

# Fonctions

A. Où en est-on ? .....	0
B. Motivations .....	13
C. Fonctions .....	35
D. Documentation et tests .....	50
E. Modèle d'exécution .....	60
F. Fonctions particulières .....	79
G. Résumé .....	84

Comment vous sentez-vous en ce début de cours ?

	Curieux
	En rogne
	Inquiet
	Fatigué

## A. Où en est-on ?



Je connais la **syntaxe** et la **sémantique** de la boucle **while** ?

## A. Où en est-on ?



Je connais la **syntaxe** et la **sémantique** de la boucle **while** ?



J'ai pu utiliser le serveur JupyterHub depuis « chez moi »

## A. Où en est-on ?



Je connais la **syntaxe** et la **sémantique** de la boucle **while** ?



J'ai pu utiliser le serveur JupyterHub depuis « chez moi »



J'ai fini les TD et TP de la semaine dernière (hors ♣)

## Rappels ...

### Taux de mémorisation d'un message

1. lu : 10 %
2. entendu : 20 %
3. vu : 30 %
4. vu et entendu : 50 %
5. reformulé par soi-même : 80 %

## Rappels ...

### Taux de mémorisation d'un message

1. lu : 10 %
2. entendu : 20 %
3. vu : 30 %
4. vu et entendu : 50 %
5. reformulé par soi-même : 80 %

### Mémorisation sur le long terme

- ▶ Cours relu le soir même : 80 %
- ▶ Cours relu plus tard : 10 %

## Rappels ...

### Taux de mémorisation d'un message

1. lu : 10 %
2. entendu : 20 %
3. vu : 30 %
4. vu et entendu : 50 %
5. reformulé par soi-même : 80 %

### Mémorisation sur le long terme

- ▶ Cours relu le soir même : 80 %
- ▶ Cours relu plus tard : 10 %

### Objectif : **Travailler efficacement**

- ▶ Voir la [page web](#) pour des recommandations



## Résumé des épisodes précédents ...

Pour le moment nous avons vu :

- ▶ Expressions :  $3 * (4+5)$      $1 < x$  **and**  $x < 5$  **or**  $y == 3$
- ▶ Variables, types, affectation : `variable = expression`

## Résumé des épisodes précédents ...

Pour le moment nous avons vu :

- ▶ Expressions : `3 * (4+5)`     `1 < x and x < 5 or y == 3`
- ▶ Variables, types, affectation : `variable = expression`
- ▶ Instruction conditionnelle : `if`
- ▶ Instructions itératives : `while`, `do ... while`, `for`

## Résumé des épisodes précédents ...

Pour le moment nous avons vu :

- ▶ Expressions : `3 * (4+5)`    `1 < x and x < 5 or y == 3`
- ▶ Variables, types, affectation : `variable = expression`
- ▶ Instruction conditionnelle : `if`
- ▶ Instructions itératives : `while`, `do ... while`, `for`

### Remarque

Tout ce qui est calculable par un ordinateur peut être programmé uniquement avec ces instructions

## Résumé des épisodes précédents ...

Pour le moment nous avons vu :

- ▶ Expressions :  $3 * (4+5)$      $1 < x$  **and**  $x < 5$  **or**  $y == 3$
- ▶ Variables, types, affectation : `variable = expression`
- ▶ Instruction conditionnelle : `if`
- ▶ Instructions itératives : `while`, `do ... while`, `for`

### Remarque

Tout ce qui est calculable par un ordinateur peut être programmé uniquement avec ces instructions

(ou presque : il faudrait un accès un peu plus souple à la mémoire)

## Résumé des épisodes précédents ...

Pour le moment nous avons vu :

- ▶ Expressions :  $3 * (4+5)$      $1 < x$  **and**  $x < 5$  **or**  $y == 3$
- ▶ Variables, types, affectation : `variable = expression`
- ▶ Instruction conditionnelle : `if`
- ▶ Instructions itératives : `while`, `do ... while`, `for`

### Remarque

Tout ce qui est calculable par un ordinateur peut être programmé uniquement avec ces instructions  
(ou presque : il faudrait un accès un peu plus souple à la mémoire)

Pourquoi aller plus loin ?

## Résumé des épisodes précédents ...

Pour le moment nous avons vu :

- ▶ Expressions :  $3 * (4+5)$      $1 < x$  **and**  $x < 5$  **or**  $y == 3$
- ▶ Variables, types, affectation : `variable = expression`
- ▶ Instruction conditionnelle : `if`
- ▶ Instructions itératives : `while`, `do ... while`, `for`

### Remarque

Tout ce qui est calculable par un ordinateur peut être programmé uniquement avec ces instructions  
(ou presque : il faudrait un accès un peu plus souple à la mémoire)

Pourquoi aller plus loin ?

**Passage à l'échelle !**

# Motivation : l'exemple du livre de cuisine (1)

## Recette de la tarte aux pommes

- ▶ Ingrédients : 250 g de farine, 125 g de beurre, 1 œuf, 2 cl d'eau, une pincée de sel, 100 g de sucre en poudre, 5 belles pommes
- ▶ Mettre la farine dans un récipient puis faire un puits
- ▶ Versez dans le puits 2 cl d'eau
- ▶ Mettre le beurre
- ▶ Mettre le sucre et le sel
- ▶ Pétrir de façon à former une boule
- ▶ Étaler la pâte dans un moule
- ▶ Peler les pommes, les couper en quartiers et les disposer sur la pâte
- ▶ Faire cuire 30 minutes

## Motivation : l'exemple du livre de cuisine (2)

### Recette de la tarte aux poires

- ▶ Ingrédients : 250 g de farine, 125 g de beurre, 1 œuf, 2 cl d'eau, une pincée de sel, 100 g de sucre en poudre, 5 belles poires
- ▶ Mettre la farine dans un récipient puis faire un puits
- ▶ Versez dans le puits 2 cl d'eau
- ▶ Mettre le beurre
- ▶ Mettre le sucre et le sel
- ▶ Pétrir de façon à former une boule
- ▶ Étaler la pâte dans un moule
- ▶ Peler les poires, les couper en quartiers et les disposer sur la pâte
- ▶ Faire cuire 30 minutes



## Motivation : l'exemple du livre de cuisine (3)

### Recette de la tarte tatin

- ▶ Ingrédients : 250 g de farine, 125 g de beurre, 1 œuf, 2 cl d'eau, une pincée de sel, 200 g de sucre en poudre, 5 belles pommes
- ▶ Mettre la farine dans un récipient puis faire un puits
- ▶ Versez dans le puits 2 cl d'eau
- ▶ Mettre le beurre
- ▶ Mettre le sucre et le sel
- ▶ Pétrir de façon à former une boule
- ▶ Verser le sucre dans une casserole
- ▶ Rajouter un peu d'eau pour l'humecter
- ▶ Le faire caraméliser à feu vif, sans remuer
- ▶ Verser au fond du plat à tarte
- ▶ Peler les pommes, les couper en quartiers
- ▶ Faire revenir les pommes dans une poêle avec du beurre
- ▶ Disposer les pommes dans le plat et étaler la pâte au dessus

Qu'est-ce qui ne va pas ?

# Qu'est-ce qui ne va pas ?

## Duplication

- ▶ Longueurs
- ▶ En cas d'erreur ou d'amélioration : corriger plusieurs endroits !

# Qu'est-ce qui ne va pas ?

## Duplication

- ▶ Longueurs
- ▶ En cas d'erreur ou d'amélioration : corriger plusieurs endroits !

## Manque d'expressivité

- ▶ Difficile à lire
- ▶ Difficile à mémoriser

# Qu'est-ce qui ne va pas ?

## Duplication

- ▶ Longueurs
- ▶ En cas d'erreur ou d'amélioration : corriger plusieurs endroits !

## Manque d'expressivité

- ▶ Difficile à lire
- ▶ Difficile à mémoriser

Essayons d'améliorer cela

# Recettes de base

## Recette de la pâte brisée

- ▶ Ingrédients : 250 g de farine, 125 g de beurre, 1 œuf, 2 cl d'eau, une pincée de sel
- ▶ Mettre la farine dans un récipient puis faire un puits
- ▶ Versez dans le puits 2 cl d'eau Mettre le beurre
- ▶ Mettre le sucre et et une pincée de sel
- ▶ Pétrir de façon à former une boule

## Recette du caramel

- ▶ Ingrédients : 100 g de sucre
- ▶ Verser le sucre dans une casserole
- ▶ Rajouter un peu d'eau pour l'humecter
- ▶ Le faire caraméliser à feu vif, sans remuer

# Recettes de tartes

## Tarte aux fruits (pommes, poires, ...)

- ▶ Ingrédients : 500g de fruits, ingrédients pour une pâte Brisée
- ▶ **Préparer une pâte Brisée**
- ▶ Étaler la pâte dans un moule
- ▶ Peler les fruits, les couper en quartiers et les disposer sur la pâte
- ▶ Faire cuire 30 minutes



# Recettes de tartes

## Tarte aux fruits (pommes, poires, ...)

- ▶ Ingrédients : 500g de fruits, ingrédients pour une pâte Brisée
- ▶ **Préparer une pâte Brisée**
- ▶ Étaler la pâte dans un moule
- ▶ Peler les fruits, les couper en quartiers et les disposer sur la pâte
- ▶ Faire cuire 30 minutes



## Tarte tatin

- ▶ Ingrédients : 5 belles pommes, pâte Brisée, caramel
- ▶ **Préparer une pâte Brisée**
- ▶ **Préparer un caramel** et le verser au fond du plat à tarte
- ▶ Peler les pommes, les couper en quartiers
- ▶ Faire revenir les pommes dans une poêle avec du beurre
- ▶ Disposer les pommes dans le plat, et étaler la pâte au dessus
- ▶ Faire cuire 45 minutes et retourner dans une assiette



# Les **fonctions** : objectif

## Modularité

- ▶ Décomposer un programme en programmes plus simples

# Les **fonctions** : objectif

## Modularité

- ▶ Décomposer un programme en programmes plus simples
- ▶ Implantation plus facile
- ▶ Validation (tests)
- ▶ Réutilisation
- ▶ Flexibilité (remplacement d'un sous-programme par un autre)

# Les **fonctions** : objectif

## Modularité

- ▶ Décomposer un programme en programmes plus simples
- ▶ Implantation plus facile
- ▶ Validation (tests)
- ▶ Réutilisation
- ▶ Flexibilité (remplacement d'un sous-programme par un autre)

## Non duplication

- ▶ Partager (**factoriser**) du code
- ▶ Code plus court
- ▶ Maintenance plus facile

# Les **fonctions** : objectif

## Modularité

- ▶ Décomposer un programme en programmes plus simples
- ▶ Implantation plus facile
- ▶ Validation (tests)
- ▶ Réutilisation
- ▶ Flexibilité (remplacement d'un sous-programme par un autre)

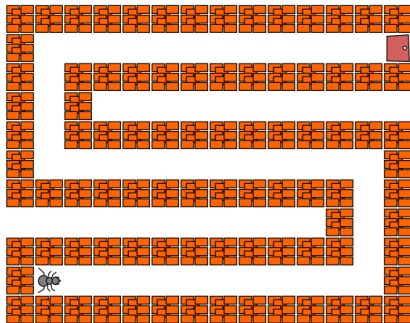
## Non duplication

- ▶ Partager (**factoriser**) du code
- ▶ Code plus court
- ▶ Maintenance plus facile

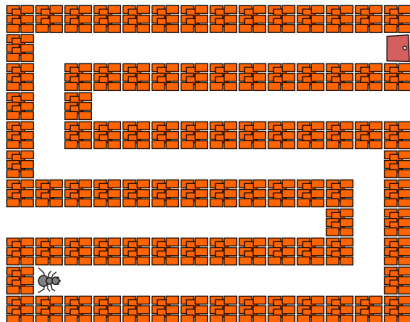
## Niveau d'abstraction

- ▶ Programmes plus **concis** et **expressifs**

Une impression de déjà vu ?



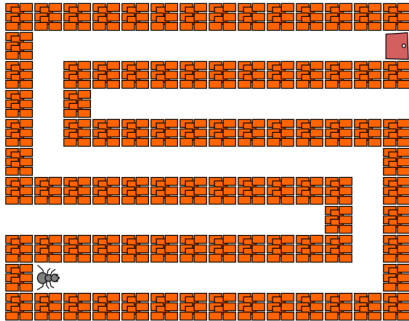
# Une impression de déjà vu ?



laby2c-mauvais.cpp

```
while ( regarde() == Vide ) {
    avance();
}
gauche();
while ( regarde() == Vide ) {
    avance();
}
gauche();
while ( regarde() == Vide ) {
    avance();
}
droite();
while ( regarde() == Vide ) {
    avance();
}
droite();
while ( regarde() == Vide ) {
    avance();
}
ouvre();
```

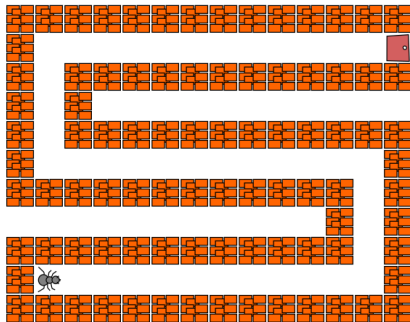
# Une impression de déjà vu ?



[laby2c.cpp](#)

```
void avance_tant_que_tu_peux() {  
    while ( regarde() == Vide ) {  
        avance();  
    }  
}
```

# Une impression de déjà vu ?



[laby2c.cpp](#)

```
void avance_tant_que_tu_peux() {  
    while ( regarde() == Vide ) {  
        avance();  
    }  
}
```

[laby2c.cpp](#)

```
avance_tant_que_tu_peux();  
gauche();  
avance_tant_que_tu_peux();  
gauche();  
avance_tant_que_tu_peux();  
droite();  
avance_tant_que_tu_peux();  
droite();  
avance_tant_que_tu_peux();  
ouvre();
```



# Une impression de déjà vu ?

## Fonctions que vous avez déjà écrites

- ▶ TD1 : `transporte` (Chèvre)

# Une impression de déjà vu ?

## Fonctions que vous avez déjà écrites

- ▶ TD1 : `transporte(Chèvre)`
- ▶ TP1 : `avance_tant_que_tu_peux()`

# Une impression de déjà vu ?

## Fonctions que vous avez déjà écrites

- ▶ TD1 : `transporte(Chèvre)`
- ▶ TP1 : `avance_tant_que_tu_peux()`
- ▶ TD2 : `max(note1, note2), max(note1, note2, note3)`

# Une impression de déjà vu ?

## Fonctions que vous avez déjà écrites

- ▶ TD1 : `transporte(Chèvre)`
- ▶ TP1 : `avance_tant_que_tu_peux()`
- ▶ TD2 : `max(note1, note2), max(note1, note2, note3)`
- ▶ TP3 : `factorielle(n)`

# Appel de fonctions usuelles

fonctions-usuelles.ipynb

Chargement de la bibliothèque de fonctions mathématiques usuelles:

```
In [1]: #include <cmath>
```

Fonctions trigonométriques:

```
In [2]: cos(3.14159)
```

```
Out[2]: -1  
type: double
```

Fonction exponentielle:

```
In [3]: exp(1.0)
```

```
Out[3]: 2.71828  
type: double
```

Fonction puissance:

```
In [4]: pow(3, 2)
```

```
Out[4]: 9  
type: double
```

```
In [5]: pow(2, 3)
```

```
Out[5]: 8  
type: double
```

# Appel de fonctions usuelles

## On remarque

- ▶ La présence de `#include <cmath>`  
C'est pour utiliser la bibliothèque de fonctions mathématiques  
On y reviendra ...

# Appel de fonctions usuelles

## On remarque

- ▶ La présence de `#include <cmath>`  
C'est pour utiliser la bibliothèque de fonctions mathématiques  
On y reviendra ...
- ▶ L'ordre des arguments est important
- ▶ Le type des arguments est important

# Appel de fonctions usuelles

## On remarque

- ▶ La présence de `#include <cmath>`  
C'est pour utiliser la bibliothèque de fonctions mathématiques  
On y reviendra ...
- ▶ L'ordre des arguments est important
- ▶ Le type des arguments est important
- ▶ On sait ce que calcule  $\cos(x)$  !
- ▶ On ne sait pas **comment** il le fait
- ▶ **On n'a pas besoin de le savoir**



# Écrire ses propres fonctions : la fonction factorielle

fonction-factorielle.ipynb

## La fonction factorielle

### À la main

Calculons 5!

```
In [1]: int resultat;
```

```
In [2]: resultat = 1;
        for ( int i = 1; i <= 5; i++ ) {
            resultat = resultat * i;
        }
        resultat
```

```
Out[2]: 120
        type: int
```

Calculons 7!

```
In [3]: resultat = 1;
        for ( int i = 1; i <= 7; i++ ) {
            resultat = resultat * i;
        }
        resultat
```

```
Out[3]: 5040
        type: int
```

# Écrire ses propres fonctions : la fonction factorielle

fonction-factorielle.ipynb

## Avec une fonction

```
In [4]: int factorielle(int n) {  
        int resultat = 1;  
        for ( int i = 1; i <= n; i++ ) {  
            resultat = resultat * i;  
        }  
        return resultat;  
    }
```

```
In [5]: factorielle(5)
```

```
Out[5]: 120  
        type: int
```

```
In [6]: factorielle(7)
```

```
Out[6]: 5040  
        type: int
```

```
In [7]: factorielle(5) / factorielle(3) / factorielle(2)
```

```
Out[7]: 10  
        type: int
```

# Écrire ses propres fonctions : la fonction factorielle

fonction-factorielle.cpp

```
int factorielle(int n) {  
    int resultat = 1;  
    for ( int k = 1; k <= n; k++ ) {  
        resultat = resultat * k;  
    }  
    return resultat;  
}
```

# Syntaxe d'une fonction

## Syntaxe

```
type nom(type1 parametre1, type2 parametre2, ...) {  
    déclarations de variables;  
    bloc d'instructions;  
    return expression;  
}
```

- ▶ parametre1, parametre2, ... : les *paramètres formels*
- ▶ Le type des paramètres formels est fixé
- ▶ Les variables sont appelées *variables locales*
- ▶ À la fin, la fonction *renvoie* la valeur de expression  
Celle-ci doit être du type annoncé

# Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

## Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

- ▶ max n'est utilisée que si elle est **appelée**

## Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

- ▶ max n'est utilisée que si elle est **appelée**
- ▶ Pour appeler cette fonction on écrit, par exemple,

```
max(1.5, 3.0)
```

# Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

- ▶ max n'est utilisée que si elle est **appelée**
- ▶ Pour appeler cette fonction on écrit, par exemple,

```
max(1.5, 3.0)
```

- ▶ les *paramètres* a et b sont initialisés avec les valeurs 1.5 et 3.0



# Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

- ▶ max n'est utilisée que si elle est **appelée**
- ▶ Pour appeler cette fonction on écrit, par exemple,

```
max(1.5, 3.0)
```

- ▶ les *paramètres* a et b sont initialisés avec les valeurs 1.5 et 3.0
- ▶ le code de la fonction est exécuté

# Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

- ▶ max n'est utilisée que si elle est **appelée**
- ▶ Pour appeler cette fonction on écrit, par exemple,

```
max(1.5, 3.0)
```

- ▶ les *paramètres* a et b sont initialisés avec les valeurs 1.5 et 3.0
- ▶ le code de la fonction est exécuté
- ▶ l'exécution s'arrête au premier **return** rencontré

# Sémantique simplifiée de l'appel de fonction

Revenons sur la fonction max

max.cpp

```
float max(float a, float b) {  
    if ( a >= b ) {  
        return a;  
    } else {  
        return b;  
    }  
}
```

- ▶ max n'est utilisée que si elle est **appelée**
- ▶ Pour appeler cette fonction on écrit, par exemple,

```
max(1.5, 3.0)
```

- ▶ les *paramètres* a et b sont initialisés avec les valeurs 1.5 et 3.0
- ▶ le code de la fonction est exécuté
- ▶ l'exécution s'arrête au premier `return` rencontré
- ▶ le `return` spécifie la *valeur de retour* de la fonction :  
la valeur de l'expression `max(1.5, 3.0)`.

## D. Documentation et tests

Documentation d'une fonction (syntaxe javadoc)

## D. Documentation et tests

Documentation d'une fonction (syntaxe javadoc)

### Exemple

[fonction-factorielle-doctests.cpp](#)

```
/** La fonction factorielle
 * @param n un nombre entier positif
 * @return n!
 */
int factorielle(int n) {
```

## D. Documentation et tests

Documentation d'une fonction (syntaxe javadoc)

### Exemple

[fonction-factorielle-doctests.cpp](#)

```
/** La fonction factorielle
 * @param n un nombre entier positif
 * @return n!
 */
int factorielle(int n) {
```

### Une bonne documentation

- ▶ Est concise et précise
- ▶ Donne les préconditions sur les paramètres
- ▶ Décrit le résultat (ce que fait la fonction)

## D. Documentation et tests

Documentation d'une fonction (syntaxe javadoc)

### Exemple

[fonction-factorielle-doctests.cpp](#)

```
/** La fonction factorielle
 * @param n un nombre entier positif
 * @return n!
 */
int factorielle(int n) {
```

### Une bonne documentation

- ▶ Est concise et précise
- ▶ Donne les préconditions sur les paramètres
- ▶ Décrit le résultat (ce que fait la fonction)

### Astuce pour être efficace

- ▶ **Toujours commencer par écrire la documentation**  
De toutes les façons il faut réfléchir à ce qu'elle va faire !

# Tests d'une fonction

- ▶ Pas d'infrastructure standard en C++ pour écrire des tests
- ▶ Dans ce cours, on utilisera une infrastructure minimale

## Exemple

[fonction-factorielle-doctests.cpp](#)

```
ASSERT( factorielle(0) == 1 );  
ASSERT( factorielle(1) == 1 );  
ASSERT( factorielle(2) == 2 );  
ASSERT( factorielle(3) == 6 );  
ASSERT( factorielle(4) == 24 );
```



# Tests d'une fonction

## Astuces pour être efficace

- ▶ **Commencer par écrire les tests d'une fonction**

De toutes les façons il faut réfléchir à ce qu'elle va faire !

# Tests d'une fonction

## Astuces pour être efficace

- ▶ **Commencer par écrire les tests d'une fonction**

De toutes les façons il faut réfléchir à ce qu'elle va faire !

- ▶ Tester les cas particuliers

# Tests d'une fonction

## Astuces pour être efficace

- ▶ **Commencer par écrire les tests d'une fonction**

De toutes les façons il faut réfléchir à ce qu'elle va faire !

- ▶ Tester les cas particuliers

- ▶ Tant que l'on est pas sûr que la fonction est correcte :

- ▶ Faire des essais supplémentaires

- ▶ Capitaliser ces essais sous forme de tests

# Tests d'une fonction

## Astuces pour être efficace

- ▶ **Commencer par écrire les tests d'une fonction**

De toutes les façons il faut réfléchir à ce qu'elle va faire !

- ▶ Tester les cas particuliers

- ▶ Tant que l'on est pas sûr que la fonction est correcte :

- ▶ Faire des essais supplémentaires

- ▶ Capitaliser ces essais sous forme de tests

- ▶ Si l'on trouve un bogue :

- ▶ Ajouter un test caractérisant le bogue

# Tests d'une fonction

## Astuces pour être efficace

- ▶ **Commencer par écrire les tests d'une fonction**  
De toutes les façons il faut réfléchir à ce qu'elle va faire !
- ▶ Tester les cas particuliers
- ▶ Tant que l'on est pas sûr que la fonction est correcte :
  - ▶ Faire des essais supplémentaires
  - ▶ Capitaliser ces essais sous forme de tests
- ▶ Si l'on trouve un bogue :
  - ▶ Ajouter un test caractérisant le bogue

## Remarque

- ▶ Les effets de bord sont durs à tester !

## E. Modèle d'exécution

On considère la fonction `incremente` :

[fonction-exemple-passage-par-valeur.cpp](#)

```
int incremente(int n) {  
    n = n + 1;  
    return n;  
}
```

## E. Modèle d'exécution

On considère la fonction `incremente` :

[fonction-exemple-passage-par-valeur.cpp](#)

```
int incremente(int n) {  
    n = n + 1;  
    return n;  
}
```

Quelles sont les valeurs de `a` et `b` après l'exécution des lignes suivantes :

[fonction-exemple-passage-par-valeur.cpp](#)

```
int a, b;  
  
a = 1;  
b = incremente(a);
```

## E. Modèle d'exécution

### Objectif

Comprendre précisément l'**appel de fonction**



## E. Modèle d'exécution

### Objectif

Comprendre précisément l'**appel de fonction**

Exemple : appel de la fonction factorielle

[fonction-factorielle.cpp](#)

```
int factorielle(int n) {  
    int resultat = 1;  
    for ( int k = 1; k <= n; k++ ) {  
        resultat = resultat * k;  
    }  
    return resultat;  
}
```

## E. Modèle d'exécution

### Objectif

Comprendre précisément l'**appel de fonction**

Exemple : appel de la fonction factorielle

[fonction-factorielle.cpp](#)

```
int factorielle(int n) {  
    int resultat = 1;  
    for ( int k = 1; k <= n; k++ ) {  
        resultat = resultat * k;  
    }  
    return resultat;  
}
```

Que se passe-t'il lorsque l'on évalue l'expression suivante :

```
factorielle(1+2)
```

# Appel de fonctions : formalisation

## Syntaxe

nom(expression1, expression2, ...)

# Appel de fonctions : formalisation

## Syntaxe

nom(expression1, expression2, ...)

## Sémantique

1. Evaluation des expressions
2. Leurs valeurs sont les *paramètres réels*

# Appel de fonctions : formalisation

## Syntaxe

nom(expression1, expression2, ...)

## Sémantique

1. Evaluation des expressions
2. Leurs valeurs sont les *paramètres réels*
3. Allocation de mémoire sur la *pile* pour :
  - ▶ Les variables locales
  - ▶ Les paramètres formels
4. Affectation des paramètres réels aux paramètres formels (par copie ; les types doivent correspondre !)

# Appel de fonctions : formalisation

## Syntaxe

nom(expression1, expression2, ...)

## Sémantique

1. Evaluation des expressions
2. Leurs valeurs sont les *paramètres réels*
3. Allocation de mémoire sur la *pile* pour :
  - ▶ Les variables locales
  - ▶ Les paramètres formels
4. Affectation des paramètres réels aux paramètres formels (par copie ; les types doivent correspondre !)
5. Exécution des instructions

# Appel de fonctions : formalisation

## Syntaxe

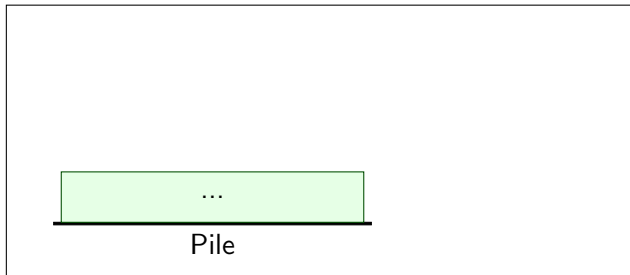
nom(expression1, expression2, ...)

## Sémantique

1. Evaluation des expressions
2. Leurs valeurs sont les *paramètres réels*
3. Allocation de mémoire sur la *pile* pour :
  - ▶ Les variables locales
  - ▶ Les paramètres formels
4. Affectation des paramètres réels aux paramètres formels (par copie ; les types doivent correspondre !)
5. Exécution des instructions
6. Lorsque « **return** expression » est rencontré, évaluation de l'expression qui donne la *valeur de retour de la fonction*
7. Désallocation des variables et paramètres sur la pile
8. La valeur de l'expression nom(...) est donnée par la valeur de retour

# Évolution de la pile sur l'exemple :

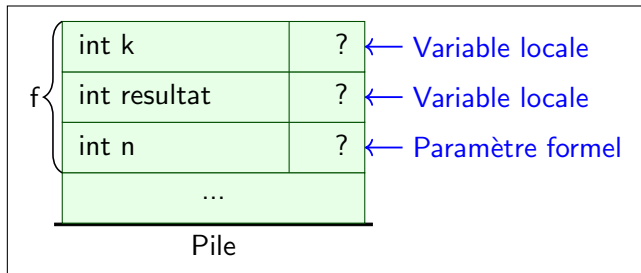
## 1. État initial





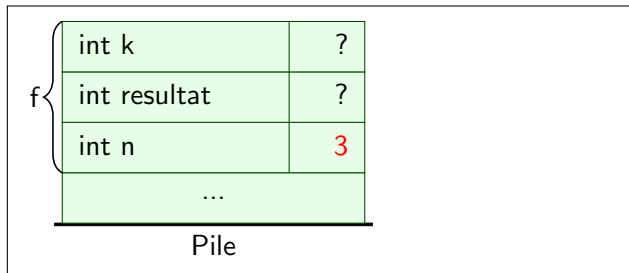
# Évolution de la pile sur l'exemple :

## 3. Allocation de la mémoire sur la pile



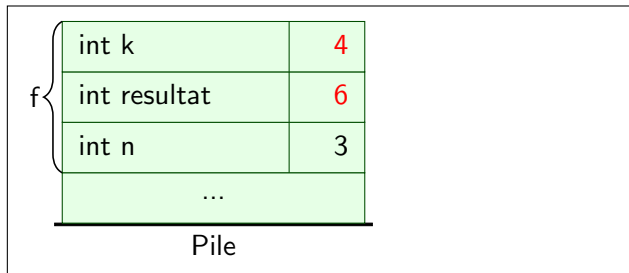
# Évolution de la pile sur l'exemple :

## 4. Affectation du paramètre réel au paramètre formel



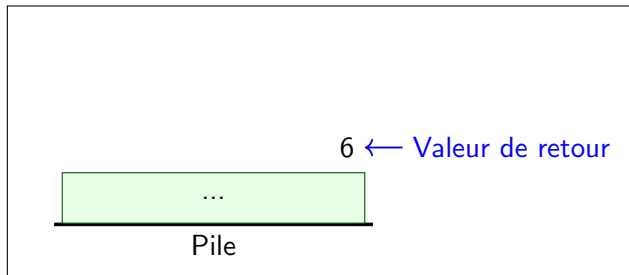
# Évolution de la pile sur l'exemple :

## 5. Exécution des instructions



# Évolution de la pile sur l'exemple :

6-8. Désallocation de la mémoire sur la pile et valeur de retour



## Appel de fonctions : exercice

On considère la fonction `incremente` :

[fonction-exemple-passage-par-valeur.cpp](#)

```
int incremente(int n) {  
    n = n + 1;  
    return n;  
}
```

Quelles sont les valeurs de `a` et `b` après l'exécution des lignes suivantes :

[fonction-exemple-passage-par-valeur.cpp](#)

```
int a, b;  
  
a = 1;  
b = incremente(a);
```

## Passage des paramètres par valeur

- ▶ Les paramètres formels d'une fonction sont des variables comme les autres
- ▶ On peut les modifier
- ▶ Mais ...

## Passage des paramètres par valeur

- ▶ Les paramètres formels d'une fonction sont des variables comme les autres
- ▶ On peut les modifier
- ▶ Mais ...

### Rappel

Lors d'un appel de fonction ou de procédure, la valeur du paramètre réel est **copiée** dans le paramètre formel

## Passage des paramètres par valeur

- ▶ Les paramètres formels d'une fonction sont des variables comme les autres
- ▶ On peut les modifier
- ▶ Mais ...

### Rappel

Lors d'un appel de fonction ou de procédure, la valeur du paramètre réel est **copiée** dans le paramètre formel

### En conséquence

- ▶ Une modification du paramètre formel, n'affecte pas le paramètre réel
- ▶ Si la variable est volumineuse (tableaux, chaîne de caractères, etc.), cette recopie peut être coûteuse

On dit que les paramètres sont passés *par valeur*

Au second semestre, on verra le passage de paramètres *par référence*



## F. Fonctions particulières

1. Procédures
2. Fonctions récursives

## Fonctions particulières : Procédures

Besoin de sous-programmes qui **agissent** au lieu de **calculer** :

- ▶ on veut produire un effet (affichage, musique, etc)
- ▶ on veut modifier l'état interne d'une structure de donnée

On parle d'*effet de bord*

## Fonctions particulières : Procédures

Besoin de sous-programmes qui **agissent** au lieu de **calculer** :

- ▶ on veut produire un effet (affichage, musique, etc)
- ▶ on veut modifier l'état interne d'une structure de donnée

On parle d'*effet de bord*

### Exemple

laby2c.cpp

```
void avance_tant_que_tu_peux() {  
    while ( regarde() == Vide ) {  
        avance();  
    }  
}
```

## Fonctions particulières : Procédures

Besoin de sous-programmes qui **agissent** au lieu de **calculer** :

- ▶ on veut produire un effet (affichage, musique, etc)
- ▶ on veut modifier l'état interne d'une structure de donnée

On parle d'*effet de bord*

### Exemple

laby2c.cpp

```
void avance_tant_que_tu_peux() {  
    while ( regarde() == Vide ) {  
        avance();  
    }  
}
```

### Remarques

- ▶ Cette fonction ne renvoie rien
- ▶ On le dénote en C++ par le type `void`
- ▶ Dans d'autres langages on distingue *fonctions* et *procédures*
- ▶ Autres exemples : `transporte(...)`, `gauche()`

# Fonctions particulières : Fonctions récursives ♣

## Exercice

[fonction-factorielle-recursive.cpp](#)

```
int factorielle(int n) {  
    if ( n == 0 ) {  
        return 1;  
    } else {  
        return n * factorielle(n-1);  
    }  
}
```

# Résumé

## Motivation

- ▶ Modularité
- ▶ Lutte contre la duplication
- ▶ Programmes plus concis et expressifs

# Résumé

## Motivation

- ▶ Modularité
- ▶ Lutte contre la duplication
- ▶ Programmes plus concis et expressifs

## Fonction

- ▶ Combinaison d'instructions élémentaires donnant une instruction de plus haut niveau

# Résumé

## Motivation

- ▶ Modularité
- ▶ Lutte contre la duplication
- ▶ Programmes plus concis et expressifs

## Fonction

- ▶ Combinaison d'instructions élémentaires donnant une instruction de plus haut niveau
- ▶ Modèle d'exécution (pile)



# Résumé

## Motivation

- ▶ Modularité
- ▶ Lutte contre la duplication
- ▶ Programmes plus concis et expressifs

## Fonction

- ▶ Combinaison d'instructions élémentaires donnant une instruction de plus haut niveau
- ▶ Modèle d'exécution (pile)
- ▶ Procédures, fonctions récursives

# Résumé

## Motivation

- ▶ Modularité
- ▶ Lutte contre la duplication
- ▶ Programmes plus concis et expressifs

## Fonction

- ▶ Combinaison d'instructions élémentaires donnant une instruction de plus haut niveau
- ▶ Modèle d'exécution (pile)
- ▶ Procédures, fonctions récursives

## Trilogie

- ▶ **Documentation** : ce que fait la fonction (entrées, sorties, ...)
- ▶ **Tests** : ce que fait la fonction (exemples)
- ▶ **Code** : comment elle le fait