

Rappels / remarques importants

- Écrire une fonction ne l'exécute pas ! Il faut l'appeler !
- Appel : nom + arguments entre parenthèses séparés par des virgules. :

```
...
v = twice (2) ;
v = square_minus (v, -v) + 42 ;
...
```

- Corps de la fonction uniquement exécuté lors de l'appel à la fonction.
- Paramètre formel : nom donné dans la définition de la fonction : i pour twice, x et y pour square_minus.
- Paramètre effectif : expression donnée à un paramètre formel lors de l'appel.
- Appel :
 - 1 Évaluation (calcul) des expressions arguments effectifs → valeurs.
 - 2 « Association » de chaque paramètre formel avec sa valeur.
 - 3 Calcul du corps de la fonction sous ces hypothèses d'association.
 - 4 Transmission à l'appelant de la valeur retournée par ce corps.

Les fonctions ne retournant « rien »

- Si pas d'argument : absence dans la définition, absence dans l'appel.
- Fonction retournant « rien » :
 - « Retourne » le type void.
 - Aucune expression après l'instruction return.
 - Dernière instruction return optionnelle.
 - return peut être nécessaire si plusieurs points de terminaison de la fonction.

```
int const_fun ()
{
    return (42) ;
}

void just_print (int i)
{
    printf ("I just print %d and %d\n", i, const_fun ()) ;
    return ;
}
```

Variables locales, variables globales

- On peut déclarer des variables locales dans une fonction.
- Plus généralement : déclaration de variables locales dans des blocs ({ ... }).
- Corps de la fonction ≡ bloc.
- ⇒ Vivantes seulement jusqu'à la fin de la fonction / du bloc.
- Variables globales (définies hors de fonctions) restent accessibles dans la fonction.

```
int glob = 5 ; /* Variable globale. */

int f (int x)
{
    int i = x * 2 ; /* Variable locale à la fonction f. */
    {
        int j = i + 5 ; /* Variable locale au bloc interne à f. */
        i = i + j ;
    } /* Fin du bloc: j n'est plus accessible. */
    return (i + 3 + glob) ;
}
```

Déclaration / prototype (1)

- Utilisation d'une fonction en **dehors de son fichier hôte** ?
- Utilisation d'une fonction **avant sa définition** ?

⇒ Son **type** doit être connu.

- Donner juste le type : **déclaration** ou « *prototype* » (et non définition).
- Rend visible par toute personne ayant accès à cette **déclaration**.
- Règle valable pour les autres types de variables.
- Déclaration d'une entité : son **nom** + son **type**.
- Déclaration :
 - Faite au « *oplevel* » d'un fichier d'en-tête (.h).
 - Utilisée via les directives #include.

Déclaration / prototype (2)

- Pour une fonction :
 - son type de retour,
 - son nom,
 - les types (et les noms optionnellement) de ses arguments.
- Pour une variable :
 - le mot clef **extern** (sinon ça serait une définition de variable!),
 - son type,
 - son nom.

```
/* Déclaration d'une variable (globale) entière. */  
extern int errno ;  
/* Déclaration de la fonction arc-tangente de y/x. */  
float atan2 (float y, float x) ;
```

- Indique « **comment** » utiliser la fonction.
- ... Mais pas ce qu'elle fait (et surtout pas comment).

Quelques fonctions déjà vues

- **printf** : affichage à l'écran.
 - Prototype un peu bizarre car nombre et types des arguments variables.
 - void printf (const char *restrict format, ...); ☹
- **main** : La fonction point d'entrée de tout programme.
 - int main ();
 - ★ Retourne un entier : le code de retour du programme.
 - ★ Ne prend pas d'argument.
 - int main (int argc, char *argv[]);
 - ★ Forme alternative : arguments en provenance de la ligne de commande.
 - ★ argc : **nombre d'entrées** dans argv.
 - ★ argv : tableau de **chaînes de caractères**.
 - ★ 1^{er} élément : **nom + chemin** de l'exécutable.
 - ★ Éléments suivants : arguments effectifs.
 - ★ Ex : > ./myprog 1 hop 4

⇒ argv =


0	1	2	3
"myprog"	"1"	"hop"	"4"

Une autre fonction : entrée au clavier avec scanf (1)

- Nécessite : `#include <stdio.h>`
- Lecture au clavier selon le format spécifié (séquences `%\b`).
- Si saisie pas en accord avec ce qu'attend le format : imprévisible.
- Format avec **uniquement** des `%` (pas de « message »).

```
input.c                                     mymac:/tmp$ gcc input.c -o input
#include <stdio.h>                          mymac:/tmp$ ./input
45 67
int main ()                                 i = 45, j = 67
{                                           mymac:/tmp$ ./input
  int i, j ;                                5
  scanf ("%d %d", &i, &j) ;                 FHG
  printf ("i = %d, j = %d\n", i, j);        i = 5, j = 0
  return (0) ;                               mymac:/tmp$ ./input
}                                             DFG 6
                                              i = 0, j = 0
```

Entrée au clavier avec scanf (2)

- **Pas de :**
`scanf ("Entrez l'âge du capitaine : %d\n", &age);`
- `scanf ("%d", &i) ;` 
- Pour le moment, **&** reste un peu « magique ».
- Sera approfondi ultérieurement.
- Idée : « à mettre devant une variable pour permettre sa modification par la fonction appelée (ici, `scanf`) ».
- Rem : la lecture de chaînes de caractères (`%s`) nécessite quelques explications ultérieures. On vivra sans pour le moment.

Appel(s) de fonction(s)

Déroulement d'un appel de fonction

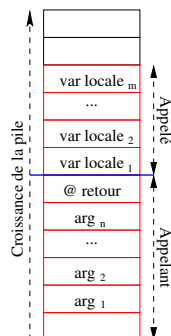
- Illustration sur le calcul de la racine carrée d'un réel a .
- Méthode itérative de Newton.
- \sqrt{a} donnée par $x_{n+1} = \frac{1}{2}(x_n + \frac{a}{x_n})$
- n : Nombre d'itérations (à fixer arbitrairement).
- $x_0 > 0$: Point de départ (à fixer arbitrairement).

Protocole d'appel

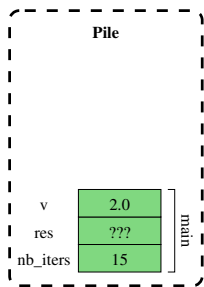
- Appeler une fonction c'est :
 - stocker la valeur de ses paramètres,
 - aller exécuter son code,
 - et en revenir avec le résultat.
- Différentes conventions d'appel selon les langages, les architectures.
- Principe restant majoritairement le même : utilisation de la **pile**.
- Différences dans « qui (appelant/appelé) fait quoi ».
- Différences dans l'agencement mémoire d'informations (registres vs pile).

Protocole d'appel de manière générique

- Côté appelant :
 - Évaluation des arguments à passer → mis sur la pile.
 - Adresse de retour mise sur la pile.
- Côté appelé :
 - Réservation des variables locales sur la pile.
 - Exécution du code.
 - Stockage de la valeur à retourner (en registre ou pile).
 - Aller ... à l'adresse de retour.
- Côté appelant :
 - Récupérer la valeur retournée par l'appelé.
 - Supprimer de la pile les arguments passés lors de l'appel.



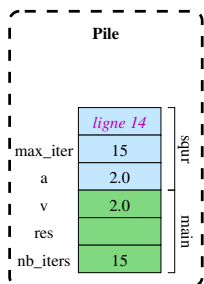
Déroulement d'un appel de fonction



```
1 #define X0 (3.0) // Germe: quelconque > 0
2
3 double squr (double a, int max_iter) {
4     int i ;
5     double xn = X0 ;
6     for (i = 0; i < max_iter; i++)
7         xn = 0.5 * (xn + (a / xn)) ;
8     return (xn) ;
9 }
10
11 int main () {
12     int nb_iters = 15 ;
13     double res, v = 2.0 ;
14     res = squr (v, nb_iters) ;
15     printf ("sqrt (%f) = %f\n", v, res) ;
16     return (0) ;
17 }
```

Définition et initialisation des variables locales de main

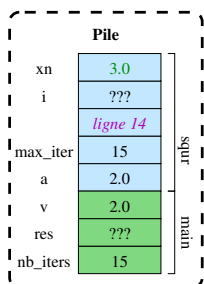
Déroulement d'un appel de fonction



```
1 #define X0 (3.0) // Germe: quelconque > 0
2
3 double squr (double a, int max_iter) {
4     int i ;
5     double xn = X0 ;
6     for (i = 0; i < max_iter; i++)
7         xn = 0.5 * (xn + (a / xn)) ;
8     return (xn) ;
9 }
10
11 int main () {
12     int nb_iters = 15 ;
13     double res, v = 2.0 ;
14     res = squr (v, nb_iters) ;
15     printf ("sqrt (%f) = %f\n", v, res) ;
16     return (0) ;
17 }
```

Appel de la fonction squr

Déroulement d'un appel de fonction



```
1 #define X0 (3.0) // Germe: quelconque > 0
2
3 double squr (double a, int max_iter) {
4     int i ;
5     double xn = X0 ;
6     for (i = 0; i < max_iter; i++)
7         xn = 0.5 * (xn + (a / xn)) ;
8     return (xn) ;
9 }
10
11 int main () {
12     int nb_iters = 15 ;
13     double res, v = 2.0 ;
14     res = squr (v, nb_iters) ;
15     printf ("sqrt (%f) = %f\n", v, res) ;
16     return (0) ;
17 }
```

Définition et initialisation des variables locales de squr

Fonctions (mutuellement) récursives

- En C, (comme dans beaucoup de langages) : toutes les fonctions sont **implicitement** mutuellement récursives (si besoin).
 - Mais la première définie doit « connaître » la (les) suivante(s).
- ⇒ Utilisation de **déclarations**.

```
#include <stdbool.h>
bool natural_even (unsigned int n) ; /* Décl. de natural_even. */
bool natural_odd (unsigned int n) ; /* Décl. de natural_odd. */

bool natural_even (unsigned int n) /* Déf. de natural_even. */
{
    if (n == 0) return (true) ;
    else return (natural_odd (n - 1)) ;
}

bool natural_odd (unsigned int n) /* Déf. de natural_odd. */
{
    if (n == 0) return (false) ;
    else return (natural_even (n - 1)) ;
}
```

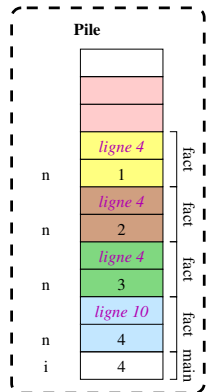
« Récursion, boucles, ça se termine quand ? »

- Pour obtenir un **résultat**, un calcul **doit terminer**.
- Boucle avec condition d'arrêt **toujours fausse** ⇒ boucle « infinie ».
- Récursion avec **cas de base** (≡ condition d'arrêt) **jamais atteint** ⇒ récursion « infinie ».
- Dans ces cas ... on peut attendre longtemps.
- La **terminaison** est une propriété **très importante**.

Comment s'assurer de la terminaison ?

- Pas de méthode automatique.
- Nécessite une **preuve de terminaison**.
- ⇒ Problème de raisonnement, pas de calcul.
- Intuition : démontrer que chaque appel récursif s'effectue sur un argument « plus petit »
 - ⇒ Nécessité d'un ordre < sur le domaine des arguments.
 - Ordre bien fondé : \nexists suite décroissante infinie.
- $\forall n \in \mathbb{N}$, fact (n) : si n == 0 alors 1 sinon n * fact (n - 1)
Facile : appel récursif sur n - 1 qui est bien < n.
- $Ack(m, n) = \begin{cases} n+1 & \text{Si } m=0 \\ Ack(m-1, 1) & \text{Si } m>0 \text{ et } n=0 \\ Ack(m-1, Ack(m, n-1)) & \text{Si } m>0 \text{ et } n>0 \end{cases}$
Nettement moins évident ! Mais elle termine (ordre lexicographique).

Déroulement d'appels de fonction récursive



```
1 unsigned int fact (unsigned int n)
2 {
3     if (n == 0) return (1) ;
4     ► else return (n * fact (n - 1)) ;
5 }
6
7 int main ()
8 {
9     unsigned int i = 4 ;
10    printf ("Fact(%d)=%d\n", i, fact (i)) ;
11    return (0) ;
12 }
```

État de la pile au retour de l'appel à fact avec l'argument 0.