Ch. 1 - Concepts de base

Langage C / C++

R. Absil

Haute École Bruxelles-Brabant
École supérieure d'Informatique

11 octobre 2021

Table des matières

Introduction

Différences majeures entre `Java` et `C` / `C++`

- La sortie du compilateur est un fichier binaire directement exécuté par le processeur
- *Tout* est passé par valeur, en l'absence de spécifications explicites
- Un `new` en `C++` (ou son équivalent en `C`) est significativement plus difficile à gérer
  - Mais de bonnes pratiques permettent d'éviter les ennuis
- Une plus grande liberté de programmation en `C++`
  - Surcharge d'opérateur
  - Conversions définies par l'utilisateur
  - Une bonne hygiène de programmation est nécessaire
- Le polymorphisme n'est pas « activé » par défaut
- Pas de franches relations d'héritage entre classes aux fonctionnalités « similaires »
- Mécanisme de types génériques implémenté à la compilation

Différences C et C++

- C : Langage procédural uniquement.
  - Pas d'orienté objet et concepts associés.
- Pas de surdéfinition de fonctions
- Pas d'inférence de type.
- Pas de surcharge d'opérateur.
- Pas de références.
- Pas d'exceptions.
- Pas de patrons.
- Pas d'espaces de noms.
- Pas de conversions définies par l'utilisateur.
- Pas de conteneurs standards.
- Pas de `string`

Concepts inexistants en C

`try`	`catch`	`throw`	`typeid`
`const_cast`	`dynamic_cast`	`reinterpret_cast`	`static_cast`
`namespace`	`friend`	`operator`	`mutable`
`template`	`typename`	`new`	`delete`
`protected`	`public`	`private`	`class`
`this`	`explicit`	`using`	`virtual`
`export`	`concept`		

C : le programme minimal

- Fichier `hello-world.c`

```c
#include <stdio.h>

int main() //variantes avec arguments en ligne de commande
{
  printf("Hello World!\n");
}
```

- `#include` permet d'importer les fichiers nécessaires
- La fonction `int main()` est l'unique point d'entrée du programme
- `printf` est une fonction permettant d'imprimer en console
  - On peut spécifier des « formats » pour formater l'affichage
- Syntaxe de commentaires comme en `Java`
- Compilation avec `gcc -o sortie monficher.c`

Compilation

Production d'un exécutable en trois temps

1. Précompilation
   - Directives précédées de `#` (préprocesseur)
     - Inclusions des fichiers d'entête
   - Immédiats convertis en numériques, etc.
   - Produit un programme en `C` / `C++` pur
   - Sortie : fichier texte
2. Compilation
   - Analyse lexicale, syntaxique et sémantique
   - Traduction du programme en langage machine
   - Produit des fichiers objets
3. Édition des liens
   - Lie les références et appels entre eux
   - Ajoute les librairies externes
   - Produit un fichier exécutable ou une librairie directement utilisable

Illustration préprocesseur

- Fichier `preproc.c`

```
1  ...
2
3  extern int printf (const char *__restrict __format, ...);
4
5  ...
6
7  int main()
8  {
9    printf("Hello World!\n");
10 }
```

- Obtenu avec `gcc -E hello-world.c`
- Assembleur obtenu avec `-S`
  - Fichier `hello-world.s`

Compilation séquentielle

- En `C` / `C++`, un programme est lu séquentiellement de haut en bas
  - L'ordre des déclarations importe
- Motive l'usage des headers
  - On déclare une fois pour tout le programme
  - On ne veut pas inclure deux fois un header
- Les headers ne sont pas « compilés directement » : ils sont inclus (copier / coller textuel) à l'étape de précompilation
- Peut poser problème en cas de dépendances cycliques
  - Usage d'instructions de compilation conditionnelles
  - Usage de pointeurs pour éviter une taille infinie (cf. Ch. 2)
- Point d'entrée : `main`
- Options de compilations additionnelles
  - `-Wpedantic`, `-o3`,`-fno-stack-protector`, `-l`, etc.

Exemple : ordre importe

- Fichier `order.c`

```
1  void g();
2
3  int main()
4  {
5    f();
6    g();
7  }
8
9  void f()
10 {
11   printf("Coucou");
12 }
13
14 void g()
15 {
16   printf("Beuh");
17 }
```

Exemple : inclusion multiple

- Fichier `incl-mult.c`

```c
#include <stdio.h>
#include "incl-mult2.c"

void g()
{
  printf("Beuh\n");
}

int main()
{
  f();
}
```

- Fichier `incl-mult2.c`

```c
#include <stdio.h>
#include "incl-mult.c"

void f()
{
  printf("Coucou\n");
  g();
}
```

- Solutions : `incl-mult-fixed*`

Solution

- Séparer les déclarations et leur implémentation
- Utiliser `#ifndef` / `#define`

```
1  #ifndef MULT_1
2  #define MULT_1
3    void g();
4  #endif
```

```
1  #ifndef MULT_2
2  #define MULT_2
3    void f();
4  #endif
```

```
1  #include "incl-mult-fixed.h"
2  #include "incl-mult-fixed-2.h"
3
4  int main()
5  {
6    f();
7    g();
8  }
```

- On met les `#include` là où il le faut

Types de base

Notion de type (1/2)

- Définit le codage en mémoire
- Définit à quoi correspond un motif

Exemple

- Motif binaire `010011001`
  - Nombre 77
  - Adresse `0x4D`
  - Caractère ASCII 'M'

Notion de type (2/2)

- Deux sortes de types
  1. Scalaire : contient une unique valeur à un moment donné
  2. Structuré : contient plusieurs valeurs
     - Potentiellement de différents types
     - Motif à découper

Exemple

- Scalaire : `int`, `double`, `char`, `float*`, `enum`
- Structuré : tableaux, classes, structures `C`, `string` (`C++`), etc.

Type incomplet

- Dans une vaste majorité des cas, le compilateur requiert qu'un type *T* soit *complet*
  - Si on a besoin de sa taille (pour allouer un *T*)
  - Si on a besoin de connaître les opérations que l'on peut réaliser sur un *T* (appel de fonction en C++)
- Les types suivants sont *incomplets*
  - `void` et ses versions cv-qualifiées
  - une classe déclarée mais non définie (forward declaration)
  - un tableau de taille inconnue (avec `extern`)
  - un tableau d'éléments de types incomplets
- Parfois, certaines portions de code requièrent d'utiliser temporairement un type incomplet
  - Par ex., dans le cadre d'inclusions multiples

Les types de base et le standard C / C++

- Le standard C / C++ impose peu de contraintes de taille
  - Un `int` sur une machine n'a peut-être pas la même taille qu'un `int` sur une autre
- Contraintes de bornes pour les types numériques
  - Un `int` est généralement 32 bits, un `double` sur 64 bits
  - Bornes dans `limits.h`
- La représentation des négatifs n'est pas fixée
  - Souvent, complément à deux, little indian
- La représentation des flottants n'est pas fixée
  - Souvent, norme IEEE-754 64 bit
- Il convient de savoir avec quoi on travaille
- Référence complète : https://en.cppreference.com/w/c/language/arithmetic_types

Bornes

- En `C` : fichier `bounds.c`
- On imprime avec `printf` et en spécifiant un format (cf. section suivante)

```c
#include <stdio.h>
#include <limits.h>
#include <float.h>

int main(void)
{
    printf("INT_MIN    = %+d\n", INT_MIN);
    printf("INT_MAX    = %+d\n", INT_MAX);
    printf("UINT_MAX   = %u\n",  UINT_MAX);
    printf("\n");

    printf("FLT_MIN    = %e\n", FLT_MIN);
    printf("FLT_MAX    = %e\n", FLT_MAX);
    printf("\n");

    printf("DBL_MIN    = %e\n", DBL_MIN);
    printf("DBL_MAX    = %e\n", DBL_MAX);
    printf("\n");
}
```

Ce que l'on sait des tailles

- `sizeof(type)` permet de connaître la taille d'un type (en bytes)
  - Ne peut être utilisé sur des fonctions ou des types incomplets
- Un byte est constitué de 8 bits ou plus
  - Généralement 8
  - Spécifié par `CHAR_BIT`
- Un `char` est toujours de taille 1 (byte)
- Une adresse (pointeur) est de la taille du bus d'adresse (32 bits en x86, 64 bits en x64)
- La taille d'une classe ou structure est au moins la somme des tailles de ses attributs
  - Mais pas toujours, dépendant des contraintes d'alignement

Taille des types de base

- Fichier `sizeof.c`
- En `C++` : même principe en imprimant avec `std::cout`

```c
#include "stdio.h"

int main()
{
   printf("Size of char             : %lu bytes\n", sizeof(char));
   printf("Size of short            : %lu bytes\n", sizeof(short));
   printf("Size of int              : %lu bytes\n", sizeof(int));
   printf("Size of long int         : %lu bytes\n", sizeof(long int));
   printf("Size of long long int    : %lu bytes\n", sizeof(long long int));
   printf("Size of adress           : %lu bytes\n", sizeof(int*));
   printf("Size of float            : %lu bytes\n", sizeof(float));
   printf("Size of double           : %lu bytes\n", sizeof(double));
   printf("Size of long double      : %lu bytes\n", sizeof(long double));
}
```

Illustration

- Fichier `align.c` (même principe en C++)

```
1  struct A
2  {
3    int i; //size 4
4  };
5
6  struct B
7  {
8    char c; //size 1
9  };
10
11 struct C
12 {
13   int i; //size 4
14   char c; //size 1
15   //3 bytes padding
16 }; //size 8
17
18 int main()
19 {
20   printf("%lu %lu %lu\n", sizeof(struct A), sizeof(struct B), sizeof(struct C));
21 }
```

Types entiers

- Différents types d'entiers
  - `short int` (abrégé en `short`)
  - `int`
  - `long int` (abrégé en `long`)
  - `long long int` (abrégé en `long long`)
- Limites de codage différentes
- Possibilité de travailler en non signé
  - `unsigned long int`
  - Permet de doubler la valeur maximum du codage
  - Mettre un négatif dans un `unsigned` conduit à un comportement indéterminé
- Immédiats codé comme `1`, `017`, `0x1A`, etc.
- Par défaut, les immédiats entiers sont de type `int`
- Type forcé via suffixes `u`, `l`, `ul`
  - `3 + 42ul`

Illustration

- Fichier `int.c` (même principe en C++)

```c
#include <stdio.h>
#include <limits.h>

int main()
{
  unsigned i = -1;
  if(i == UINT_MAX)
    printf("Two complement\n");
  else
    printf("Unknown negative representation\n");

  unsigned j = 1;
  char* ptr = (char*)&j;
  if(*c == 0) //a bit ugly
    printf("Little indian\n");
  else
    printf("Big indian\n");
}
```

Types flottants

- Permet de représenter les rationnels
  - Pas de réels car codage (et précision) fini
- Souvent, représentés par la norme IEEE-754 64 bit
  - $q = M \times B^E$
- `limits` contient aussi des informations relatives aux règles d'arrondis, à l'epsilon machine, etc.
- Immédiats codés comme `0.`, `404.42`, `1.23E256`, etc.
- Type forcé via suffixes `f`, `l`
  - `3 + 2lf`

Les variables globales

- Variable déclarée en dehors de tout bloc
- Durée de vie de tout le programme
  - Classe d'allocation statique (cf. Ch. 5)
- Pas de mot-clé spécifique
- Si déclarée avec `static`, a une portée semi-globale
  - Même unité de traduction
  - Portée locale au fichier objet

Les booléens

- Pré-`C11` : inexistant
  - Souvent, macros globales
- En `C11`, il faut inclure `stdbool.h`
- `bool` : types booléens
  - Immédiats `true` et `false`
- Conversions implicites des types numériques vers `bool`
  - 0 : `false`
  - Autre : `true`

Bonne pratique

- Éviter d'utilser les conversions implicites vers `bool`
- Déclarer les booléens comme `bool`

Exemple

- Fichier `bool.c` (même principe en `C++`)

```
1  int main()
2  {
3    bool b = true;
4      if(b)
5        printf("true\n\n");
6      else
7        printf("false\n\n");
8
9      if(-1)
10       printf("-1 true\n\n");
11     else
12       printf("-1 false\n\n");
13
14     if(0)
15       printf("0 true\n\n");
16     else
17       printf("0 false\n\n");
18
19     if(1)
20       printf("1 true\n\n");
21     else
22       printf("1 false\n\n");
23 }
```

Autres types

- `char` : caractère
  - Encodage en fonction du charset
  - Non signé : $[0, 255]$, signé : $[-128, 127]$
  - Pas de support non ASCII par défaut
- Entiers à taille fixe
  - Inclure `stdint.h` ou `cstdint.h` (`cpp`)
  - Exemple : `int8_t`, `int32_t`, etc.
- `void` : « vide » (Type incomplet)
  - Utilisé dans les retours de fonction
  - Offre une généricité sur les pointeurs (cf. Ch. 2)
- `type*` : pointeur (adresse) vers un élément de type donné (cf. Ch. 2)
- `type&` : référence (`C++` seulement) (cf. Ch. 2)

Illustration

- Fichier `other.c` (même principe en `C++`)

```
1  int main()
2  {
3      char a = 'a';
4      printf("Char : %c\n", a);
5      char ee = 'é';
6      printf("Char : %c\n", ee);
7
8      int8_t i8 = 0;
9      int16_t i16 = 0;
10     int32_t i32 = 0;
11     int64_t i64 = 0;
12     printf("%zu %zu %zu %zu\n", sizeof(i8), sizeof(i16), sizeof(i32), sizeof(i64));
13
14     int i = 2;
15     int * addr = &i;
16     printf("i = %d stored at address %p\n", i, addr);
17 }
```

Constantes

CV-Qualifiers

- Pour chaque type, incluant les types incomplets, il existe trois autres « sous-types »
  1. `const` : type constant, accédé en lecture seule
  2. `volatile` : type volatile, peut être acccédé et modifié par un processus extérieur
  3. `const volatile` : les deux en même temps
- Motivation : optimisations compilatoires
  - Un `const` peut parfois être passé par référence
  - Les instructions comprenant des volatiles ne peuvent être réordonnées
- Applications
  - Optimisation de code
  - Multithreading

Les constantes

- En `C`, avant `C11` : macros
  - `#define PI 3.14159265`
  - Subtitués textuellement
  - Éviter dans la mesure du possible
- En `C++` et en `C11`, mot-clé `const`
  - Pas `final`
- En lecture seule
- Syntaxe particulière pour les pointeurs (cf. Ch. 2)
  - Pointeur constant d'entier, d'entier constant, constant d'entier constant
- En `C++`, possibilité de créer des fonctions constantes
  - Ne modifie pas les attributs de `this`

Exemple

- Fichier `const.c`

```
1  int main()
2  {
3    int i = 2;
4    const int ci = 3;
5    i += 2;
6    //ci += 2; //ko
7  }
```

Chaînes de caractères

Les immédiats

- Les littéraux (immédiats) chaînes de caractères peuvent être spécifiés comme en `Java`
  - Exemple : `"Hello World!"`
- Les littéraux sont de type
  - `char[]` en `C`
  - `const char[]` en `C++`
- Les littéraux ont une durée de vie de tout le programme
  - Classe d'allocation statique (cf. Ch. 5)
- Les littéraux sont immuables (même les `char[]`)
  - Les modifier donne un comportement indéterminé
- Les littéraux sont implicitement zéro-terminés
  - Attention aux spécifications de taille
- Même caractères d'échappement qu'en `Java`

Illustration

- Fichier `str-immediate.c`

```c
int main()
{
  char * s1 = "Hello"; //length = 5
  char s2[] = "Hello";
  printf("%s\n", s1);
  printf("%s\n", s2);

  char s3[5] = "Hello"; //?!
  char s4[6] = "Hello";
  char s5[20] = "Hello";

  printf("%s|\n", s3);
  printf("%s|\n", s4);
  printf("%s|\n", s5);
}
```

Fonctionnalités

- En `C`, il n'existe pas de classe string
  - Car il n'y a pas de classes
- On manipule directement des `char[]` et `const char[]`
- Taille : `strlen`
- Accès : `[]`, `strstr`
- Pas de modification possible si c'est un immédiat
  - Sinon, `strcpy`, `strcat`
- Pas de comparaison lexicographique possible de la forme `s1 < s2`. Utiliser `strcmp`.
- Parsing : `atoi`, `strtol`, `strtof`, `strtod`, `strtok`
  - L'interprétation stoppe sur la première espace
  - En cas d'échec, retourne zéro
- Validation de caractères : `isalnum`, `isalpha`, `isdigit`, `islower`, `isupper`

Illustration (1/2)

- Fichier `string-c.c`

```c
int main()
{
  char s1[] = "Hello ";
  char s2[] = "World";

  printf("Length = %lu chars, size = %lu bytes\n", strlen(s1), sizeof(s1));
  printf("Length = %lu chars, size = %lu bytes\n", strlen(s2), sizeof(s2));

  for(long i = 0; i < strlen(s1); i++)
    printf("%c", s1[i]);
  for(long i = 0; i < strlen(s2); i++)
    printf("%c", s2[i]);
  printf("\n");

  //strcpy(s2, s1); //wrong
  //strcpy(s1, s2); //also wrong
  //strcat(s2, s1); //still wrong
  //strcat(s1, s2); //again, wrong
}
```

Illustration (2/2)

- Fichier `string-c.c`

```c
int main()
{
  char s1[] = "Hello ";
  char s2[] = "World";

  char result[20]; //try with other values

  strcpy(result, s2);
  printf("%s|\n", result);

  strcpy(result, s1);
  printf("%s|\n", result);

  char result2[strlen(s1) + strlen(s2) + 1]; //why + 1 ?
  strcpy(result, s1);
  strcat(result, s2);
  printf("%s\n", result);
}
```

Entrées / sorties

Écriture : `printf`

- Écriture en sortie standard via `printf`
- Diverses options de formatage de type
  - %d, %o, %x : entiers
  - %f, %e, %g : flottants
  - %s : chaînes de caractère
  - %p : pointeur
- Diverses options de complétion
  - `-` : entrée alignée à gauche (par défaut, à droite)
  - `*` : spécifie la largeur de l'impression comme un paramètre
  - `n`, où $n \in \mathbb{N}$: spécifie la largeur de l'impression

Fichier `printf.c`

```c
int main()
{
    printf("Strings:\n");
    const char* s = "Hello";
    printf("\t.%10s.\n\t.%-10s.\n\t.%*s.\n", s, s, 10, s);

    printf("Characters:\t%c %%\n", 65);

    printf("Integers\n");
    printf("\tDecimal:\t%i %d %.6i %i %.0i %+i %u\n", 1, 2, 3, 0, 0, 4, -1);
    printf("\tHexadecimal:\t%x %x %X %#x\n", 5, 10, 10, 6);
    printf("\tOctal:\t%o %#o %#o\n", 10, 10, 4);

    printf("Floating point\n");
    printf("\tRounding:\t%f %.0f %.32f\n", 1.5, 1.5, 1.3);
    printf("\tPadding:\t%05.2f %.2f %5.2f\n", 1.5, 1.5, 1.5);
    printf("\tScientific:\t%E %e\n", 1.5, 1.5);
    printf("\tScientific:\t%g %g\n", 1.002, 0.000007);
    printf("\tHexadecimal:\t%a %A\n", 1.5, 1.5);
}
```

Source : `cppreference.com`

Lecture : `scanf`

- `scanf` permet de lire des types de base au clavier
  - Difficile de l'altérer pour d'autres types
  - `setlocale` change le charset
- Fonctionne à l'aide du même système de format que `printf`
  - Si une entrée ne correspond pas au format, le paramètre correspondant est inaltéré
- Retourne le nombre de paramètres affectés avec succès
- Termine une lecture par « Entrée »
- Séparateurs : espace, `\n`, `\t`, `\v` et `\f`

Exemple

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

Exemple

- Fichier `scanf.c`

```c
#include <stdio.h>
#include <locale.h>

int main()
{
  int i;

  printf("Tapez un entier (decimal)\n");
  //scanf("%d",i); //sneaky
  scanf("%d", &i);

  printf("Vous avez tapé %d\n", i);

  printf("Tapez un entier (hexadecimal)\n");
  scanf("%x", &i);

  printf("Vous avez tapé %d\n", i);
}
```

Fonctionnement interne via un buffer

1. La première lecture lit une chaîne de caractères validée par « Entrer »
2. Cette chaîne est placée dans un buffer en mémoire
3. Le buffer est exploré caractère par caractère par `scanf` (ou '»' en `C++`)
   - Un pointeur désigne le prochain caractère du buffer à lire (incrémentation automatique)
4. La plus longue entrée correspondante est retournée

Fin de lecture

- Si le contenu du buffer ne suffit pas, `scanf` attend une nouvelle entrée
- Si une partie du buffer n'est pas lue, elle reste pour la prochaine entrée

Erreurs de lecture

Extrait de code

```
int i; cin >> i; //on entre "12a"
```

1. La chaîne `"12a"` est placée dans le buffer
2. Les caractères '`1`' et '`2`' sont lus, le pointeur `ptr` est incrémenté
3. Le caractère '`a`' est lu
4. 12*a* n'est pas un nombre, on place donc 12 dans `i`
5. '`a`' reste pour la prochaine lecture, `ptr` n'est pas incrémenté

Remarque

- Peut provoquer des désynchronisations et boucles infinies

Désynchronisation : exemple

- Fichier `cin-error.c`

```
1  int n, p;
2  printf("Donnez une valeur pour n\n");//1 2
3  scanf("%d", &n);
4  printf("Merci pour %d\n", n);
5  printf("Donnez une valeur pour p\n");
6  scanf("%d", &p);
7  printf("Merci pour %d\n", p);
```

- Même principe en `C++` (fichier `cin-error.cpp`)

Blocage : exemple

- Fichier `cin-error.c`

```
1  int n = 12;
2  char c = 'a';
3  printf("Donnez␣un␣entier␣et␣un␣caractère\n");//x 25
4  scanf("%d", &n);
5  printf("Merci␣pour␣%d␣et␣%c\n", n, c);
6  printf("Donnez␣un␣caractère\n");
7  scanf("%c", &c);
8  printf("Merci␣pour␣%c\n", c);
```

- Même principe en `C++` (fichier `cin-error.cpp`)

Boucle infinie : exemple

- Fichier `cin-error.c`

```
1  //3
2  //à
3  int n;
4  do
5  {
6     printf("Tapez un nombre entier\n");
7     scanf("%d", &n);
8     printf("Son carré est %d\n", (n*n));
9  }
10 while(!n);
```

- Même principe en `C++` (fichier `cin-error.cpp`)

Solutions

- Lire une chaîne de caractère
- Deux choix possibles
  1. Directement avec `cin` / `scanf`
  2. Avec `getLine(cin,monstring)` (C++)
- Inclure
  - `stdlib.h` (C)
  - `string.h` (C++)
- Parser la chaîne
  - C : `atoi` et `atof`
  - C++ : `stoi(monstring)` et `stod(monstring)`

Illustration

- Fichier `cin-error.c`

```
1  printf("Tapez un entier non nul\n");
2
3  char buffer[20];
4  scanf("%s", buffer);
5  int i = atoi(buffer);
6  if(i != 0)
7      printf("Vous avez tapé %d\n", i);
8  else
9      printf("Pas un entier\n");
```

Illustration

- Fichier `cin-error.cpp`

```
1  cout << "Tapez un entier" << endl;
2
3  string line;
4  getline(cin, line);
5
6  try
7  {
8      int i = stoi(line);
9      cout << "Vous avez tapé " << i << endl;
10 }
11 catch(invalid_argument ex)
12 {
13     cout << "Pas un entier" << endl;
14 }
```

Expressions

Instruction et expression

- Dans certains langages : concepts disjoints
  - Une expression a une valeur et ne fait pas de travail
  - Une instruction n'a pas de valeur et effectue un travail
- En C / C++, pas toujours...

Exemple

- `cout << "Hello"<< endl;`
- `double y = a*x + b;`
- `int j = ++i;`

Opérateurs

- Tous les opérateurs sont associatifs
  - De gauche à droite ou de droite à gauche

Entre autres

- `+`, `-`, `*`, `/`, `%`, «, », `&&`, `||`, etc. : associativité de gauche à droite
- `!`, `*` (indirection), `&` (prise d'adresse), `sizeof`, etc. : associativité de droite à gauche

- Exemple : `i + j + k` est compilé comme `(i + j) + k`
- Les opérateurs `+`, `-`, `*`, `/`, `%`, `?:`, `&&`, `||`, `==`, `!`, `!=` ont la même signification qu'en `Java`

Évaluation des opérandes

Attention

- Le standard ne garantit pas l'ordre dans lequel les opérandes sont évalués
- Sauf `&&` et `||` (évaluation paresseuse), `?:` (nécessité)

- `f() + g() + h()` est compilé comme `(f() + g()) + h()` mais `h()` peut être évalué avant, après ou entre `f()` et `g()`
- Vrai aussi pour l'ordre d'évaluation des arguments des fonctions

Hygiène de programmation

- Écrire du code où l'ordre d'évaluation est sans importance

Exemple

- Aucune des lignes ci-dessous n'a de comportement défini

```
1  i = ++i + i++;
2  i = i++ + 1;
3  i = ++i + 1; //well-defined in C++11
4  ++ ++i; //well-defined in C++11
5  f(++i, ++i);
6  f(i = -1, i = -1);
7  cout << i << i++;
8  a[i] = i++;
```

- N'écrivez pas ça...

Erreurs numériques (1/2)

- Certains calculs peuvent empêcher un opérateur de fournir un résultat correct

Dépassement de capacité

- Résultat de calcul trop grand (en valeur absolue)
- Comportement indéterminé pour les entiers
- `+INF` ou `-INF` pour les flottants

Sous-dépassement de capacité

- Résultat de calcul trop petit (en valeur absolue)
- Conduit à un résultat nul, nombre indistinguables, ou arrêt brutal

Erreurs numériques (2/2)

- Certains calculs peuvent empêcher un opérateur de fournir un résultat correct

Division par zéro

- Donne le résultat `+INF`, `-INF` ou `NaN`
- Peut provoquer un arrêt brutal

Propagation d'erreur

- Certains calculs sont entachés d'erreurs
- Des opérations successives peuvent grandement faire changer le résultat
- Très complexe à gérer (pas l'objet de ce cours)

Exemple

- Fichier `num-error.c`
- Même principe en `C++`

```
1  int main()
2  {
3    int x = INT_MAX;
4    printf("%d\n", x);
5    x+=x;//overflow
6    printf("%d\n\n", x);
7
8    float y = 1E30;
9    printf("%f\n", y);
10     printf("%f\n\n", y / y / y / y);
11
12   double zero = 0;
13   printf("%f\n", x / zero);
14 }
```

Arithmétique flottante

- Le standard ne garantit pas la norme IEEE 754
  - Un peu de support pour IEC 559
- Peu de prérequis hardware
- Seule l'associativité est requise
  - `a + b == b + a` ?
  - `a + b == a + b` ?

Pourquoi tant de haine ?

- Le `C` / `C++`est proche de la machine, l'arithmétique flottante est *complexe*, et le langage essaye d'être peu restrictif sur le hardware

Opérateur d'incrémentation

- Même principe qu'en `Java`
- En `C` / `C++`, une instruction de type `x++` possède une valeur
- Deux types d'utilisation
  1. Post-incrémentation `x++` : valeur avant incrémentation
  2. Pré-incrémentation `++x` : valeur après incrémentation

Exemple

- `int i = 5; int n = ++i - 5;`

- Même principe pour la décrémentation

Hygiène de programmation

- Évitez le code obscur

Exemple

- Fichier `increment.c`
- Même principe en `C++`

```c
int main()
{
  int x = 3 + 2;
    printf("%d\n", x);

  x++;
  printf("%d\n", x);
  ++x;
  printf("%d\n\n", x);

  int y = x++;
  printf("%d\n", x);
  printf("%d\n\n", y);

  int z = ++x;
  printf("%d\n", x);
  printf("%d\n", z);
}
```

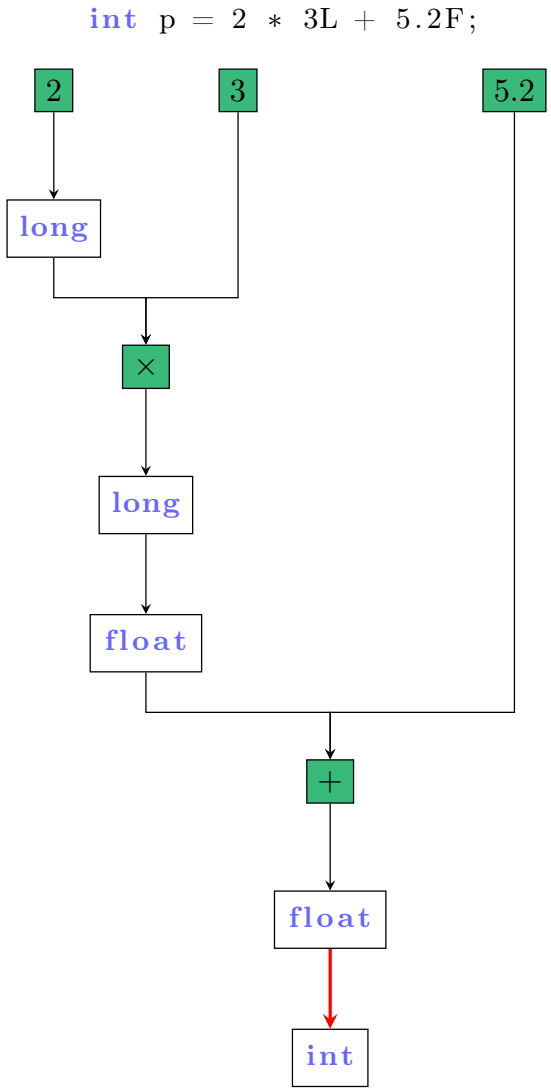
Conversions numériques implicites

- La plupart opérateurs ne sont définis que pour des opérandes de même type (+ entier et + flottant)
- Si les opérandes ne sont pas de même type : conversion, promotion ou tronquage
- Opérateurs arithmétiques et logiques
  1. Si l'un des arguments est flottant, l'autre est converti en flottant
     - `long double` > `double` > `float`
  2. Sinon, l'argument de codage plus petit est converti
     - Même en cas de `signed` et `unsigned`
- Appel de fonction, retour de fonction et affectation : conversion dans la variable réceptrice (même si tronquage)

Hygiène de programmation

- Convertir explicitement, ou utiliser les mêmes types

Exemple



Autres conversions

- Opérateurs arithmétiques non définis pour `short`, `bool` et `char`
- Implicitement convertis en `int` si présents
  - Caractères : dépend de l'encodage, de la machine, etc.
  - Booléens : `false` : 0, `true` : autre.
- Conversions non signées autorisées
  - Parfois incohérent : que vaut -5 en non signé ?
- On peut effectuer des conversions explicites en faisant un cast
  - En `C`, même syntaxe qu'en `Java`
  - En `C++`, mécanisme de conversion dédié (cf. Ch. 8)

Exemple

- Fichier `conv.c`
- Même principe en `C++`

```
1  int main()
2  {
3    int i1 = 3;
4    int i2 = 2.5;
5    double d1 = i1;
6    double d2 = 2.5f;
7
8    unsigned u1 = i1;
9    unsigned u2 = -1;
10
11   printf("ints : %d %d\n", i1, i2);
12   printf("floating point : %.2f %.2f\n", d1, d2);
13   printf("unsigned : %u %u\n", u1, u2);
14
15   printf("Sizeof int | float -- %lu %lu\n", sizeof(int), sizeof(double));
16
17   printf("Sizeof 2 * 3L + 5.0 : %lu\n", sizeof(2 * 3L + 5.0));
18
19   printf("%d\n", (0 == true));
20   printf("%d\n", (1 == true));
21   printf("%d\n", (2 == true));
22 }
```

Les alias de type

- Nom référant un type défini précédemment
- Utile pour abréger certains noms

Syntaxe en C

- `typedef Type Alias;`

- Pratique pour abréger des noms de types longs
  - `struct A -> A`

Exemple

```
1  struct point
2  {
3    double x, y;
4  };
5
6  typedef struct point point;
7
8  point p;
```

- Sans l'alias, on aurait dû écrire `struct point p;`

Initialisation explicite

- Plusieurs types d'initialisation
  - Initialisation scalaire
  - Initialisation de tableaux (cf. Ch. 2)
  - Initialisation de structures (cf. Ch. 4)
- Toutes les initialisation se font soit
  - avec `=`
  - avec `= { ... }` (tableaux et structures)
- Des conversions, promotions et tronquages implicites sont possibles
- En l'absence d'initialisation explicite, les valeurs par défaut dépendent du type d'allocation
  - Cf. Ch. 5

Exemple

- Fichier `init.c`

```
1  int main()
2  {
3      int i; //indeterminate
4      int j = 2;
5
6      //unsigned char * p; //not a great idea
7      //unsigned char * p = 2; //still up to no good
8
9      unsigned char * p; //not a great idea
10     *p = 3;
11     unsigned char * u = 2; //still up to no good
12     *u = 3;
13 }
```