sert peu autrement...

```
 a = (b ++, c);      /* La valeur de a est celle de c. Moche... */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `do` ... `while`

- Format
  - `do` instruction `while` (expression)
- L'instruction est d'abord exécutée, puis l'expression est évaluée. Si elle est vraie, on reboucle sur l'exécution de l'instruction
  - À la différence de la boucle `while`, l'instruction est toujours exécutée au moins une fois

```
do {
  printf ("Entrez un nombre entre 1 et 10 : ");
  scanf  ("%d", &n);
} while ((n < 1) || (n > 10));
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Expressions booléennes (3)

- Une expression booléenne est une fonction logique qui ne retourne que les valeurs VRAI et FAUX
- En C, il n'existe pas de type booléen propre
  - Type `bool` introduit dans la norme C99 seulement
- Le type booléen est émulé par le type `int`, avec les conventions suivantes :
  - FAUX : valeur 0
  - VRAI : toutes les autres valeurs non nulles

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Expressions booléennes (4)

- On peut donc :
  - Stocker le résultat d'une expression booléenne dans une valeur entière
  - Utiliser le résultat d'une expression entière comme valeur de condition

```
i = ((a > b) && (a > c));    /* i vaut 0 ou 1 avec gcc */

if (diviseur)                /* diviseur est une variable entière */
  nombre /= diviseur;
```

- Cette fonctionnalité est dangereuse...

```
a = 1;
b = 2;
if (a = b)                   /* Bogue : « == » et pas « = » */
  printf ("a et b sont égaux.\n");
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `break` (1)

- L'instruction `break` sert à quitter la boucle la plus interne, ou bien le `case`, dans lesquels elle se trouve
  - On ne sort que d'un seul niveau
  - Ne concerne pas les `if` ... `else`

```
s = 0;
for (i = 0; i < 10; i ++) {  /* Lecture d'au plus 10 entiers */
  scanf ("%d", &n);

  if (n <= 0)                /* Si entier non strictement positif */
    break;                   /* On quitte la boucle                */

  s += n;
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Instruction `break` (2)

- L'instruction `break` peut être utilisée pour sortir d'une boucle déclarée comme boucle infinie

```
while (1) {                   /* Boucle infinie ; comme for ( ; ; ) { */
  scanf ("%c", &c);
  c = toupper (c);

  if (c == 'Q')               /* Si c vaut la valeur de sortie */
    break;                    /* On sort de la boucle infinie  */
  switch (c) {
    case 'A' :
      ...
      break;                  /* Ce break là ne sort que du switch */
    ...
  }
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB — École Nationale Supérieure Électronique, Informatique & Radiocommunications Bordeaux

Instruction `continue`

- L'instruction continue sert à sauter l'itération courante de la boucle la plus interne dans laquelle elle se trouve, et à passer à l'itération suivante
  - Évite le recours au `goto`

```
s = 0;
for (i = 0; i < 10; i ++) {
 scanf ("%d", &n);

 if (n <= 0)                    /* Si entier non strictement positif */
   continue;                    /* On passe au suivant               */

  s += n;
}
```

Sous-programmes et fonctions (1)

- Les sous-programmes servent à factoriser du code et à améliorer sa lisibilité
- Lorsque le même fragment de code doit être exécuté plusieurs fois, il est naturel d'isoler ce fragment et de lui donner un nom, pour y faire référence lorsqu'on veut l'exécuter
- Lorsque, à un endroit du programme, on veut exécuter les instructions du sous-programme, on spécifie le nom du sous-programme considéré : on « appelle » le sous-programme

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Sous-programmes et fonctions (2)

- La plupart des sous-programmes servent à calculer un résultat à partir des valeurs de certaines variables du programme appelant
  - Ils se comportent comme des fonctions mathématiques
- On doit donc spécifier
  - La liste et le type des paramètres que l'on peut passer à la fonction
  - La nature de la valeur qu'elle renvoie

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB — École Nationale Supérieure d'Électronique, Informatique & Radiocommunications — Bordeaux

Fonctions (1)

- En C, il n'y a pas de différence entre fonction et sous-programme
  - Tous sont définis sous la forme de fonctions censées renvoyer une valeur d'un type spécifié
  - Un sous-programme est une fonction qui ne renvoie rien (type `void`)

Fonctions (2)

- Une fonction est un bloc d'instructions ayant :
  - Un type pour les valeurs qu'elle retourne
  - Un nom
  - Une liste de paramètres typés, entre parenthèses

```
int factorielle (int n) { ... }
double puissance (double valeur, double exposant) { ... }

double                      /* Type de retour                      */
puissance (                 /* Nom de la fonction, mis en évidence */
double        valeur,       /* Liste des paramètres, déclarés comme */
double        exposant)     /* Des variables et commentés par ligne */
{                           /* Accolade de début de bloc fonction  */
  ...                       /* Indentation du code dans le bloc    */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonctions (3)

- Les paramètres d'une fonction sont vus comme des variables locales au bloc de code de la fonction
- On peut définir d'autres variables dans le bloc

```
void                       /* Pas de valeur de retour */
compte_a_rebours (
int             n)         /* Paramètre de la fonction, vu comme local */
{
  int       i;             /* Variable locale à la fonction */

  printf ("Attention, compte à rebours :\n");
  for (i = n; i >= 0; i --)
    printf ("%d...\n", i);
  printf ("Et c'est parti !\n");
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `return` (1)

- On spécifie la valeur que renvoie une fonction au moyen de l'instruction `return`
  - Valeur de même type que le type de retour déclaré de la fonction

```
int                       /* Type de retour : int */
factorielle (
int              n)
{
  int       f;
  int       i;

  for (f = 1, i = 2; i <= n; i ++)
    f *= i;
  return (f);             /* Renvoi de la valeur, de type int aussi */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Instruction `return` (2)

- L'instruction `return` permet la terminaison anticipée de la fonction
  - Peut exister en plusieurs exemplaires

```
int
factorielle (
int                n)
{
  int        f;
  int        i;

  if (n < 0)               /* Si paramètre non conforme */
    return (-1);           /* Renvoie un code d'erreur  */
  for (f = 1, i = 2; i <= n; i ++)
    f *= i;
  return (f);              /* Renvoie la valeur attendue */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Instruction `return` (3)

- Pour les fonctions ne retournant rien, on utilise l'instruction `return` sans argument

```
void                            /* Pas de valeur de retour */
compte_a_rebours (
int                n)
{
  int         i;

  if (n <= 0) {
    printf ("La fusée est déjà partie...\n");
    return;                     /* Retour anticipé, sans argument */
  }
  printf ("Attention, compte à rebours :\n");
  for (i = n; i >= 0; i --)
    printf ("%d...\n", i);
  printf ("Et c'est parti !\n");
  return;                       /* Optionnel, car fin de fonction termine */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Appel de fonction

- On appelle une fonction en donnant son nom, suivi de la valeur des paramètres de l'appel, dans l'ordre de leur définition
- Le nom de fonction avec ses arguments est une expression typée utilisable normalement

```
main ()
{
  int       i;
  int       j;

  i = factorielle (7);
  printf ("La factorielle de 7 est %d\n", i);
  j = 5;
  printf ("La factorielle de %d est %d\n", j, factorielle (j));
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Opérateurs bit à bit

- Les types entiers peuvent être vus comme des vecteurs de bits de tailles fixes (8, 16, 32, 64)
  - char c = 'A';

c =

0	1	0	0	0	0	0	1

- On peut y effectuer des opérations booléennes opérant en parallèle sur chacun des bits
  - Opérations booléennes « et », « ou », « ou exclusif », « inversion »
  - Décalages

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Opérateur « et » : &

- Réalise un « et » booléen bit à bit

A	B	A & B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

a =	0	1	1	0	1	0	1	1
b =	0	0	1	1	1	0	0	1
a & b =	0	0	1	0	1	0	0	1

- Ne pas confondre « & » et « && »

```
a   = 0xC5;                /* a   = 11000101 */
b   = 0x57;                /* b   = 01010111 */
x1  = a & b;               /* x1  = 01000101 */
x2  = a && b;              /* x2  = 00000001 */
a  &= 0x07;                /* On garde les 3 bits faibles */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Opérateur « ou » : |

- Réalise un « ou » booléen bit à bit

A	B	A | B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

a =	0	1	1	0	1	0	1	1
b =	0	0	1	1	1	0	0	1
a | b =	0	1	1	1	1	0	1	1

- Ne pas confondre « | » et « || »

```
a   = 0xC5;             /* a  = 11000101           */
b   = 0x57;             /* b  = 01010111           */
x1 = a | b;             /* x1 = 11010111           */
x2 = a || b;            /* x2 = 00000001           */
a  |= 0x04;             /* Met à 1 le troisième bit */
```

Opérateur « ou exclusif » : ^

- Réalise un « ou exclusif » (x-or) booléen bit à bit

A	B	A ^ B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

a =	0	1	1	0	1	0	1	1
b =	0	0	1	1	1	0	0	1
a ^ b =	0	1	0	1	0	0	1	0

- Identifie les bits qui diffèrent

```
a = 0xC5;                    /* a = 11000101 */
b = 0x57;                    /* b = 01010111 */
x = a ^ b;                   /* x = 10010010 */
```

Opérateur « non » : ~

- Réalise une complémentation booléenne bit à bit

A	~A
0	1
1	0

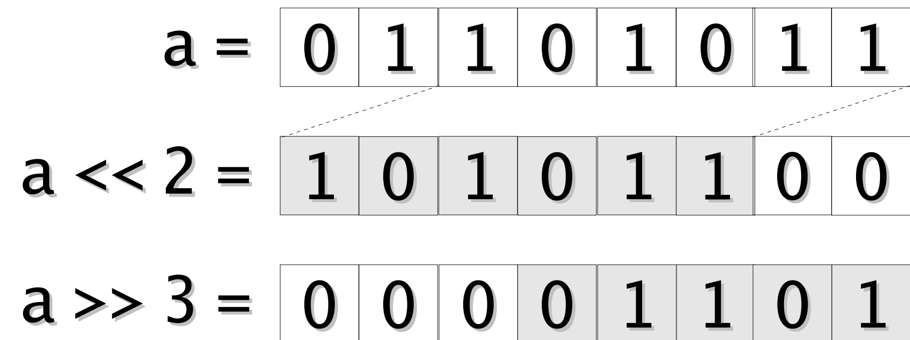
a =	0	1	1	0	1	0	1	1
~a =	1	0	0	1	0	1	0	0

```
a  =  0xC5;                     /* a = 11000101             */
a &= ~0x04;                     /* Met à zéro le troisième bit */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Opérateurs de décalage : << et >>

- Réalisent un décalage du mot binaire vers la gauche ou la droite, en insérant des 0 dans les positions laissées libres




```
scanf ("%d", &n);
for (i = 1, b = 0; i > 0; i <<= 1) { /* Pour tous les bits      */
  if ((i & n) != 0)                  /* Si le bit est à 1       */
    b ++;                            /* On en compte un de plus */
}
printf ("Le nombre %d contient %d bits à 1\n", n, b);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables références (1)

- Le plus souvent, on sait exactement à quelle variable va s'appliquer un traitement
  - Noms de variables « en dur » dans le programme
- Dans certains cas, on voudrait pouvoir faire varier dynamiquement le nom de la variable à laquelle appliquer un traitement donné
  - Pas possible de changer le programme en cours d'exécution, car il est compilé
  - Nécessité de variables servant à « identifier », à « référencer », d'autres variables

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables références (2)

- On déclare une variable référence à une variable d'un type donné au moyen de l'opérateur d'indirection « * »

```
int         i;
int *       r;          /* Référence sur une variable entière          */
int *       s, * t;     /* Autres références à des variables entières */
```

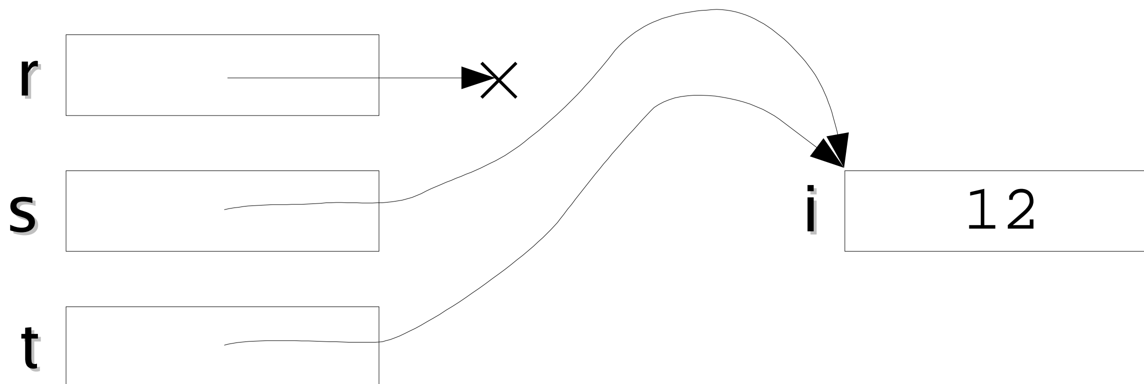
- On peut lire la déclaration « `type * var` » de deux façons :
  - `var` référence une variable de type `type`
  - `*var` est de type `type`

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables références (3)

- On initialise une variable référence soit à NULL (elle ne référence rien), soit avec l'opérateur de référence « & », soit avec une autre variable de référence de même type

```
i = 12;
r = NULL;                /* Référence nulle       */
s = &i;                  /* Référence sur i       */
t = s;                   /* Autre référence sur i */
```



© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables références (4)

- Pour accéder au contenu d'une variable référence, on utilise également l'opérateur d'indirection « * »

```
int      a;
int      b;
int *    maxptr;

a = 5;
b = 17;
maxptr = (a > b) ? &a : &b;     /* Obtient la référence du max */

(*maxptr) ++;                   /* Incrémente le max de 1 */

printf ("Le maximum incrémenté est %d\n", *maxptr);
```

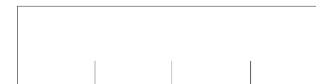
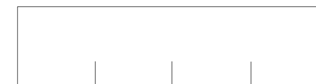
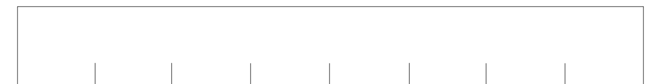
© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables références (5)

- On peut tout à fait avoir des références de références...

```
int      a;
int *    p;
int **   q;

a = 5;
p = &a;
q = &p;
**q = 7;              /* Maintenant a vaut 7 */
```

Occupation mémoire

- À toute variable créée est associée une zone de la mémoire, servant à stocker le contenu de cette variable
- La taille de cette zone mémoire dépend du type de la variable considérée
  - `char` : 1 octet
  - `int` : 2, 4 ou 8 octets (ici : 4) 
  - `float` : 4 octets 
  - `double` : 8 octets 
  - etc.

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Opérateur `sizeof ()`

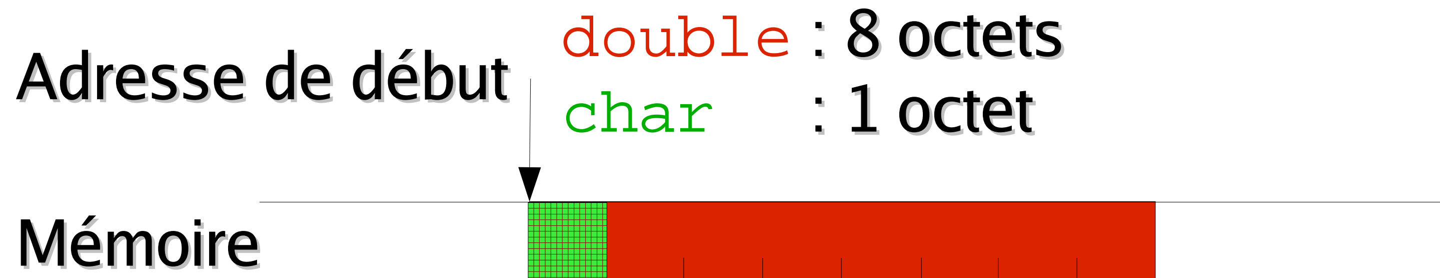
- L'opérateur `sizeof` donne la taille en octets du type ou de la variable passée en paramètre
  - Ce n'est pas une fonction normale
  - Évalué et remplacé par la constante entière correspondante lors de la compilation

```
printf ("Sur mon système, un \"int\" fait %d octets\n",
        sizeof (int));              /* Taille d'un type */

double  d;
printf ("Sur mon système, un \"double\" fait %d octets\n",
        sizeof (d));                /* Taille d'une variable du type */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Références et pointeurs (1)

- Tout mot (octet) de la mémoire est identifié par un numéro unique : son adresse mémoire
- On peut donc identifier toute zone mémoire servant au stockage d'une variable par
  - Son adresse de début
  - Sa taille (dépend du type de la variable)



Références et pointeurs (2)

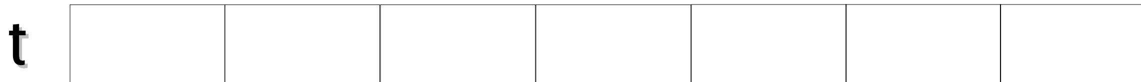
- En termes d'implémentation, en C, une variable référence contient l'adresse de la variable référencée
  - La référence est en fait un pointeur sur l'adresse mémoire de début de la variable
- Les pointeurs C sont plus permissifs que les références
  - Possibilité de positionnement à des valeurs arbitraires non nécessairement valides
  - Arithmétique sur les pointeurs

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Tableaux (1)

- Un tableau est une collection de variables de même type que l'on peut accéder individuellement par leur indice dans le tableau
- On déclare la taille du tableau entre « [ ] »

```
int   t[7];           /* t est un tableau de 7 entiers */
```

t 

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Tableaux (2)

- On accède à un élément d'un tableau en donnant l'indice de l'élément entre « `[ ]` »
  - En C, les indices commencent à 0, pas à 1

t	t[0]	t[1]	t[2]	t[3]	t[4]	t[5]	t[6]

  - Aucun contrôle de débordement sur les indices !

```
int   t[7];                  /* Tableau de 7 éléments entiers */
int   a;                     /* Entier en général placé après */

for (i = 0; i < 7; i ++)     /* Initialise tout le tableau */
  t[i] = i;
for (i = 0; i < 7; i += 3)   /* Pour tous les multiples de 3 */
  scanf ("%d", &t[i]);       /* Écrase avec la valeur lue    */
a     = 2;
t[7] = 10;                   /* On écrit en dehors du tableau ! */
```

Tableaux (3)

- On peut initialiser le contenu d'un tableau lors de sa déclaration
  - Liste de constantes du type adéquat, entre accolades
  - Nombre d'éléments comptés par le compilateur

```
int   t[7] = { 2, 4, 7, 5, 6, 3, 1 };
int   t[]  = { 2, 4, 7, 5, 6, 3, 1 }; /* Le compilateur comptera */
```

- La liste peut n'être que partielle

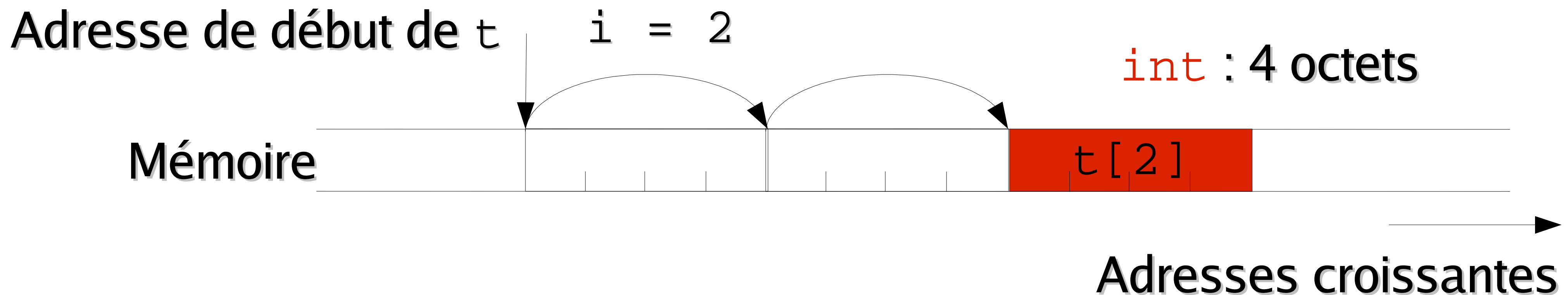
```
int   t[7] = { 2, 4, 7, 5 }; /* 7 places prises, 4 initialisées */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Tableaux (4)

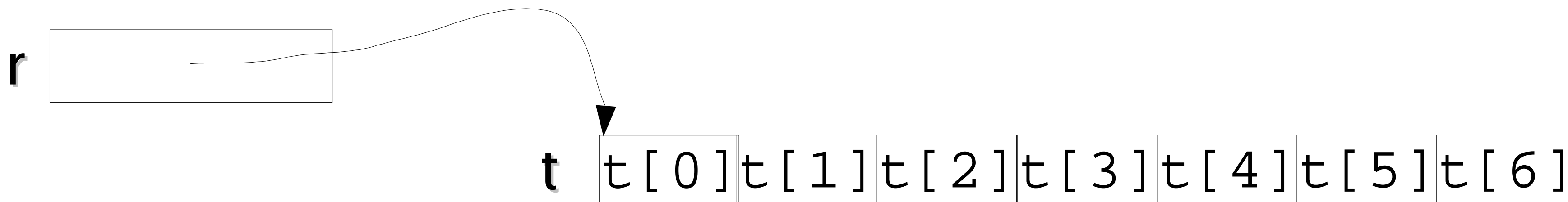
- Si `t` est de type `type`, `t[i]` est donc le contenu de la zone mémoire :
  - Commençant à l'octet d'adresse
    `(t + i * sizeof (type))`
  - De taille `sizeof (type)`



Tableaux et pointeurs (1)

- Un tableau est une référence sur une zone mémoire de variables contiguës de même type
  - On peut utiliser un nom de tableau comme référence

```
int     t[7];         /* Tableau de 7 entiers   */
int *   r;            /* Pointeur sur un entier */

r = t;                /* t est en fait de type (int *)          */
a = t[0];             /* Lecture du premier élément du tableau  */
b = *r;               /* Comme r pointe sur t, on lit aussi t[0] */
c = *t;               /* Comme t est un (int *), ceci marche aussi */
t = r;                /* Ne marche pas ! t est une constante...  */
```

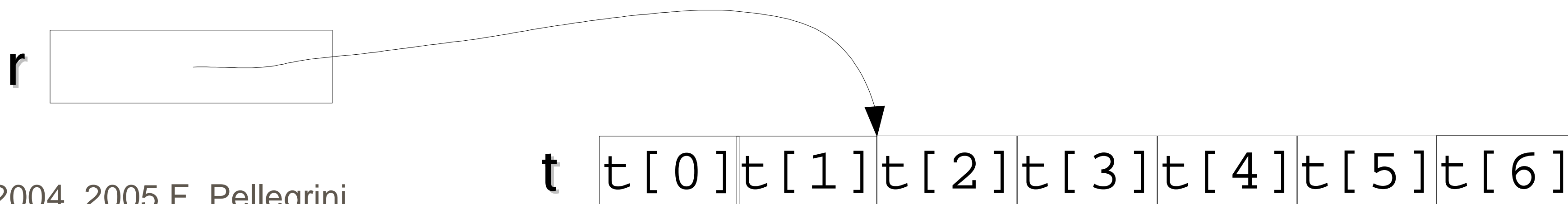


© 2004, 2005 F. Pellegrini

Tableaux et pointeurs (2)

- Tableaux et pointeurs étant de même type, on peut également utiliser la notation « `[ ]` » à partir de variables de types pointeurs
  - « `[`*i*`]` » veut donc dire : contenu de la i^ème^ case de type adéquat, comptée à partir de l'adresse du pointeur

```
int    t[7];          /* Tableau de 7 entiers   */
int *  r;             /* Pointeur sur un entier */

r = &t[2];            /* On pointe sur la troisième case de t   */
r[1] = 12;            /* On met 12 dans r[1], c'est-à-dire t[3] */
```



© 2004, 2005 F. Pellegrini

Arithmétique des pointeurs (1)

- À partir d'un pointeur, on peut créer un pointeur de même type mais pointant à i cases en amont ou en aval

```
q = &p[i];                  /* i indifféremment positif ou négatif */
```

- On peut simplifier cette expression en définissant une arithmétique des pointeurs
  - p + i ⇔ &p[i]
  - p - i ⇔ &p[-i]

```
int     t[7];              /* Tableau de 7 entiers   */
int *   r;                 /* Pointeur sur un entier */

r = t + 2;                 /* Identique à l'exemple précédent */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Arithmétique des pointeurs (2)

- L'arithmétique des pointeurs permet aussi d'exprimer la différence entre deux pointeurs de même type
  - p - q ⇔ quotient de la division par la taille du type de la différence entre les adresses des pointeurs p et q

```
int     t[7];            /* Tableau de 7 entiers   */
int *   r;               /* Pointeur sur un entier */
int     i;

r = t + 2;               /* Identique à l'exemple précédent */
i = r - t;               /* Différence entre deux pointeurs */
```

- q + (p - q) peut être différent de p si pas alignés

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Arithmétique des pointeurs (3)

- Tous les opérateurs arithmétiques d'addition et de soustraction d'entiers existent également pour les pointeurs
  - « += », « -= », « ++ », « -- »

```
int     t[7];
int *   p;
int     i;

for (i = 0; i < 7; i ++)      /* Boucle sur les indices           */
  scanf ("%d", &t[i]);        /* Ou bien : scanf ("%d", t + i) */

for (p = t; p < t + 7; p ++) /* Boucle sur références de cases */
  scanf ("%d", p);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Tableaux multidimensionnels (1)

- Il est possible de déclarer des tableaux multidimensionnels en spécifiant plusieurs paires de « `[]` »

```
int    t[7][3];    /* Tableau de 7 lignes de 3 colonnes */
```

- Les données sont stockées par ligne majeure, c'est-à-dire que dans `t[n][m]` la case `t[i+1][0]` est stockée juste après la case `t[i][m-1]`

```
int    t[2][3] = { { 1, 2, 3 }, { 4, 5, 6} };
```

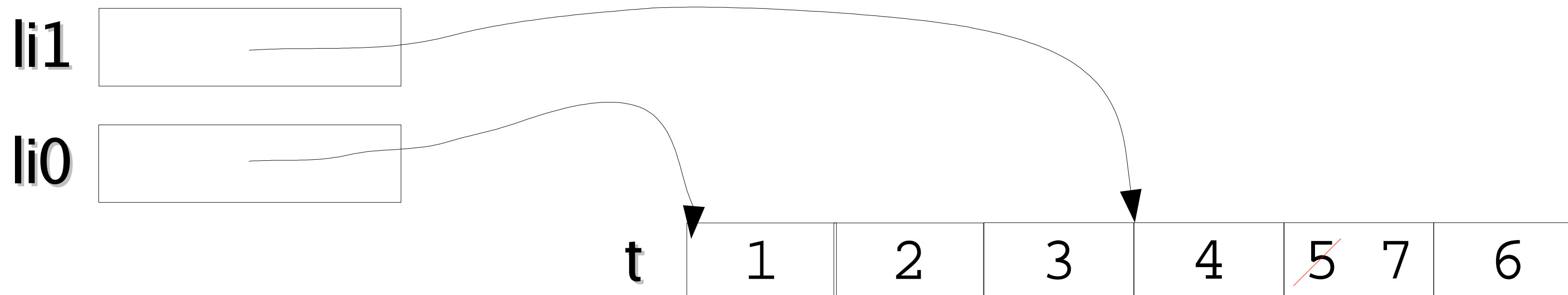
t	1	2	3	4	5	6
	t[0,0]		t[0,2]	t[1,0]		t[1,2]

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Tableaux multidimensionnels (2)

- Le compilateur effectue les calculs d'adresses de façon à accéder à la bonne case du (sous-)tableau stocké de façon linéaire

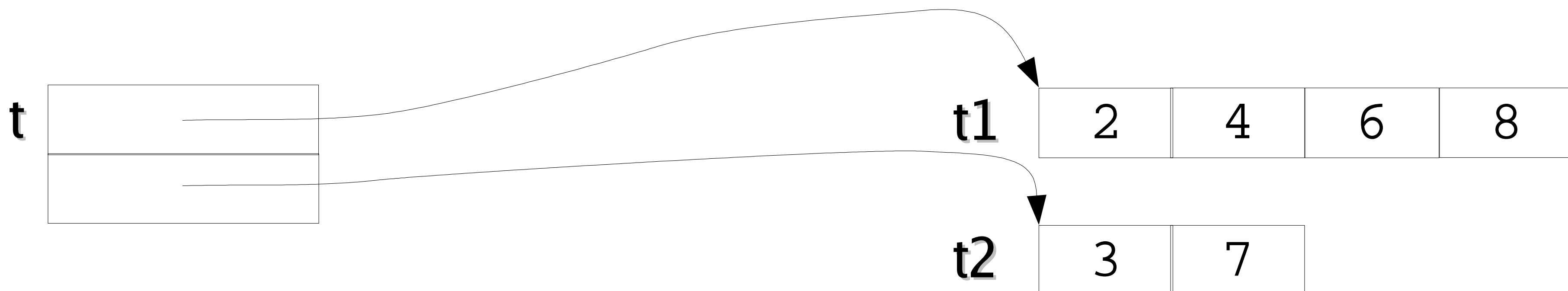
```
int    t[2][3] = { { 1, 2, 3 }, { 4, 5, 6} };
int *  li0;             /* Pointeur sur la première ligne */
int *  li1;             /* Pointeur sur la deuxième ligne */

li1 = t[1];             /* t de type (int **), t[1] de type (int *) */
li0 = t[0];             /* Même valeur d'adresse, pas même type !   */
li1[1] = 7;             /* Écriture tout à fait correcte            */
t[0][4] = 7;            /* Pas de vérification de débordement !     */
```



Tableaux multidimensionnels (3)

- On peut émuler des tableaux multi-dimensionnels au moyen de pointeurs de pointeurs

```
int *  t[2];                   /* t est de type (int **) */
int    t1[4] = { 2, 4, 6, 8};
int    t2[2] = { 3, 7 };
t[0] = t1;
t[1] = t2;
a = t[0][3];                   /* a = 8                   */
b = t[1][0];                   /* b = 3                   */
c = t[1][3];                   /* En dehors des limites ! */
```



Constantes chaînes de caractères

- Ensemble de constantes caractères accolées, encadrées par des guillemets « " »
  - Même utilisation du caractère d'échappement « \ »
  - Possibilité de chaînes multi-lignes avec un « \ » comme dernier caractère de ligne

\0	Caractère nul	\"	Guillemet	\t	Tabulation
\\	Antislash	\r	Retour chariot	\b	Retour arrière
\'	Apostrophe	\n	Nouvelle ligne	\a	Bip terminal

```
  "Je dis \"Bonjour\" à tout le monde\n"
  "Ceci est une chaîne de caractères \↵
multi-\↵
lignes"
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Chaînes de caractères (1)

- Il n'existe pas de type chaîne spécifique
- Une chaîne de caractères est un tableau unidimensionnel de caractères
  - Le nom de la chaîne fait référence à l'adresse de début du premier caractère de la chaîne
- Une chaîne de caractères bien formée est toujours terminée par un caractère nul '\0'
  - Indique où le contenu utile de la chaîne finit
  - Ne pas oublier de compter et réserver sa place !

© 2004, 2005 F. Pellegrini

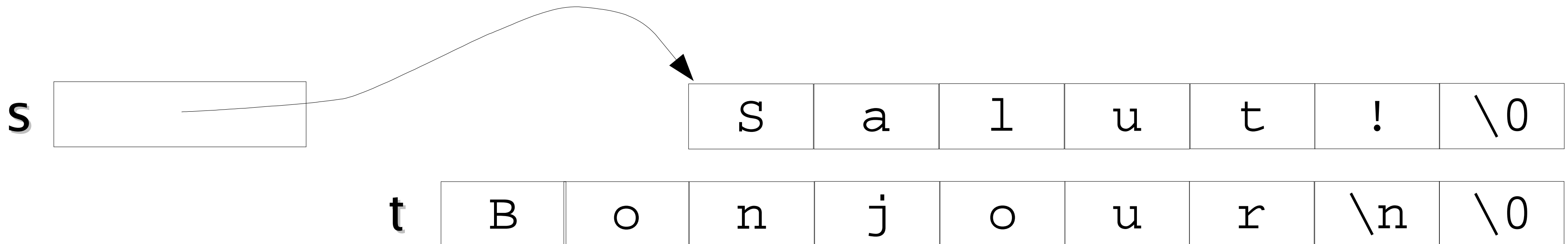
Chaînes de caractères (2)

- On peut déclarer et initialiser une chaîne de caractères comme on déclare un tableau de caractères

```
char t[] = { 'B', 'o', 'n', 'j', 'o', 'u', 'r', '\n', '\0' };
```

Il est préférable d'utiliser les constantes chaînes

```
char   t[] = "Bonjour\n"; /* Tableau modifiable en mémoire */
char * s   = "Salut!";    /* Pointeur sur une constante    */
t[1] = 'Z';               /* Légal car t est modifiable    */
s[1] = 'Z';               /* Segfault car zone constante   */
s    = t;                 /* Légal car s est une variable  */
```



© 2004, 2005 F. Pellegrini

Affichage de chaînes

- Directement dans `printf` si chaîne simple
  - Code « `%s` » pour afficher des chaînes
- La chaîne est affichée jusqu'au premier « \0 » rencontré

```
char   t[] = "Bonjour\n";
char * s   = "Salut!";
char * r   = "%sEt aussi %s\n";

printf ("Bonjour\n"); /* Le compilat. crée une chaîne constante */
printf (t);          /* Attention : pas de "%" dans la chaîne ! */
printf ("%s", t);    /* Le plus sûr si on n'est pas sûr de t    */
printf (r, t, s);    /* Possible mais délicat                   */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Entrée de chaînes

- On utilise `scanf`
  - Code « `%s` » aussi
  - Pas besoin du « `&` » car une chaîne est déjà une référence sur une zone mémoire
  - Limiter la taille avec la syntaxe « `%`*num*`s` » pour éviter les débordements de tampons

```
char str[10];          /* Une chaîne de 10 caractères */
int  a;

printf ("Entrez votre nom : ");
scanf  ("%s", str);   /* Pas de « & » car str est une référence */

scanf  ("%9s", str); /* On limite à 1 de moins (pour \0) */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

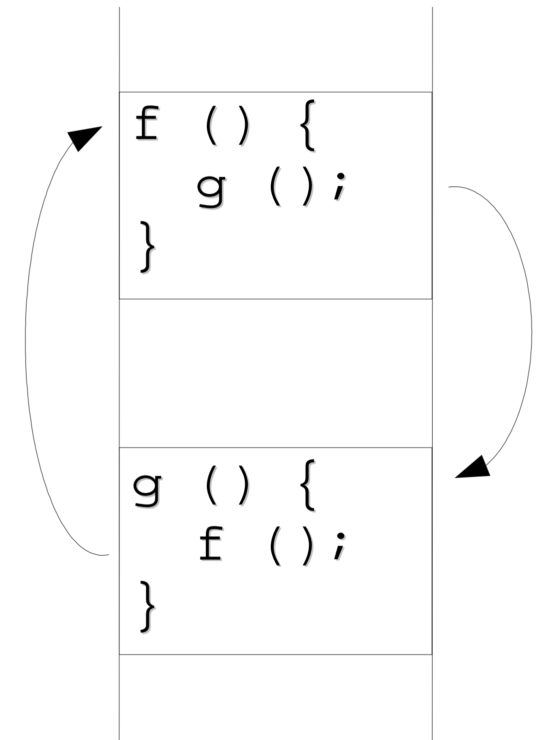
Fonctions de manipulation de chaînes

- `strlen ()` : renvoie la taille courante d'une chaîne (pas la taille maximale du tableau)
- `strcpy ()` : copie d'une chaîne source vers un tableau de caractères destination
- `strcat ()` : ajout d'une chaîne source à la fin d'une chaîne destination
- `strchr ()` : recherche de la première occurence d'un caractère dans une chaîne
- etc.

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Prototypage (1)

- Pour générer l'appel à une fonction et vérifier le typage de ses paramètres, le compilateur doit déjà connaître l'existence de la fonction et son typage
  - Il suffit que la fonction appelée soit définie avant la fonction appelante dans le fichier source
  - Pas toujours faisable, dans le cas de fonctions s'appelant mutuellement



© 2004, 2005 F. Pellegrini

Prototypage (2)

- Pour résoudre le problème, il faut pouvoir déclarer une fonction avant de la définir
  - Déclaration d'un prototype de la fonction
- Un prototype est la déclaration d'une fonction sans le bloc d'instructions qui la suit

```
int factorielle (int nombre);    /* Prototype de la fonction */

main ()
{
  i = factorielle (7);            /* Vérification à l'utilisation */
}

int
factorielle ( ...                 /* Définition effective */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Prototypage (3)

- Utiliser de façon systématique le prototypage possède de nombreux avantages
  - Séparation de la spécification d'une fonction de son implémentation
    - Programmation par contrat
    - Possibilité de compilation séparée
    - Facilité de travail en équipe
  - Double vérification de cohérence
    - Entre le prototype et les instances d'appel
    - Entre le prototype et la définition de la fonction

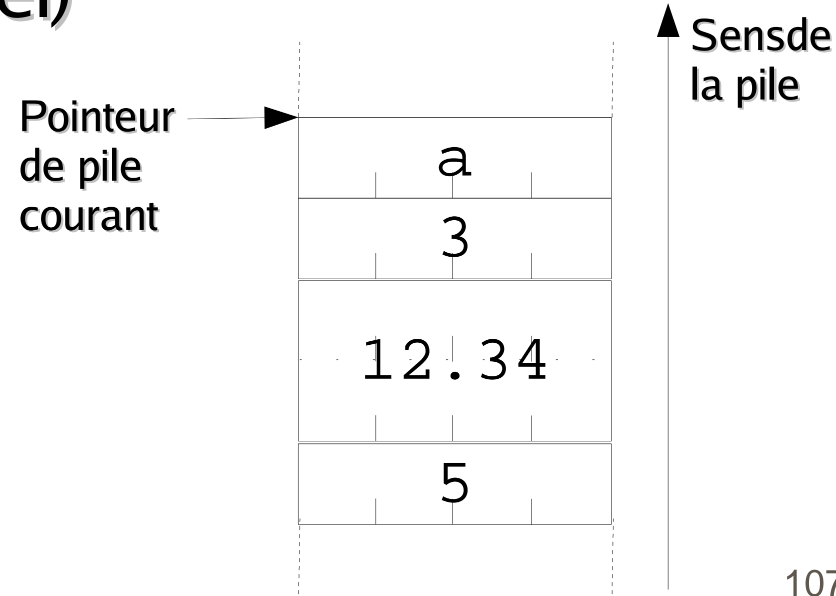
© 2004, 2005 F. Pellegrini

Mécanisme d'appel d'une fonction (1)

- Lorsqu'une fonction est appelée, il se produit les actions suivantes :
  - Empilement des valeurs des paramètres d'appel dans la pile de programme, en ordre inverse
  - Empilement de l'adresse de retour (adresse du code situé juste après l'appel)
  - Appel à la fonction

```
int     i = 3;
int     j = 5;
double  d = 12.34;

...
f (i, d, j);
...
```

a : adresse de retour après le code d'appel

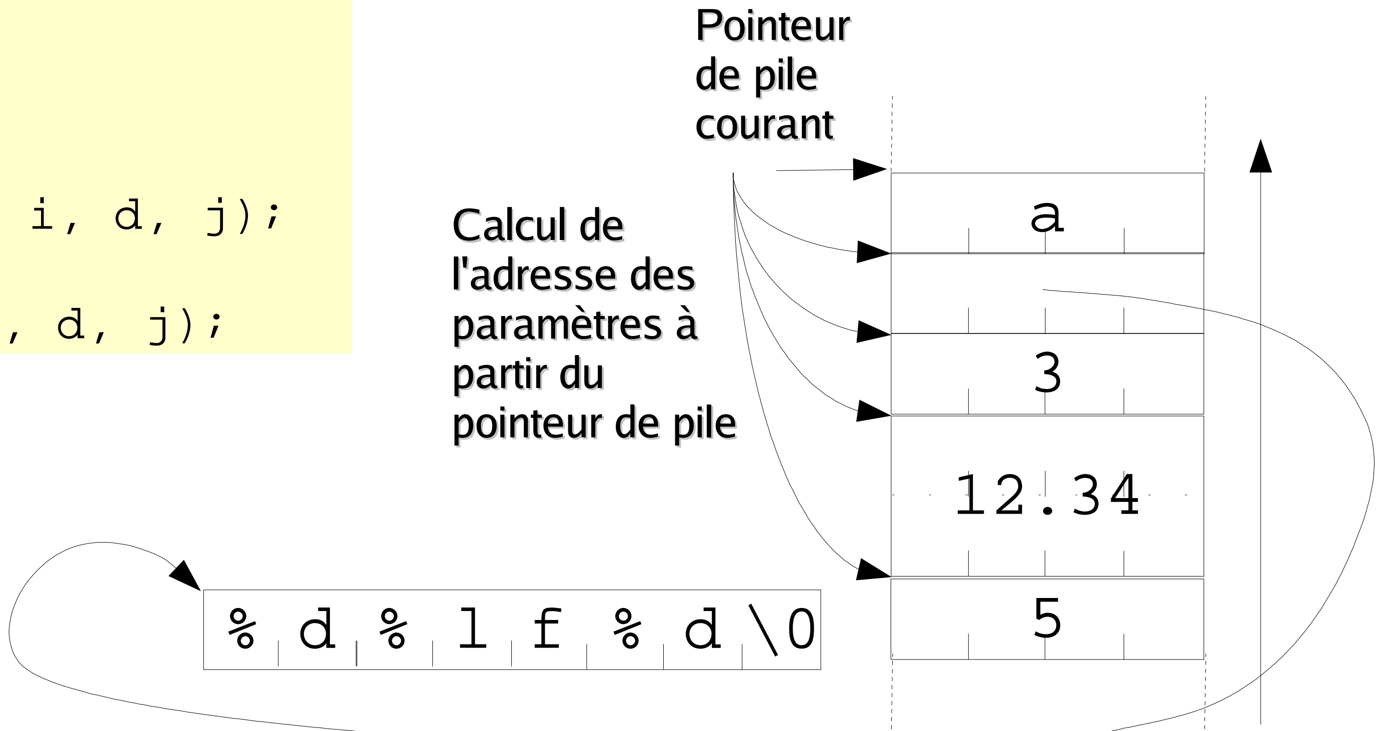


ENSEIRB — École Nationale Supérieure Électronique, Informatique & Radiocommunications Bordeaux

Mécanisme d'appel d'une fonction (2)

- Placer les paramètres dans l'ordre inverse permet de gérer les fonctions à nombre de paramètres variables, comme `printf`

```
int     i = 3;
int     j = 5;
double  d = 12.34;

...
printf ("%d%lf%d", i, d, j);
...
printf ("%d%lf", i, d, j);
```



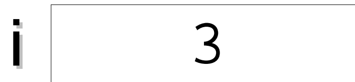
© 2004, 2005 F. Pellegrini

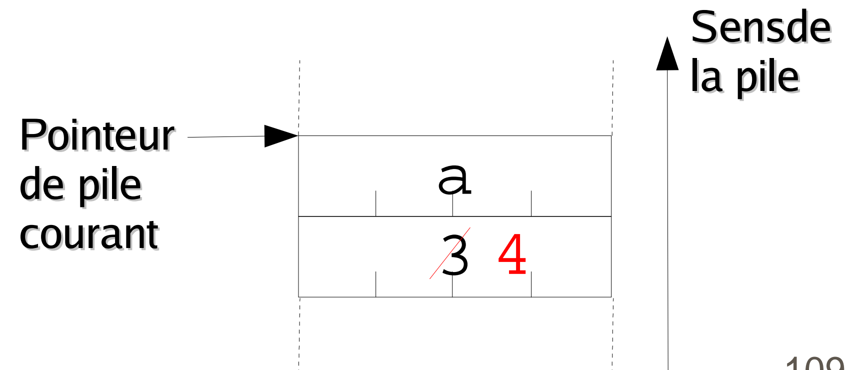
ENSEIRB — École Nationale Supérieure Électronique, Informatique & Radiocommunications Bordeaux

Mécanisme d'appel d'une fonction (3)

- Le passage des paramètres dans la pile s'effectue par valeur et pas par référence
  - C'est la valeur du paramètre qui est passée dans la pile, pas son adresse (sauf pour les chaînes)
  - Si on modifie un paramètre, c'est sa copie qui est modifiée, pas lui-même

```
f (int j) {
  j = 4;
}
  ...
  i = 3;
  f (i);
```



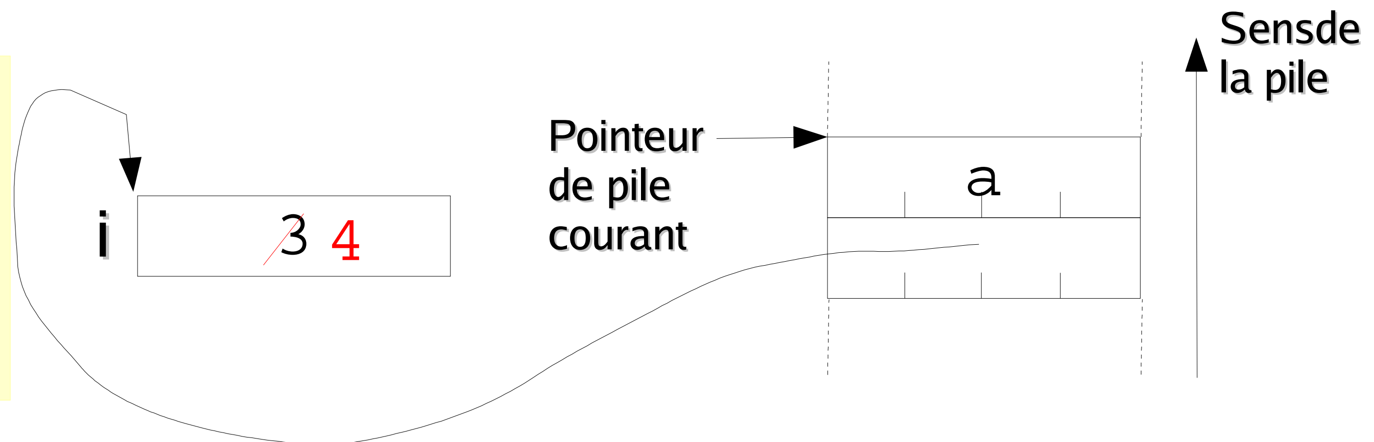


© 2004, 2005 F. Pellegrini

Mécanisme d'appel d'une fonction (4)

- Si l'on veut pouvoir modifier la valeur d'un paramètre au delà de l'exécution de la fonction, il faut passer son adresse
  - Émulation du passage par référence
  - Exemple : `scanf`

```
f (int * jptr) {
  *jptr = 4;
}
  ...
  i = 3;
  f (&i);
```



© 2004, 2005 F. Pellegrini

La fonction `main` (1)

- La fonction `main` retourne un `int`
  - Code de retour du programme, renvoyé au processus appelant (en général l'interpréteur de commandes)
- La fonction main possède trois arguments
  - `argc`, entier spécifiant le nombre de paramètres passés à la commande, y compris son propre nom
  - `argv`, tableau de pointeurs de chaînes de caractères listant les arguments de la commande
  - `envp`, tableau de pointeurs de chaînes de caractères listant les variables d'environnement connues

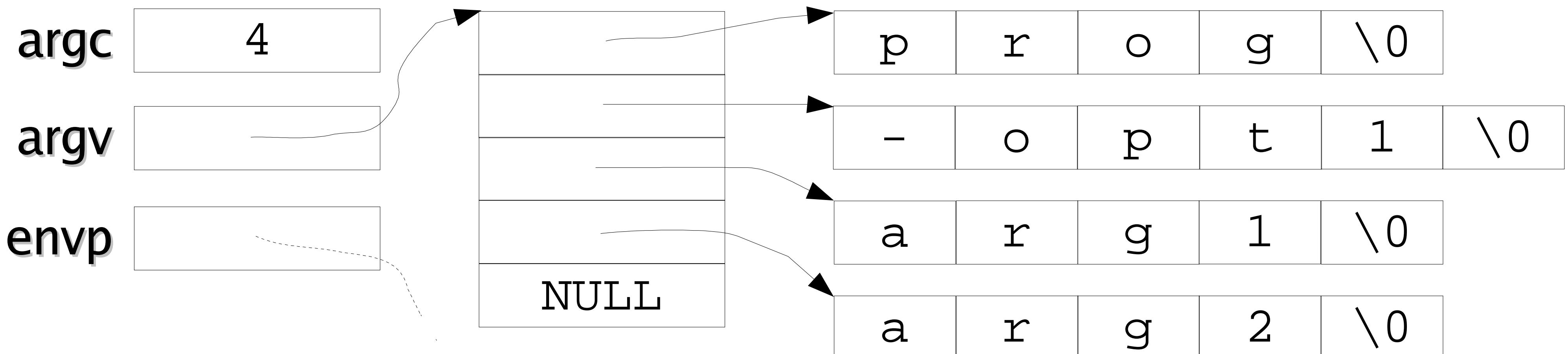
© 2004, 2005 F. Pellegrini

La fonction `main` (2)

- Format complet de la fonction `main`

```
int
main (
int             argc,    /* Nombre d'arguments y compris le nom      */
char *          argv[],  /* Tableau des chaînes des arguments        */
char *          envp[])  /* Tableau des chaînes des variables d'env. */
{
  ...
}
```

```
% prog -opt1 arg1 arg2
```



ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

La fonction `main` (3)

- Exemple d'usage des paramètres de `main`

```
int
main (
int            argc,    /* Nombre d'arguments y compris le nom      */
char *         argv[],  /* Tableau des chaînes des arguments        */
char *         envp[])  /* Tableau des chaînes des variables d'env. */
{
  int       i;

  for (i = 0; i < argc; i ++)
    printf ("Argument %d : \"%s\"\n", i, argv[i]);

  for (i = 0; envp[i] != NULL; i ++)
    printf ("Environnement %d : \"%s\"\n", i, envp[i]);

  return (0);
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS BORDEAUX

La fonction `main` (4)

- Les petits programmes se servent rarement des variables d'environnement
  - On ne spécifie pas `envp` dans la définition de `main`
  - Pas de problème car c'est le dernier argument, stocké au fond de la pile d'appel
- Format usuel de la fonction `main`

```
int
main (
int              argc,      /* Nombre d'arguments y compris le nom  */
char *           argv[])    /* Tableau des chaînes des arguments    */
{
  ...
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Visibilité des variables (1)

- Une variable déclarée en dehors du corps d'une fonction est visible de toutes les fonctions du fichier dans lequel elle est déclarée (variable globale au fichier)

```
int i;                       /* Variable visible dans tout le fichier */

f ()
{
  i = 4;                     /* On la voit et on l'utilise ici */
}

main ()
{
  i = 3;                     /* On la voit et on l'utilise ici */
  f ();
  printf ("%d", i);
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Visibilité des variables (2)

- Une variable déclarée à l'intérieur du corps d'une fonction ou d'un bloc d'instructions n'est visible qu'à l'intérieur du corps du bloc

```
f () {
  int  i;                     /* Une première variable locale i */
  i = 4;
}
g () {
  int  i;                     /* Une autre, différente de la première */
  i = 6;
}
main ()
{
  f ();                       /* Ici, on ne voit ni l'une, ni l'autre */
  g ();
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Visibilité des variables (3)

- Lorsqu'une variable locale a le même nom qu'une variable globale, celle-ci est masquée à l'intérieur du bloc où la variable locale est définie

```
int i;                  /* Variable globale au fichier */

f () {
  int  i;               /* Variable locale de même nom, qui la masque */
  i = 4;                /* Ici, on utilise donc la variable locale    */
}

main ()
{
  i = 3;                /* Ici, c'est la variable globale que l'on voit */
  f ();
  printf ("%d\n", i); /* On affiche donc "3" */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Portée des variables (1)

- Une variable locale n'existe qu'à l'intérieur du bloc dans lequel elle est définie
  - L'espace pour la variable est alloué dans la pile lors de l'entrée dans le bloc, et libéré à la sortie du bloc
  - En dehors du bloc, cet espace mémoire peut être utilisé pour stocker d'autres variables locales d'autres blocs
- Il ne faut pas référencer une variable locale à l'extérieur du contexte de pile où elle est définie
  - Le compilateur peut émettre un avertissement lorsqu'on renvoie l'adresse d'une variable locale

© 2004, 2005 F. Pellegrini

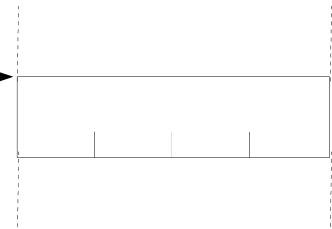
Portée des variables (2)

```
void
g ()
{
  int   j;
  j = 5;
}
int *
f ()
{
  int   i;
  i = 4;
  return (&i);   /* Pas bon */
}
int
main ()
{
  int *    varptr;
  varptr = f ();
  g ();
  printf ("%d\n", *varptr);
}
```

Avant l'appel de f :

Pointeur de pile courant

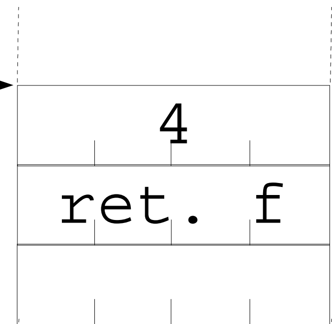
varptr



À l'intérieur de f :

Pointeur de pile courant

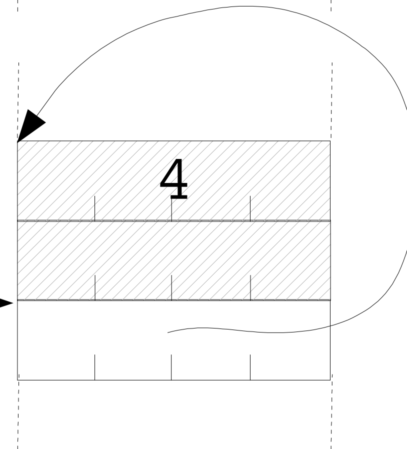
i



varptr

Après l'appel de f :

Espace mémoire non garanti !



Pointeur de pile courant

varptr

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Portée des variables (3)

- Une variable locale doit donc être initialisée à chaque entrée dans le bloc qui la contient
  - Le compilateur peut émettre un avertissement si ce n'est pas le cas

```
int
f () {
  int  i = 1;      /* Variable allouée et initialisée à l'exécution */
  return (i ++);  /* L'incrémentation sera perdue au retour de f   */
}
main ()
{
  printf ("f : %d fois\n", f ()); /* Affiche "1"        */
  printf ("f : %d fois\n", f ()); /* Affiche "1" aussi ! */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Portée des variables (4)

- Le mot clé `static`, utilisé pour qualifier une variable locale, étend sa portée à la durée du programme
  - Allouée dans le tas et pas dans la pile
  - Visibilité toujours limitée au bloc où elle est définie

```
int
f () {
  static int  i = 1;   /* Allouée et initialisée à la compilation */
  return (i ++);       /* L'incrémentation sera conservée         */
}
main ()
{
  printf ("f : %d fois\n", f ()); /* Affiche "1" */
  printf ("f : %d fois\n", f ()); /* Affiche "2" */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Portée des variables (5)

```
void
g ()
{
  int   j;
  j = 5;
}
int *
f ()
{
  static int   i;    /* i est déclarée dans le tas et pas la pile */
  i = 4;
  return (&i);       /* Plus de problème à écrire cela */
}
int
main ()
{
  int *    varptr;
  varptr = f ();
  g ();
  printf ("%d\n", *varptr);
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Portée des variables (6)

- Pour une variable statique, l'initialisation à la déclaration a un sens particulier

```
int
f () {
  static int  i = 1; /* Allouée et initialisée à la compilation */
  return (i ++);     /* L'incrémentation sera conservée         */
}

g () {
  static int  i;     /* Allouée à la compilation              */
  i = 1;             /* Initialisée à l'exécution             */
  return (i ++);     /* L'incrémentation ne sera pas conservée */
}

h () {
  int  i = 1;        /* Allouée et initialisée à l'exécution   */
  return (i ++);     /* L'incrémentation ne sera pas conservée */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Allocation dynamique

- On a souvent besoin d'utiliser de la mémoire qu'on ne peut pas réserver à l'avance parce qu'on n'en connait pas la taille à la compilation
  - Données lues à partir d'un fichier, du clavier, etc.
- Nécessité de pouvoir réserver dynamiquement de la mémoire dans le tas à l'exécution
- Le tas contient donc de la mémoire
  - Réservée et initialisée à la compilation
  - Réservée à la compilation mais non initialisée
  - Non réservée (tout le reste, jusqu'à la pile)

© 2004, 2005 F. Pellegrini

La fonction `malloc` (1)

- Permet de réserver un certain nombre d'octets dans le tas
  - On passe en paramètre le nombre d'**octets** souhaités (utiliser l'opérateur `sizeof` pour calculer la taille à partir du nombre d'objets)
  - La fonction renvoie un pointeur sur le début de la zone allouée, ou `NULL` si plus de mémoire

```
int      tabnbr;            /* Nombre d'éléments dans le tableau   */
int *    tabptr;            /* Pointeur sur le tableau des éléments */
printf ("Entrez le nombre d'éléments : ");
scanf  ("%d", &tabnbr);     /* Lecture du nombre d'éléments */
tabptr = malloc (tabnbr * sizeof (int)); /* Allocation   */
for (i = 0; i < tabnbr; i ++) /* Chargement des éléments */
  scanf ("%d", &tabptr[i]);
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

La fonction `malloc` (2)

- Il est important de tester la valeur de retour de la fonction `malloc` pour détecter au plus tôt les problèmes
  - Test avec traitement d'erreur dans le cadre du déroulement du programme
  - Assertion avec la macro `assert`

```
if ((tabptr = malloc (tabnbr * sizeof (int)) == NULL) {
  ...                           /* Gestion de l'erreur */
}
```

```
tabptr = malloc (tabnbr * sizeof (int));
assert (tabptr != NULL);     /* Termine le programme si pas vrai */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

La fonction `free`

- Permet de libérer une zone mémoire allouée avec `malloc`
  - Ne pas utiliser avec les zones non allouées par `malloc`
  - Ne pas appeler `free` plusieurs fois sur la même zone

```
free (tabptr);
```

- Afin d'éviter les fuites mémoire, il est préférable d'appeler free dès que la zone mémoire considérée n'est plus utilisée

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Erreurs avec l'allocation dynamique (1)

- L'allocation dynamique est un mécanisme fragile
  - Blocs libres et occupés chaînés par des pointeurs situés avant et après chaque bloc, facilement corrompus en cas d'écriture en dehors des bornes
  - Pas de vérifications de cohérence afin de conserver l'efficacité des routines
- Les erreurs peuvent n'être détectées que longtemps après l'instruction qui les cause
  - *Segmentation fault* dans un `malloc` parce que le `free` précédent s'est fait sur un bloc corrompu

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Erreurs avec l'allocation dynamique (2)

- Existence de bibliothèques et d'outils destinés à détecter les erreurs d'accès à la mémoire
  - Bibliothèques de gestion mémoire instrumentées pour détecter les écritures en dehors des bornes
    - Nécessité de compiler spécifiquement avec ces bibliothèques ou positionnement de variables d'environnement pour certaines autres (variable MALLOC_CHECK sous Linux)
  - Outils de vérification dynamique de chaque accès mémoire lors de l'exécution, tels que Purify
    - Nécessite une compilation particulière
    - Très bon mais cher (voir aussi ElectricFence, Valgrind, ...)

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Types énumérés (1)

- Une énumération est un sous-ensemble du type `int` auquel est associé un nombre fini de valeurs symboliques

```
enum Feu_ {                   /* Nom de l'énumération        */
  FEU_VERT,                   /* Constantes symboliques      */
  FEU_ORANGE,                 /* En majuscules de préférence */
  FEU_ROUGE
} ;                           /* Ici le ";" est obligatoire */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Types énumérés (2)

- On définit des variables de types énumérés comme des variables de types simples

```
  enum Feu_ f1, f2;
```

- On peut aussi définir des variables lors de la définition de la structure

```
enum Feu_ {
  FEU_VERT,
  FEU_ORANGE,
  FEU_ROUGE
} f1, f2;                    /* Voilà pourquoi le ";"...  */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Types énumérés (3)

- On utilise les valeurs symboliques comme des constantes numériques

```
switch (f1) {
  case FEU_VERT :
    je_passe ();
    break;
  case FEU_ORANGE :
    if (trop_pres ()) {
      je_passe ();
      break;
    }
  default :             /* FEU_ROUGE */
    je_stoppe ();
}

if (f2 == FEU_ORANGE)
  ...
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Types énumérés (4)

- Par défaut, les constantes sont numérotées consécutivement à partir de 0
- On peut spécifier explicitement leur valeur au moyen de l'opérateur « = »

```
enum Premiers10_ {
  UN = 1,            /* Cette constante vaut 1 et pas 0     */
  DEUX,              /* On numérote consécutivement, donc 2 */
  TROIS,             /* Pareil : celle-là vaut 3            */
  CINQ = 5,          /* Celle-ci vaut 5                     */
  SEPT = 7           /* Et celle-là vaut 7                  */
} ;
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Types structurés

- Les types structurés permettent de regrouper au sein d'une même entité des variables ayant entre elles des liens fonctionnels
  - Un type structuré est défini par la liste des variables qu'il contient, appelées « champs »
- Ils améliorent la concision et la lisibilité des programmes
  - Simplifient la définition des variables
  - Simplifient le passage de paramètres

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Structure (1)

- Définie par le mot clé `struct`, suivi du nom donné à la structure et de la liste de ses champs, entre accolades

```
struct Point_ {
  double            x, y, z;    /* Coordonnées spatiales */
} ;

struct Planete_ {
  int               type;       /* Type de planétoïde        */
  double            m;          /* Masse du planétoïde       */
  struct Point_     pos;        /* Position du planétoïde    */
} ;                             /* Ici le ";" est obligatoire */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Structure (2)

- On définit les variables de types structurés comme les variables de types simples

```
struct Planète_ p1, p2;
```

- On peut aussi définir des variables lors de la définition de la structure

```
struct Planete_ {
  int             type;        /* Type de planétoïde       */
  double          m;           /* Masse du planétoïde      */
  struct Point_   pos;         /* Position du planétoïde   */
} p1, p2;                      /* Voilà pourquoi le ";"... */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Structure (3)

- On accède aux champs d'une structure au moyen de l'opérateur « . »

```
struct Planete_ plandat;
double          masse;

plandat.m      = 1e30;
plandat.pos.x = 12.34;
plandat.pos.y = 56.78;
plandat.pos.z = 90.12;
...
masse = plandat.m;
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Structure (4)

- On accède aux champs d'une référence de structure au moyen de l'opérateur « -> »

`sptr->champ` ⇔ `(*sptr).champ`

```
struct Planete_ * planptr;
double            masse;

planptr->m     = 1e30;  /* planptr est une référence, donc "->" */
planptr->pos.x = 12.34; /* planptr->pos est un struct Point_ ,  */
planptr->pos.y = 56.78; /* donc on utilise "."                  */
planptr->pos.z = 90.12;
...
masse = planptr->m;
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Structure (5)

- On peut utiliser les variables de type structure comme des variables de types simples

```
struct Planete_ p1, p2;
p1.pos.x = 12.34;
p2       = p1;  /* Équivalent à une copie mémoire entre zones */
```

- On peut initialiser des structures en utilisant les accolades pour chaque structure et sous-structure

```
struct Planete_ p1 = { 1, 1e30, { 12.34, 56.78, 90.12 } };
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Structure (6)

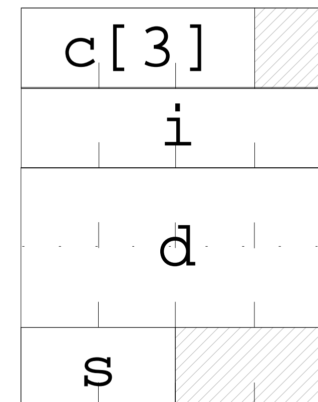
- Pour passer des types structurés en paramètres d'une fonction, il faut mieux utiliser le passage par référence
  - Pas de recopie de l'intégralité des structures dans la pile lors de l'appel

```
void
planeteAffiche (
struct Planete_ *   planptr)
{
  printf ("Type : %d\nMasse : %lf\nPosition : (%lf,%lf,%lf)\n",
          planptr->type, planptr->masse,
          planptr->pos.x, planptr->pos.y, planptr->pos.z);
}
...
  planeteAffiche (&plandat);
```

Structure (7)

- Les données de la structure sont placées les unes après les autres en mémoire dans l'ordre dans lesquelles elles sont définies, aux alignements de types près
  - La taille de la structure peut être supérieure à la somme des tailles de ses membres
  - La taille d'une structure peut varier selon la machine

```
struct Brol_ {
  char      c[3];
  int       i;
  double    d;
  short     s;
}
```

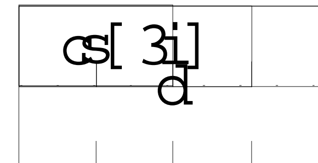


© 2004, 2005 F. Pellegrini

Union (1)

- Définie par le mot clé `union`, suivi du nom donné à la structure et de la liste de ses champs, entre accolades
- Analogue à la structure, sauf que les données partagent le même espace mémoire
  - Sert à stocker différents types de données dans le même objet sans consommer d'espace inutile

```
union Brol_ {
  char      c[3];
  int       i;
  double    d;
  short     s;
}
```



© 2004, 2005 F. Pellegrini

Union (2)

```
enum Type_ {
  TYPE_ENTIER,
  TYPE_FLOTTANT
} ;
struct Valeur_ {
  enum Type_    type;
  union {
    int         i;
    double      d;
  }             val;
} ;
...
  switch (valptr->type) {  /* valptr est de type struct Valeur_ * */
    case TYPE_ENTIER :
      printf ("%d", valptr->val.i);
      break;
    case TYPE_FLOTTANT :
      printf ("%lf", valptr->val.d);
      break;
  }
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Définition de types (1)

- On définit un nouveau type au moyen du mot clé `typedef`

```
typedef ancien_type nouveau_type
```

- Permet de dissocier la définition des variables de leur implémentation
  - Typage fonctionnel et non plus matériel

```
typedef float Age;      /* Définition : un Age est un float */

main ()
{
  Age      a;           /* On déclare a comme un Age   */
  a = 18.5;             /* On utilise a comme un float */
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Définition de types (2)

- `typedef` permet de cacher l'implémentation du nouveau type ainsi défini (type simple, structure, union ou énumération)

```
struct Point_ {             /* Définition et ommage de la structure */
  double    x;
  double    y;
};

typedef struct Point_ Point; /* Définition du type */

main ()
{
  Point    p;   /* Définition d'un point; ne sait pas ce que c'est */
  p.x = 12.34;
  p.y = 45.67;
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Définition de types (3)

- On peut effectuer la définition de la structure et du type en même temps

```
typedef struct Point_ {  /* Définition de la structure */
  double    x;
  double    y;
} Point;                 /* Nommage du type */

typedef enum Booleen_ {
  FAUX,
  VRAI
} Booleen;

typedef struct Cellule_ {
  struct Cellule_ *  precptr; /* "struct" car type pas défini */
  struct Cellule_ *  suivptr;
  CelluleDonnées     celldat;
} Cellule;                    /* À partir d'ici le type est défini */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Préprocesseur

- La phase de compilation proprement dite (`cc1`) est toujours précédée d'une phase de pré-traitement (« *preprocessing* », `cpp`)
- Le préprocesseur reçoit en entrée le flot de caractères du fichier source `.c` et renvoie en sortie un flot de caractères modifié en fonction des directives qu'il y trouve
  - « `gcc -E` » permet de voir ce que renvoie `cpp`
- Les directives du préprocesseur commencent par un « # » situé en premier caractère

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#include` (1)

- La directive `#include` remplace la ligne qui la contient par le contenu du fichier spécifié
- Deux formes
  - `#include <fichier>` : inclusion de fichier fourni par le système, en général à partir du répertoire système `/usr/include`
  - `#include "fichier"` : inclusion de fichier fourni par l'utilisateur, en général à partir du répertoire courant
    - Les autres répertoires dans lesquels chercher le fichier sont définis au moyen de l'option « `-I` » du compilateur

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#include` (2)

- Les fichiers d'en-tête fournis par le système permettent d'interfacer les programmes d'application avec le système d'exploitation
  - Constituent l'API de la bibliothèque `libc`
  - Respectent maintenant la norme Posix

```
#include <stdio.h>  /* Définition de FILE, stdin, printf ...        */
#include <stdlib.h> /* Définition de random, malloc, exit ...       */
#include <math.h>   /* Définition de PI, E, cos, atan ...           */
#include <ctype.h>  /* Définition de isupper, toupper, isalpha ... */
#include <limits.h> /* Définition des tailles de int, long ...      */
#include <stdarg.h> /* Définition des fcts à arguments variables   */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Inclusion de fichiers (1)

- L'inclusion de fichiers est nécessaire à la programmation par contrat
  - En plus du code binaire des bibliothèques qu'on utilise, il faut disposer des prototypes des fonctions pour que le compilateur puisse générer les appels
  - Ces prototypes doivent être définis dans tout fichier « `.c` » qui appelle les fonctions
  - Nécessité de les inclure à partir d'un fichier spécifique fourni avec la bibliothèque
- Définition de fichiers d'en-tête (« *headers* ») d'extension « `.h` »

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Inclusion de fichiers (2)

- Les fichiers d'en-tête contiennent :
  - Des définitions de constantes et de macros
  - Des définitions de types
  - Des prototypes de fonctions
- Ils ne doivent pas contenir d'autres inclusions de fichiers d'en-tête
  - Solution de facilité génératrice d'erreurs
  - On doit pouvoir voir quels fichiers « `.h` » sont utilisés dans un fichier « `.c` »
  - Réservé aux fichiers système...

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Inclusion de fichiers (3)

- Lorsqu'on crée un module « `.c` », on a en fait besoin de deux fichiers d'en-tête « `.h` » :
  - Un fichier « `.h` » interne, contenant les définitions et prototypes nécessaires aux fonctions internes au module
    - Fichier « `module_private.h` »
  - Un fichier « `.h` » externe, contenant les définitions et prototypes de l'interface du module vis-à-vis des modules clients
    - Fichier « `module.h` »
- Pour les modules internes, on les fusionne

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#define` (1)

- La directive `#define` permet de définir des macros, avec ou sans paramètres
  - Lorsque le préprocesseur reconnaît le nom d'une macro, il la remplace par sa défintion

```
#define PI            3.1415926L
#define PISUR4        (PI/4.0L)
...
  if (f () <= PISUR4) {
    ...
  }
```

- Une macro n'est pas une construction du langage C ; il ne faut pas de « ; » à la fin

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#define` (2)

- Lors de la définition d'une macro avec paramètres, il faut coller la parenthèse ouvrante au nom de la macro
  - Les arguments sont remplacés textuellement
  - Vérifications de syntaxe à la compilation seulement

```
#define MIN(a,b)  (((a)<(b))?(a):(b))  /* a et b pas des variables */
...
  a = MIN (i, j);   /* Le a ici n'est pas le a de la macro */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#define` (3)

- Le nommage des macros comme des fonctions est pratique, mais peut être dangereux à cause des effets de bords

```
#define MIN(a,b)  (((a)<(b))?(a):(b))  /* a et b pas des variables */
...
  a = MIN (b ++, c ++); /* Donne ((b ++)<(c ++))?(b ++):(c ++)) */
```

- Les identifiants des macros doivent êtres entièrement en majuscules pour les différencier des fonctions classiques

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#define` (4)

- Une définition peut s'étendre sur plusieurs lignes
- Lors du remplacement textuel des arguments, la directive « ## » permet de joindre les deux termes accolés pour faire un seul identifiant

```
#define FONCTIONPLUS(type)                    \
type                                          \
plus_##type (                                 \
type a,                                       \
type b)                                       \
{                                             \
  return (a + b);                             \
}
...
FONCTIONPLUS (int)          /* Crée la fonction plus_int ()   */
FONCTIONPLUS (float)        /* Crée la fonction plus_float () */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#undef` (1)

- La directive `#undef` permet de supprimer une définition de macro
- Une fois la macro supprimée, l'identificateur correspondant à la macro ne fait plus l'objet d'aucun remplacement de la part du préprocesseur

```
#undef FONCTIONPLUS
...
FONCTIONPLUS (int)      /* Donne : "FONCTIONPLUS (int)"   */
FONCTIONPLUS (float)    /* Donne : "FONCTIONPLUS (float)" */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#ifdef` (1)

- La directive `#ifdef` permet de fournir ou non certaines parties du code au compilateur en fonction de la définition ou non d'une macro
- Format
  - `#ifdef` ... `#endif`
  - `#ifdef` ... `#else` ... `#endif`

```
#ifdef TYPE_LONG
typedef ENTIER long
#define additionne additione_long
#else /* TYPE_LONG */       /* On le met pour faciliter la lecture */
typedef ENTIER int
#define additionne additionne_int
#endif /* TYPE_LONG */      /* Et ici aussi */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#ifdef` (2)

- La sélection du `#endif` ou du `#else` correspondant à un `#ifdef` se fait en prenant le premier rencontré

```
#ifdef COND1
#ifdef COND2                /* Ceci ne marche pas...                  */
#endif /* COND1 */          /* Ce "#endif" va avec "#ifdef COND2" */
...
#ifdef COND1
#endif /* COND2 */
#endif /* COND1 */
```

Directive `#if` (1)

- La directive `#if` remplit la même fonction que la directive `#ifdef` mais elle se base sur l'évaluation d´une expression logique mêlant macros et constantes numériques

```
#define VERSION 2.0
#define TAILLE_INT      8

...

#if ((VERSION >= 1.3) || (TAILLE_INT == 8))
typedef ENTIER      int
...
#endif /* ((VERSION >= 1.3) || (TAILLE_INT == 8)) */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Directive `#if` (2)

- Au sein de l'expression logique évaluée par une directive `#if`, le mot-clé « `defined` » permet de tester l'existence d'une macro

`#ifdef` ⇔ `#if defined`

```
#define VERSION 2.0
#define DEBUG

...

#if ((VERSION > 1.0) && (! defined DEBUG))
#undef assert
#define assert(expr)   ()
#endif /* ((VERSION > 1.0) || (! defined DEBUG)) */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Définition par la ligne de commande

- Les macros peuvent être définies ou supprimées :
  - À l'intérieur des fichiers d'en-tête
    - Options de configuration positionnées par le développeur pour une utilisation optimale ou par défaut de son module
  - Au moment de la compilation
    - Options « `-Dnom` », « `-Dnom=valeur` », « `-Unom` » de la ligne de commande de `gcc`, par exemple

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Compilation multi-fichiers (1)

- Trois étapes distinctes s'enchaînent au cours de la compilation
  - Pré-traitement du code source (`cpp`)
    - Inclusion de sous-fichiers
    - Remplacement de macros
  - Compilation du code source pré-traité (`cc`)
    - On a un fichier objet pour chaque fichier source compilé
  - Édition de liens (`ld`)
    - Fusion de tous les fichiers objets pour créer le programme binaire exécutable

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Compilation multi-fichiers (2)

- Schéma réel

Fichiers de code source en langage C

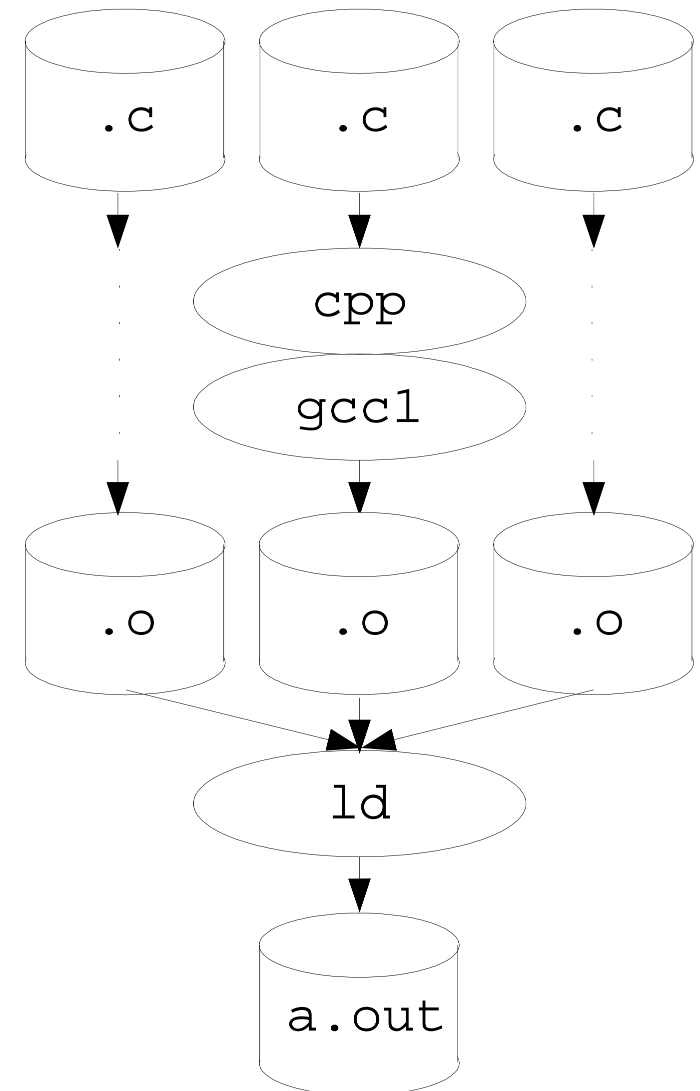
Préprocesseur

Compilateur proprement dit

Fichiers objet

Éditeur de liens (*linker*)

Fichier exécutable



© 2004, 2005 F. Pellegrini

Compilation multi-fichiers (3)

- On limite la compilation à la seule production d'un fichier objet « `.o` » au moyen de l'option « `-c` » du compilateur
- Pour effectuer l'édition de liens, on peut aussi passer par le compilateur, en lui fournissant en entrée la liste des fichiers « `.o` » à lier

```
% gcc -c brol.c -o brol.o
% gcc -c trol.c -o trol.o
% gcc -c chmol.c -o chmol.o
% gcc brol.o trol.o chmol.o -o brol
```

- On peut automatiser la compilation en utilisant un script ou le programme `make`

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Compilation multi-fichiers (4)

- Pour les gros projets organisés en sous-répertoires, il faut pouvoir inclure les fichiers d'en-tête et les bibliothèques provenant d'autres répertoires
- L'option « `-I` » du compilateur permet d'augmenter la liste des répertoires dans lesquels chercher les fichiers d'en-tête
- L'option « `-L` » du compilateur permet d'augmenter la liste des répertoires dans lesquels chercher les fichiers de bibliothèques

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables globales (1)

- Par défaut, une variable déclarée en dehors d'une fonction est visible dans tout le programme
  - C'est une variable globale car sa portée est globale
  - Mais les autres fichiers ne savent pas qu'elle existe...
- Il y a conflit à l'édition de liens si deux fichiers « `.c` » possèdent chacun une variable globale de même nom
  - Deux déclarations
  - Mais surtout deux définitions !

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables globales privées

- Pour empêcher qu'une variable globale d'un fichier ne puisse être vue d'un autre fichier, on la déclare avec le qualificatif « `static` »
  - Évite les risques de conflits de nommage entre variables de modules différents
  - C'est un autre sens de « `static` », différent de celui utilisé pour les variables locales, car les variables globales sont de toute façon toujours allouées dans le tas

```
static int compteur = 0;     /* Compteur global au fichier */
int f () {
  return (compteur ++);
}
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables globales partagées (1)

- Pour que plusieurs modules utilisent la même variable globale, il faut que :
  - Chaque module la déclare, pour que le compilateur puisse la connaître à chaque fois
  - Un seul module la définisse
- La déclaration sans définition d'une variable globale se fait avec le qualificatif « `extern` »

brol.c

```
int    i;             /* Déclarée et définie */
```

trol.c

```
extern int    i;      /* Déclarée mais pas définie */
...
  i = 3;              /* C'est bien le "i" de brol.c qu'on modifie */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Variables globales partagées (2)

- Toute variable globale doit appartenir à un module, qui offre l'accès à cette variable
  - Déclaration de la variable comme « `extern` » dans le fichier « `.h` » du module
  - Définition de la variable (sans « extern ») dans le fichier « `.c` » du module

brol.h
```
extern int    i;       /* Déclaration de la variable */
```

brol.c
```
#include "brol.h"
...
int   i;               /* Définition de la variable déjà déclarée */
```

trol.c
```
#include "brol.h"
...
  i = 3;               /* Utilisation de la variable */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonctions privées

- Pour empêcher qu'une fonction d'un fichier ne puisse être vue d'un autre fichier, on la déclare avec le qualificatif « `static` »
  - Évite les risques de conflits de nommage entre fonctions de modules différents

```
static
int
factorielle2 (
int            n)
{
  return ((n < 2) ? 1 : (n * factorielle2 (n - 1)));
}
int
factorielle (
int            n)
{ return ((n < 0) ? -1 : factorielle2 (n)); }
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS BORDEAUX

Manipulation des fichiers (1)

- La manipulation des fichiers s'effectue au moyen de fonctions normalisées de la `libc`
- Fonction d'ouverture d'un fichier
  - Prend un chemin dans le système de fichiers et renvoie un descripteur identifiant de façon unique le fichier ouvert au sein du processus
- Fonctions de lecture/écriture/positionnement
  - Utilisent le descripteur
- Fonction de fermeture
  - Clôt le fichier et inactive le descripteur

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Manipulation des fichiers (2)

- Fonctions de bas niveau
  - Manipulent des descripteurs de fichiers (« *file descriptors* ») de type `int`
  - Fonctions `open`, `close`, `read`, `write`, `lseek` ...
  - Non bufferisées : 1 appel = 1 appel système
- Fonctions de haut niveau
  - Manipulent des pointeurs de flots de type `FILE *`
  - Fonctions : `fopen`, `fclose`, `fread`, `fscanf`, `fwrite`, `fprintf`, `fseek`, `fflush` ...
  - Bufferisées : groupage des appels systèmes

Fonction `fopen` (1)

- Format
  - fp = `fopen` ("chemin", "mode")
  - fp = `fopen` ("chemin", "mode", droits)
- Le mode peut être :
  - `"r"` : lecture seule d'un fichier préexistant
  - `"r+"` : lecture/écriture d'un fichier préexistant
  - `"w"` : écriture seule d'un fichier nouveau/tronqué
  - `"w+"` : lecture/écriture d'un fichier nouveau/existant
  - `"a"` : ajout : écritures valides à la fin seulement

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB — ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS BORDEAUX

Fonction `fopen` (2)

- Si le fichier n'existe pas déjà, le champ `droits` spécifie les droits du nouveau fichier
  - Notation octale : `0644`, `0600`, `0755`, etc.
- La fonction `fopen` renvoie un pointeur sur une structure `FILE`, définie dans `<stdio.h>`

```
#include <stdio.h>
...
  FILE *    fp;
...
  if ((fp = fopen ("../config", "r+")) == NULL) {
    printf ("Impossible d'ouvrir le fichier de configuration\n");
    return (1);
  }
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonction `fclose`

- Format
  - `fclose` (fp)
- Sert à fermer le flot associé au pointeur
- Toujours fermer un flot dès qu'on le peut
  - Nombre limité de flots ouverts par processus
- Toujours ne le fermer qu'une seule fois

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonctions `fread` et `fwrite`

- Format
  - nbrlu = `fread` (ptr, taille, nbr, flot)
  - nbrécrit = `fwrite` (ptr, taille, nbr, flot)
- Servent à lire et écrire des blocs de `taille` octets en mémoire à partir de l'adresse `ptr`

```
  Mastruct * sttab;
  int        stnbr;
  FILE *     fp;
...
  if (fwrite (sttab, sizeof (Mastruct), stnbr, fp) < stnbr) {
    printf ("Impossible de sauvegarder le vecteur\n");
    fclose (fp);
    return (1);
  }
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Fonctions `fscanf` et `fprintf`

- Format
  - `fscanf` (fp, "format", argument1, argument2, ...)
  - `fprintf` (fp, "format", argument1, argument2, ...)
- Fonctionnement analogue à celui de `scanf` et `printf`, mais opèrent à partir d'un flot

```
  int    datanbr;                /* Nombre d'éléments              */
  int    datatab[TAILLEMAX};     /* Tableau d'au moins ce nombre */
...
  if ((fscanf (fp, "%d", &datanbr) < 0) ||
      (datanbr < 0)                     ||
      (datanbr > TAILLEMAX)) {
    ...
  for (i = 0; i < datanbr; i ++)
    if (fscanf (fp, "%d", &datatab[i]) < 0) ...
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Pointeurs de flots standards

- Trois pointeurs de flots standards existent au démarrage de tout processus
  - `stdin` : flot standard d'entrée (clavier)

    `scanf (...` ⇔ `fscanf (stdin, ...`
  - `stdout` : flot standard de sortie (écran)

    `printf (...` ⇔ `fprintf (stdout, ...`
  - `stderr` : flot standard d'erreur (écran aussi)
- Fermés automatiquement à la terminaison du processus

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Conventions de codage (1)

- Un module consiste en la définition d'un ou plusieurs fichiers « `.c` » possédant tous le même nom de base, représentatif du service rendu par le module
  - Par exemple pour un module de gestion de matrices, on pourra avoir : `matrice.c`, `matrice_es.c`, `matrice_addition.c`, `matrice_verifie.c`, etc.
- À chaque module doit correspondre un fichier d'en-tête externe donnant l'API du module
  - Par exemple : `matrice.h`

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Conventions de codage (2)

- Lorsque, dans un module, on définit un type, les fonctions manipulant ce type doivent être préfixées par le nom du type suivi du type de la méthode appliquée
  - Exemple : pour le type `Matrice` dérivant de la structure `struct Matrice_`, on aura les fonctions `matriceInit`, `matriceLit`, `matriceEcrit`, `matriceVerifie`, etc.
- Il est préférable que ces noms de méthodes (`Init`, `Lit`, `Ecrit`, `Verifie`, etc.) soient normalisés pour le plus de types possibles

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Conventions de codage (3)

- Les fonctions prennent de préférence comme paramètre une référence sur le type, pour laisser à l'appelant la liberté de choisir le mode de stockage de ses objets

```
f ()
{
  Matrice   m1;             /* Structure allouée dans la pile      */
  Matrice * m2;             /* Pointeur pour allocation dans le tas */
  FILE *    fp1, * fp2;
...
  matriceLit (&m1, fp1);   /* La fonction marche */
...
  m2 = malloc (sizeof (Matrice));
  matriceLit (m2, fp2);    /* La fonction marche aussi */

  matriceEcrit (m2, stdout); /* Généricité par rapport aux flots */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Pointeurs de fonctions (1)

- Une fonction, comme tout objet manipulé par un programme, possède une adresse qui l'identifie de façon univoque
  - C'est l'adresse de début de la fonction, spécifiant l'emplacement en mémoire de la première instruction de la fonction
  - L'opération de base sur une fonction n'est pas la lecture/écriture du contenu mais l'exécution

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Pointeurs de fonctions (2)

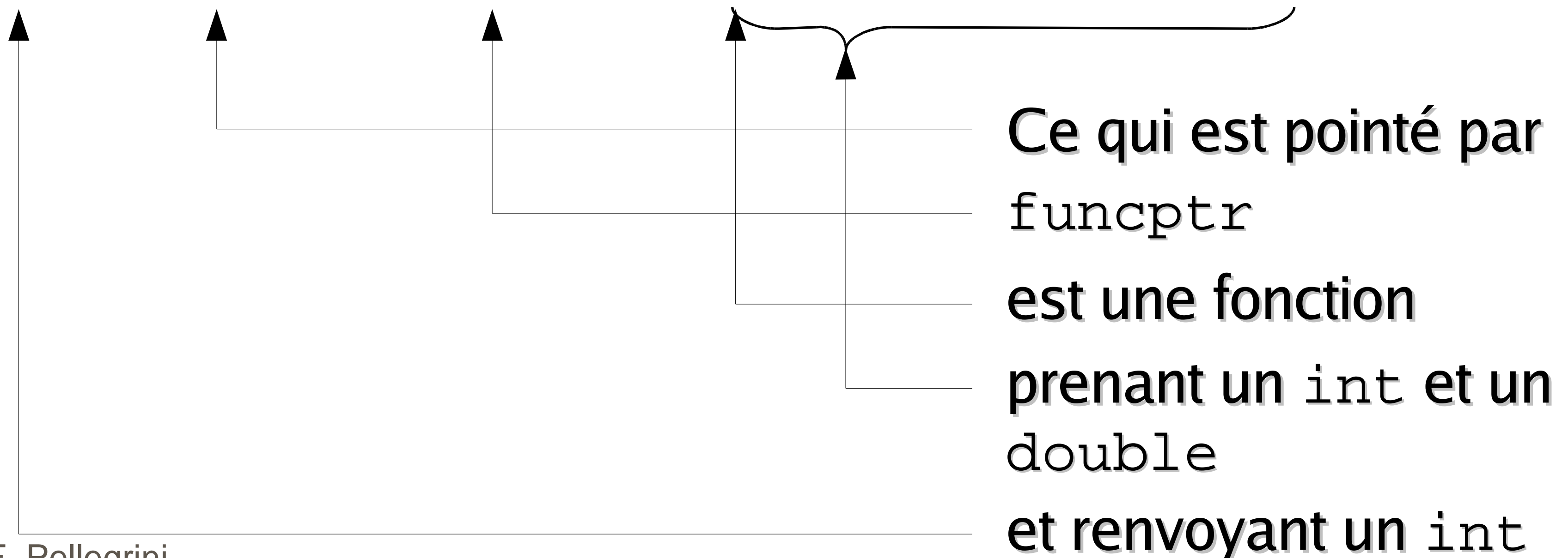
- Analogie tableaux/fonctions
  - Dans le cas des tableaux, `t[i]` représente la valeur retournée par la lecture de la `i`ème case du tableau, dont l'adresse de début est `t`
  - Dans le cas des fonctions, `f(i)` représente la valeur retournée par l'exécution, avec comme paramètre `i`, de la fonction dont l'adresse de début est `f`
- Dans certains langages, on ne différencie pas l'un de l'autre dans la syntaxe
  - Les parenthèses servent aux deux

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Pointeurs de fonctions (3)

- Comme pour les tableaux, on déclare un type pointeur de fonction en spécifiant le type de ce qui est renvoyé, ainsi que le type des arguments, au moyen de l'opérateur « * »

```
int (* funcptr) (int, double);
```



ENSEIRB — École Nationale Supérieure d'Électronique, Informatique & Radiocommunications, Bordeaux

Pointeurs de fonctions (4)

- Les parenthèses autour du « * » sont nécessaires à la définition
  - « `int (* funcptr) (int, double);` » définit un pointeur sur une fonction renvoyant un `int`
  - « `int * funcptr (int, double);` » définit le prototype d'une fonction renvoyant un pointeur d'`int`
- On lit toujours une déclaration en partant du nom de l'objet déclaré et en allant vers l'extérieur de la déclaration

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Pointeurs de fonctions (5)

```
typedef struct OpTable_ {                /* Type table d'opérations */
  char              typeval;
  double      (* funcptr) (double, double);
} OpTable;

OpTable optable[] = { { '+',  func_add }, /* Table d'opérations */
                      { '*',  func_mul },
                      { '\0', NULL } };   /* Fin de table */
main (
int         argc,
char *      argv[])
{
  double      v1, v2, r;
  int         i;

  for (i = 0; optable[i].typeval != '\0'; i ++) {
    if (optable[i].typeval == argv[2][0]) /* Si opération trouvée */
      printf ("%s %c %s = %lf\n",         /* Calcule le résultat  */
              argv[1], argv[2][0], argv[3],
              optable[i].funcptr (atof (argv[1]), atof (argv[3])));
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Précédence des opérateurs (2)

Opérateur	Signification	Associativité
( )	Parenthésage	G → D
[ ] -> .	Accès	G → D
! ~ ++ -- + -	Négation, inc/décrémentation, unaire	D → G
* & sizeof (type)	Dé/référencement, conversion	D → G
* / %	Mult/div/modulo	G → D
+ -	Addition/soustraction	G → D
<< >>	Décalage	G → D
< <= >= > == !=	Comparaison	G → D
& ^ |	Opérations booléennes	G → D
&& ||	Opérations logiques	G → D
? :	Opérateur ternaire	D → G
= += -= *= /= %= >>= <<= &= ^= |=	Affectation	D → G
,	Suite d'expressions	G → D

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Normes du langage C

- Normalisation du langage par l'ANSI
- Norme C78
- Norme C89
  - Nouvelle définition des fonctions (l'actuelle...)
  - Qualificatifs « `const` », « `volatile` »
- Norme C99
  - Types « `long long` », « `complex` »
  - Qualificatif « `restrict` »
  - Définitions dans les initialisations de boucles

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Qualificatif `const`

- Indique au compilateur que le contenu de la variable ne doit pas changer
  - Permet de vérifier que c'est le cas
  - Autorise des optimisations pour le compilateur

```
const int i = 12;    /* Création de constante sans le préprocesseur */

int    f (const int i, char * const p, const int * const q);

int
f (
const int           i,     /* i ne sera pas modifié dans la fonction  */
char * const        p,     /* p garanti constant mais pas son contenu */
const int * const q)     /* q et son contenu seront constants       */
{
  *p = 34;                 /* Écriture valide                        */
  *q = 56;                 /* Produira une erreur à la compilation */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS BORDEAUX

Qualificatif `volatile`

- Indique au compilateur que le contenu de la variable peut être modifié de façon asynchrone
  - Évite les optimisations du compilateur
  - Sert à l'écriture des programmes multi-threadés tels que les pilotes de périphériques

```
volatile int contval = 1;    /* Drapeau de continuation */
volatile int termval = 0;    /* Drapeau de terminaison  */

calcul () {                  /* Thread de calcul indépendante */
  while (contval == 1)       /* Tant qu'on peut continuer     */
    ...                      /* Effectue le calcul            */
  termval = 1;               /* Indique qu'on a terminé       */
}
...
  contval = 0;               /* Demande la terminaison du calcul    */
  while (termval == 0) ;     /* Attend la fin pour lire le résultat */
```

ENSEIRB
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE & RADIOCOMMUNICATIONS
BORDEAUX

Qualificatif `restrict`

- Indique au compilateur que ce qui est pointé par le pointeur ne pointe jamais au même endroit que d'autres pointeurs `restrict`
  - Permet les optimisations d'« *anti-aliasing* »
  - Programme faux si utilisé de façon incorrecte !

```
void
memcopy (
void *        dst,
void *        src,
int           nbr)
{
  char * restrict  s;
  char * restrict  d;    /* s et d ne pointent pas sur la même zone */
  for (d = dst, s = src; n > 0; n --)
    *dst ++ = *src ++;   /* Le compilateur peut optimiser la boucle */
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Ancienne définition des fonctions

- Dans l'ancienne norme C :
  - Le type des paramètres ne faisait pas partie de la définition des fonctions
  - Les prototypes n'acceptaient que le type de retour et pas le type des paramètres

```
void     memcopy ();          /* Prototype sans le type des arguments */
int   (* funcptr) ();         /* Pareil pour le pointeur de fonction  */

void
memcopy (dst, src, nbr)       /* Pas de types pour les paramètres */
void *        dst;            /* Paramètres définis après la ")"  */
void *        src;
int           nbr;
{                             /* Début de la fonction */
  ...
```

Bibliothèques (1)

- Lorsqu'on fournit un ensemble de fonctions rendant un ensemble cohérent de services, il serait préférable de grouper les fichiers objets associés sous la forme d'un unique fichier
  - Facilite la manipulation et la mise à jour
- Ce service est rendu par les fichiers de bibliothèque
  - Fichiers servant à archiver des fichiers objet
  - Utilisables par l'éditeur de liens

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Bibliothèques (2)

- Deux types de bibliothèques
  - Bibliothèques statiques
    - Format en « `lib*.a` » (Unix) ou « `*.lib` » (DOS)
    - Liées à l'exécutable lors de la compilation
      - Augmentent (parfois grandement) la taille des exécutables
      - On n'a plus besoin que de l'exécutable proprement dit
  - Bibliothèques dynamiques
    - Format en « `lib*.so` » (Unix, « *shared object* ») ou « `*.dll` » (Windows, « *dynamic loadable library* »)
    - Liées à l'exécutable lors de l'exécution
      - Permettent la mise à jour indépendante des bibliothèques
      - Problème si pas présentes (variable « `LD_LIBRARY_PATH` »)

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Bibliothèques (3)

- On crée les fichiers bibliothèques au moyen de programmes spécifiques
  - Programme « `ar` » sous Unix
    - Ajoute ou met à jour les fichiers objets de l'archive
  - Il est parfois nécessaire d'utiliser aussi « `ranlib` »
    - Liste et ordonne les symboles des fichiers objets pour faciliter le travail de l'éditeur de liens

```
% cd src/libbrol
% gcc -c brol.c -o brol.o
% gcc -c brol_io.c -o brol_io.o
% gcc -c brol_check.c -o brol_check.o
% gcc -c brol_compute.c -o brol_compute.o
% ar ruv libbrol.a brol.o brol_io.o brol_check.o brol_compute.o
% ranlib libbrol.a
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini

Bibliothèques (4)

- L'option « `-L` » du compilateur/éditeur de liens permet d'augmenter la liste des répertoires dans lesquels chercher les fichiers de bibliothèques
- L'option « `-lxxx` » du compilateur permet d'ajouter le fichier bibliothèque « `libxxx.a` » à la liste des fichiers consultés pour y trouver les symboles manquants, dans l'ordre dans lequel ces fichiers sont listés

```
% cd ../main/
% gcc main.c -o main -L../libbrol/ -lbrol -lm
```

© 2004, 2005 F. Pellegrini