Langage C

ENSTA - TC 1ère année

François Pessaux

U2IS

2016-2017

francois.pessaux@ensta-paristech.fr

Les fonctions

- Une fonction
  - Prend une ou des valeurs en argument.
  - Retourne une valeur.
- D'où, une fonction est définie par :
  - le type de la valeur qu'elle retourne,
  - son nom,
  - les types des paramètres qu'elle attend,
  - et son corps : la description du calcul qu'elle effectue, spécification exécutable.

Exemples

```
int twice (int i)
{
  return (i * 2) ;    // Corps: retourne bien un int.
}

float square_minus (float x, float y)
{
  float t = (x - y) ;  /* Variable locale t. */
  return (t * t) ;
}
```

- ⚠ Des virgules entre les paramètres ! Pas des points-virgules !

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 $\rightsquigarrow$ 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 « *toplevel* » 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.
    - ★ 1er élément : nom + chemin de l'excutable.
    - ★ Éléments suivants : arguments effectifs.
    - ★ Ex : `> ./myprog 1 hop 4`

$\Rightarrow$ `argv` =

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

Appel(s) de fonction(s)

Déroulement d'un appel de fonction

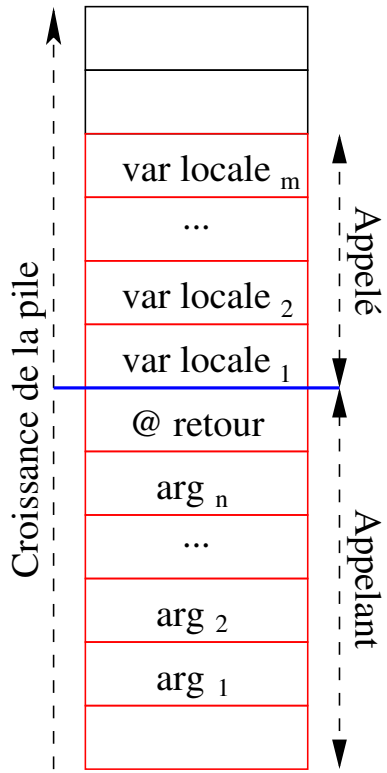
- Illustration sur le calcul de la racine carrée d'un réel a.
- Méthode itérative de Newton.
- $\sqrt{a}$ donnée par $x_{n+1} = \frac{1}{2}(x_n + \frac{a}{x_n})$
- n : Nombre d'itérations (à fixer arbitrairement).
- $x_0 > 0$: Point de départ (à fixer arbitrairement).

Protocole d'appel

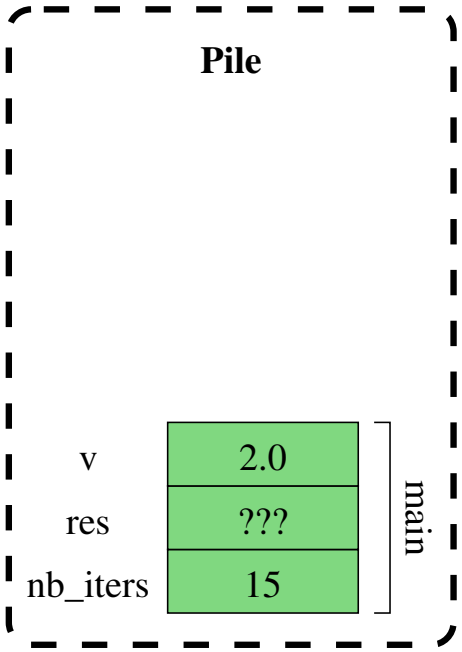
- Appeler une fonction c'est :
  - stocker la valeur de ses paramètres,
  - aller exécuter son code,
  - et en revenir avec le résultat.
- Différentes conventions d'appel selon les langages, les architectures.
- Principe restant majoritairement le même : utilisation de la pile.
- Différences dans « qui (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.



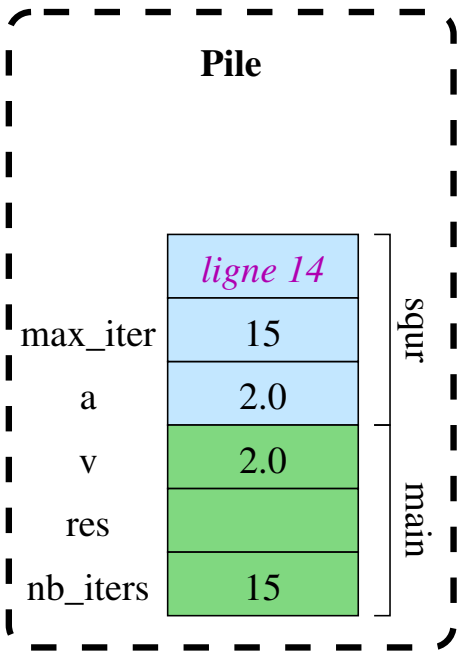
Déroulement d'un appel de fonction




```
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`

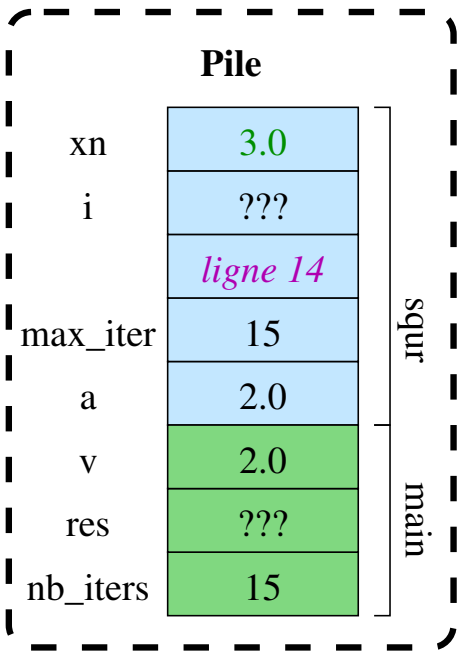
Déroulement d'un appel de fonction




```
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

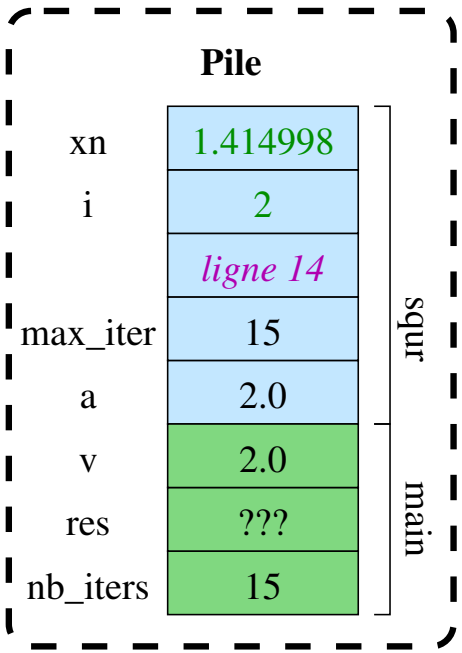
Déroulement d'un appel de fonction




```
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

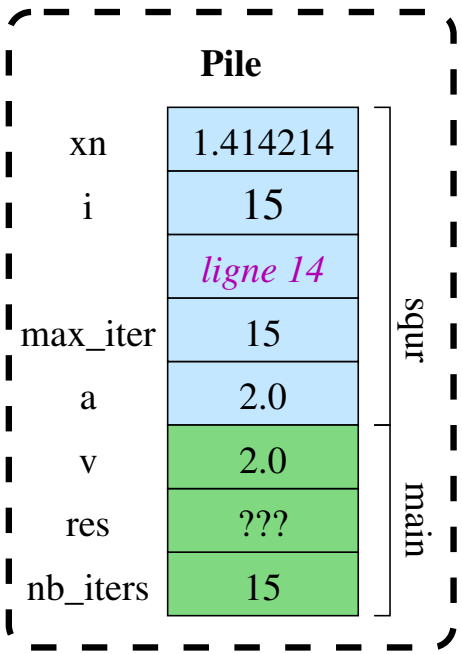
Déroulement d'un appel de fonction




```
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 }
```

Itérations de la boucle (ici $i = 2$, $xn = 1.41499$)

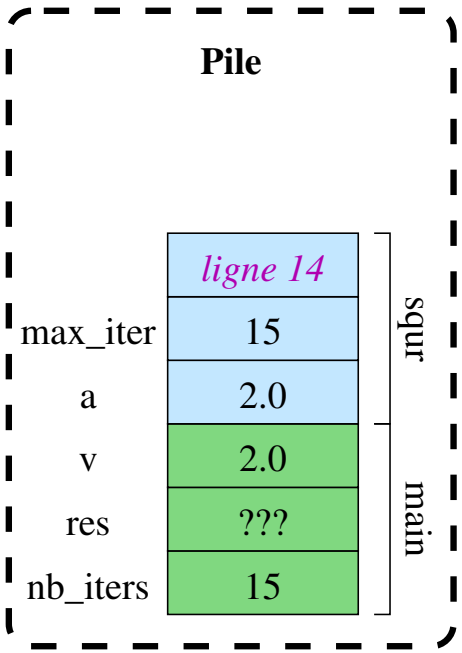
Déroulement d'un appel de fonction




```
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 }
```

Sortie de la boucle, prêt à retourner de la fonction squr

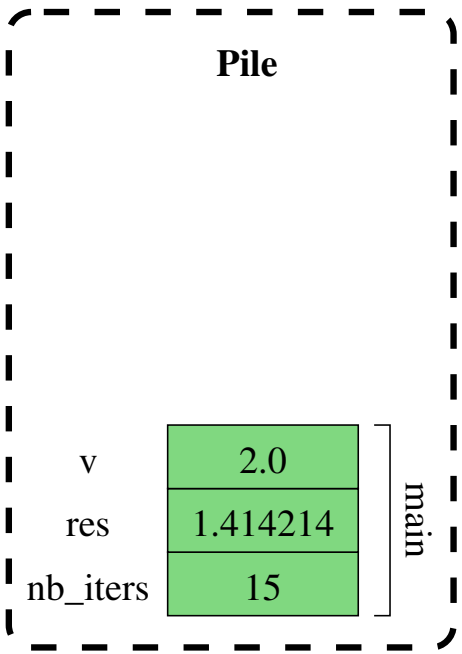
Déroulement d'un appel de fonction




```
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 }
```

Retour de la fonction : suppression des variables locales, retourner à l'adresse spécifiée sur la pile

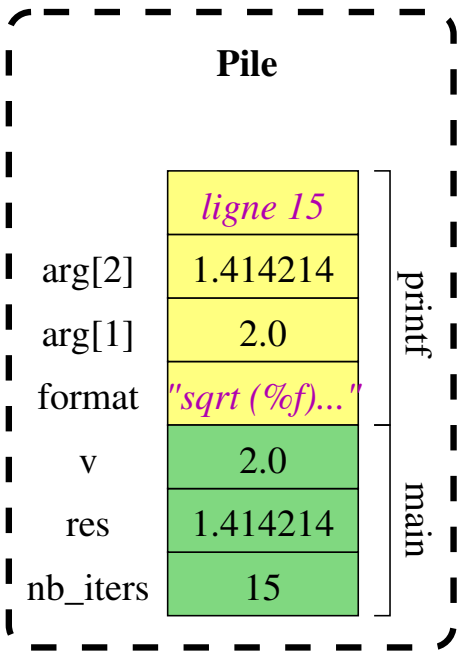
Déroulement d'un appel de fonction




```
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 }
```

Affectation de la valeur de retour 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 }
```

Appel à la fonction `printf` . . . etc . . .

La récursivité

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 suivante.

⇒ 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 ?

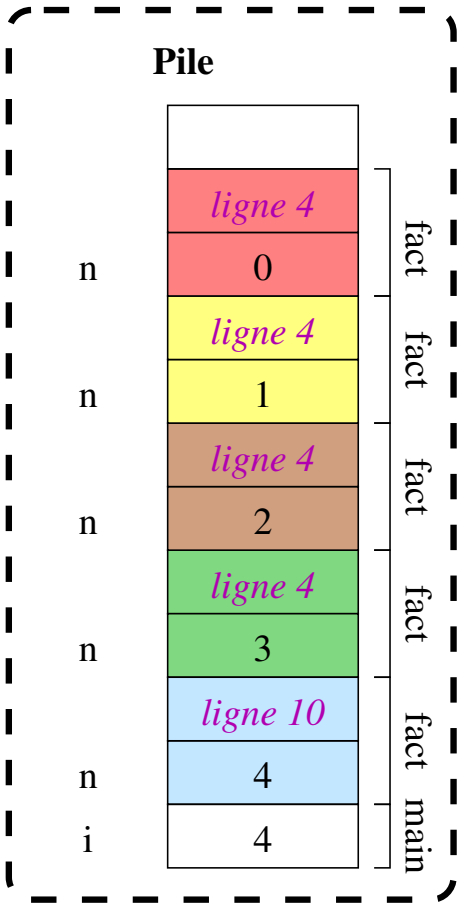
- Pas de méthode automatique.
- Nécessite une preuve de terminaison.
- $\Rightarrow$ Problème de raisonnement, pas de calcul.
- Intuition : démontrer que chaque appel récursif s'effectue sur un argument « plus petit »
  - $\Rightarrow$ Nécessité d'un ordre $<$ sur le domaine des arguments.
  - Ordre 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).

Appels de fonctions récursives

- Principe d'appel identique aux autres fonctions.
  - À chaque appel on empile les informations nécessaires.
  - Lorsque l'on sort d'un appel, on dépile.
- $\Rightarrow$ La pile augmente avec la profondeur de récursion.
- En cas de récursion trop profonde, possibilité de dépassement de pile (« *stack overflow* »).
- Pour autant la récursivité n'est pas à bannir !
  - Permet d'exprimer simplement et élégamment certains algorithmes.
  - Incontournable pour certains problèmes (sinon, obligation de se gérer manuellement une pile en fait).
  - Les compilateurs savent dé-récursiver la récursion dite terminale.

Appels de fonction(s) récursive(s)

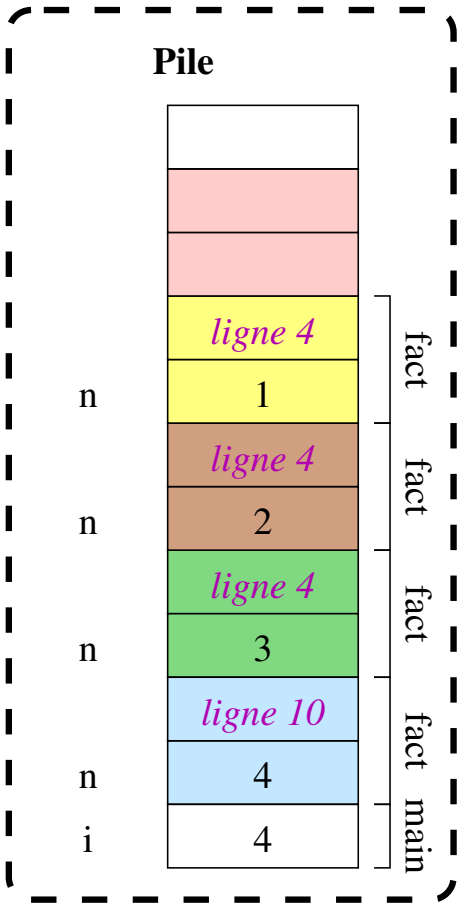
Déroulement d'appels de fonction récursive




```
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 à l'entrée de l'appel à `fact` avec l'argument 0.

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.